

Méthodologie de collecte de données pour l'authentification biométrique comportementale

par

Patrice-Prisca NTSAKO GUIEGOU

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE
AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 25/11/2024

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Patrice-Prisca Ntsako Guiegou, 2024



Cette licence Creative Commons signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette oeuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'oeuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE:

M. Vincent Lévesque, directeur de mémoire
Département de génie logiciel et TI, École de technologie supérieure

M. Roberto Erick Lopez Herrejon, président du jury
Département de génie logiciel et TI, École de technologie supérieure

M. Kaiwen Zhang, membre du jury
Département de génie logiciel et TI, École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 18 NOVEMBRE 2024

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de recherche, le Professeur Vincent Lévesque, qui m'a offert l'opportunité précieuse de mener cette recherche, ainsi que pour son soutien inébranlable, en particulier lorsque le projet a pris une nouvelle orientation.

Je remercie profondément ma famille, en particulier mes parents Marie Colette Bikim et Celestine Ogodigo , ainsi que ma soeur Naille Beliguine, pour leur amour infini, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements. Je tiens également à exprimer ma gratitude à ma famille de cœur, composée de mes collègues de l'ÉTS, de l'université Senghor pour leur soutien et leur présence tout au long de ce parcours.

Je tiens également à remercier l'équipe HUX, dont les conseils m'ont toujours été d'une grande aide.

Méthodologie de collecte de données pour l'authentification biométrique comportementale

Patrice-Prisca NTSAKO GUIEGOU

RÉSUMÉ

L'authentification biométrique comportementale, contrairement aux méthodes biométriques traditionnelles telles que la reconnaissance faciale ou d'empreintes digitales, se base sur des comportements uniques comme la démarche ou la frappe au clavier pour vérifier l'identité des individus. Dans le cadre de cette authentification, il est important de collecter des données biométriques comportementales dans des conditions réelles pour entraîner des modèles d'IA. Cette collecte de données s'effectue à travers des capteurs intégrés dans les téléphones et les montres intelligents.

Ce travail de recherche propose une méthodologie de collecte de données pour l'authentification biométrique comportementale, en se concentrant sur des conditions réelles d'utilisation. À partir d'un sondage que nous avons mis en place, nous analysons les positions habituelles de port du téléphone et de la montre et planifions une collecte de données basée sur ces habitudes d'utilisation.

Les résultats du sondage sur les positions habituelles de port du téléphone et de la montre ont permis de mettre en évidence les comportements et préférences des utilisateurs en matière de déplacement avec ces appareils. Ce sondage a révélé que la marche est l'activité où les utilisateurs transportent le plus fréquemment leur téléphone, souvent dans la poche du pantalon. La montre peut être considérée comme un équipement secondaire de collecte, offrant une opportunité de collecter des données supplémentaires.

À partir de ces résultats, un plan de collecte de données a été élaboré, intégrant un protocole adapté aux préférences réelles des utilisateurs. Ce protocole tire parti des habitudes de positionnement du téléphone. La mise en œuvre de ce protocole permettra d'optimiser les données collectées en les capturant dans des conditions réelles, permettant ainsi de développer des modèles d'IA fondés sur des comportements authentiques.

Mots-clés: biométrie comportementale, positionnement du téléphone, authentification, collecte de données

Data collection methodology for behavioral biometric authentication

Patrice-Prisca NTSAKO GUIEGOU

ABSTRACT

Behavioral biometric authentication, unlike traditional biometric methods such as facial or fingerprint recognition, relies on unique behaviors such as gait or keyboard typing to verify the identity of individuals. As part of this authentication, it is important to collect behavioral biometric data under real-life conditions to train AI models. This data collection is carried out through sensors embedded in smartphones and watches.

This research work proposes a data collection methodology for behavioral biometric authentication, focusing on real-life conditions of use. Using a survey we have set up, we analyze the usual wearing positions of the phone and watch, and plan data collection based on these usage habits.

The results of the survey on usual phone and watch carrying positions highlighted users' behaviors and preferences when carrying these devices on the move. The survey revealed that walking is the activity in which users most frequently carry their phone, often in their trouser pocket. The watch can be seen as a secondary collection device, offering an opportunity to collect additional data.

Based on these results, a plan for data collection was developed, incorporating a protocol adapted to actual user preferences. This protocol takes advantage of the phone's positioning habits. Implementation of this protocol will optimize the data collected by capturing it in real-life conditions, enabling AI models to be developed based on authentic behavior.

Keywords: behavioral biometrics, phone positioning, authentication, data collection

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTERATURE	9
1.1 La sécurité en général	10
1.2 La sécurité pour les téléphones intelligents	12
1.3 La sécurité utilisable	15
1.3.1 Usabilité des applications de sécurité	15
1.3.2 Usabilité des tâches et des patrons de conception	16
1.3.3 Usabilité des interfaces utilisateur	18
1.3.4 L'expérience utilisateur	19
1.4 Les capteurs intégrés et les algorithmes de reconnaissance d'activité	20
1.4.1 Les capteurs intégrés	21
1.4.2 Les données capturées	24
1.4.3 Les algorithmes de reconnaissance et de traitement	26
1.5 La reconnaissance d'activité humaine (HAR) : les enjeux	28
1.5.1 Positionnement du téléphone	28
1.5.2 Différenciation des activités similaires	29
1.5.3 Optimisation de l'expérience utilisateur	29
1.6 Les grands défis d'usabilité	30
1.6.1 Adaptation à la variabilité des comportements humains	31
1.6.2 Faux positifs/faux négatifs	32
1.6.3 Interfaces informatives	32
1.6.4 Consommation d'énergie	33
1.7 Des travaux sur l'acceptabilité et l'usabilité des applications de biométrie comportementale	33
CHAPITRE 2 SONDAGE SUR LES HABITUDES DE PORT DU TÉLÉPHONE ET DE LA MONTRE	37
2.1 Contexte et justification	38
2.2 Sondage	42
2.2.1 Objectifs	42
2.2.2 Population et échantillonnage	43
2.2.3 Données collectées	43
2.3 Résultats et discussions	45
2.3.1 Les participants	45
2.3.1.1 Age	46
2.3.1.2 Genre	47
2.3.2 Utilisation et positionnement du téléphone	48
2.3.2.1 Les activités physiques	48
2.3.2.2 Les activités stationnaires	55

2.3.2.3	Les activités de jeu	59
2.3.3	Utilisation et positionnement de la montre	63
2.3.3.1	Tendances d'utilisation d'une montre	64
2.3.3.2	Habitudes de déplacement avec la montre	65
2.3.3.3	Port de la montre au cours des différentes activités	67
2.3.3.4	Positionnement de la montre	68
2.3.4	Partage du téléphone	70
2.4	Conclusion	70
CHAPITRE 3 PLANIFICATION DE LA COLLECTE DE DONNÉES BIOMÉTRIQUES		75
3.1	Le processus de collecte de données	76
3.1.1	Contexte de la collecte	77
3.1.2	Les objectifs de la collecte	77
3.2	Processus de collecte	78
3.2.1	Technologies concernées par la collecte	79
3.2.2	Sélection des participants	80
3.2.3	Mesures éthiques	81
3.2.4	Étapes de collecte de données	81
3.3	Étape pilote	86
3.4	Conclusion	87
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		89
ANNEXE I	SONDAGE SUR LES HABITUDES DE PORT DE TÉLÉPHONE ET DE LA MONTRE	93
LISTE DE RÉFÉRENCES		97

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 0.1	Processus de collecte, traitement, et authentification biométrique	2
Figure 0.2	Les composants intégrées dans le cadre de cette étude	7
Figure 1.1	Les stratégies d'authentification entre les utilisateurs et les téléphones Tirée de Alzubaidi & Kalita (2016)	13
Figure 1.2	Les approches de la biométrie Tirée de Alzubaidi & Kalita (2016)	14
Figure 1.3	Architecture applicative - biométrie comportementale	27
Figure 1.4	Avantages et limites de la biométrie comportementale Tirée de Papaioannou <i>et al.</i> (2023)	31
Figure 2.1	Répartition de l'âge parmi les participants (n=80)	46
Figure 2.2	Répartition du genre parmi les participants (n=80)	47
Figure 2.3	Distribution des positions de port du téléphone lors de la marche	49
Figure 2.4	Fréquence du cyclisme et du port du téléphone lors de cette activité	50
Figure 2.5	Distribution des positions de port du téléphone lors du cyclisme	51
Figure 2.6	Fréquence du sport et du port du téléphone lors de cette activité	53
Figure 2.7	Distribution des positions de port du téléphone pendant le sport	54
Figure 2.8	Distribution des positions de port du téléphone pendant le travail sur ordinateur	56
Figure 2.9	Fréquence de conduite de véhicule et du port du téléphone	57
Figure 2.10	Distribution des positions de port du téléphone pendant la conduite de voiture	58
Figure 2.11	Fréquence de jeu sur console et du port du téléphone lors de cette activité	60
Figure 2.12	Distribution des positions de port du téléphone pendant l'activité de jeu sur console	61

Figure 2.13	Fréquence de jeu avec casque VR et du port du téléphone lors de cette activité	62
Figure 2.14	Distribution des positions de port du téléphone pendant les activités de jeux avec un casque VR	63
Figure 2.15	Répartition des participants possédant une montre	64
Figure 2.16	Habitudes de déplacement avec les appareils intelligents	66
Figure 2.17	Activités fréquentes avec une montre intelligente	67
Figure 2.18	Distribution des positions de port de la montre intelligente	69
Figure 2.19	Répartition des participants qui partagent leurs téléphones intelligents ..	71
Figure 3.1	Activités de la vie réelles : collecte et analyse	76
Figure 3.2	Processus de collecte de données	78
Figure 3.3	Page d'accueil	82
Figure 3.4	Page de collecte de la marche	83
Figure 3.5	Paramètres de l'application	84
Figure 3.6	Page de description d'images	85
Figure 3.7	Étapes de configuration crowdsense	88

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CER	Comité d'Éthique de la Recherche
ETS	École de Technologie Supérieure
GPS	Global Positioning System
IHM	Interaction Humain-Machine
ISO	International Organization for Standardization
NIP	Numéro d'Identification Personnel
TI	Technologies de l'Information
UI	User Interface
UX	User Experience
VR	Virtual Reality

INTRODUCTION

Les progrès dans les domaines des systèmes, des réseaux informatiques et des technologies en général ont marqué l'essor de plusieurs innovations dans le domaine de la sécurité informatique. Ces technologies en perpétuelle croissance utilisent des ressources multiples, créant ainsi un environnement où prolifèrent de nombreuses vulnérabilités. La mise en œuvre de la sécurité informatique devient donc impérative afin de protéger ces ressources. Celle-ci est définie comme l'ensemble des mécanismes, techniques et procédures déployées par une organisation dans le but de protéger, prévenir son système d'information contre les attaques malveillantes, les menaces (Ould-Slimane, 2022). De cette définition découlent plusieurs objectifs, dont l'authentification. Implémentée dans la plupart de nos appareils intelligents (téléphones, montres), elle permet de vérifier l'identité des utilisateurs. En d'autres termes, elle permet au système de répondre aux questions : « cette personne est-elle vraiment celle qu'elle prétend être ? », « est-elle autorisée à consulter cette ressource ? ».

Lorsqu'on parle de sécurité, il est aussi essentiel de considérer la biométrie qui est un mécanisme de protection parmi tant d'autres. L'authentification et la biométrie sont toutes les deux associées de manière fondamentale à la sécurité informatique. Cependant, elles diffèrent par leurs approches. Jain, Ross & Pankanti (2006) définissent la biométrie comme « the science of recognizing an individual based on his or her physical or behavioral traits ». Par cette définition, on comprend que la biométrie utilise l'authentification basée sur des caractéristiques physiques ou comportementales uniques des individus. L'authentification intègre un ensemble de méthodes de validation de l'identité telles que les mots de passe, les cartes à puce, les codes PIN, etc. La biométrie est plus large, car elle utilise les empreintes digitales, la reconnaissance faciale et la dynamique de frappe au clavier, la démarche. Les caractéristiques comportementales uniques telles que la dynamique de frappe et la démarche sont exploitées par des mécanismes d'authentification biométrique dans le but de vérifier l'identité d'un individu. L'authentification biométrique comportementale s'applique à divers domaines, néanmoins sa valorisation efficace

reste la sécurité informatique. Les applications de biométrie comportementale telles que présentées par Dargan & Kumar (2020); Liang, Samtani, Guo & Yu (2020); Stylios, Chatzis, Thanou & Kokolakis (2023) ont démontré leur efficacité. Les applications développées permettent avec succès d'authentifier les individus.

Notre étude fait partie des premières étapes de conception et de développement d'une application d'authentification, comme le présente la Figure 0.1. Elle se concentre sur la planification d'une collecte de données comportementales à travers une application dédiée. L'architecture applicative présentée ci-après, illustre le processus d'intégration de l'application de collecte de données dans une application d'authentification biométrique comportementale qui est l'aboutissement final du projet de notre partenaire industriel. La démarche et la dynamique de frappe constituent des données comportementales particulièrement significatives, elles sont classifiées comme des marqueurs comportementaux fiables d'un individu (Ailisto, Lindholm, Mantyjarvi, Vildjiounaite & Makela, 2005; Ali, Monaco, Tappert & Qiu, 2017). Dans le cadre de cette étude, ces données représentaient également une cible stratégique pour le partenaire industriel.

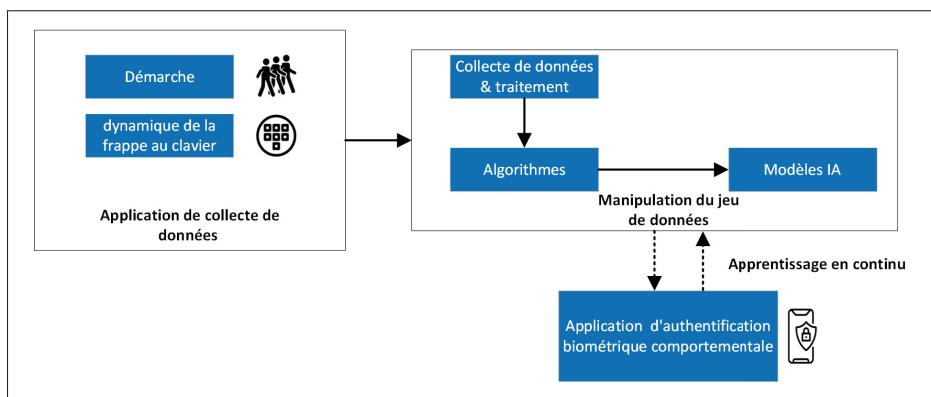


Figure 0.1 Processus de collecte, traitement, et authentification biométrique

Dans cette étude, nous élaborons un plan détaillant l'ensemble des étapes du processus de collecte de données. La collecte de données a pour but de recueillir des données biométriques

comportementales à partir des capteurs intégrés dans les téléphones des participants. Les participants utiliseront une application dédiée à la collecte. Certaines fonctionnalités de cette application serviront pour la personnalisation des modèles IA dans le cadre d'une authentification biométrique courante.

La conception et le développement de l'application de collecte intègre plusieurs systèmes qui doivent être inter-opérables. Elle communique avec les systèmes suivants :

- Les capteurs du téléphone : l'accéléromètre et le gyroscope qui sont les principaux capteurs intégrés dans nos équipements intelligents. Ils sont utilisés pour la collecte de données issues de la démarche et des frappes au clavier. La démarche et la dynamique de frappe sont des parties intégrantes de l'application collecte qui fournit également des statistiques journalières des données collectées.
- La base de données de stockage : c'est l'unité de stockage des données collectées par les capteurs. Les données collectées sont traitées en amont afin de les préparer aux manipulations. Le traitement comprend l'extraction du bruit et la normalisation.
- Les algorithmes d'IA : ce sont des programmes d'analyse qui utilisent en entrée les données de la base de données pour former des modèles.
- Les modèles d'IA : ils sont les résultats des analyses où des motifs comportementaux uniques ont été identifiés et labellisés pour chaque utilisateur. Ils sont intégrés à l'application finale.
- L'application d'authentification : elle utilise les motifs des comportements uniques pour authentifier au quotidien l'utilisateur de manière sécuritaire.

L'architecture d'une application de biométrie comportementale intègre plusieurs modules qui interagissent à travers des interfaces utilisateurs. Une application de biométrie comportementale exploitera ces données pour analyser les habitudes de déplacement de l'utilisateur et détecter des comportements uniques pour des fins d'authentification. Les données des capteurs sont également utilisées par des applications pour la reconnaissance d'activité. Considérant d'autres

contextes d'utilisation comme le domaine de la santé, les jeux vidéo immersifs où la combinaison d'équipements est bénéfique à certains points. Il est donc nécessaire de reconnaître des activités courantes comme la marche, la course, la conduite, etc. Il est tout autant important d'identifier le positionnement du téléphone pendant ces activités. Le gyroscope et l'accéléromètre fournissent également des informations capitales pour la reconnaissance d'activité.

Le plan stipule que la collecte de données doit se dérouler sur plusieurs jours, avec les capteurs fonctionnant en arrière-plan de manière continue. Pour une performance élevée, nous estimons qu'au moins 7 jours de collecte sont nécessaires. La collecte massive des données servira à construire des modèles pour l'authentification quotidienne de l'utilisateur. L'utilisateur peut donc être contraint à réaliser plusieurs activités afin de couvrir toutes les situations possibles (conduite, marche, course, en métro, etc.). L'objectif est de décrire un plan de collecte de données basé sur des scénarios réalistes et acceptables pour l'utilisateur.

Problématique

Il est maintenant possible de dénombrer les avantages d'une application de biométrie comportementale. Elle permet de protéger les actifs informationnels et de les prémunir contre les menaces. L'application de collecte de données fournit aux utilisateurs un cadre pour la collecte de données. Ce cadre doit respecter des exigences d'usabilité et d'acceptabilité pour la collecte de manière naturelle. Des comportements habituels ressortent des données comportementales naturelles. Le défi est de proposer des scénarios de collecte qui s'adaptent aux individualités, s'incrustent dans la routine de l'utilisateur. Les réflexions sur les moyens à utiliser afin de surmonter ce défi nous amènent à poser la problématique de ce travail de recherche : **quelle est la méthode efficace pour collecter des données comportementales dans un contexte réel d'utilisation ?**

Objectifs

Tenant compte des préférences des utilisateurs à propos du positionnement du téléphone pendant les activités et des défis associés, cette recherche porte sur des travaux de planification basée sur des caractéristiques d'usabilité encadrant la collecte de données biométriques comportementales. Ainsi, l'ensemble des travaux menés dans le cadre de cette étude permettra d'élaborer un plan de collecte de données qui prendra en compte les habitudes et préférences des utilisateurs en matière de positionnement et de déplacement avec les appareils intelligents (téléphone et montre).

Le premier objectif est de comprendre les habitudes des utilisateurs à travers un sondage sur les positions et les habitudes d'utilisation de la montre et du téléphone. Il en sortira notre première contribution.

Le deuxième objectif poursuivi par ces travaux est de proposer un plan pour la collecte de données biométriques comportementales comprenant les préférences des utilisateurs en termes de positionnement du téléphone pendant certaines activités (marche, activités sportives, etc.), qui constituera notre deuxième contribution. De ce plan sortira une phase pilote qui permettra de valider le plan de collecte.

Le sondage sur les positions habituelles de port du téléphone et de la montre

Le port des appareils intelligents (montres, téléphones) suivant certaines positions offre des avantages considérables en termes de qualité, de quantité des données et de confort des utilisateurs. Yang, Munguia-Tapia & Gibbs (2013); Motani, Wong & Kamijo (2019); Khan *et al.* (2022) relèvent l'importance de la position du téléphone pour la reconnaissance d'activités et la précision des capteurs dans plusieurs situations d'utilisations. Le cyclisme, la marche, la course sont des activités qui sont mieux détectées lorsque le capteur est proche des points de mouvement sur le corps (téléphone dans la poche du pantalon et/ou autour du bras). En revanche, pour les activités stationnaires où la position de l'appareil est proche du centre de gravité du corps (position assise) stimule moins les capteurs.

Ces considérations soulignent la nécessité de valider les tendances de positionnement et d'utilisation des montres et téléphones intelligents afin d'assurer une collecte de données fiable et efficace. Nous ambitionnons de mener une collecte de données basée sur un sondage diffusé à grande échelle. Ce sondage est conçu et déployé pour recenser des données précises sur les habitudes d'utilisation de ces appareils pendant des activités quotidiennes de la vie réelle. Les résultats permettent de mieux comprendre le comportement et les préférences des utilisateurs, pouvant être exploités simultanément pour la collecte de données biométriques.

Planification de la collecte de données.

Des processus sous-jacents qui encadrent la mise en œuvre d'une application biométrique comportementale émerge une méthodologie que nous valorisons dans cette contribution. Cette contribution est une proposition méthodologique de plan et de tests pour la collecte de données. Elle vise un protocole basé sur un équilibre entre les besoins utilisateurs, industriels et des recommandations pratiques. Ce protocole met en œuvre des étapes, des scénarios applicables dans un contexte de vie réelle. Nous considérons l'exploitation de plusieurs capteurs sur un téléphone intelligent dont l'accéléromètre et le gyroscope pour obtenir des données comportementales. Cette approche multimodale permet de collecter une pluralité des comportements utilisateurs pendant diverses activités. Le cadre d'usabilité pour ces applications implique la mise en place des modèles d'usabilité des tâches pour une collecte de données sur plusieurs jours, des modèles d'usabilité des patrons qui sont des fonctionnalités et enfin des modèles d'usabilité d'interactions qui permettront de créer des points de communications efficaces et fluides entre l'application et l'utilisateur. La Figure 0.2 présente l'ensemble des éléments intégrés à la portée de ces travaux.

Plan du mémoire

Cette étude s'articule en 3 chapitres. Le chapitre 1 présente notre cadre théorique disposé dans une revue de la littérature sur les grandes notions de notre sujet notamment la sécurité en général,

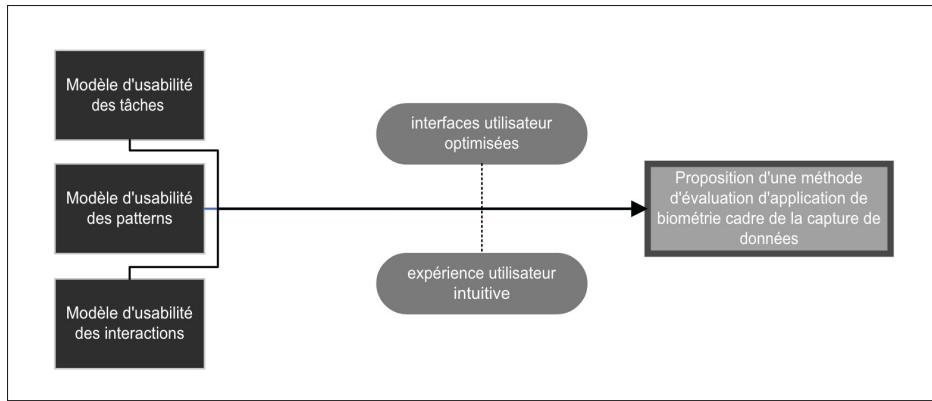


Figure 0.2 Les composants intégrés dans le cadre de cette étude

la sécurité des téléphones intelligents, la sécurité utilisable et le fonctionnement des capteurs, ainsi que l'importance du positionnement du téléphone. Le développement de ces concepts nous amène au chapitre suivant qui constitue les contributions à cette étude. Le chapitre 2 présente le sondage sur les positions habituelles, il détaille les motivations de mise en œuvre de celui-ci ainsi que ses résultats. Ce chapitre met en lumière la méthodologie et les objectifs poursuivis par le sondage ainsi que les résultats qui en découlent. Par la suite suivra la deuxième contribution qui s'étend au chapitre 3. Il présente l'étude qui encadre la collecte de données. Dans ce chapitre, il est présenté les différentes étapes de planification ainsi que les détails du protocole.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTERATURE

Les conjectures actuelles suggèrent une relation étroite entre les individus et leurs téléphones intelligents. Ces équipements qui occupent désormais une place importante dans la vie de tous, offrent la possibilité de contrôler les communications, de stocker et partager des informations. Les téléphones intelligents ont notamment un accès privilégié aux informations confidentielles incluant des données bancaires, des informations personnelles et des communications privées. Les mesures de sécurité traditionnelles telles que les mots de passe et les codes NIP devenant insuffisantes pour éradiquer les nouvelles vulnérabilités qui émanent du niveau d'accessibilité croissant de ces données, il est nécessaire de se pencher vers des mécanismes plus avancés dont la biométrie comportementale. L'essor des applications de biométrie comportementale est justifié par le fait qu'elles utilisent des comportements humains uniques tels que la dynamique de frappe au clavier, le mouvement de marche et d'autres signes comportementaux pour l'authentification. Des travaux de recherche de Meng, Wong, Furnell & Zhou (2015); Dargan & Kumar (2020) mettent par exemple en lumière l'utilisation des signes particuliers, comme la voix et la signature dans la catégorie des systèmes de biométrie comportementale. Les enjeux rapportés par l'utilisation des applications de biométrie comportementale sont pour la plupart liés à leur usabilité et accessibilité (Deane, Barrelle, Henderson & Mahar, 1995; Pons & Polak, 2008). De l'usabilité émerge des caractéristiques qui créent une harmonie parfaite dans l'interaction entre l'humain et la machine. L'acceptabilité, quant à elle est l'unité de mesure de l'adhésion des utilisateurs. Elle regroupe les caractéristiques inhérentes qui permettent aux utilisateurs d'adopter, d'utiliser une application de façon régulière. L'atteinte des objectifs d'usabilité et d'acceptabilité repose sur l'Interaction Humain-Machine (IHM). L'IHM est le socle des processus de conception d'applications efficientes, efficaces et de qualité. Ces éléments appartiennent aux domaines des interfaces utilisateurs et de l'expérience utilisateur dans leur globalité. Dès la conception des applications de biométrie comportementale, il est donc nécessaire d'aligner les exigences fonctionnelles à l'usabilité. Cet alignement permet de créer un parcours utilisateur efficace qui répond également au besoin fonctionnel de l'application. L'observation de certains systèmes a révélé que même s'ils fonctionnent très bien, leur usabilité peut être compromise s'ils ne

prennent pas en compte les exigences spécifiques liées à la satisfaction, la perception de l'utilité, la facilité d'utilisation et la compatibilité avec les besoins des utilisateurs. Dans ce chapitre, nous aborderons la sécurité en général en parcourant les objectifs et les notions essentielles de sécurité pour les téléphones intelligents. Tout comme les applications ordinaires, les applications de sécurité doivent maintenir des caractéristiques et critères d'usabilité appropriés. Ceci est d'autant plus difficile au vu des fonctionnalités généralement plus complexes de ces applications. Ce défi nous conduit à la deuxième partie de ce chapitre, où nous développerons les concepts de la sécurité utilisable, en passant par la conception d'interface et l'expérience utilisateur. Par la suite, nous approfondirons les spécificités de nos travaux, notamment en présentant le fonctionnement des capteurs intégrés dans les appareils intelligents, les algorithmes utilisés, la reconnaissance d'activité en détail. Nous analysons les éléments relatifs au positionnement du téléphone lorsqu'ils sont utilisés pour la reconnaissance d'activité. Pour terminer, nous aborderons les défis d'usabilité, enjeux majeurs de l'appropriation des applications biométriques comportementales. L'exploration de ces défis nous permet de formuler des contributions qui ressortent de ces travaux de recherche.

1.1 La sécurité en général

La mise en œuvre des techniques de protection des biens et services est un concept important pour la sécurité des systèmes d'informations. Au vu des nouvelles vulnérabilités émergentes, il est nécessaire de penser à des techniques de protection plus avancées. « La sécurité n'est ni une utopie ni un échec, sans être un succès non plus, elle est un sujet continu qui joue son rôle dans la société en progressant et s'adaptant » (Bloch *et al.*, 2016). Garantir la sécurité des équipements et systèmes est donc un besoin permanent. La sécurité informatique est l'ensemble des mécanismes techniques, organisationnels et humains mis en œuvre pour protéger un système d'information. Elle vise à atteindre les objectifs suivants :

- La disponibilité : permet de garantir l'accèsibilité des ressources dans le temps et moment opportun.

- La confidentialité : permet de garantir que seules les personnes qui possèdent les autorisations nécessaires ont accès aux ressources.
- L'intégrité : s'applique aux données transmises et permet de garantir que la donnée à laquelle l'utilisateur légitime a accès est correcte et intègre, et qu'elle n'a pas subi de dégradation pendant le transit.

Les principes de bases associés à ces objectifs sont :

- La non-répudiation : est le cadre de la sécurité informatique qui permet de retracer le contenu ou les identifiants de tout individu qui a émis une communication par voie électronique. Aucun individu ne peut alors nier ce qu'il a transmis.
- L'authentification : est le processus qui consiste à confirmer l'identité d'un individu. Cette validation lui donne les autorisations nécessaires afin d'accéder aux ressources. Une personne qui accède à une ressource privée doit être identifiée et authentifiée. « Authentication acts as the first line of defense verifying the identity of a user, process, or device, often as a prerequisite to permit access to resources in an information system » (Papaioannou *et al.*, 2023). L'authentification permet donc de valider toutes les informations qui ont été fournies lors de l'identification. Il faut noter que, l'identification est le processus qui consiste à collecter les informations liées à l'identité d'un individu. Un individu donné peut se faire identifier à travers ses caractéristiques physiologiques et ou comportementales. Ces caractéristiques sont de natures uniques et identiques. Une personne identifiée peut accéder aux ressources dont elle a besoin si elle possède les droits nécessaires. Les mécanismes d'authentification servent à valider les identifiants et confirmer les accès. Il existe deux catégories de systèmes d'authentification : les mécanismes ponctuels et les systèmes d'authentification en continue. Dans la plupart des cas, l'authentification continue est basée sur des caractéristiques comportementales. Ainsi, L'identification répond donc à la question « qui suis-je ? » (Critère d'identification propres à la personne) et l'authentification à la question « suis-je vraiment la personne que je prétends être ? ».

- Le chiffrement : est une technique visant à sécuriser des informations en utilisant des clés secrètes. Il rend les informations illisibles pour ceux qui n'ont pas la clé de déchiffrement. Plusieurs clés peuvent être utilisées afin de gérer l'accès à l'information.

La mise en œuvre des objectifs et des principes de base de la sécurité se fait à plusieurs niveaux. Les infrastructures systèmes, réseaux, les logiciels, la conception, le design. Tous ces domaines sont concernés. Plus encore, La sécurité informatique est particulièrement pertinente sur les téléphones intelligents car ces équipements faisant partie de notre quotidien sont continuellement exposés à des menaces diverses (hameçonnage, applications malveillantes, etc.)

1.2 La sécurité pour les téléphones intelligents

La sécurité des téléphones intelligents fait l'objet de beaucoup plus d'attention en raison de son utilisation étendue et de sa portée. En 2018, 88,1% de la population canadienne utilisait un téléphone intelligent (Statistique Canada). L'utilisation personnelle d'un téléphone intelligent implique la manipulation, l'exploitation et la sauvegarde de données sensibles, par exemple l'ouverture d'une application en banque ou l'envoi d'un courriel. Dans l'optique de sécuriser les données des téléphones intelligents, les constructeurs des appareils ont mis en œuvre des mécanismes d'identification et d'authentification permettant d'atteindre les objectifs de sécurité. On va donc distinguer trois types de méthodes d'authentification sur les téléphones intelligents : la méthode basée sur la connaissance, la méthode basée sur ce que tu possèdes et les méthodes biométriques (Alzubaidi & Kalita, 2016). La Figure 1.1 présente l'arborescence de méthodes d'authentification sur les téléphones intelligents :

- La méthode « basée sur la connaissance » : elle repose sur des informations uniques que l'utilisateur connaît. Ces informations sont donc utilisées comme preuve de son identité. Les mots de passes, les codes PIN ou l'utilisation d'un schéma géométrique sont des exemples pratiques de cette méthode.

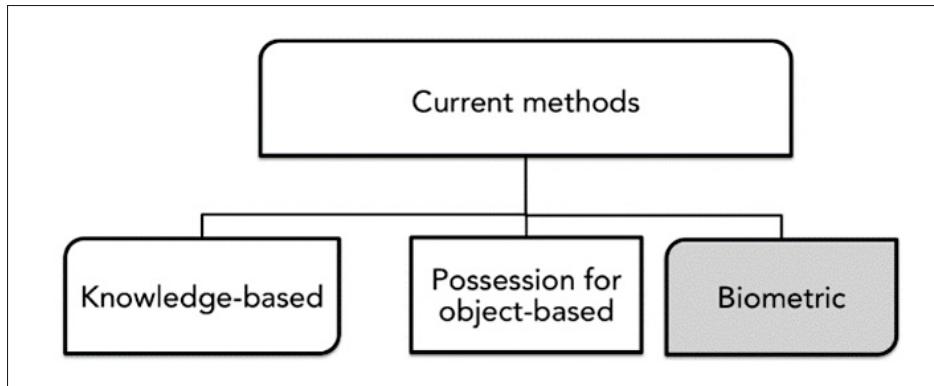


Figure 1.1 Les stratégies d’authentification entre les utilisateurs et les téléphones
Tirée de Alzubaidi & Kalita (2016)

- La méthode « basée sur ce que tu possèdes » : elle fait intervenir une entité complémentaire pour l’authentification. Il s’agit d’un objet physique, cela peut être une carte d’identité ou un jeton de sécurité envoyé à un autre équipement.
- La méthode biométrique : l’implémentation de cette méthode implique l’utilisation des caractéristiques physiques ou comportementales. Telle qu’illustrée dans la Figure 1.2, la biométrie physique exploite les critères physiques (empreintes digitales, iris, visage, etc.). La biométrie comportementale a besoin des entrées de données liées au comportement. Il s’agit par exemple de la façon de taper sur le clavier, la démarche, la voix, etc.

Le résumé des approches de la biométrie est présenté ci-dessous (Alzubaidi & Kalita, 2016). Les systèmes d’authentification modernes peuvent combiner une multitude de méthodes d’authentification. Les utilisateurs ont la possibilité d’ajouter ou de supprimer une méthode d’authentification. Le fonctionnement de ces méthodes est clairement vérifié et présente un niveau d’efficacité considérable, mais leur niveau d’usabilité est limité. La cause principale de ces limitations peut être dû à la quantité de données nécessaires pour faire fonctionner les systèmes d’authentification comportementale. Les méthodes d’authentification très sécurisées, telles que la reconnaissance par la démarche (façon de marcher) ou la saisie au clavier, peuvent être moins conviviales (Toledano, Fernandez Pozo, Hernandez Trapote & Hernandez Gomez,

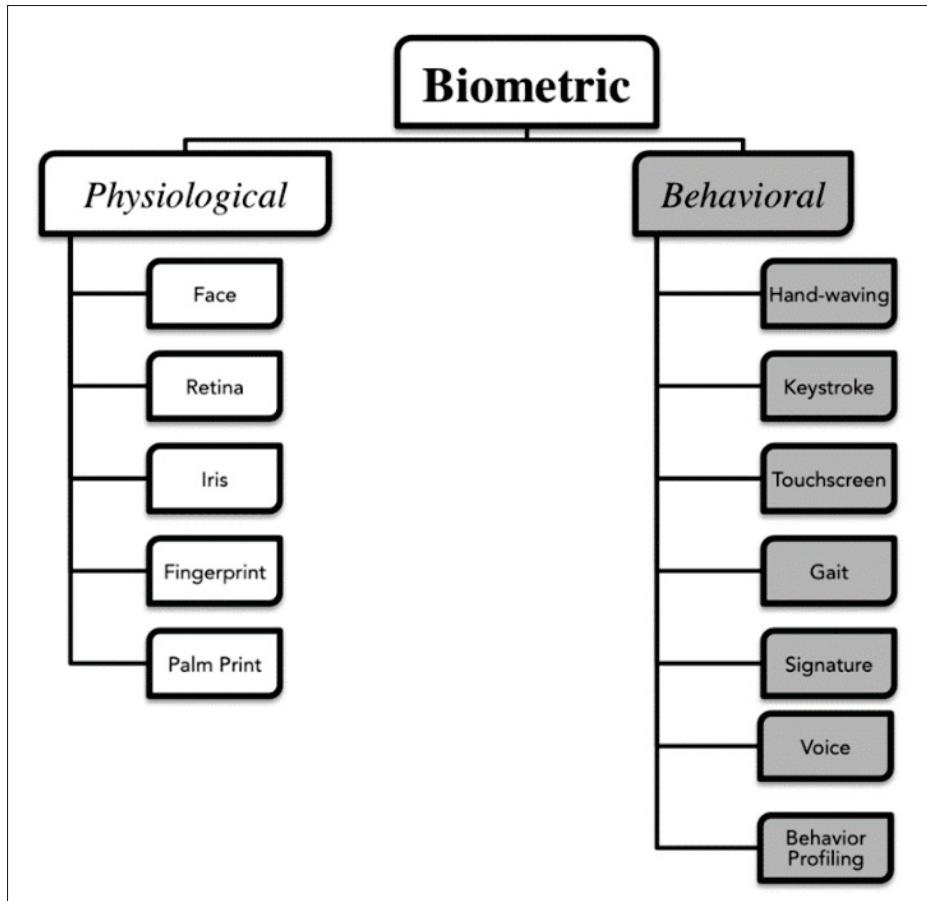


Figure 1.2 Les approches de la biométrie

Tirée de Alzubaidi & Kalita (2016)

2006). Un utilisateur devra par exemple marcher plusieurs minutes avec son téléphone dans une position précise pour se faire authentifier. Il devra également saisir plusieurs fois un ou plusieurs mots de passe afin que le système valide son identité. Il est donc nécessaire de s'intéresser à l'usabilité des applications de biométrie comportementale.

1.3 La sécurité utilisable

1.3.1 Usabilité des applications de sécurité

L'usabilité a été vulgarisée ces 10 dernières années. L'organisme ISO le définit comme étant « degree to which a user is satisfied with their perceived achievement of pragmatic goals, including the results of use and the consequences of use (ISO/IEC 25010 :2023) ». Zeman, Tanuska & Kebisek (2009) la définissent comme étant « la capacité d'un logiciel à être compris, appris, utilisé et attrayant pour l'utilisateur qui l'utilise dans des conditions spécifiques ». L'usabilité est donc l'unité de mesure de la satisfaction, de la convivialité de l'utilisateur lorsqu'il réalise des tâches spécifiques permettant d'atteindre des objectifs fonctionnels. D'après Bevan & Macleod (1994), l'usabilité d'un système peut être perçue de plusieurs manières en fonction des individus. D'autres travaux (Bevan, 1995) mettent en lumière des points importants à considérer pour une définition complète de l'usabilité à savoir : « Product oriented view » : cette caractéristique se concentre sur les paramètres ergonomiques de l'application. L'interface de l'application ou de l'objet doit permettre à l'utilisateur de réaliser la tâche en toute aisance.

- « User oriented view » : l'usabilité est mesurée à partir de l'effort nécessaire pour réaliser la tâche. Les interfaces devront donc être conçues pour permettre aux utilisateurs de réaliser la tâche avec un minimum d'effort physique et ou mental.
- « performance view » : assure l'interaction entre l'application et l'utilisateur. La rétroaction, les messages d'erreur sont des outils qui permettent d'optimiser la performance.

En résumé, les éléments associés à la définition de l'usabilité sont : la performance, l'effort mental et physique, l'attitude, les paramètres de l'interface, les caractéristiques de la tâche et l'environnement. Une application doit donc intégrer ces paramètres dès le début de la conception. La sécurité est utilisable lorsqu'elle permet non seulement d'atteindre les objectifs de sécurité informatique mais aussi lorsqu'elle garantit à l'utilisateur une expérience usuelle. En effet, dans ce contexte, l'expérience utilisateur globale peut également se référer à l'usabilité de la méthode ou approche d'authentification. Un autre facteur important est l'acceptation des utilisateurs. La sécurité et l'usabilité se rencontrent lorsqu'il est question de concevoir une application

d'identification et d'authentification. Concernant les applications de biométrie comportementale, si par exemple, les utilisateurs doivent parcourir des kilomètres pour déverrouiller leurs téléphones, cela peut réduire l'usabilité de la méthode. Le risque de rejet est encore plus élevé. Dans ce contexte intervient la convergence. La convergence est le point de conciliation entre l'usabilité et la sécurité. Le grand défi est de trouver un équilibre entre les besoins des utilisateurs et les besoins fonctionnels de l'application. L'approche de conception choisie doit être centrée sur ces deux types de besoins. Les utilisateurs cherchent à sécuriser leurs données sensibles à travers une application utilisant une méthode de sécurité spécifique. Cette application devrait leur permettre d'exécuter des actions en toute simplicité. La saisie des mots de passe, l'identification d'un visage en une fois et la capture de l'empreinte digitale sont envisagées dans un contexte d'utilisation plus convivial et intuitif. Les techniques développées en biométrie comportementale quant à elles sont robustes et nécessitent plus d'informations.

1.3.2 Usabilité des tâches et des patrons de conception

Les systèmes de biométrique comportementale imposent des exigences de conception et d'utilisation précises. Il est nécessaire de collecter des données à travers un ou plusieurs processus, par exemple tenir le téléphone dans une position donnée pendant une activité physique (marche, course, etc.) ou interagir avec un écran tactile pendant un jeu. Dans la pratique, la mise en œuvre de ces processus peut être très fastidieux pour l'utilisateur. En comparaison aux applications biométriques traditionnelles, il a été démontré que les applications de biométrie comportementale sont perçues comme moins acceptables et utilisables (Deane *et al.*, 1995). Ceci représente donc un grand défi pour l'utilisation et l'appropriation de celles-ci. Un questionnement est soulevé afin d'explorer les stratégies visant à rendre ces applications utilisables comme les systèmes d'authentification par mot de passe. Une première idée de réponses a été soulevée par Deane *et al.* (1995) qui maintient que l'acceptabilité des différentes méthodes biométriques augmente avec la sensibilité des informations traitées. Par ailleurs, le confort et les habitudes d'utilisation sont des facteurs qui contribuent fortement aux choix et préférences des systèmes traditionnels. Dans l'arborescence de l'usabilité, il est essentiel de remonter à la racine et

d'assurer que la tâche à réaliser par l'utilisateur possèdent les caractéristiques d'usabilité nécessaires . La littérature identifie les caractéristiques d'usabilité suivantes pour une tâche (Sousa & Furtado, 2005) :

- Routinière : la tâche doit facilement s'intégrer dans la routine téléphonique de l'utilisateur. Elle doit être minimaliste et prendre en compte les contraintes environnementales, par exemple une collecte de données uniquement pendant les moments de pratique d'exercice physique.
- Simple : l'exécution de la tâche ne nécessite aucun effort mental ou physique. La collecte de données dans ce cas doit minimiser les efforts prévus. En pratique par exemple, au lieu de planifier une activité de marche pendant 30 min, on pourrait la répartir dans la journée en 6 séances de marche de 5 min.
- Automatisation : il a été démontré qu'au fil du temps et de l'exécution, une tâche pourrait devenir un automatisme. La raison principale est que la tâche nécessite moins ou presque pas de charge mentale et par conséquent s'intègre à la façon de faire de l'utilisateur.
- Durée : un utilisateur moyen passera environ 3h de temps par jour sur son téléphone intelligent (Statistique Canada). Ces heures sont réparties en fonction des applications utilisées. On dénombre 1h30 sur les applications de jeu, suivi des applications de fitness et de sport qui occupent la quatrième place dans le classement des applications chronophages avec 14 minutes par jour. Concernant les applications de sécurité, on mesure environ 1 seconde pour la reconnaissance faciale ou empreinte digitale et 3 à 5 secondes pour le Code PIN ou mot de passe. Une durée acceptable détermine un cadre d'usabilité efficace.

L'acceptabilité et l'usabilité des technologies ont été étudiées ces dernières années. Ces études basées sur des approches diversifiées ont établi des concepts permettant de mieux comprendre les facteurs influençant les intentions, les décisions et la satisfaction des utilisateurs impliqués dans la manipulation des TI. Le modèle d'acceptation de la technologie traduit en anglais TAM pour désigner « Technology Acceptance Model » a été développé par Davis, Bagozzi & Warshaw (1989). Ce modèle présente des concepts prédominants d'influence d'une application informatique à savoir : La facilité d'utilisation perçue, l'intention comportementale et l'utilité perçue. Ce

modèle a fait l'objet de tests de validation dans les travaux de Atarodi, Berardi & Toniolo (2019) et de multiples variantes dans les travaux de Naaz *et al.* (2022). À propos des applications biométriques, Kwang, Yap, Sim & Ramnath (2009) et Turgeman & Zelazny (2017) ont découvert que leur potentiel de vulgarisation demeure exploitable à condition qu'elles restent moins intrusives tout en respectant la confidentialité des données des utilisateurs. Ils relèvent également que l'intégration de ces applications améliore l'efficacité des systèmes lorsque les préoccupations liées à l'usabilité et à la transparence sont résolues. Par ailleurs, ils soulignent l'importance de l'acceptabilité sociale comme mobile pour assurer une adoption large. Ces recommandations posent les bases des réflexions sur les méthodes de résolution des défis d'usabilité. Ces réflexions qui guident, motivent la mise en œuvre de ces travaux de recherche constituent le socle de la conception et du développement d'une application d'authentification biométrique dans sa globalité.

1.3.3 Usabilité des interfaces utilisateur

Une application fonctionnelle est inutile pour un utilisateur donné si elle est trop compliquée à utiliser. Un ensemble d'éléments contribuent à la facilité d'utilisation d'une application dont son interface utilisateur. D'après Shneiderman *et al.* (2016), le UI est un ensemble des éléments graphiques et interactifs qui interagissent avec les utilisateurs afin de contrôler et utiliser une application ou système. Elle inclut des visuels qui facilitent l'interaction entre l'utilisateur et l'application. Lorsqu'elle est bien conçue, elle améliore non seulement l'expérience utilisateur, mais aussi l'efficacité et l'accessibilité du système. Pour une application, le UI fait généralement référence aux composantes graphiques qui accompagnent le flux des composantes fonctionnelles. L'usabilité des interfaces utilisateurs spécifiques à une application biométrique comportementale doit intégrer les exigences suivantes (Baig & Eskeland, 2021; Ellavarason, Guest, Deravi, Sanchez-Riello & Corsetti, 2020) :

- Le design : Une bonne disposition des visuels, une utilisation efficace des composantes visuelles. Il est essentiel de considérer une utilisation minimalistre des couleurs et animations.

Dans ce contexte prévoir par exemple des indications visuelles d'avancement lorsque l'utilisateur débute une activité.

- Navigation : L'utilisateur doit être à mesure de comprendre rapidement les fonctionnalités de l'application, son utilisation et les tâches associées. Un UI est épuré lorsqu'il intègre des informations essentielles qui fournissent un retour d'information avant, pendant et après le parcours de collecte des données. Par exemple, ajouter des icônes qui indiquent le nombre de minutes restantes ou des informations claires sur la gestion des accès et la confidentialité des données biométriques.
- Cohérence : Cet élément est important lorsque plusieurs mécanismes d'authentification sont mis en œuvre. À ce niveau, il est important de créer des interfaces qui s'intègrent les unes aux autres, tout en facilitant la création d'une expérience homogène réduisant la courbe d'apprentissage.
- Adaptabilité : Cet élément fait référence à l'intégration des outils nécessaires pour la gestion des erreurs. L'interface doit prévoir des plans de relais lorsqu'une erreur survient. L'utilisateur doit pouvoir basculer vers une autre méthode d'authentification et les systèmes doivent donc pouvoir communiquer

Une navigation simple, la cohérence et, l'adaptabilité sont des paramètres capitaux pour la conception des interfaces qui non seulement améliorent l'expérience utilisateur, mais aussi renforcent la fiabilité du système d'authentification.

1.3.4 L'expérience utilisateur

L'interaction d'un utilisateur avec une application quelconque est une relation qui nécessite d'être cadrée suivant plusieurs plans. L'objectif n'est pas d'imposer un code de conduite ou une façon de faire mais plutôt de démontrer au fil de la navigation que l'application est faite sur mesure selon les besoins et les exigences de l'usabilité. Le concept d'expérience utilisateur dans sa globalité peut être défini comme étant : « A consequence of a user's internal state (predispositions, expectations, needs, motivation, mood, etc.), the characteristics of the designed system (e.g. complexity, purpose, usability, functionality, etc.) and the context (or the environment) within

which the interaction occurs (e.g. organisational/social setting, meaningfulness of the activity, voluntariness of use, etc.) » (Hassenzahl & Tractinsky, 2006). Cette définition met en lumière les notions d'état, d'émotions et d'humeurs. L'expérience utilisateur est tout un ensemble de facteurs qui impactent le parcours de l'utilisateur lors de son interaction avec une application. Le fonctionnement d'une application de biométrie comportementale impose d'intégrer des capteurs dans la vie des utilisateurs. Des collectes de données sont nécessaires afin de déterminer comment ils exécutent des actions pendant un temps donné. Ceci peut rapidement devenir intrusif. Reddy *et al.* (2010) préconisent trois exigences permettant de garantir le confort des utilisateurs pendant ces processus. D'après ces auteurs, l'expérience utilisateur doit être :

- Facile à déployer : le parcours utilisateur doit prévoir un ensemble d'interfaces facilitant l'interaction entre l'utilisateur et l'application. Ces éléments non fonctionnels sont généralement prévus dès le début de la conception. Une liste d'instructions détaillée, des composants d'interface utilisateur disposés d'une manière intuitive et le retour d'informations sont quelques d'outils facilitant le déploiement.
- Facile à utiliser : cette exigence fait référence à l'usabilité, notamment à travers l'utilisation des patrons de conception simples et efficaces. Le UI et le UX de l'application combinent à la fois la clarté, la simplicité et l'accessibilité.
- Non intrusive : Il est nécessaire que les applications soient non intrusives pour éviter de perturber le quotidien des utilisateurs. Dans un cadre d'identification continue, cela peut sembler difficile à atteindre au vu de la manière dont les données sont capturées. Les multiples capteurs sont activés en tout temps permettant l'envoi des données pour authentification de l'utilisateur à un moment donné (déverrouillage d'un appareil, démarrage d'un véhicule, etc.). Ce processus doit se réaliser dans un temps raisonnable tout en veillant à ce que les systèmes restent transparents. Il est nécessaire de respecter la confidentialité des utilisateurs.

1.4 Les capteurs intégrés et les algorithmes de reconnaissance d'activité

Dans plusieurs contextes, le positionnement du téléphone est un élément essentiel pour la reconnaissance d'activité. Une position idéale affecte directement la précision et la qualité des

données capturées par les capteurs intégrés dans les téléphones intelligents. Ces données sont utilisées en entrée par des algorithmes pour classifier diverses activités physiques. Associé à ce flux où transitent positions, données des capteurs et algorithmes de reconnaissance, il est important de comprendre comment chaque composante fonctionne de manière indépendante afin d'examiner leur interaction avec les autres.

1.4.1 Les capteurs intégrés

Aujourd’hui, les équipements intelligents (téléphones, montres) sont dotés de capteurs intégrés. Ces capteurs sont des matériaux miniatures installés sur la carte mère des téléphones. Leurs fonctionnalités sont diversifiées et il est possible d’en exploiter plusieurs en fonction du domaine d’application. Khan, Xiang, Aalsalem & Arshad (2013) a illustré 7 domaines d’application des fonctionnalités des capteurs de téléphones mobiles : la santé, le commerce, l’interaction sociale, la surveillance de l’environnement, la surveillance du comportement humain, le monitoring du trafic routier, et les besoins spécifiques de certaines applications. Dans un cadre social, des capteurs peuvent être par exemple utilisés pour trouver des amis près d’un utilisateur. Ils peuvent aussi aider à monitorer le comportement humain dans un contexte d’identification continue et d’authentification. Les capteurs suivants sont les plus utilisés :

- L’accéléromètre : monté sur une carte mère située près de l’émetteur Bluetooth, l’accéléromètre mesure les accélérations linéaires que subit un appareil mobile. Sur une fréquence d’échantillonnage de 50 Hz, cette accélération provient généralement de la gravité, de l’orientation, de la vitesse de l’appareil. Son fonctionnement est impulsé par les forces exercées sur l’objet lorsque le mouvement ou l’orientation se produit. L’accéléromètre est largement déployé dans les téléphones intelligents où il est utilisé comme podomètre servant également à détecter l’orientation du téléphone et bien d’autres applications. En industrie, l’accéléromètre est utilisé pour monitorer l’orientation des équipements Il existe des techniques permettant de collecter et de stocker les données de l’accéléromètre. Ravi & Mankame (2013) ont utilisé des données d’accéléromètre pour recueillir et classifier des statistiques provenant de 8 types d’activités, notamment la marche, la course, la montée/descente d’escaliers, la position assise,

le passage de l'aspirateur et le brossage de dents. Les auteurs ont également procédé à des actions préliminaires afin d'éliminer le bruit. Les données de l'accéléromètre sont utilisées dans différents contextes, et elles peuvent être exploitées pour des algorithmes d'IA.

- Le gyroscope : son rôle principal est de mesurer l'orientation et la fréquence de rotation d'un appareil. Le gyroscope fonctionne comme un disque qui tourne autour d'un axe tout en remontant automatiquement comme un rotor. Lorsque l'objet est mouvement, les forces communicantes déclenchent celles du rotor également. L'ensemble des mouvements trouvent leurs valeurs dans un repère X, Y et Z. Les forces gyroscopiques stimulent le rotor qui à son tour se met en mouvement et tend à résister aux changements de direction, ce qui crée un mécanisme de forces mesurables et quantifiables. Le gyroscope est utilisé dans diverses applications. Il aide à mesurer la navigation électronique, la position et le mouvement. Il existe plusieurs types de gyroscopes et la préférence est déterminée selon le type d'applications. Les données provenant des gyroscopes sont importantes dans la mesure et le contrôle de l'orientation des mouvements angulaires. En aéronautique, il permet de détecter l'orientation des objets célestes. Il sert à mesurer la vitesse de rotation de l'appareil sur chacun des trois axes spatiaux du téléphone, fournissant ainsi des données qui peuvent être interprétées pour reconnaître différentes activités physiques.
- Magnétomètre : est un dispositif qui permet d'estimer les forces des champs magnétiques. Sur les téléphones intelligents, c'est un système intégré qui utilise l'effet hall. Cet effet se produit lorsqu'un courant électrique traverse un fil placé dans un champ magnétique perpendiculaire au courant. Cet équipement est utilisé dans les domaines tels que l'aérospatiale pour détecter les champs magnétiques des éléments célestes, les mines pour localiser les minéraux et la médecine pour détecter les noyaux atomiques à travers leur fréquence de résonance sous un champ magnétique. Lorsqu'un courant traverse un matériau conducteur en présence d'un champ magnétique perpendiculaire, une tension transverse est générée, proportionnelle à la force du champ magnétique permettant de mesurer l'intensité du champ afin de détecter l'influence d'un champ magnétique autour des matériaux.

La liste des capteurs présentée ci-dessus est non exhaustive. Il existe également des capteurs de lumière et des capteurs de proximité qui permettent de mesurer divers types d'activités. Leurs fonctionnalités sont utiles pour d'autres applications. Les fonctionnalités de certains capteurs sont pleinement utilisées lorsqu'ils utilisent une connexion Wi-Fi, un appareil photo ou un microphone qui facilitent l'acquisition du contexte. La reconnaissance contextuelle basée sur des capteurs récupère les données de position de l'appareil par rapport à des éléments de son environnement, par exemple une montre connectée. Les algorithmes précis permettent à leur tour de reconnaître la position des deux équipements et ainsi reconnaître le type d'activités qui est exécuté par un utilisateur.

Pour l'identification continue en particulier, des travaux de recherche Aviv, Sapp, Blaze & Smith (2012); Singh, Juneja & Kapoor (2013) ont démontré des résultats satisfaisants faisant intervenir des données provenant de l'accéléromètre, du gyroscope et du magnétomètre. Dans ces travaux, des représentations d'ondes ont été observées afin de déterminer la position du téléphone et les activités exécutées même pour une activité identique. La plupart des projets utilisent les données provenant de ces trois capteurs. Cela se justifie par le besoin en données des algorithmes de reconnaissance d'activité, mais aussi pour construire des modèles d'IA représentatifs basés sur des caractéristiques variées (taille, poids, genre) que l'on peut regrouper dans des catégories spécifiques. Ces catégories créent des modèles précis et personnalisés qui sont capables de prendre en compte les variations individuelles dans les comportements et les mouvements. Ainsi, le positionnement du téléphone et les données de capteurs sont utilisés pour affiner ces modèles tout en améliorant la précision de la détection des activités et la pertinence des résultats pour chaque utilisateur.

Les trois capteurs activés semblent fournir des données efficaces et représentatives. Cependant la consommation d'énergie devient un enjeu important selon Murmuria, Stavrou, Barbará & Fleck (2015). En effet, dans leurs travaux, ils ont examiné la consommation d'énergie du téléphone pendant que les capteurs envoyait des données en temps réel, mais aussi lorsque l'utilisateur utilisait son téléphone de façon normale. Les résultats de leurs travaux démontrent que lorsque les capteurs sont activés en continu et que la puissance de la batterie est simulée (utilisation

d'une application consommatrice d'énergie), il y a une consommation d'énergie plus élevée que la normale sur le téléphone. Cette consommation peut affecter l'autonomie de la batterie. Ceci constitue un obstacle pour les applications de biométrie comportementale qui doivent écouter en permanence les capteurs. Cependant la méthode expérimentale de leurs travaux a enregistré de bonne performance avec un taux d'erreur entre 6,1 % et 6,9 % pour 59 participants.

1.4.2 Les données capturées

Des travaux scientifiques ont été engagés dans le but de valider l'usage des données issues des capteurs de téléphone. Cet intérêt se justifie d'une part par l'exploitation de ces données par des applications dans les domaines de la santé pour la conception des appareils de suivi de l'activité physique, des applications d'identification continue et d'autres applications de sécurité. Ces applications exploitent la capacité à surveiller de manière précise et en temps réel les mouvements et les comportements des utilisateurs pour développer des fonctionnalités innovantes et intuitives. Lorsque qu'un téléphone est tenu à la main, accroché autour du bras, porté sur le corps, dans une poche, il est capable de capturer des mouvements spécifiques associables à différentes activités physiques. Tout ceci est possible grâce aux capteurs. Les applications d'identification continue possèdent des fonctionnalités qui nécessitent une quantité considérable de données. Ces fonctionnalités sont basées sur des données d'identification, comportementales et uniques d'individus. Les expérimentations de Stylios, Kokolakis, Thanou & Chatzis (2021) mettent en lumière une liste de comportements pouvant faire l'objet d'une signature numérique à partir des données quantifiables :

- La biodynamique de frappe au clavier : généralement appelée dynamique de la frappe au clavier, elle est définie comme étant une procédure d'enregistrement des habitudes de saisies au clavier d'un individu (Stylios, Skalkos, Kokolakis & Karyda, 2022). Les latences de frappe, la durée de frappe, l'emplacement des doigts et la pression exercée sur les touches sont utilisés pour construire une signature unique. Cette utilisation avait été soutenue par Crawford (2010) qui décrivait que la vitesse de frappe est l'un des facteurs neurophysiologiques qui rendent les signatures de sécurité unique. Cette dynamique est également présente dans

les habitudes de chaque utilisateur. Des capteurs sont utilisés pour enregistrer des données relatives à la dynamique de frappe dans le cas des applications d'identification continue. Pour un enregistrement qui dure le temps de saisie d'un mot ou d'une phrase "n" fois, on capture 3 types d'évènements. Le premier lorsque le doigt touche l'écran, le deuxième quand le doigt bouge sur l'écran et le troisième évènement lorsque le doigt s'enlève de l'écran. Pour chacun de ces trois évènements , le système capture la position X et Y du doigt sur l'écran, la pression du doigt, la taille de l'écart entre le doigt et l'écran, la durée des évènements.

- La démarche : les patterns liés à la manière de marcher ont longuement été étudiés. « Human gait is more than that : it is an idiosyncratic feature of a person that is determined by, among other things, an individual's weight, limb length, footwear, and posture combined with characteristic motion » (Lee & Grimson, 2002). Dans leur représentation de la démarche, le corps en mouvement a été découpé en plusieurs régions, de la première à la dernière, ils ont associé la région de la tête/épaule, l'avant du torse, arrière du torse, avant de la cuisse, arrière de la cuisse, mollet/pied avant, dos mollet/pied. Pendant la marche. Collins, Gross & Jianbo Shi (2002)ont utilisé une méthode basée sur le cycle de la marche où tous les mouvements sont filmés. Chaque cycle de marche est capturé par une caméra sophistiquée qui décrypte, segmente et analyse la trajectoire du mouvement et de la position du corps dans l'espace. À l'issu, une séquence de donnée quantifiable est générée. La chaîne de Markov continu est utilisée pour segmenter et attribuer des valeurs numériques aux mouvements (Pieczynski, Benboudjema & Lanchantin, 2003).
- Interaction avec un écran tactile : la navigation, l'écriture ainsi que les mouvements des doigts sur l'appareil peuvent être profilés. Il est important de différencier les interactions, en occurrence l'interaction visuelle qui désigne la mesure de la position des yeux de l'écran et de la navigation. Cette mesure est possible grâce à un capteur laser de navigation qui capte les mouvements de l'œil sur un écran et ajuste l'interface en fonction de ces paramètres. Ils sont généralement utilisés dans des technologies de suivi oculaire afin de permettre une interaction main libre avec les appareils dotés d'un écran tactile. L'interaction avec un écran tactile quant à elle fait intervenir la production des gestes tactiles qui seront mesurés et quantifiés par la suite. Il existe plusieurs catégories de gestes tactiles tels que des gestes de balayages vers la

droite, gauche, bas et haut, des glisser-déposer gauche vers la droite. Une implémentation dans un jeu permet de mieux appréhender les gestes de balayages vers des zones spécifiques et ainsi les quantifier. Pour une collecte de données biométriques comportementales en identification continu, il serait donc nécessaire d'utiliser une application secondaire pour recueillir ce type de données. Cela implique donc plus de tâches pour l'utilisateur. Stylios *et al.* (2021) ont examiné les méthodes possibles de collecte et d'extraction des données à travers les fonctionnalités d'un jeu.

D'autres types de données peuvent être collectées afin de conduire un processus d'octroi d'accès utilisant une méthode d'authentification complémentaire (code PIN, mot de passe) en cas d'urgence ou de dysfonctionnement de la méthode principale. Au fur et à mesure que le besoin en données augmente, les enjeux rencontrés par les utilisateurs s'accentuent rendant cependant non conviviale l'utilisation d'une application d'identification continue. L'objectif est donc de rendre la sécurité efficace et utilisable. Les données quantitatives collectées peuvent être combinées à d'autres dans le but de créer des modèles d'intelligence artificielle qui apprennent et analysent le comportement d'un utilisateur. L'apprentissage se déroule généralement sur une période définie, par exemple un utilisateur peut être amené à marcher pendant un certain temps avec son téléphone dans une ou plusieurs positions (téléphone en main, téléphone dans la poche du pantalon, etc.) ou à réaliser plusieurs saisies au clavier. Ces paramètres dépendent fortement de la qualité des algorithmes écrits et du niveau de robustesse que l'on voudrait octroyer à l'application d'identification continu. L'IA pourrait alors détecter des anomalies et valider l'identité de l'utilisateur de façon plus précise.

1.4.3 Les algorithmes de reconnaissance et de traitement

Les données issues des capteurs sont exploitées par des algorithmes de reconnaissance d'activité, qui analysent les formes et schémas des activités (marche, course, vélo). Ces algorithmes utilisent principalement des classificateurs comme Random Forest, K-NN (K- voisins). Ils classifient ces données en fonction des caractéristiques les plus proches dans leur espace environnemental. Des études ont montré que Random Forest donne les meilleurs résultats dans certains scénarios.

Les classificateurs utilisent des méthodes d'apprentissage profond et automatique pour la classification des données collectées. Par exemple, les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont couramment utilisés, toutefois quelques lacunes ont été identifiées (Song-Mi Lee, Sang Min Yoon & Heeryon Cho, 2017).

- La classification : c'est un mode utilisé par la majorité des algorithmes de reconnaissance d'activité. Elle fonctionne comme un nuage où chaque segment de données collectées est associé à une catégorie d'activité prédéfinie. Dans des expérimentations plus précises, les données liées à la taille, aux poids et utilisation de la main sont incluses dans la classification.
- L'apprentissage supervisé : la méthode Naïve Bayésienne est un algorithme d'apprentissage supervisé basé sur le théorème de Bayes. Les modèles d'apprentissage supervisé tels que les réseaux de neurones, les forêts aléatoires, et les machines à vecteurs de support sont fréquemment utilisés pour cette tâche.

Ces méthodes contribuent à la mise en œuvre des systèmes de reconnaissance d'activités applicable dans les domaines de la santé et de la biométrie comportementale. La Figure 1.3 est un résumé des processus de collecte, de traitement et d'utilisation des données des capteurs.

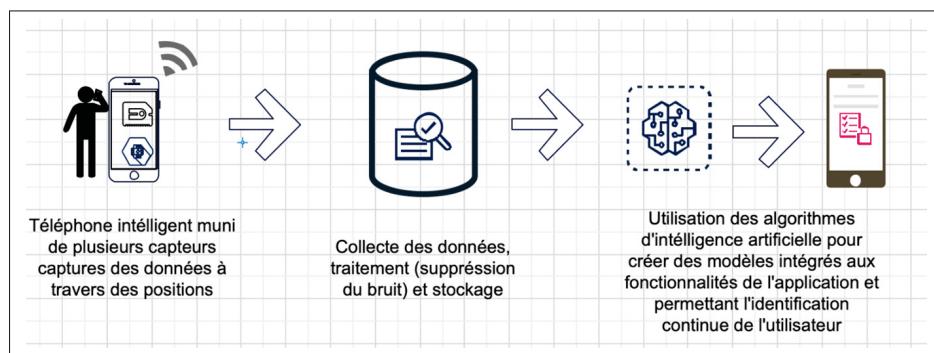


Figure 1.3 Architecture applicative - biométrie comportementale

1.5 La reconnaissance d'activité humaine (HAR) : les enjeux

La reconnaissance de l'activité humaine est un concept devenu populaire ces dernières années dans le domaine de la sécurité informatique. Elle met en valeur plusieurs technologies dont le but est de distinguer et de comprendre les activités et les comportements humains. Les données fournies par l'accéléromètre et le gyroscope sont les moteurs de fonctionnement de ces technologies. Généralement associées à des IA, les technologies de reconnaissance d'activités utilisent le principe que les mouvements du corps produisent chacun des signaux distincts identifiables (Suto & Oniga, 2018). Les contributions scientifiques dans le domaine de la reconnaissance d'activité et de sa mise en œuvre se sont basées sur des activités courantes. On retrouve :

- La marche et la course : ce type d'activités sont catégorisées comme habituelles, car elles sont généralement utilisées pour servir de modèle de base de test des algorithmes.
- Des activités physiques : faire du vélo, conduire une voiture, monter les marches. Elles sont utilisées en second plan afin de diversifier les données et d'améliorer la robustesse des modèles.

Le processus de reconnaissance d'activité fait également intervenir un positionnement du téléphone défini pour chaque activité. Par exemple : marcher avec le téléphone dans la main gauche ou monter des marches avec le téléphone dans la poche arrière du pantalon. Ce niveau d'exigence est nécessaire pour la classification.

1.5.1 Positionnement du téléphone

Les statistiques des capteurs recueillis d'une personne qui tient son téléphone dans la poche sont différentes lorsque celle-ci le tient dans la main. Il est important de garder l'appareil dans la position définie pendant la réalisation de l'activité. La construction efficace des patterns d'identification dépend fortement du positionnement du téléphone. Pendant la course et la marche également, les mouvements détectés sont différents (Yang *et al.*, 2013). Coskun, Incel & Ozgovde (2015) a expérimenté une collecte de données provenant de l'accéléromètre et du gyroscope

portés par des participants et dont l'objectif était de comprendre la reconnaissance des activités. Ces travaux ont été dirigés à travers un processus strict démontrant un niveau de précision de 85% de reconnaissance d'activité mais aussi de reconnaissance de position. Le random forest est l'algorithme utilisé par le classificateur. Les données fournies à celui-ci étaient analysées et traitées au préalable pour éliminer toute sorte de brouillon. Arase, Ren & Xie (2010) ont également exploré la reconnaissance d'activité en utilisant une méthode novatrice basée sur des séries temporelles de reconnaissance des mouvements associés à un individu. L'ensemble de ces travaux rejette donc l'hypothèse selon laquelle une personne qui tient son téléphone dans une position habituelle sera aussi facilement reconnaissable qu'une personne qui le tient dans une position inhabituelle.

1.5.2 Différenciation des activités similaires

La reconnaissance d'activité dépend fortement du positionnement du téléphone. Plusieurs chercheurs ont développé des algorithmes performants visant à décrypter les activités réalisées et la position du téléphone. Toutefois, la marge d'erreur possible entre les activités presque similaires reste observable. L'enjeu se trouve au niveau de l'apprehension avec une grande précision des activités presque similaires. Courir et marcher avec l'appareil dans la poche avant du pantalon peuvent produire des ondes de mouvements similaires. Il a été démontré que les ondes peuvent varier en fonction du genre, de l'âge, de la taille, du style vestimentaire, etc. La contextualisation et la labellisation des données fines peuvent être utilisées de façon complémentaire pour la différenciation.

1.5.3 Optimisation de l'expérience utilisateur

Un positionnement adéquat du téléphone améliore l'expérience utilisateur. Certaines positions fournissent des données précises et utilisables, tandis que d'autres nécessitent davantage de traitement. Lorsque les critères d'usabilité sont respectés, l'appropriation est garantie. La collecte des données en arrière-plan sans gêner l'utilisateur est préférable. L'utilisation de comportements habituels, comme le port du téléphone à l'arrière du pantalon, peut rendre l'expérience plus

intuitive. La manière dont le téléphone est porté influence la qualité et la précision des données.

Voici les positions de bases à considérer pour les applications de suivi d'activité physique.

- Position autour de la taille : un téléphone porté dans cette position capture de façon optimale les mouvements du haut et du bas du corps, car il est positionné au centre rotatif du corps. Le positionnement autour de la taille fournit des données plus précises pendant les activités de marche, montée des marches et course (Shoaib, Bosch, Incel, Scholten & Havinga, 2014).
- Poche du pantalon ou de la jupe : cette position est généralement identifiée comme étant la plus habituelle. Elle offre également une bonne précision des données capturées par l'accéléromètre et le gyroscope. Néanmoins, cette précision peut être affectée lorsque l'utilisateur réalise des mouvements complexes.
- Position autour du poignet ou brassard : cette position est idéale pour la capture des mouvements des bras pendant des activités de cyclisme ou d'autres exercices physiques. Anjum & Ilyas (2013) prouvent que les capteurs au poignet peuvent efficacement capturer les mouvements détaillés des bras pendant une activité de cyclisme.
- Main : cette position est observée lorsque les personnes effectuent des courts déplacements. Cette position fournit moins de données pertinentes également et n'est pas adaptée pour une collecte prolongée.(Kern & Schiele, 2003).

Le positionnement du téléphone présente des avantages en termes de qualité des données, de détection plus efficace. Il est tout autant nécessaire de penser au confort des utilisateurs, d'où la nécessité d'optimisation.

1.6 Les grands défis d'usabilité

Papaioannou *et al.* (2023) ont examiné à travers plusieurs axes les avantages et les limitations liées à l'utilisation des applications de biométrie comportementale. Comme le résume le schéma ci-dessous, la rentabilité, le niveau de sécurité, l'amélioration de l'usabilité et celle de l'identification continue sont les principaux avantages. Cependant, les limitations sont liées au fonctionnement (faux positif, faux négatif), à l'acceptation et à l'absence de standardisation.

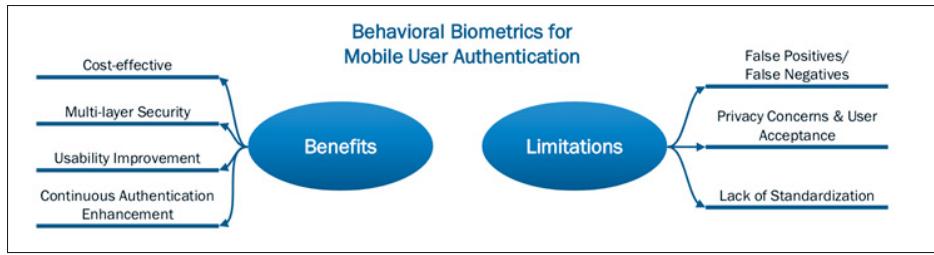


Figure 1.4 Avantages et limites de la biométrie comportementale
Tirée de Papaioannou *et al.* (2023)

Il peut sembler complexe de recenser l'ensemble des défis d'usabilité liés au système d'authentification par le comportement, néanmoins, il est nécessaire de mettre une lumière sur les plus importants dont voici quelques-uns :

1.6.1 Adaptation à la variabilité des comportements humains

Les comportements humains peuvent varier au fil du temps et cela dépend de plusieurs facteurs (Perfillon, 2019) :

- L'état émotionnel : c'est un facteur interne, il est inhérent à chaque individu. Il varie en fonction du contexte, des situations, des hormones, etc. La dynamique de frappe d'un individu peut être influencée par son état émotionnel. Par exemple : une personne joyeuse ne saisit pas de la même manière qu'une personne en colère.
- L'état physique : ce facteur regroupe l'état de santé en général, les conditions physiques en particulier. Des changements peuvent subvenir à n'importe quel moment de l'utilisation. Ces imprévus peuvent impacter radicalement le comportement, par exemple dans le cas d'un accident physique qui modifie la démarche.
- L'environnement est un facteur externe, il peut être à l'origine d'un changement de comportement. On peut citer : les conditions climatiques, un déménagement sont des éléments d'influence. La réactivité de chaque individu dépendra de son niveau de sensibilité.

Ces changements peuvent être difficiles à gérer en raison du temps pris pour la conception des nouveaux modèles d'authentification adaptés à la situation. Les algorithmes doivent donc être

capables d'apprendre continuellement et de mettre à jour les systèmes lorsque des changements majeurs surviennent.

1.6.2 Faux positifs/faux négatifs

Le but de l'authentification comportementale est de confirmer que les utilisateurs légitimes ont les droits nécessaires pour accéder aux ressources. Cependant, des cas d'utilisation font intervenir des faux positifs et des faux négatifs. Les utilisateurs s'authentifient grâce à leurs caractéristiques comportementales. Toutefois, la variabilité des comportements due aux facteurs cités dans la section 1.6.1 peut engendrer des erreurs. Un faux négatif est une erreur d'autorisation qui se produit lorsqu'un utilisateur légitime se voit refuser l'accès à une ressource. Ces utilisateurs sont donc identifiés comme étant des usurpateurs. De même, un faux positif est une erreur d'authentification qui survient lorsqu'un usurpateur accède à une ressource dont il n'a pas droit (Gamboa & Fred, 2004). Cet usurpateur est capable d'imiter avec succès le comportement de l'utilisateur légitime et ainsi tromper le système. Cette situation arrive généralement lorsque la méthode d'authentification présente des failles fonctionnelles, ce qui est inacceptable pour une application de sécurité. Une usabilité efficace doit inclure un plan de minimisation des faux positifs et prévoir une ligne de soutien pour les faux négatifs.

1.6.3 Interfaces informatives

Le défi est de maintenir un équilibre entre les interfaces usuelles qui intègrent toutes les caractéristiques d'usabilité de sécurité. D'un point, il est nécessaire de fournir aux utilisateurs les informations nécessaires de navigation. D'un autre, il faut concevoir des interfaces simples. Les utilisateurs sont préoccupés par la manière dont les capteurs fonctionnent en arrière-plan : quels types de données sont collectées ? Comment ces données sont exploitées ? Quelles sont les personnes qui ont accès ? Et comment elles transitent ? Toutes les réponses à ces questions doivent se trouver dans les interfaces. Des interfaces informatives et transparentes contribuent à bâtir un environnement de confiance facilitant l'acceptabilité.

1.6.4 Consommation d'énergie

Perera, Zaslavsky, Christen, Salehi & Georgakopoulos (2012); Murmuria *et al.* (2015) ont démontré par leurs travaux que lorsque les capteurs sont actifs en arrière-plan, pendant un certain temps, ils consomment une quantité considérable d'énergie. D'autres fonctionnalités de l'application peuvent consommer des ressources importantes (puissance de calcul et de batterie) sur les appareils mobiles. Certaines applications utilisent un buffer de stockage temporaire afin de limiter la consommation des ressources. Le transfert du buffer vers la base de données de l'application se fait automatiquement lorsque l'utilisateur est connecté à un réseau Wi-Fi. Des travaux d'optimisation sont en cours d'élaboration, mais ceci reste un défi considérable.

1.7 Des travaux sur l'acceptabilité et l'usabilité des applications de biométrie comportementale

Plusieurs études portant sur l'acceptabilité et l'usabilité des systèmes d'authentification de biométrique comportementale ont démontré que des facteurs divers peuvent impacter leur appropriation par les utilisateurs. Dès 2006, Toledano *et al.* (2006) ont exploré l'acceptabilité de ces applications biométriques utilisant l'authentification vocale et la dynamique de frappe. Des outils de collecte des données quantitatives et qualitatives ont servi à recueillir les opinions des utilisateurs en matière d'appropriation, de confidentialité et d'efficacité. Les résultats mettent en lumière des facteurs clés influençant l'usabilité, notamment les préoccupations liées à la confidentialité et la transparence de fonctionnement. Par la suite, à travers une étude sur l'évaluation de l'usabilité des systèmes d'authentification continue, Ellavarason *et al.* (2020) ont présenté que la démarche possède une meilleure prédisposition d'acceptabilité en raison de son caractère moins intrusif malgré les préoccupations subséquentes quant à la précision. Dans le cadre de cette étude, les tests portaient sur une comparaison des différentes méthodes. Les utilisateurs réalisaient des tâches spécifiques dans un environnement contrôlé où les performances d'exécution (durée, taux d'erreurs) ont été mesurées et analysées.

Baig & Eskeland (2021) ont réalisé des travaux portant sur l'expérience utilisateur et l'acceptation des systèmes d'authentification basés sur la dynamique de frappe et la reconnaissance de la

signature. Les participants aux expériences ont accédé à ces applications dans des conditions simulées et par la suite, ont rempli des questionnaires de satisfaction. Les résultats ont révélé que la dynamique de frappe était considérée comme plus sûre que la reconnaissance de la signature, mais que la reconnaissance de la signature était préférée par les utilisateurs en raison de sa convivialité et de sa nature. La perception culturelle améliore l'acceptabilité des applications (Gupta *et al.*, 2023). Considérant les méthodes d'authentification incluant la reconnaissance vocale et la démarche, des variations d'acceptabilité considérables sont observées en fonction des contextes culturels. Ces études similaires mettent en évidence l'importance de l'usabilité dans plusieurs contextes. Elles mettent en lumière les défis d'usabilité associés à ces technologies et la nécessité de les adapter à plusieurs paramètres notamment, le contexte, la culture des utilisateurs, etc. Les résultats de ces travaux fournissent un cadre pour notre étude qui vise à approfondir ces aspects particuliers et à proposer des solutions pour améliorer l'acceptabilité et l'usabilité des applications d'authentification biométrique comportementale.

Ce chapitre a exploré les diverses dimensions de la sécurité, en mettant un accent particulier sur la sécurité des téléphones intelligents. Nous avons abordé les notions relatives à la sécurité utilisable, le positionnement du téléphone et la reconnaissance d'activité. Comment rendre la sécurité utilisable ? Une question qui a été répondue à travers les travaux des auteurs dans le domaine de la conception d'interfaces et de l'optimisation de l'expérience utilisateur. Néanmoins, les défis d'usabilité subsistant conditionnent le développement des applications biométriques adaptatives et centrées sur les utilisateurs. Ces défis demeurent une barrière pour l'appropriation des mécanismes de sécurité robustes et complexes. Les utilisateurs ont besoin de solutions simples et transparentes. L'objectif est de trouver un équilibre entre robustesse et convivialité. Les appareils intelligents sont omniprésents dans notre vie quotidienne, ils intègrent des capteurs capables de collecter des données biométriques, de santé et bien d'autres. Ces technologies fournissent des entrants pour la reconnaissance d'activité et l'authentification biométrique comportementale. Étant une branche de la biométrie basée sur des critères comportementaux, la reconnaissance d'activité doit être admissible pour des activités routinières et moins complexes. Il est nécessaire d'explorer les solutions permettant de rendre ces technologies intuitives et

usuelles, facilitant ainsi leur adoption et leur efficacité dans divers contextes. Les défis majeurs de la reconnaissance d'activités résident dans la précision des données et la différenciation des activités similaires. La sécurité utilisable apparaît comme une dimension permettant de concilier les exigences de sécurité avec celles de l'utilisateur. Les applications doivent donc prendre en compte ces exigences dès le début de la conception. L'ensemble des tâches, et des scénarios de collecte doivent quant à eux remplir des critères d'usabilité tels que : routinier, simple, automatisé et cadré dans le temps. Lorsque ces exigences ne sont pas prises en compte, les utilisateurs vont chercher des moyens de les contourner ou les désactiver. L'intégration de la collecte de données dans un contexte de vie réelle présente des défis tant sur le plan de l'usabilité que sur le positionnement. Connaître les positions habituelles du téléphone pendant les activités d'un individu est tout autant nécessaire. À ce niveau, les applications biométriques comportementales et de reconnaissance de mouvement peuvent créer des contextes adaptatifs, où le niveau de sécurité peut s'ajuster en fonction de la position du téléphone. Permettant ainsi d'améliorer la sécurité tout en maintenant une certaine facilité d'utilisation. Le positionnement du téléphone nous amène à la première contribution développée dans cette étude. Il s'agit du chapitre suivant qui introduit les travaux sur le sondage sur les positions habituelles du téléphone.

CHAPITRE 2

SONDAGE SUR LES HABITUDES DE PORT DU TÉLÉPHONE ET DE LA MONTRE

L'utilisation d'équipements intelligents a considérablement transformé notre quotidien. Un téléphone intelligent ou une montre intelligente offrent des fonctionnalités de communication, de planification, de suivi de l'activité cérébrale et de la santé en général. Dans ce contexte, il est nécessaire de se déplacer avec l'un des équipements mais, pas impératif de connaître où les personnes les portent. Cependant, dans le cadre d'une authentification par biométrie comportementale, il est important d'analyser comment les utilisateurs portent leurs appareils, puisque leur position pourrait affecter la collecte des données biométriques ainsi que l'expérience utilisateur dans certaines situations (ex. : marche, cyclisme, conduite de véhicules).

Il a effectivement été présenté dans la revue de littérature que les téléphones et montres connectés sont dotés de capteurs qui écoutent et collectent des données telles que l'activité physique (marche, course, cyclisme, etc.), les mouvements, et la distance parcourue. Le positionnement de ces équipements sur le corps est déterminant pour la précision des données collectées. La collecte de données biométriques est de plus particulière puisque les utilisateurs doivent porter leur téléphone de façon naturelle dans une position habituelle. Une personne qui a l'habitude de porter son téléphone dans la poche arrière de son pantalon pendant la marche doit également le faire pendant la collecte. Comprendre les habitudes de port est également pertinent lorsque des applications interactives impliquent une combinaison d'équipements (Hamilton & Wigdor, 2014). Ces auteurs ont créé le Conducteur qui vise à faciliter l'interaction entre plusieurs appareils connectés, permettant aux utilisateurs d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles dans leur environnement numérique. La combinaison d'un téléphone et d'une montre dans un écosystème présente des bénéfices à certains points, notamment pour l'haptique. Dans le domaine de l'haptique, où le retour tactile est essentiel, les stimuli haptiques peuvent être intégrés dans les montres et téléphones intelligents qui fournissent des rétroactions vibratoires lors des interactions avec l'utilisateur, procurant ainsi une expérience utilisateur immersive. Par exemple, pendant un jeu vidéo, les retours haptiques transmis à travers ces équipements peuvent garantir une expérience plus riche.

Cette première contribution est donc un sondage qui vise à identifier les habitudes de port du téléphone et de la montre. Elle contribue non seulement à atteindre les objectifs liés à l'authentification par biométrie comportementale, mais également à soutenir, en second plan, les objectifs liés à l'haptique multidispositifs.

Ce chapitre développe en détail plusieurs notions de cette contribution, telles que le contexte, les objectifs, les données collectées, ainsi que la présentation et l'analyse des résultats. Nous débutons par situer le contexte de mise en œuvre de cette collecte de données en expliquant les motivations qui justifient cette démarche. Ensuite, il est question de présenter les objectifs qui orientent ce travail. La section suivante présente les caractéristiques des données collectées où nous détaillons les types de données recueillies et l'instrument utilisé pour la collecte. Nous poursuivons avec la présentation et l'analyse des résultats, ponctuées de discussions. Ces discussions mettent en avant les conclusions, faisant ainsi apparaître des tendances et des implications émergentes. En somme, ce chapitre fournit une vue structurée et détaillée du sondage sur les potions habituelles de port du téléphone et de la montre.

2.1 Contexte et justification

Lane *et al.* (2010) et Tian, Salcic, Wang & Pan (2016) ont démontré que le positionnement du téléphone est important du point de vue de la reconnaissance d'activité. La position, par exemple dans la poche du pantalon ou autour du bras, détermine le niveau de qualité des données qui seront capturées. Des activités telles que la marche, la course, ou le cyclisme sont plus facilement détectées par les algorithmes de reconnaissance d'activité lorsque le téléphone est proche des points de mouvement principaux du corps, comme les jambes ou la taille. Dans le cas des activités stationnaires (assis ou debout), les capteurs fonctionnent efficacement lorsque l'appareil est placé dans une position proche du centre de gravité du corps. L'orientation, qu'elle soit horizontale ou verticale, affecte également la précision des capteurs. Les positions habituelles adoptées lors de diverses activités permettraient d'évaluer la faisabilité de leur détection sans avoir à imposer une position qui n'est pas naturelle à l'utilisateur.

En comprenant donc ces habitudes, il devient possible de concevoir une application de collecte de données capable de s'adapter aux comportements naturels des utilisateurs, tout en optimisant la précision des détections, le confort et l'expérience d'utilisation.

Une collecte de données efficace via les capteurs intégrés dans les téléphones intelligents nécessite de plus la validation des tendances de positionnement en amont, ce qui permettra d'exploiter les positions les plus courantes, optimisant ainsi la performance des modèles produits. Lorsque ces tendances sont identifiées, elles peuvent être exploitées pour ajuster les scénarios de collecte de données en les alignant avec les scénarios d'utilisation fréquents et les modèles prédictifs. Ce rôle est le moteur d'une amélioration significative de la performance des modèles, car ils sont entraînés sur des données qui reflètent fidèlement les conditions d'utilisation quotidiennes.

Les applications d'authentification par biométrie comportementale gagnent ainsi en précision et en efficacité, offrant donc une meilleure expérience utilisateur. Ce processus permet également de réduire les erreurs potentielles et d'accroître la robustesse des modèles face à des variations de comportement. Ce qui conduit par la suite à une performance optimale dans une variété de contextes qui élimine les défis d'usabilité. Lorsqu'on aligne l'application de collecte de données biométriques aux habitudes des utilisateurs, on crée une interaction fluide entre l'utilisateur et le système. C'est cette interaction qui permet de collecter des données biométriques pertinentes.

Dans notre contexte, il est question que les utilisateurs se déplacent de façon naturelle avec leur téléphone. Cela permet de recueillir des données authentiques et représentatives des comportements réels. En maîtrisant les habitudes, l'on permet aux utilisateurs de se déplacer naturellement, on minimise les biais introduits par des comportements artificiels ou forcés, ce qui garantit des modèles applicables dans des contextes réels.

Comprendre les habitudes aide aussi à optimiser l'expérience utilisateur globale dans un contexte de personnalisation des données d'entraînement. Cette optimisation se fait à travers l'identification des comportements récurrents, des préférences qui aident à personnaliser les interfaces utilisateur et des fonctionnalités de l'application d'authentification. De plus, l'analyse de la faisabilité de la collecte de données biométriques dans un contexte où les personnes

partagent leur équipement est essentielle, car elle permet d'anticiper les risques potentiels. Lorsque quelqu'un partage son téléphone avec une autre personne pendant la collecte des données, les données biométriques comportementales peuvent être compromises, ce qui nuit à la précision et à la fiabilité de la méthode d'authentification.

Une application de biométrie comportementale est conçue pour reconnaître les comportements et les caractéristiques uniques d'un individu. Ainsi, en comprenant la fréquence du partage d'équipement au sein de l'échantillon étudié, il est possible d'ajuster la stratégie de collecte de données pour assurer une meilleure intégrité des résultats et garantir que les données collectées proviennent bien de la bonne personne.

Il a ensuite été démontré que la perception des effets haptiques, basés sur le sens du touché, varie en fonction de la position où les équipements sont portés (Gay-Betton, Alirezaee, Cooperstock & Schlesinger, 2017). Dans un contexte différent, Kasaei & Levesque (2022) et Valette, Bouchihan & Lévesque (2024) ont démontré que la combinaison de plusieurs dispositifs qui produisent des effets haptiques simultanés peut produire une expérience utilisateur précieuse et immersive pendant un jeu en réalité virtuelle. Lorsqu'une personne est immergée dans une expérience de VR, l'utilisation d'une montre et d'un téléphone pour produire des vibrations peut améliorer l'immersion et la sensation de présence. Cependant, la perception des effets haptiques varie significativement en fonction de la position des appareils sur le corps. Gay-Betton *et al.* (2017) démontrent que la localisation des appareils, comme sur le bras ou autour de la taille, influence la précision avec laquelle les stimuli haptiques sont perçus. Par exemple, les vibrations ressenties au niveau du bras peuvent être interprétées différemment de celles ressenties à la taille en raison des différences dans la densité nerveuse et l'anatomie de ces zones. Les illusions perceptives qui créent des effets haptiques significatifs varient donc selon les positions. En examinant spécifiquement ces positions, il est possible de planifier un plan de perception qui s'adaptent continuellement au profil du joueur.

Les travaux de Majidi (2022) dont le but était de concevoir des indices de direction facilement distinguables et compréhensibles intégrés dans des dispositifs capables de produire des effets

haptiques tels que, une montre intelligente et un téléphone mobile. Dans cette étude, il était question pour les utilisateurs de ressentir les vibrations distinctes émises par chacun des appareils. Au terme, elle indique qu'il est nécessaire qu'un dispositif soit porté dans la poche gauche ou droite, car cela peut influencer la manière dont les effets haptiques sont interprétés, notamment pour fournir des indications directionnelles. Si une vibration est ressentie sur le côté gauche, l'utilisateur peut intuitivement associer cette sensation à un mouvement ou à une direction vers la gauche. Cette précision dans la perception est particulièrement importante dans des contextes où la direction est essentielle, comme dans les jeux vidéo, où une vibration pourrait indiquer une menace, une action à gauche, ou dans la navigation GPS, où elle pourrait signaler un prochain virage. Dans des environnements immersifs comme la VR, la position des dispositifs sur le corps de l'utilisateur influence non seulement la perception des effets haptiques, mais aussi l'immersion globale. Par exemple, si des vibrations sont synchronisées entre un téléphone dans la poche et une montre sur le poignet, cela peut simuler de manière plus réaliste des interactions physiques dans le monde virtuel, comme sentir le recul d'une arme ou la pression d'un objet saisi. La position des appareils devient donc un facteur important pour maximiser l'efficacité des retours haptiques et pour aligner ces sensations avec les attentes perceptuelles des utilisateurs. Dans une simulation VR, les vibrations synchronisées provenant de plusieurs dispositifs peuvent reproduire la sensation de toucher ou de manipulation d'objets.

Il est donc pertinent de réaliser un sondage sur les habitudes de port du téléphone et de la montre pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces appareils sont de plus en plus intégrés dans notre quotidien, non seulement comme outils de communication et de suivi de la santé, mais aussi comme éléments principaux d'une application de collecte de données biométriques comportementales et d'interaction haptique. Comprendre où et comment sont portés ces appareils permet d'optimiser leur utilisation avec les comportements naturels des utilisateurs, mais aussi ouvre la voie vers des perspectives plus immersives dans le domaine de l'haptique multidispositifs, contribuant ainsi à améliorer de manière générale l'IHM.

2.2 Sondage

Le sondage sur les positions habituelles explore des questions qui abordent des perspectives plus larges incluant la combinaison d'appareils intelligents. En plus des objectifs fixés pour les besoins de l'application de collecte de données, il est question de connaître où sont portés les équipements intelligents pendant certaines activités. Par ailleurs, il est question d'examiner la possibilité de combiner ces équipements dans des contextes tels que les jeux en réalité virtuelle, les jeux sur console, ou d'autres environnements dans lesquels les appareils produisent des vibrations synchronisées en fonction des actions de l'utilisateur. Le sondage permet également de mieux comprendre les contextes d'utilisation habituels d'une montre. Une question, destinée uniquement aux propriétaires de montres intelligentes, vise à leur demander lors de quelles activités ils utilisent leur montre. Le sondage, approuvé par le CER et distribué, était disponible en deux versions, anglaise et française. Les propositions de choix ont été sélectionnées en fonction des activités, car elles reflètent pour la plupart des comportements réels. Les données collectées, une fois analysées permettront de répondre aux questions suivantes : Les positions choisies par les participants favorisent-elles la collecte de données biométriques ? Facilitent-elles également la réception des effets haptiques émis par un téléphone ou une montre ? Rappelons qu'il est nécessaire que les capteurs soient positionnés près du corps pour maximiser la précision des données recueillies. De même, pour que les effets haptiques soient ressentis de manière optimale, le téléphone doit être placé dans une position où les vibrations peuvent être clairement perçues, renforçant ainsi l'interaction utilisateur et l'efficacité des notifications haptiques.

2.2.1 Objectifs

Les principaux objectifs rattachés à cette collecte de données sont :

- Comprendre les comportements de port ainsi que les tendances de positionnement et de partage des téléphones et montres intelligents pendant des activités pertinentes pour l'authentification par biométrie comportementale.

- Valider l'utilisation et le positionnement des deux équipements (montre et téléphone) pendant des activités telles que les jeux sur console ou des jeux en réalité virtuelle en vue d'une possible combinaison dans un environnement haptique.

2.2.2 Population et échantillonnage

Le sondage sur les positions habituelles était disponible pour tout le monde, sans aucune restriction au niveau du profil. Il est nécessaire d'avoir au moins 18 ans pour y accéder.

2.2.3 Données collectées

Le sondage sur le positionnement du téléphone et de la montre est constitué de quatorze questions (Q1-14).

Les deux premières questions (Q1-2) visent à récolter des données démographiques, soit l'âge (Q1) et le genre (Q2) du participant.

Les sept questions suivantes (Q3-9) concernent les habitudes de port du téléphone lors de diverses activités, soient la marche (Q3), le jeu sur console (Q4), le jeu avec casque VR (Q5), le travail sur ordinateur (Q6), la conduite de voiture (Q7), les activités sportives (Q8) et le cyclisme (Q9). Les questions posées, comme « où se trouve votre téléphone lorsque vous marchez ? », sont déclinées pour chaque activité.

Concernant les activités physiques telles que la marche (Q3), le cyclisme (Q9), et les autres sports (Q8), les options de positionnement proposées pour le téléphone incluent : dans la main, dans la poche du pantalon ou de la jupe, dans un sac à dos ou un sac à main, et dans la poche du manteau ou du chandail. Des positions particulières à certaines activités ont également été ajoutées, soient autour du bras à l'aide d'un brassard (cyclisme ; Q9), autour de la taille avec une ceinture (cyclisme ; Q9) ou dans une poche fermée (activités sportives ; Q8).

Les activités de jeu sur console (Q4) et avec casque VR (Q5) incluent les propositions de position suivantes : dans la poche du pantalon ou de la jupe, dans le sac à dos ou sac à main, dans la poche du manteau ou du chandail, sur un meuble près de moi.

Les activités stationnaires identifiées comme la conduite d'un véhicule (Q7) et le travail sur ordinateur (Q6) incluent les proposition de choix : dans la poche du pantalon ou de la jupe, dans le sac à dos ou sac à main, dans la poche du manteau ou du chandail, sur un meuble près de moi, dans un support accroché au tableau de bord ou trépied (particulier à la conduite ; Q7).

Pour toutes ces questions (Q3-9), nous avons ajouté un choix de position intitulé *autre* qui est un espace de saisie où les répondants pouvaient ajouter une position qui n'était pas citée dans la liste. Dans cette même lancée, des propositions de choix telles que : je n'ai pas mon téléphone avec moi, je ne joue pas à des jeux sur console ou des jeux VR, je ne conduis pas de voiture, je ne fais pas de cyclisme ont été ajoutées aux questions concernées. Cette démarche vise à garantir que l'analyse finale se concentre uniquement sur les participants qui pratiquent les activités concernées.

Une question (Q10) aborde la thématique du partage du téléphone (avec un ami, un conjoint ou toute autre personne). Son intitulé est : « partagez-vous votre téléphone avec quelqu'un d'autre ? ». Cette question nous aide à déterminer la proportion de répondants qui partagent leur équipement, ce qui nous aide à évaluer la faisabilité de la collecte de données dans un échantillon présentant des caractéristiques similaires.

Les questions suivantes (Q11-13) s'adressent aux propriétaires de montres intelligentes. Nous examinons en premier la proportion de personnes qui possèdent une montre intelligente (Q11). Ensuite, pour ceux qui la possèdent, s'ils la portent au poignet gauche ou droit (Q12), et enfin pendant quelle(s) activité(s) ils portent fréquemment leur montre intelligente (Q13). Les propositions de choix multiples de cette question (Q13) reprennent les activités mentionnée dans (Q3-9) avec une possibilité de mentionner une autre activité.

La dernière question (Q14) vise à identifier quel appareil (téléphone, montre) est le plus utilisé lors des déplacements. Son intitulé est : « lors de vos déplacements, quel(s) appareil(s) avez-vous le plus souvent avec vous ? » Dans les choix de propositions on trouve : le téléphone, la montre et les deux.

Les détails complets du sondage, y compris les questions spécifiques et les options de réponse, sont disponibles en annexe I.

2.3 Résultats et discussions

Nous présentons les résultats du sondage de façon structurée, en abordant quatre aspects principaux. Tout d'abord, nous décrivons les caractéristiques des participants, notamment leur âge et leur genre. Ensuite, nous analysons l'utilisation et le positionnement du téléphone pendant les activités physiques stationnaires et de jeu. Nous poursuivons par une analyse de l'utilisation et du positionnement de la montre, ainsi que des tendances observées concernant les habitudes de déplacement et le port de cet appareil. Enfin, nous présentons les données relatives au partage du téléphone. Chaque sous-section examine les implications de la collecte de données biométriques ainsi que des effets haptiques qui émergent des analyses effectuées.

2.3.1 Les participants

Le sondage a été largement diffusé, sans imposer de contraintes particulières aux participants. Après un tri ayant pour objectif d'identifier et d'exclure les données considérées comme non viables, trois réponses de test, issues de participants ayant chargés le sondage sans le compléter, ont été éliminées. Ainsi, un échantillon final de 80 participants ($n = 80$) a été retenu pour l'analyse. Les réponses collectées dans les versions anglaise et française ont permis de rassembler les données brutes suivantes : 75 participants francophones et 8 participants anglophones. Les sous-sections suivantes présentent les données concernant l'âge et le genre des participants.

2.3.1.1 Age

Les statistiques recueillies pour les 80 participants révèlent une moyenne d'âge de 29,6 ans et un âge médian de 30 ans. Le coefficient de variation est à 23,2 %, ce qui reflète une variation modérée parmi les participants.

La Figure 2.1 est un histogramme qui illustre l'âge des participants, qui varie de 20 à 58, et les effectifs, c'est-à-dire le nombre de participants dans chaque tranche d'âge, allant de 0 à 20.

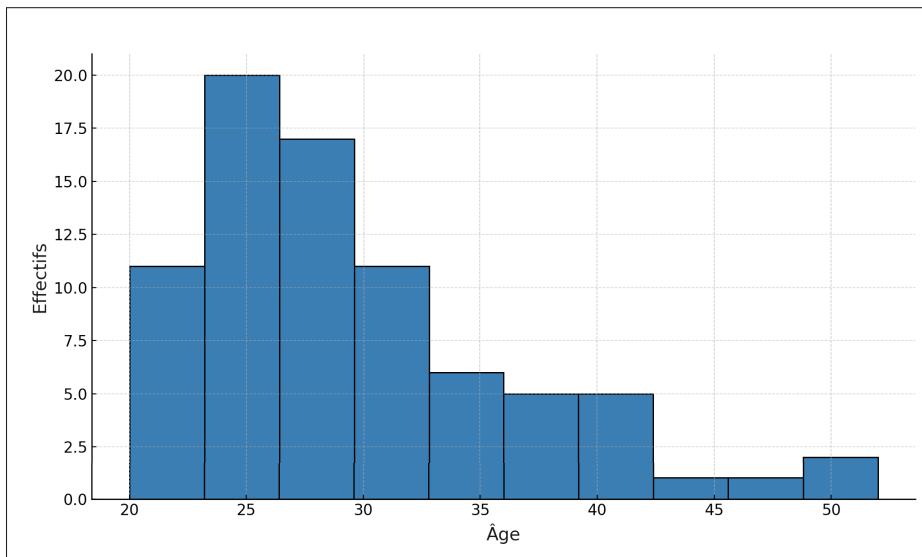


Figure 2.1 Répartition de l'âge parmi les participants (n=80)

Plus de la moitié des participants (45/80) se situent dans la tranche d'âge de 20 à 38 ans, ce qui montre une distribution relativement variée. On observe un pic autour de 28 ans, avec environ 13 participants, et une représentation très faible entre 38 et 48 ans. Après 48 ans, on observe quelques participants, mais leur nombre est beaucoup plus faible comparé aux tranches plus jeunes.

2.3.1.2 Genre

Les statistiques recueillies sur le genre des participants révèlent que 36,3 % (29/80) se sont identifiés comme étant de genre féminin, tandis que 60,0 % (48/80) se sont identifiés comme de genre masculin. De plus, 3,7 % (3/80) ont choisi de ne pas divulguer leur genre. Cette répartition donne un aperçu général de la diversité de genre au sein de l'échantillon, où les participants masculins sont clairement majoritaires, suivis par les participants féminins.

La Figure 2.2 illustre la répartition des participants selon le genre.

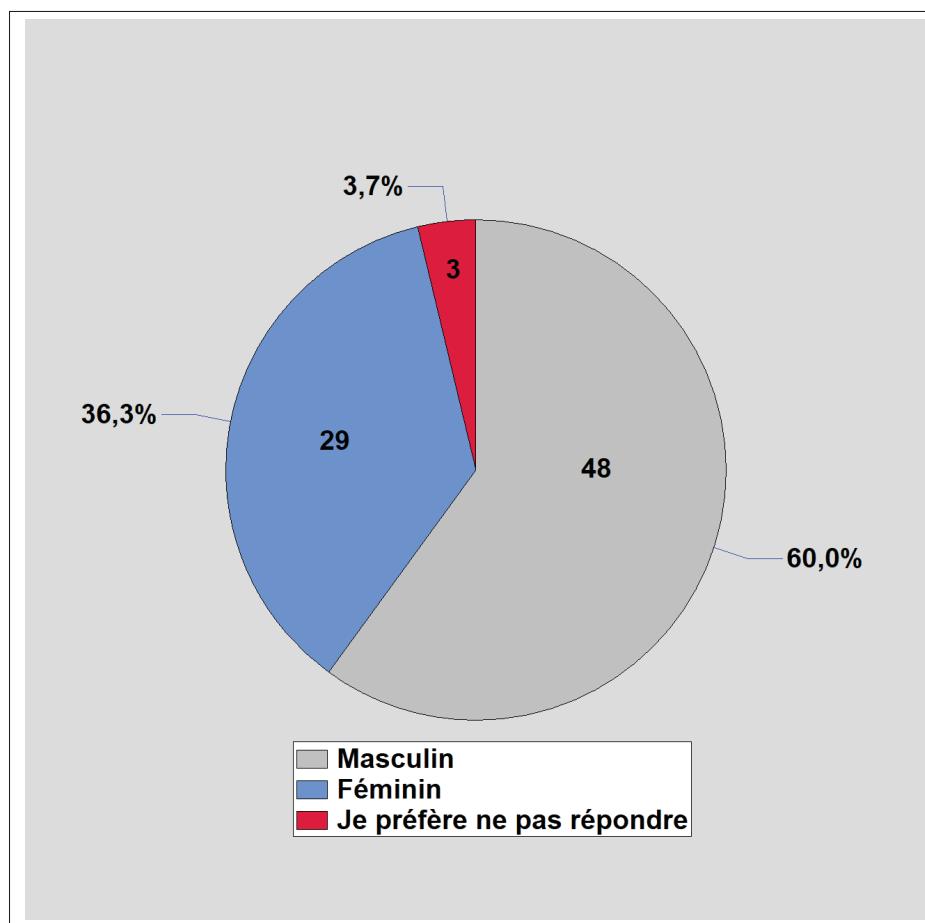


Figure 2.2 Répartition du genre parmi les participants (n=80)

2.3.2 Utilisation et positionnement du téléphone

Cette analyse s'inscrit dans les objectifs de cette étude où nous cherchons à comprendre les habitudes de port de téléphone pour trois groupes d'activités : les activités physiques, stationnaires et de jeu.

2.3.2.1 Les activités physiques

Les données statistiques enregistrées pour les activités physiques sont réparties en trois catégories : la marche, le cyclisme et les activités sportives.

Marche. La Figure 2.3 révèle que 45,0 % (36/80) des personnes transportent leur téléphone dans la poche de leur pantalon ou jupe pendant la marche. Tandis que 22,5 % (18/80) choisissent de le tenir à la main, 16,2 % (13/80) le placent dans un sac à dos ou sac à main et 15,0 % (12/80) optent pour la poche du manteau ou chandail. Une minorité de 1,2 % (1/80) utilise toutes les positions de manière interchangeable.

La marche est l'activité principale pour la collecte de données biométriques puisqu'elle est pratiquée par tous, à moins d'avoir une mobilité réduite. La majorité des participants (82,5 % ; 66/80) transportent leur téléphone près du corps dans un endroit mobile (dans la main ou dans une poche), ce qui constitue un échantillon idéal. D'autres positions, comme le sac à dos (16,2 % ; 13/80), pourraient également être utilisées dans ce contexte, bien que le téléphone y soit moins mobile. Pour optimiser la collecte de données pendant la marche, il serait pertinent de privilégier la position dans la poche de la jupe ou du pantalon, car elle est la plus fréquente.

De même, la marche est une activité pertinente pour la réception des effets haptiques. Les personnes qui placent leur téléphone dans des positions comme dans la main ou dans une poche (82,5 % ; 66/80) sont susceptibles de les ressentir. En revanche, les 16,2 % (13/80) qui mettent leur téléphone dans un sac à dos risquent de ne pas percevoir ces effets.

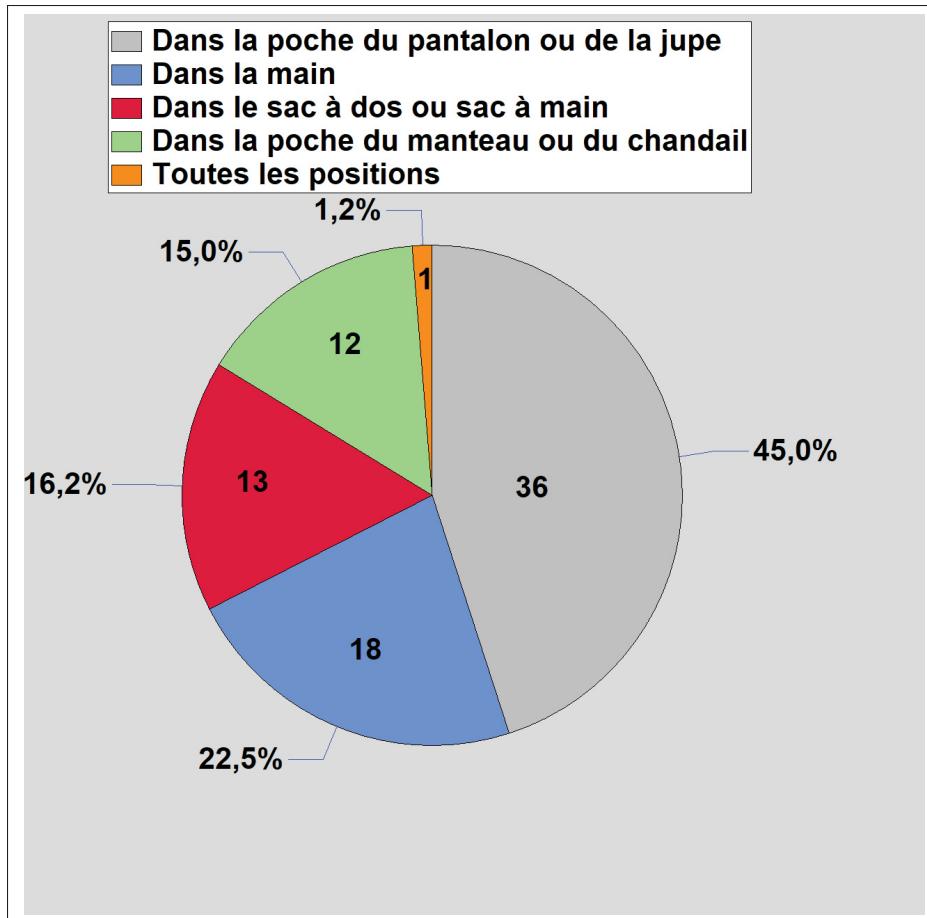


Figure 2.3 Distribution des positions de port du téléphone lors de la marche

Cyclisme. Les statistiques, illustrées dans la Figure 2.4, montrent que, parmi les 80 répondants, 38,7 % (31/80) ne font pas de vélo et 3,7 % (3/80) ne se déplacent pas avec leurs téléphone pendant cette activité. Un participant (1/80) utilise une montre intelligente à la place du téléphone. La proportion de personnes qui font du vélo et portent leur téléphone dans une position spécifique lors de cette activité est représentée par la portion autre, qui totalise 56,2 % (45/80). L'analyse des positions se concentrera sur cet effectif de 45 personnes. On peut observer que près du trois quart de notre échantillon (73,3 % ; 33/45) portent leur téléphone dans une poche fermée du pantalon, jupe ou culotte. La Figure 2.5 montre également que 17,8 % (8/45) le placent dans un sac à dos ou un sac à main. D'autres positions, comme autour du bras sous forme de

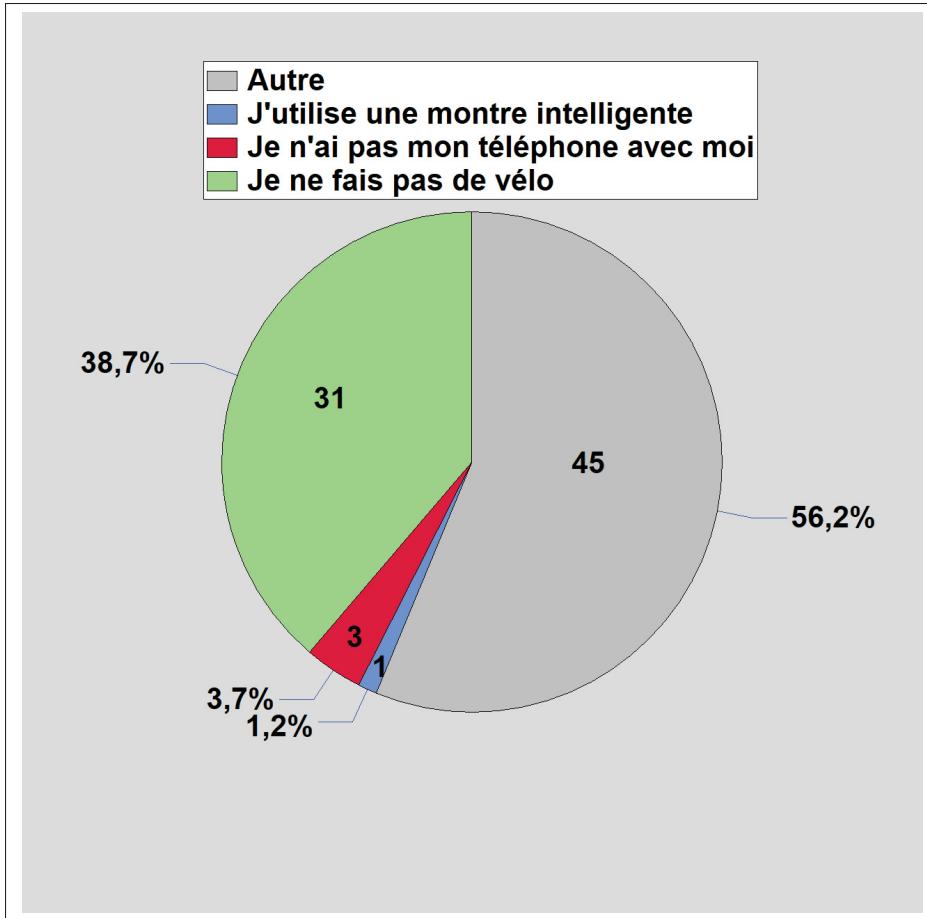


Figure 2.4 Fréquence du cyclisme et du port du téléphone lors de cette activité

brassard, dans la sacoche de vélo, dans une sacoche attachée au vélo totalisent respectivement 2/45 (4,4 %), 1/45 (2,2 %) et 1/45 (2,2 %) répondants.

Ces résultats semblent indiquer que les cyclistes privilégient des solutions pratiques où leurs téléphones sont à portée de main. Les choix d'emplacements tels que les brassards ou les sacoches de vélo semblent montrer une préférence pour des positions qui combinent commodité, accessibilité et protection.

Ces résultats indiquent que le cyclisme ne constitue pas une activité prioritaire pour la collecte de données biométriques, étant donné que seulement 56,2 % des répondants pratiquent cette activité en portant leur téléphone. Tous les participants qui font du vélo portent cependant leur

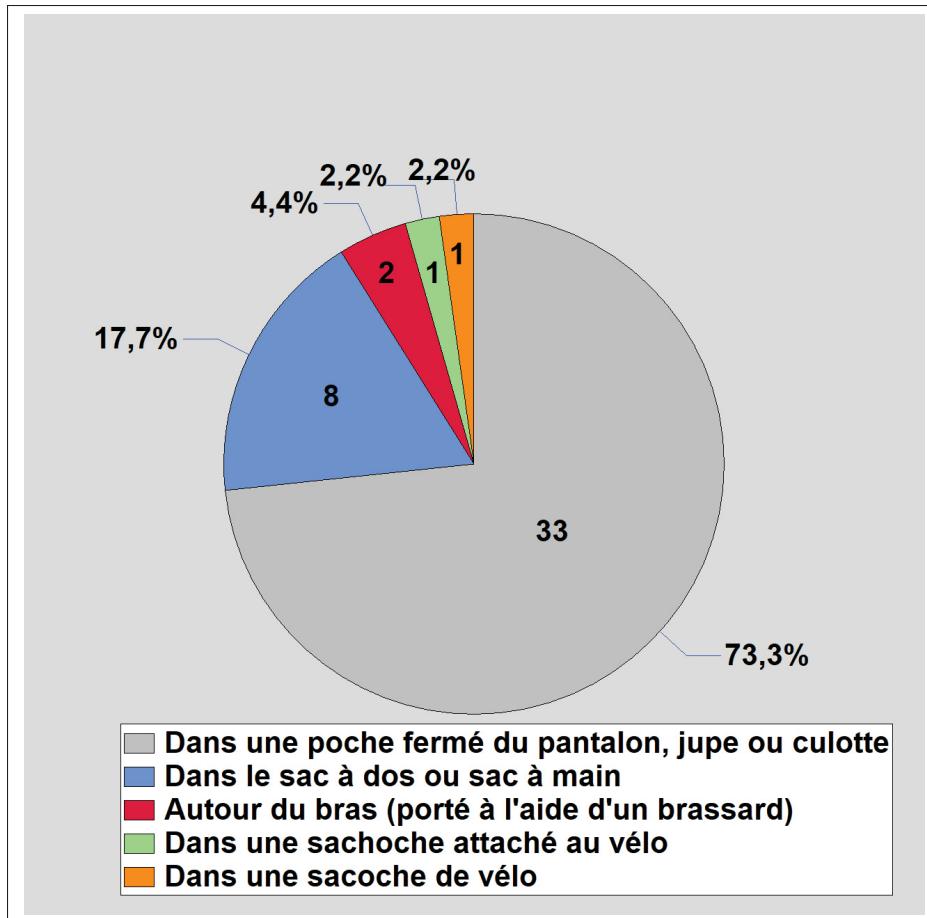


Figure 2.5 Distribution des positions de port du téléphone lors du cyclisme

téléphone à un endroit qui bouge avec eux, ce qui permet la collecte de données biométriques. 73,3 % (33/45) placent leur téléphone dans des emplacements très mobiles, comme une poche de pantalon ou de jupe, ce qui est idéal pour la biométrie. 23,1 % (11/45) choisissent aussi de le porter contre le corps, mais à des emplacements moins mobiles (autour du bras, dans un sac ou sacoche). Finalement, un répondant (2,2 %) transporte le téléphone dans une sacoche attachée au vélo plutôt qu'au corps, ce qui réduit la qualité des données biométriques. Il est recommandé de prioriser le port du téléphone dans la poche pour l'authentification biométrique comportementale puisqu'il s'agit d'une position couramment utilisée et susceptible de produire des données biométriques de bonne qualité.

Nous constatons ensuite que le téléphone est porté par une très grande majorité lors de la pratique du vélo (91,8 % ; 45/49) et donc potentiellement disponible pour produire un retour haptique. De ceux qui portent leur téléphone en vélo, 77,8 % (35/45) le placent contre le corps (dans une poche ou autour du bras) et peuvent donc percevoir ses vibrations. 22,2 % (10/45) le portent plutôt dans un sac ou sacoche et sont donc peu susceptibles de percevoir les vibrations. Le retour haptique par téléphone semble donc pertinent lors du cyclisme.

Sport. Les statistiques, illustrées dans la Figure 2.6, montrent que, 45,0 % des participants (36/80) n'ont pas leur téléphone avec eux pendant les activités sportives, tandis que 11,2 % (9/80) des participants ont indiqué qu'ils ne pratiquent pas de sport, et seulement 1,2 % (1/80) utilisent plutôt une montre intelligente lors de leurs activités sportives. Par ailleurs, 42,5 % (34/80) font du sport et portent leur téléphone dans une position spécifique lors de cette activité. La Figure 2.7 présente la distribution des positions sélectionnées par les 34 répondants faisant du sport avec leur téléphone. 85,3 % de ces participants (29/34) préfèrent porter leur téléphone dans une poche fermée. En revanche, 11,7 % (4/34) attachent leur téléphone autour de la taille à l'aide d'une ceinture, et seulement 2,9 % (1/34) le portent autour du bras avec un brassard. Ces résultats montrent une forte prédominance de l'utilisation de la poche fermée comme position prioritaire pour les participants.

Le sport est une activité moins prioritaire pour la collecte de données biométriques car 56,2 % (46/80) des participants ne pratiquent pas de sport ou ne portent pas leur téléphone pendant cette activité. Pour les autres, toutes les positions enregistrées pourraient être utilisées car le téléphone est en mouvement qu'il soit placé dans un sac autour de la taille, autour du bras ou dans une poche. Cependant, la priorité est accordée à la position dans une poche fermée qui totalise le plus grand effectif (85,3 % ; 29/34).

Nous remarquons ensuite que le téléphone est porté par une très grande majorité lors de la pratique du sport (73,9 % ; 34/46) et donc potentiellement disponible pour produire un retour haptique. La position la plus intéressante pour maximiser la perception des effets est alors la

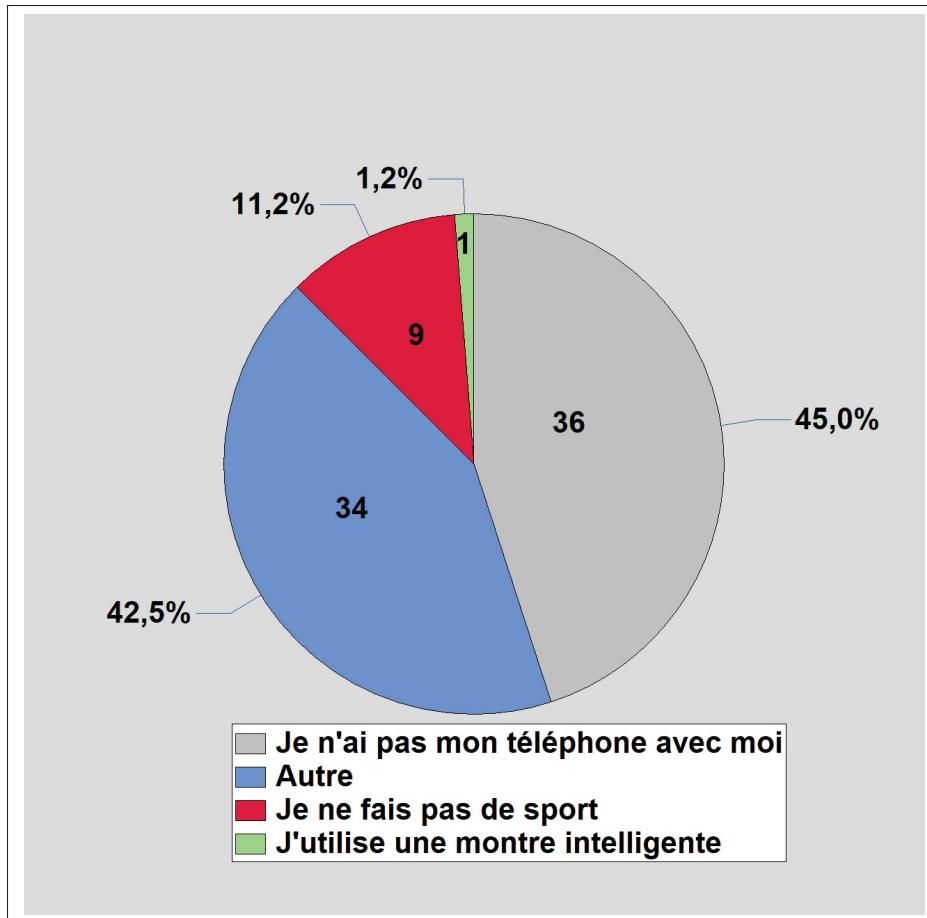


Figure 2.6 Fréquence du sport et du port du téléphone lors de cette activité

poche fermée (85,2 % ; 29/34) puisqu'elle permet un contact direct et stable entre le téléphone et le corps. La position autour du bras (2,9 % ; 1/34) est également favorable, car le téléphone reste près de la peau. On totalise donc une proportion de 88,1 % (30/34) qui pourrait ressentir les effets. Le téléphone autour de la taille attaché à l'aide d'une ceinture (11,8 % ; 4/34) est moins efficace, car le téléphone risque d'être trop éloigné ou trop instable pour que les effets haptiques soient bien ressentis.

Synthèse des résultats. Bien que toutes les activités physiques sont envisageables, la marche est à prioriser pour l'authentification biométrique. Elle est pratiquée par tous les répondants avec leur téléphone, alors que seulement 56,3 % (45/80) font du vélo et 42,5 % (34/80) font

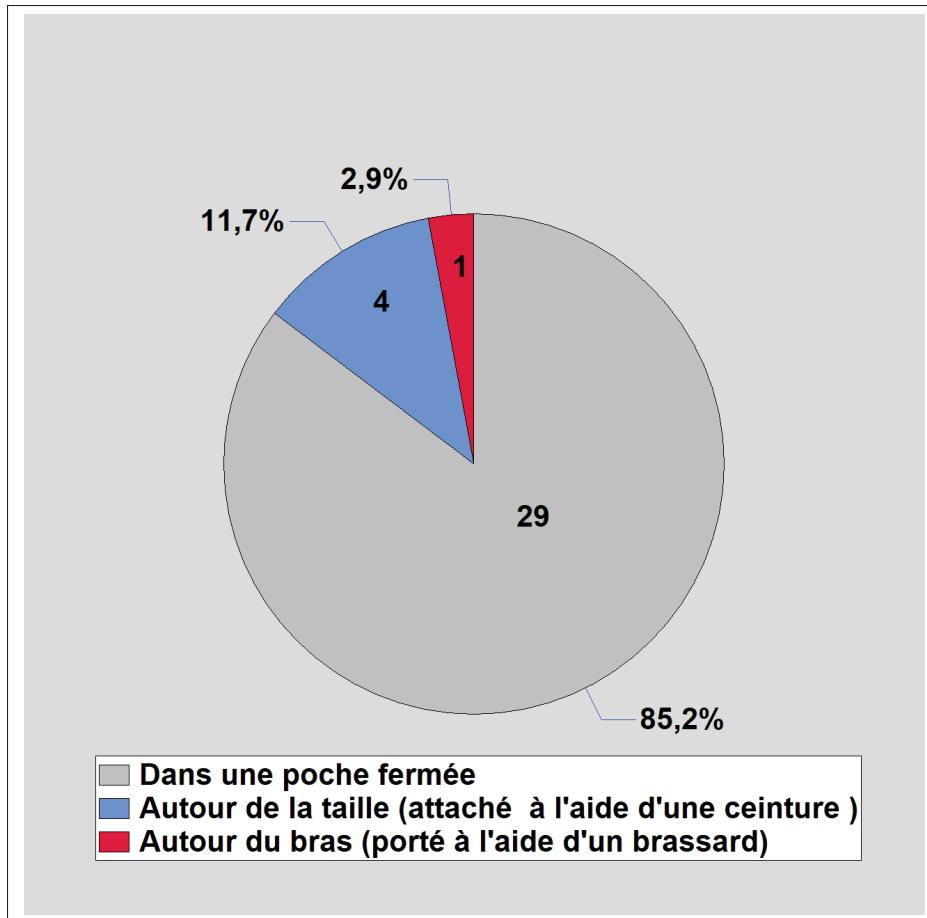


Figure 2.7 Distribution des positions de port du téléphone pendant le sport

du sport avec leur téléphone. La position de la poche du pantalon, jupe ou culotte est aussi prioritaire puisqu'elle apparaît comme la plus habituelle pour toutes les activités physiques, avec une fréquence allant de 45,0 % (36/80) pour la marche à 85,3 % (29/34) pour le sport.

Il semble aussi possible de produire un retour haptique à l'aide d'un téléphone lors d'activités physiques. Le téléphone est effectivement porté par les répondants qui font ces activités avec une fréquence allant de 73,9 % (34/46) pour le sport à 100,0 % pour la marche. Le téléphone est de plus porté à un endroit permettant de ressentir les vibrations pour 82,5 % (66/80) des répondants lors de la marche, 75,5 % (35/45) lors du vélo, et 88,1 % (30/34) lors du sport.

2.3.2.2 Les activités stationnaires

Les résultats suivants portent sur le travail sur ordinateur et la conduite de voiture, deux activités considérées comme stationnaires car elles impliquent peu de mouvements corporels. Contrairement à des activités comme la marche ou le cyclisme, où le corps est constamment en mouvement, le travail sur ordinateur et la conduite maintiennent le corps dans une position relativement fixe.

Travail sur ordinateur. La Figure 2.8 présente les statistiques des positions adoptées par les répondants lorsqu'ils travaillent sur un ordinateur. Il en ressort que 96,2 % (77/80) des répondants placent leur téléphone sur un meuble à proximité¹. Deux autres positions sont utilisées de manière minoritaire, il s'agit de : dans la poche du pantalon (2,5 % ; 2/80) et dans le sac à main ou sac à dos (1,2 % ; 1/80). Globalement, la tendance dominante est de garder le téléphone à portée de main, non loin du poste de travail principal.

L'utilisation d'un ordinateur n'est cependant pas idéale pour la collecte de données biométriques car elle implique très peu de mouvements corporels. De plus, seulement 2,5 % (2/80) des participants portent leur téléphone sur eux (poche du pantalon ou de la jupe), contre 97,4 % (78/80) qui le placent sur un meuble ou le laissent dans un sac. Les opportunités de collecte de données biométriques sont donc très limitées.

Similairement, cette très grande majorité (97,4 % ; 78/80) qui laissent leur téléphone sur un meuble ou dans un sac ne percevront pas les vibrations produites par un téléphone. Seul une minorité, soit les 2 personnes (2,5 % ; 2/80) qui mettent leur téléphone dans la poche du pantalon ou de la jupe, percevront clairement ces effets haptiques.

Conduite de voiture. La Figure 2.9 montre que 23,2 % des participants(21/80) ne conduisent pas de voiture et que 2,5 % (2/80) n'ont pas leur téléphone avec eux lorsqu'ils conduisent. Les

¹ Une personne place son téléphone sur la table, à côté de l'ordinateur, ce qui revient à la position sur un meuble proche de moi.

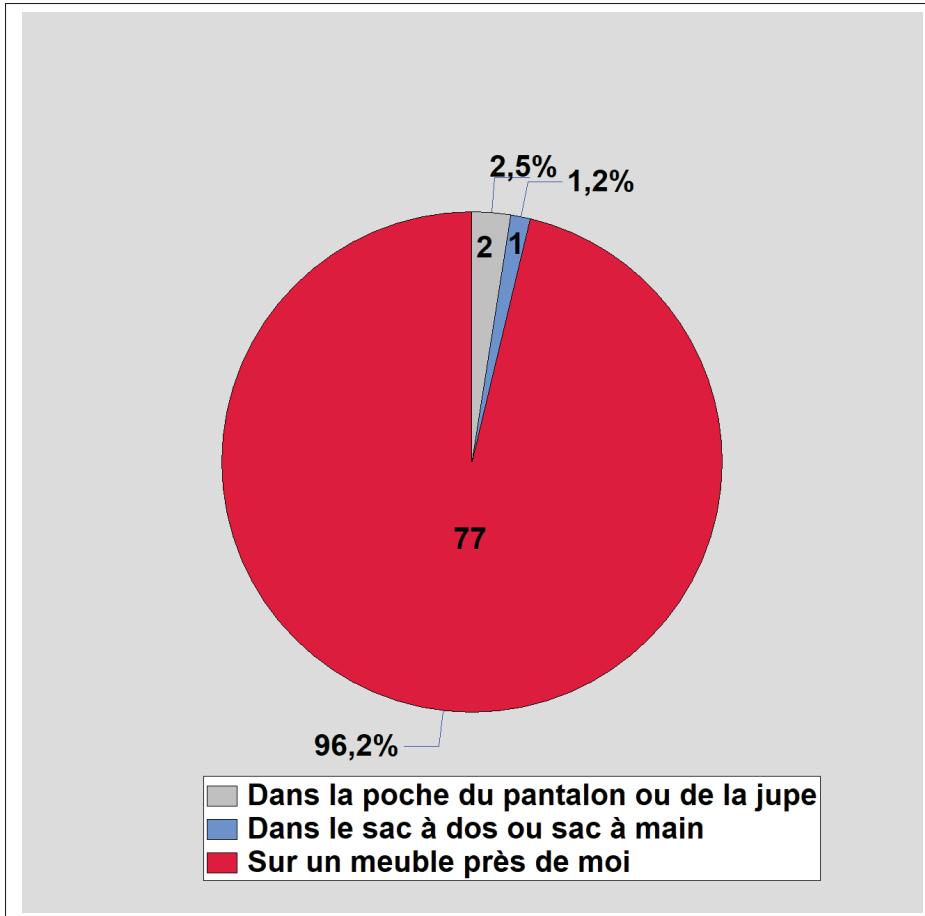


Figure 2.8 Distribution des positions de port du téléphone pendant le travail sur ordinateur

71,3 % (57/80) restants ont indiqué porter leur téléphone dans une position spécifique lorsqu'ils conduisent.

La Figure 2.10 présente les statistiques des positions adoptées par ces 57 répondants lorsqu'ils conduisent. La majorité des conducteurs placent leur téléphone dans la voiture (75,4 %, 43/57), soit dans un support accroché au tableau de bord ou trépied (63,1 % ; 36/57), dans un support à gobelet (5,2 % ; 3/57), dans la voiture près d'eux (3,5 % ; 2/57), dans le vide poche (1,7 % ; 1/57), dans un espace avec les pièces de monnaie (1,7 % ; 1/57) ou entre les deux sièges à l'avant (1,7 % ; 1/57). Quelques autres laissent leur téléphone dans un sac à main ou sac à dos (8,7 % ; 5/57), et certains portent le téléphone sur eux (14,0 % ; 8/57), soit dans la poche du pantalon ou

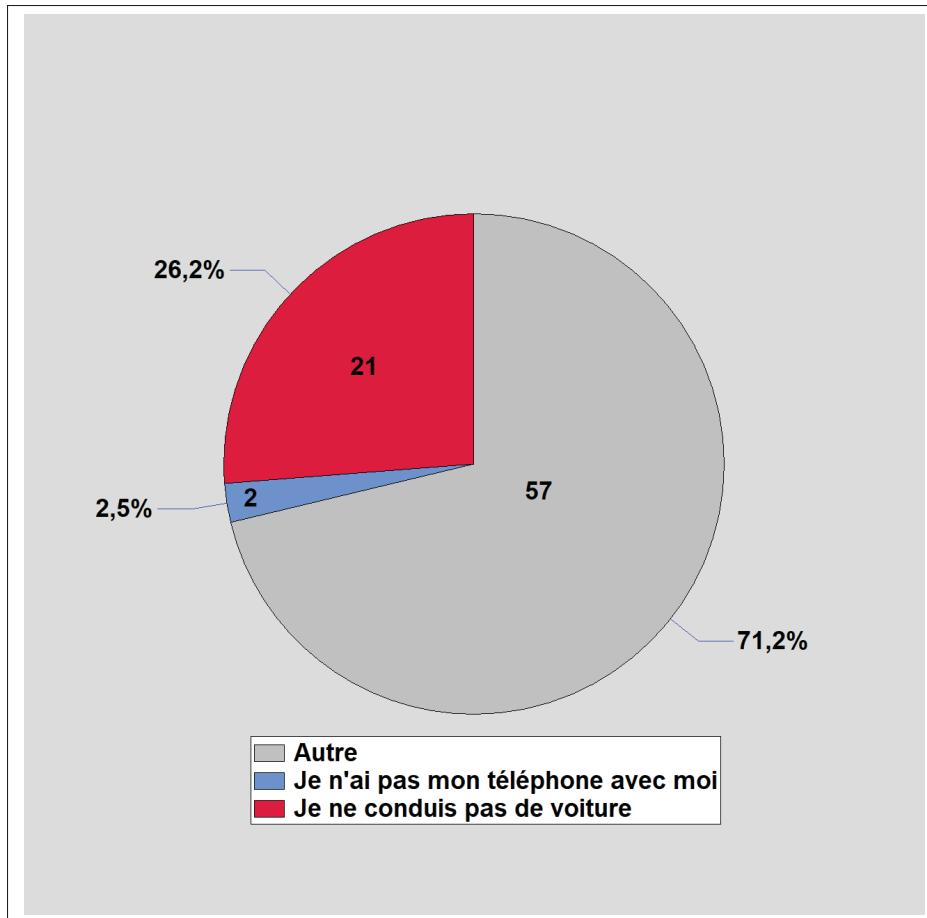


Figure 2.9 Fréquence de conduite de véhicule et du port du téléphone

de la jupe (8,7 % ; 5/57), dans la poche du manteau ou du chandail (3,5 % ; 2/57) ou dans la main (1,7 %, 1/57). Il est à noter que plusieurs de ces positions, notamment dans un support à gobelet, n'étaient pas initialement proposées dans le sondage.

De manière générale, les statistiques semblent indiquer que la plupart des conducteurs préfèrent garder leur téléphone dans un support fixé au tableau de bord, tandis qu'une minorité choisit des rangements accessibles.

La collecte de données biométriques est limitée pendant la conduite puisque les mouvements du corps sont limités, le conducteur étant principalement assis et utilisant ses mains pour le volant et ses pieds pour les pédales. Certaines positions avec contact entre le téléphone et des parties

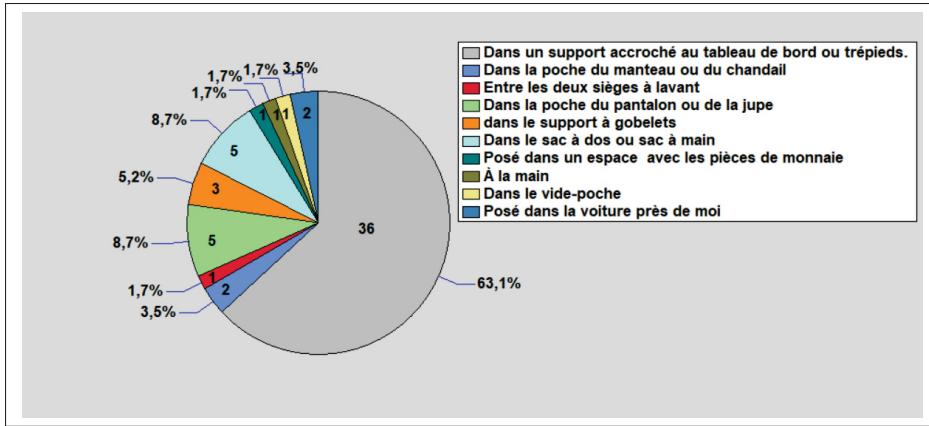


Figure 2.10 Distribution des positions de port du téléphone pendant la conduite de voiture

du corps produisant des mouvements, comme les mains ou les jambes, peuvent tout de même justifier leur pertinence. Les statistiques recensent trois positions pertinentes : dans la poche du manteau, dans la poche du pantalon, ou dans la main, représentant 14,0 % (8/57) des effectifs.

Ces 8 conducteurs (14,0 %) qui portent leur téléphone sur eux pourront ressentir des effets haptiques. Les conducteurs qui placent plutôt leur téléphone dans un support fixe, dans un sac ou dans un rangement du véhicule (85,9 % ; 49/57) ne percevront pas les effets haptiques. Il semble donc peu pertinent de produire un retour haptique à l'aide d'un téléphone lors de la conduite automobile.

Synthèse des résultats. Les activités stationnaires ne sont pas idéales pour la collecte de données biométriques en raison des mouvements limités et du fait que peu d'utilisateurs gardent leur téléphone sur eux pendant ces activités (3,8 % pour le travail sur ordinateur et 14,1 % pour la conduite). Toutefois, si la collecte de données est nécessaire dans ces contextes, la position à privilégier serait la poche du pantalon ou de la jupe, bien qu'elle soit peu fréquente (2,5 % pour le travail sur ordinateur et 8,7 % pour la conduite).

Il semble aussi difficile de produire des effets haptiques sur un téléphone lors d'activités stationnaires. Le téléphone est à proximité pour un majorité lors de ces activités, soit 100,0 % lors du travail sur ordinateur et 96,6 % (57/59) lors de la conduite. Il est cependant porté à un

endroit permettant de ressentir les vibrations pour seulement 2,5 % (2/80) des répondants lors du travail sur ordinateur et 14,0 % (8/57) lors de la conduite.

2.3.2.3 Les activités de jeu

Les activités de jeu, qu’elles se déroulent sur console ou en VR, présentent des dynamiques corporelles différentes. Nous examinons comment les utilisateurs positionnent leur téléphone au cours de ces deux types d’activités.

Jeu sur console. La Figure 2.11 présente la répartition des réponses quant à l’utilisation du téléphone pendant le jeu sur console. Il en ressort que 55,0 % des participants (44/80) jouent à des jeux tout en positionnant leur téléphone de manière spécifique. Une part significative des répondants (42,5 % ; 34/80) a indiqué ne pas jouer à des jeux sur console et une très faible proportion (2,5 % ; 2/80) n’ont pas leur téléphone avec elles pendant cette activité.

Comme illustré dans la Figure 2.12, une large majorité de personnes jouant sur console avec leur téléphone (86,3 % ; 38/44) place leur téléphone sur un meuble à proximité. 11,3 % (5/44) le rangent dans la poche de leur pantalon ou de leur jupe, tandis qu’une personne garde son téléphone dans la poche de son manteau ou de son chandail.

Seules deux positions sont adéquates pour la collecte de données biométriques : la poche du manteau ou du chandail, ainsi que la poche du pantalon ou de la jupe. Toutefois, ces positions restent peu courantes (13,5 % ; 6/44). En effet, les participants ont principalement l’habitude de placer leur téléphone sur un meuble à proximité (86,3 % ; 38/44), une position qui ne permet pas la collecte de données biométriques comportementales.

Cette proportion de 13,5 % (7/44) de personnes qui gardent leur téléphone dans une poche pourrait bénéficier du retour haptique sur leur téléphone. Une grande majorité (86,3 % ; 38/44) ne portent cependant pas le téléphone sur eux lors du jeu sur console et ne percevront donc pas les vibrations. Produire des vibrations sur un téléphone semble donc peu pertinent pour une majorité lors du jeu sur console.

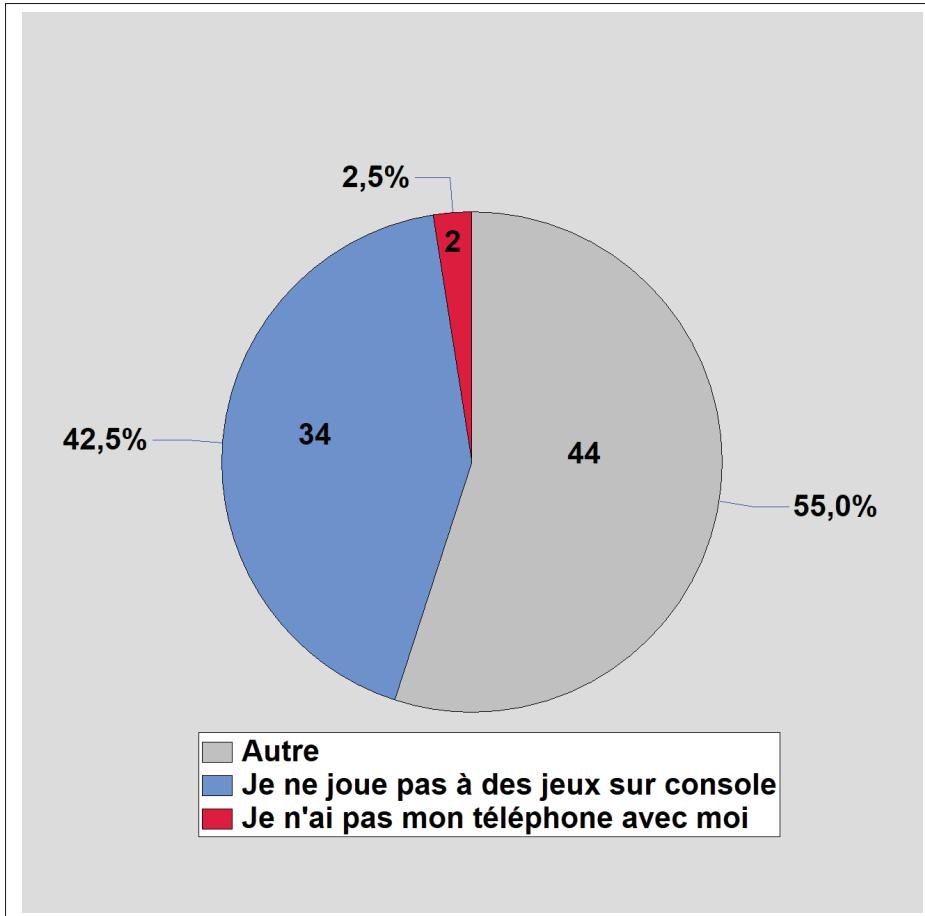


Figure 2.11 Fréquence de jeu sur console et du port du téléphone lors de cette activité

Jeu avec un casque VR. On observe dans la Figure 2.13 qu'une grande majorité des répondants (72,5 % ; 58/80) ne jouent pas à des jeux en VR, alors qu'une très petite proportion de 3,75 % (3/80) n'ont pas leur téléphone avec eux lors de cette activité. 23,8 % (19/80) des participants pratiquent donc cette activité en disposant leur téléphone dans une position spécifique.

Tel que illustré dans la Figure 2.14, les utilisateurs ont des préférences de positions variées lorsqu'ils jouent à des jeux avec un casque VR. La plupart gardent leur téléphone dans la poche de pantalon ou de leur jupe (47,3 % ; 9/19) ou dans la poche d'un manteau ou d'un chandail (5,3 % ; 1/19). D'autres choisissent de le disposer sur un meuble proche (42,1 % ; 8/19) ou dans un sac à dos ou un sac à main (5,3 % ; 1/19).

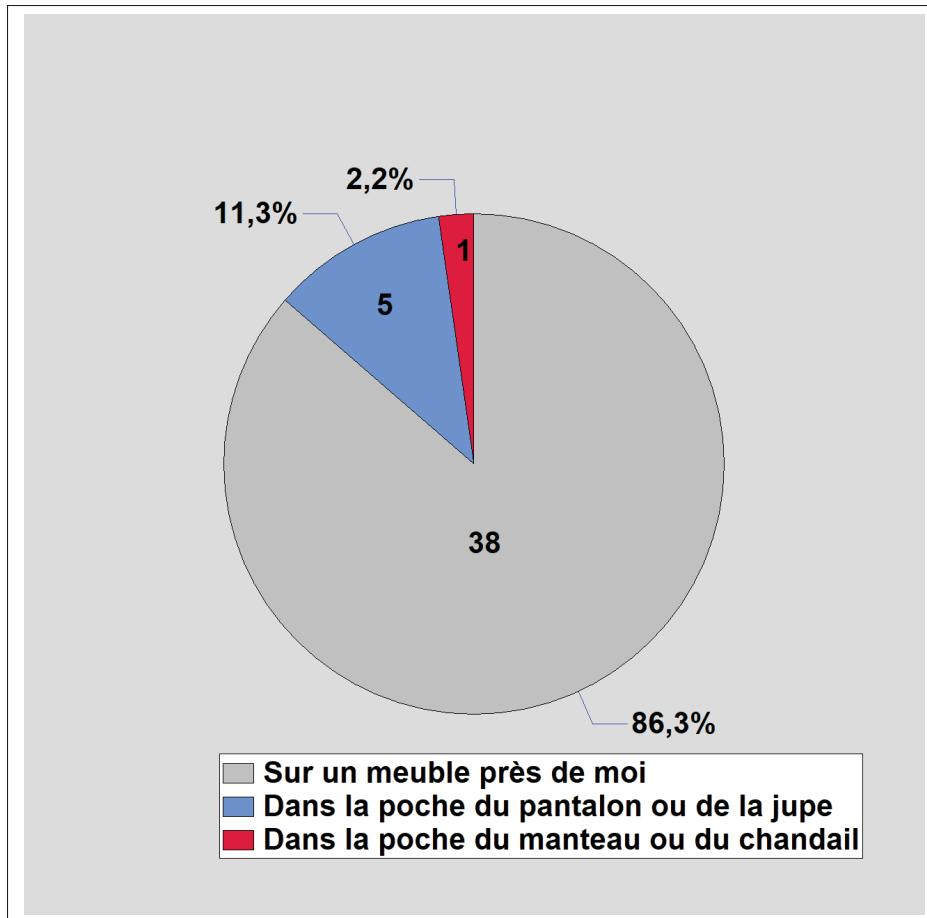


Figure 2.12 Distribution des positions de port du téléphone pendant l’activité de jeu sur console

Le jeu avec casque VR est peu pertinent pour collecte de données biométriques comportementales puisqu'il est pratiqué avec un téléphone par seulement 23,8 % des répondants. De plus, seulement 52,6 % (10/19) des répondants choisissent des positions avec contact contre le corps, qui favorisent la collecte de données biométriques. En revanche, les 47,4 % (9/19) restants adoptent des positions moins propices à cette collecte, plaçant plutôt leur téléphone dans un sac à dos ou sur un meuble.

Similairement, seuls les 52,6 % (10/19) des répondants qui portent leur téléphone contre le corps sont susceptible de percevoir ses vibrations lors du jeu avec casque de VR.

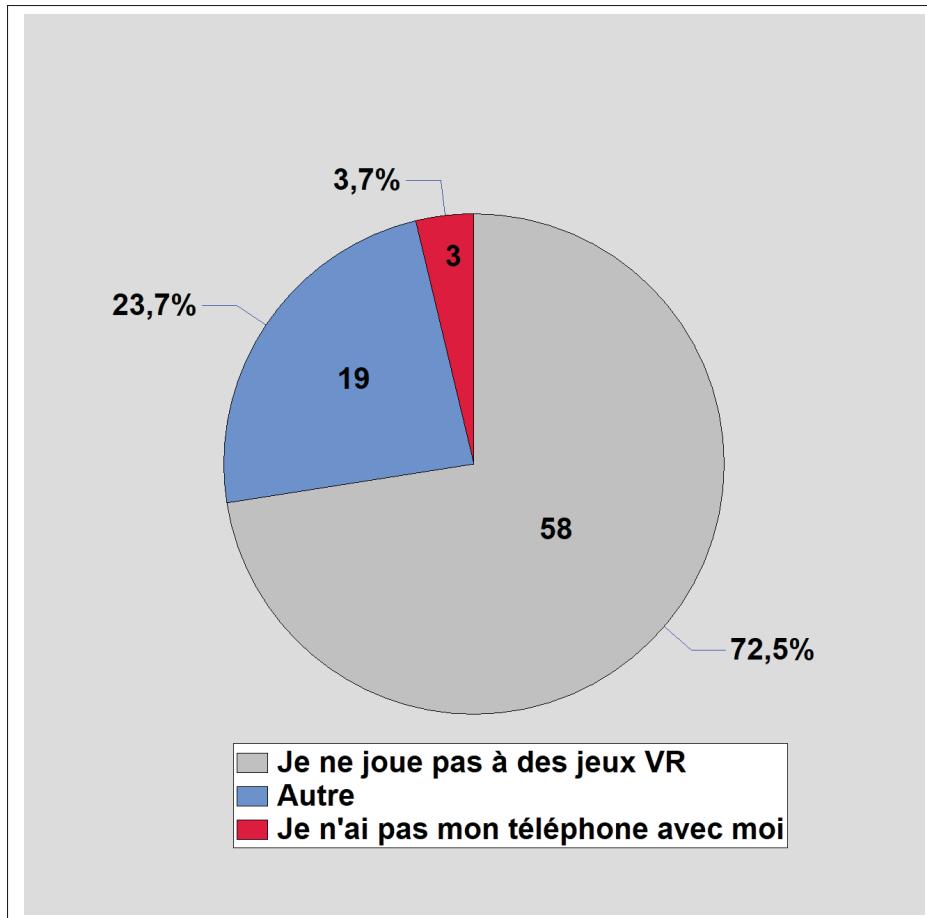


Figure 2.13 Fréquence de jeu avec casque VR et du port du téléphone lors de cette activité

Synthèse des résultats. Les activités de jeu offrent un cadre moins propice à la collecte de données biométriques puisque peu de répondants pratiquent ces activités avec leur téléphone, soit 55,0 % (44/80) pour le jeu sur console et 23,8 % (19/80) pour le jeu avec casque VR. De plus, le téléphone est porté à un endroit approprié pour la collecte de données biométriques seulement par 13,5 % (6/44) des répondants pour le jeu sur console, et 52,6 % (10/19) pour le jeu avec casque VR. Cependant, la position à privilégier pour le téléphone reste dans la poche du pantalon ou de la jupe, avec une fréquence de 11,3 % (5/44) pour les jeux sur console et de 47,3 % (9/19) pour le jeu VR.

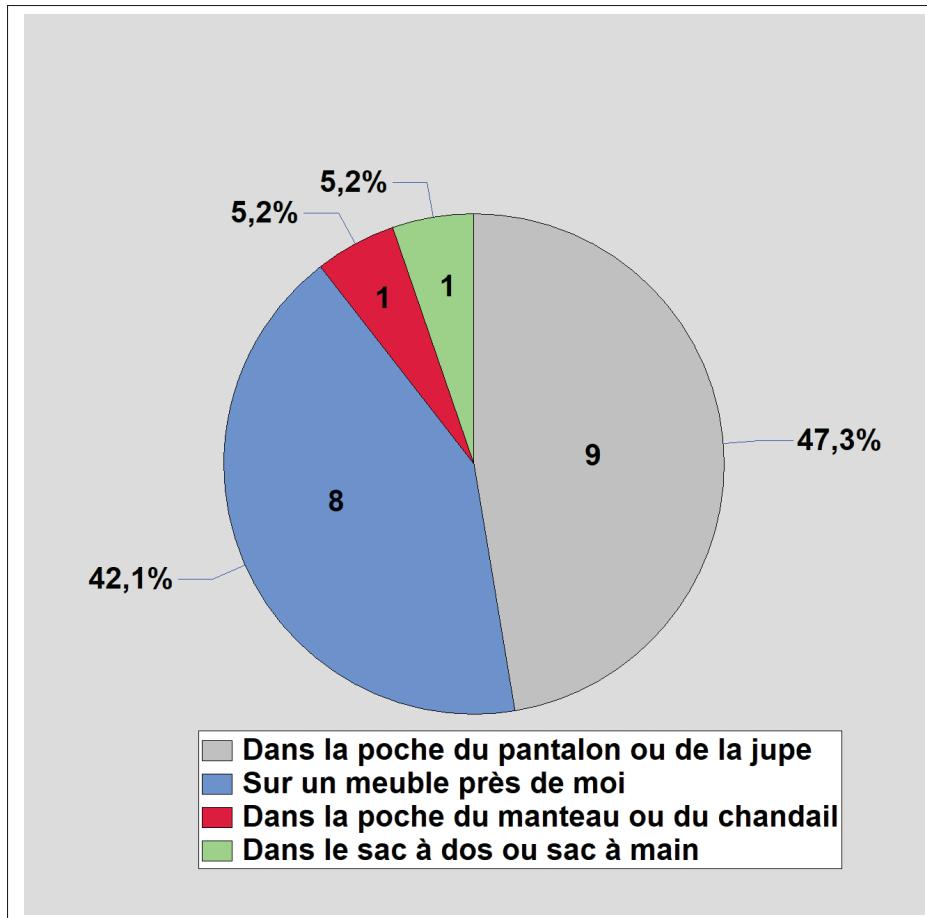


Figure 2.14 Distribution des positions de port du téléphone pendant les activités de jeux avec un casque VR

Similairement, les vibrations produites par le téléphone seront perceptibles pour 13,6 % (6/44) des utilisateurs de jeu sur console et 52,6 % (10/19) pour les utilisateurs de jeu avec un casque VR. L'utilisation de vibrations sur téléphone semble donc plus prometteur pour le jeu avec casque VR.

2.3.3 Utilisation et positionnement de la montre

L'utilisation d'une montre intelligente offre un potentiel pour la collecte de données biométriques et l'haptique. C'est ce potentiel qui motive l'intégration de ces aspects dans notre sondage. Les données recueillies permettent de déterminer la proportion d'utilisateurs possédant une montre,

d'analyser leurs habitudes de déplacement avec cet équipement et d'examiner les différentes façons dont ils la portent au quotidien. Ce sont principalement ces aspects qui seront abordés dans cette section.

2.3.3.1 Tendances d'utilisation d'une montre

La Figure 2.15 montre que 70,0 % (56/80) des répondants n'ont pas de montre intelligente, tandis que 30,0 % (24/80) ont répondu positivement.

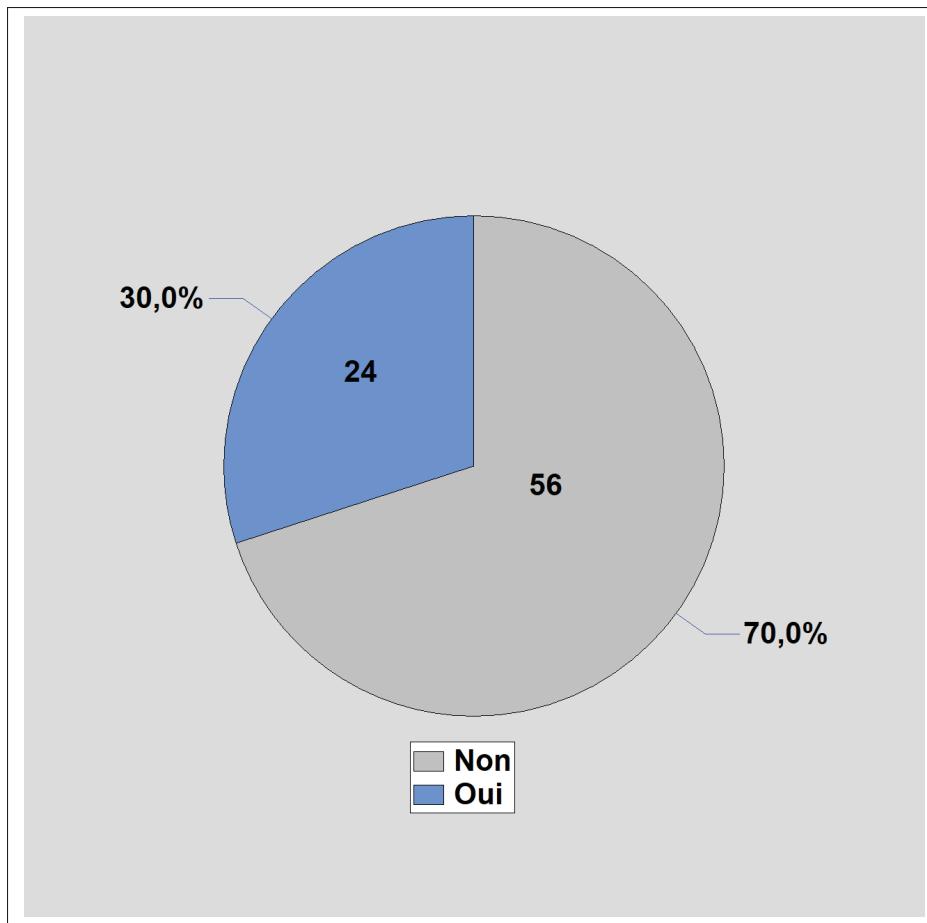


Figure 2.15 Répartition des participants possédant une montre

L'exploitation de la montre connectée pour la collecte de données biométriques est pertinente car elle est toujours portée contre le corps, contrairement au téléphone qui peut se trouver dans

des positions moins adaptées pour cette collecte. La montre est de plus portée à un endroit en mouvement constant et offre donc une opportunité unique pour capturer des données dynamiques. Les résultats révèlent cependant que seulement 30,0 % des utilisateurs pourraient participer à la collecte à travers les deux appareils. La montre intelligente représente tout de même une solution de secours si l'utilisateur oublie ou ne peut pas utiliser son téléphone, et donc un outil complémentaire pour garantir une continuité de collecte.

Bien que la proportion de personnes utilisant une montre soit faible (30 % des répondants), cela ouvre des perspectives intéressantes pour l'haptique. Ces 24 utilisateurs, pourraient être ciblés pour l'implémentation d'effets haptiques de manière synchronisée entre leur téléphone et leur montre. La montre, placée en contact direct avec le poignet, constitue de plus un support idéal pour générer des effets haptiques.

2.3.3.2 Habitudes de déplacement avec la montre

La Figure 2.16 montre que 80 % (64/80) des participants se déplacent principalement avec leur téléphone, tandis que seulement 2,5 % (2/80) utilisent exclusivement leur montre. Par ailleurs, 17,5 % (14/80) utilisent à la fois leur téléphone et leur montre pour se déplacer. Parmi les 24 utilisateurs de la montre et d'après les données de la Section 2.3.3.1, on peut conclure que 8,3 % (2/24) de personnes se déplacent exclusivement avec leur montre, tandis que 58 % (14/24) utilisent à la fois leur montre et leur téléphone.

Ces résultats révèlent que le téléphone reste l'appareil le plus utilisé pour les déplacements, tandis que la montre intelligente est perçue comme un accessoire secondaire.

Ces résultats suggèrent que la majorité des données biométriques comportementales pourrait être collectée à travers un téléphone. Cependant, l'usage combiné d'une montre et d'un téléphone, bien que minoritaire (14/80), représente une opportunité d'enrichir les données grâce à la complémentarité des deux appareils. Une collecte ciblée sur la montre serait envisagée pour uniquement les 2 personnes qui se déplacent avec leur montre.

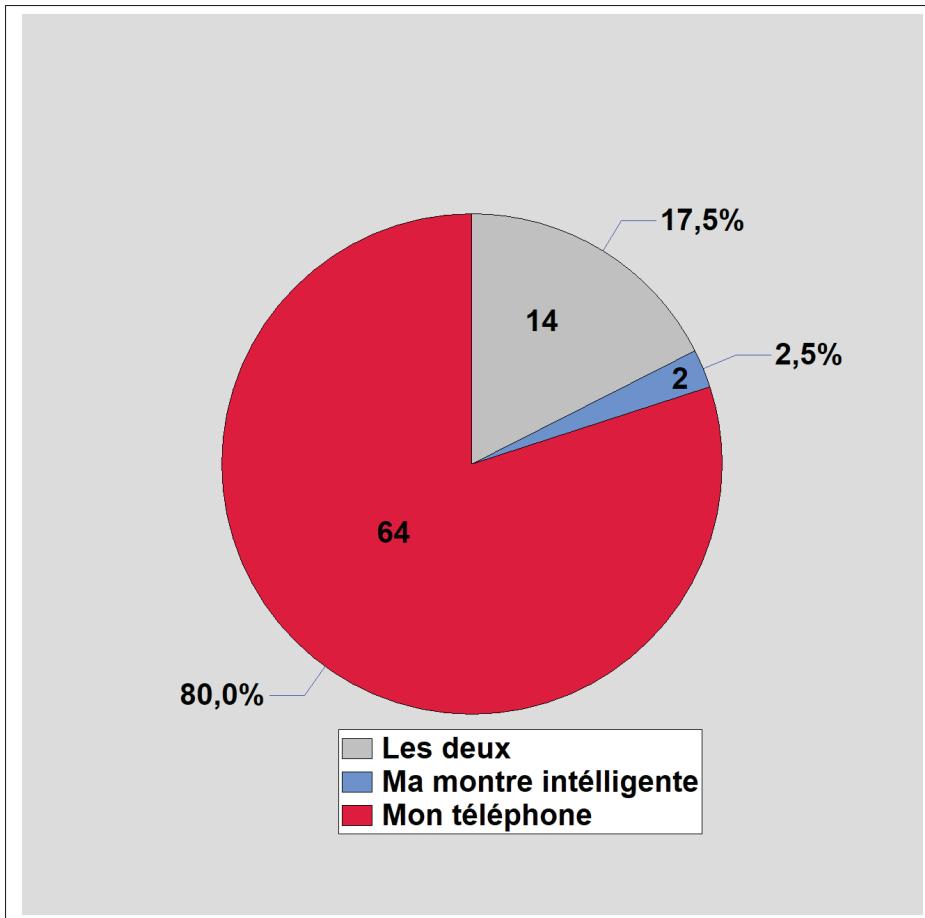


Figure 2.16 Habitudes de déplacement avec les appareils intelligents

Dans le contexte des effets haptiques, le déplacement avec les appareils est moins pertinent que leur positionnement sur le corps. Une optimisation des effets se fera principalement sur le téléphone, qui est majoritairement utilisé pendant les déplacements. La réception optimale des effets dépendra donc de la position adoptée par l'utilisateur. En complément, il serait pertinent d'implémenter ces effets de manière combinée (Kasaei & Levesque, 2022; Majidi, 2022; Valette *et al.*, 2024) pour les 17,5 % (14/80) des utilisateurs qui utilisent à la fois la montre et le téléphone, et de les adapter exclusivement à la montre pour les 2,5 % (2/80) restants.

2.3.3.3 Port de la montre au cours des différentes activités

La Figure 2.17 illustre les activités durant lesquelles les participants portent une montre intelligente, sur la base des 24/80 répondants qui possèdent une telle montre. La marche est l'activité la plus courante, étant pratiquée par 91,6 % (22/24) de ces répondants, suivie des activités sportives à 70,8 % (17/24). La conduite de voiture occupe la troisième place avec 54,1 % (13/24), tandis que l'utilisation d'un ordinateur représente 41,6 % (10/24). D'autres activités, comme les balades à vélo (33,3 % ; 8/24), les jeux vidéo sur console (20,8 % ; 5/24) et avec un casque VR (12,5 % ; 3/24) sont moins fréquentes.

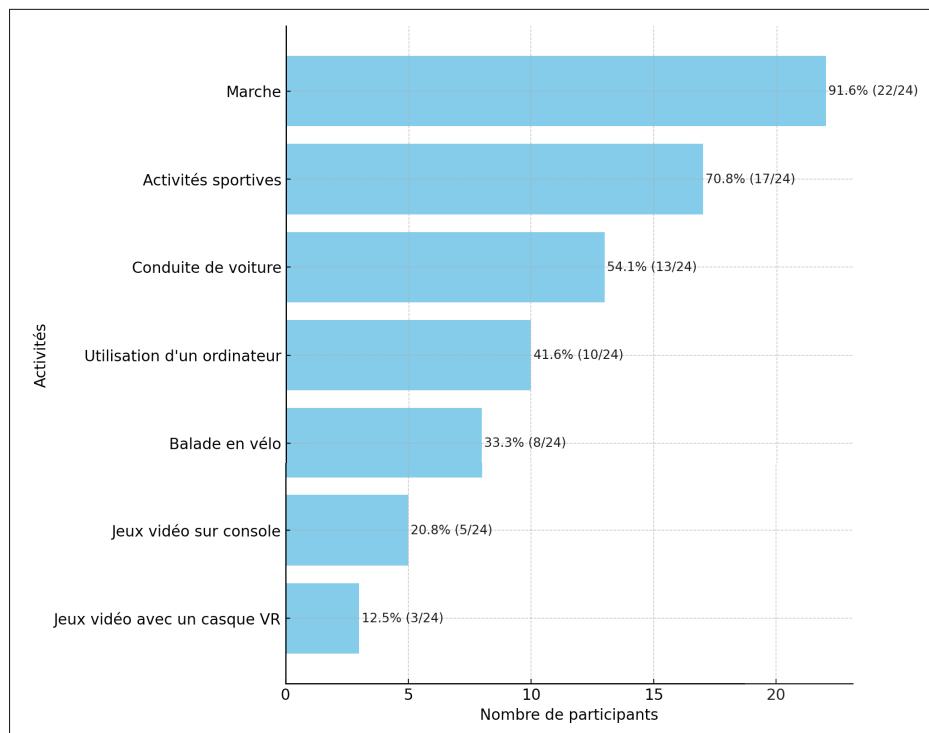


Figure 2.17 Activités fréquentes avec une montre intelligente

Ces résultats montrent que la montre est principalement utilisée lors des déplacements et des activités physiques, ce qui est pertinent pour la collecte de données biométriques. Cet équipement peut être utilisé comme dispositif secondaire ou alternatif après le téléphone pour les personnes qui le possèdent ainsi que ceux qui pratiquent ces activités. Les activités impliquant moins de mouvements physiques, comme l'utilisation d'un ordinateur ou les jeux vidéo, bien que moins

fréquentes, offrent une opportunité d'observer les changements dans les données biométriques comportementales.

La majorité des interactions haptiques peuvent être implémentées pendant les activités physiques. Les résultats montrent que l'implémentation d'effets sera la plus efficace lors des activités comme la marche et les activités sportives, car ce sont les moments où les utilisateurs sont les plus actifs avec leur montre. Des retours haptiques synchronisés avec les mouvements, comme des notifications vibrantes ou des retours basés sur les performances (exemple lors de séances d'exercice), peuvent être particulièrement bien perçus lorsque le téléphone est porté sur le corps.

L'implémentation d'effets haptiques multidispositifs, combinant montre et téléphone, serait particulièrement efficace lors des activités physiques (marche et activités sportives) où les utilisateurs interagissent le plus activement avec ces appareils. Des retours haptiques, qu'ils soient synchronisés ou non, entre une montre et un téléphone pendant la conduite ou l'utilisation d'un ordinateur sont envisageables. Ces retours, sous forme de vibrations ou de notifications ajustées aux mouvements, pourraient renforcer l'expérience utilisateur. Dans l'ensemble, les activités les plus adaptées pour intégrer des effets haptiques sont les activités physiques, comme la marche, les activités sportives, ainsi que les activités stationnaires (travail sur ordinateur et conduite). À l'inverse, les activités moins adaptées incluent les jeux (sur console ou VR) et le cyclisme, où l'utilisation d'une montre est la moins fréquente.

2.3.3.4 Positionnement de la montre

La Figure 2.18 montre que 87,5 % (21/24) des participants portent leur montre au poignet gauche, tandis que 12,5 % (3/24) la portent au poignet droit. Ces données semblent illustrer une nette préférence pour le poignet gauche, probablement en raison de l'habitude de manipuler la montre avec la main droite.

Le poignet sur lequel est portée la montre a peu d'importance pour la collecte de données biométriques mais est pertinent pour l'haptique. La répartition de l'usage, poignet droit (12,3 %) et poignet gauche (87,5 %) offre une possibilité d'adapter des effets en fonction de la direction

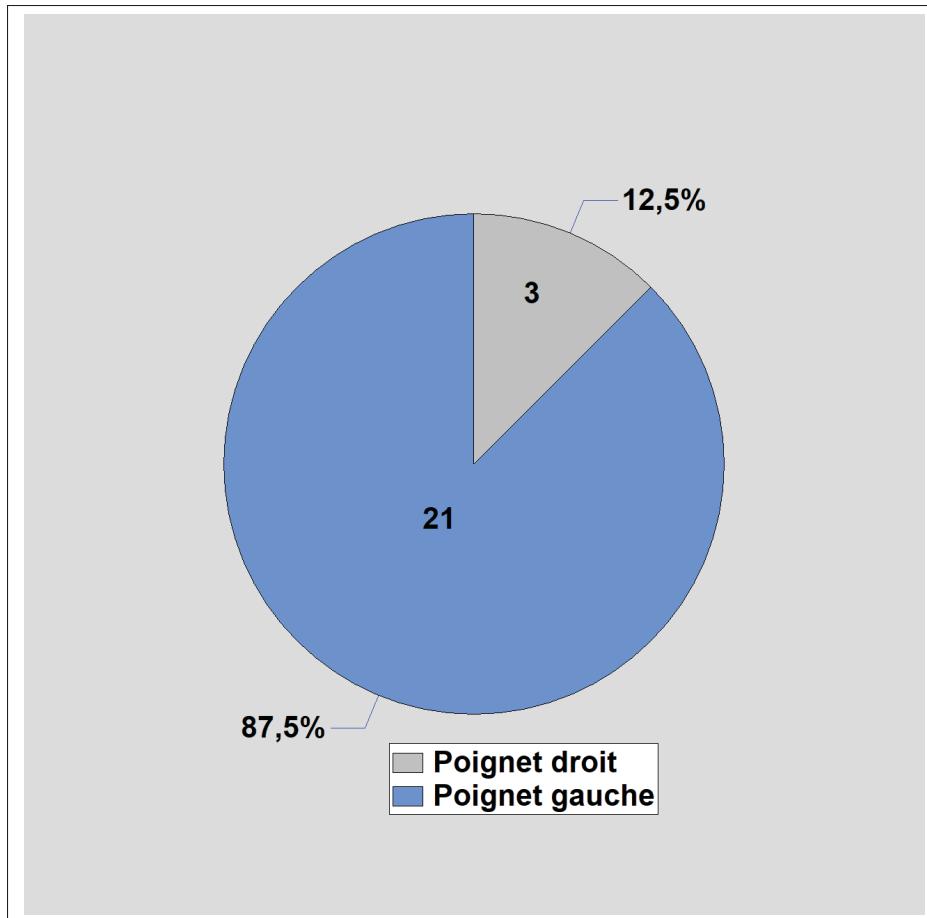


Figure 2.18 Distribution des positions de port de la montre intelligente

où elles sont émises. Dans le contexte de la combinaison d'équipements, tel que décrit dans les travaux de Majidi (2022) mentionnés dans la Section 2.1, la montre connectée couplée au téléphone peut transmettre des informations directionnelles à travers des vibrations orientées. Ces vibrations suivent le sens de la direction à emprunter, offrant ainsi un retour haptique intuitif, guidant l'utilisateur de manière plus précise dans son environnement.

Synthèse des résultats.

Les données révèlent que la majorité des participants n'utilisent pas de montre intelligente (70 % ; 56/80). Cependant, pour ceux qui en possèdent une (30 %, 24/80), la montre constitue un complément au téléphone pour la collecte de données biométriques. Portée en permanence au

poignet gauche ou droit, elle permet une collecte continue, soit en relais du téléphone pour 2,5 % (2/80) des participants qui se déplacent uniquement avec leur montre, soit de manière simultanée pour ceux équipés des deux dispositifs (17,5 % ; 14/80). Quant aux participants qui se déplacent uniquement avec qu'un téléphone (80 % ; 64/80), la collecte s'effectue exclusivement à travers cet appareil. L'analyse des données de la Section 2.3.2.1 démontre que les activités physiques, notamment la marche, sont idéales pour la collecte de données biométriques, d'autant plus que la marche est l'activité la plus fréquemment associée à l'utilisation de la montre (91,6 % ; 22/24).

2.3.4 Partage du téléphone

Cette section aborde les résultats de la collecte de données portant sur le partage de téléphone. Tel que présenté dans la Figure 2.19, 76,2 % des répondants (61/80) ne partagent pas leur téléphone, tandis que 23,7 % (19/80) le partagent régulièrement avec quelqu'un d'autre.

Notre échantillon révèle donc qu'une grande partie des utilisateurs partagent leur téléphone, ce qui présente un défi majeur dans le cadre de la collecte de données biométriques comportementales. En effet, 76,3 % (61/80) des participants pourraient être considérés des candidats idéaux pour une collecte de données fiable, le partage d'un téléphone compromettant l'intégrité des données collectées. Il serait envisageable de limiter la collecte de données biométriques aux utilisateurs qui ne partagent pas leurs appareils ou de réfléchir à des moyens d'isoler les données uniques de chaque utilisateur de manière sécurisée tout en prévoyant des interfaces qui permettraient de basculer d'un utilisateur à un autre. Il est intéressant de noter que, dans un contexte où le téléphone est partagé, l'authentification biométrique comportementale pourrait offrir une solution pertinente pour identifier précisément l'utilisateur à tout moment, car elle repose sur des caractéristiques uniques liées à l'utilisation individuelle.

2.4 Conclusion

Ce chapitre était porté sur le sondage sur les habitudes de port du téléphone et de la montre. La première partie a établi le contexte et justifié l'importance de cette contribution. Ensuite, le

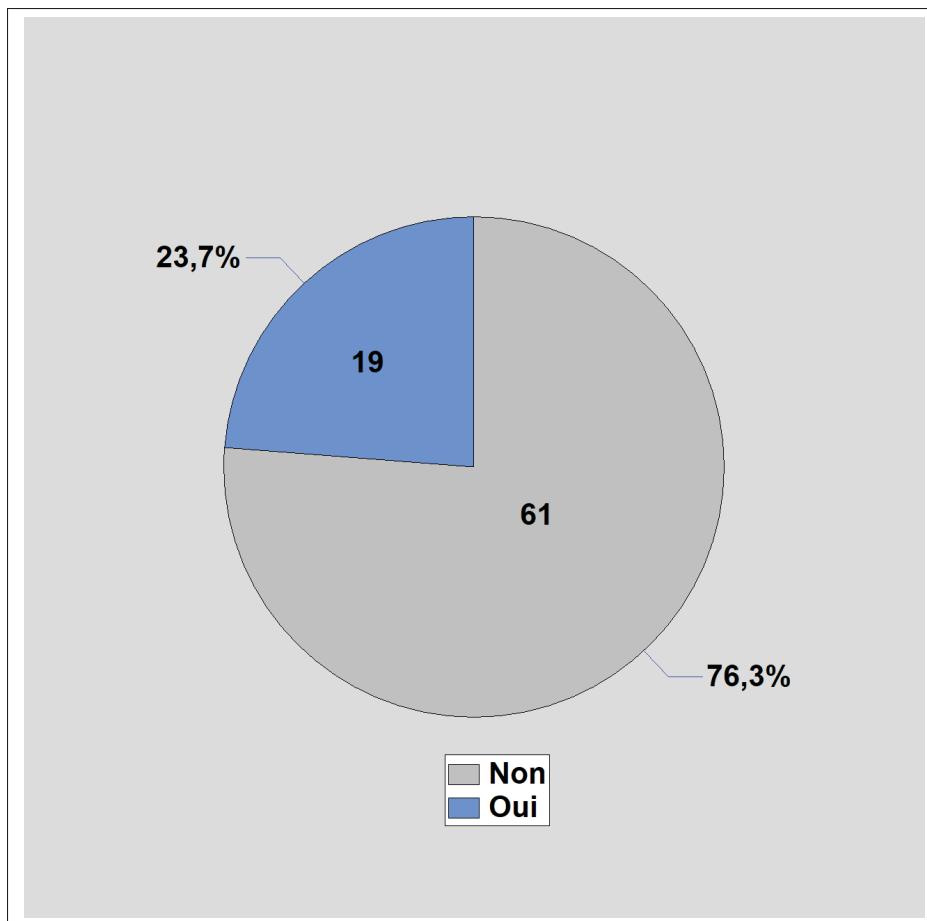


Figure 2.19 Répartition des participants qui partagent leurs téléphones intelligents

sondage a été présenté à travers des sous-sections détaillant les objectifs, la population cible et les types de données recueillies. Les résultats et discussions, structurés selon des critères démographiques (âge et genre), les habitudes de positionnement en fonction des activités, l'utilisation de la montre et le partage du téléphone, ont permis de mettre en lumière des implications dans le domaine de la collecte de données biométriques et de l'haptique. Il est essentiel de revenir sur les objectifs de cette contribution pour clarifier les attentes et les enjeux qui ont orienté le sondage.

Le premier objectif de cette contribution visait à comprendre les comportements de port et les tendances de positionnement, ainsi que les habitudes de partage des téléphones et des montres

intelligentes, lors d'activités physiques, de jeu et stationnaires, activités pertinentes dans un contexte de collecte de données biométriques comportementales.

La position sur un meuble près de moi comptabilise des statistiques importantes pour les activités stationnaires. Les utilisateurs ajustent le positionnement de leur téléphone en fonction du contexte. Par exemple, lors de la conduite, une grande variété de positions (support accroché au tableau de bord, vide poche, etc.) est enregistrée individuellement à différents endroits dans le véhicule.

La position dans la poche du pantalon ou de la jupe est commune dans la plupart des activités physiques (marche, cyclisme, sport). Cette position, où le téléphone est proche du corps, permet de collecter des données biométriques comportementales. L'application de collecte devrait donc intégrer dès sa conception la prise en compte de cette configuration. Elle devra également intégrer des paramètres pour les autres positions éloignées du corps, comme le sac à main ou le sac à dos, qui sont des endroits qui ne sont pas toujours en mouvement. Il faudra donc envisager des stratégies pour que le téléphone puisse enregistrer des mouvements depuis ces positions.

Des ajustements seront nécessaires pour les utilisateurs qui partagent leur téléphone. La montre intelligente, bien que moins utilisée (24/80), représente un équipement au fort potentiel. Elle est souvent privilégiée à la place du téléphone lors des activités sportives et est fréquemment associée au téléphone pendant les déplacements. Dans un contexte particulier, tel que la marche ou les activités sportives, et sous certaines conditions, comme le fait de posséder une montre et de se déplacer avec les deux appareils, la collecte de données peut être effectuée simultanément sur la montre et le téléphone.

En somme, il a été observé que les utilisateurs interagissent de façon contextuelle avec leur appareil, un contexte spécifique correspond à une position différente. La planification de la collecte développée dans le Chapitre 3 explore les cas de figure spécifiques en fonction des habitudes de positionnement les plus habituelles, tout en excluant les activités non pratiquées. La marche est particulièrement favorable à la collecte de données biométriques comportementales, car elle est une activité quotidienne et courante où les utilisateurs gardent souvent leur téléphone

dans une position privilégiée (poche du pantalon ou de la jupe). En effet, il s'agit de l'une des activités les plus fréquentes pendant lesquelles les individus se déplacent avec leur téléphone, offrant ainsi des occasions régulières et variées d'enregistrer des données biométriques. À partir des connaissances basées sur les habitudes, il devient donc possible de concevoir un système de collecte de données adaptatif et une application d'authentification par biométrie comportementale performante.

Le second objectif visait à valider l'utilisation et le positionnement des montres et téléphones intelligents dans des contextes spécifiques, comme par exemple les jeux sur console ou en réalité virtuelle, en vue de leur intégration dans un environnement haptique.

Les résultats ont révélé que, lors des activités de jeu, les utilisateurs préfèrent poser leur appareil à proximité plutôt que de le porter sur eux. Cela peut poser un défi si l'on souhaite intégrer des effets haptiques dans les jeux, car il sera plus difficile de s'assurer que les joueurs ressentent ces effets directement. En revanche, les résultats ouvrent également des perspectives intéressantes pour d'autres contextes, comme la marche, où les utilisateurs se déplacent fréquemment avec leur téléphone près du corps et leur montre. Dans ce cas, il serait possible d'introduire des effets haptiques pour indiquer des directions, ajoutant ainsi une dimension interactive et pratique à l'expérience de marche.

Si l'on envisage d'introduire une montre avec des effets haptiques dans un jeu, les résultats montrent que les activités liées aux jeux vidéo, bien que présentes, représentent une part relativement faible des usages actuels des montres, avec seulement 6,4 % pour les jeux vidéo sur console et 3,8 % pour les jeux avec casque VR (Section 2.17). Cela indique que, pour l'instant, les montres ne sont pas massivement utilisées dans des contextes de jeu. Cependant, cette faible représentation pourrait également signaler une opportunité de marché. L'introduction d'une montre avec des effets haptiques dans un jeu pourrait captiver un segment de marché encore sous-exploité. En particulier, en ciblant les amateurs de jeux vidéo sur console et les utilisateurs de casques VR, il serait possible d'ajouter une dimension immersive supplémentaire

à l'expérience de jeu, ce qui pourrait attirer davantage ces utilisateurs vers l'intégration de la montre dans leur routine de jeu.

CHAPITRE 3

PLANIFICATION DE LA COLLECTE DE DONNÉES BIOMÉTRIQUES

Ce chapitre traite de la planification de la collecte de données biométriques comportementales. L'objectif est d'élaborer un plan qui définit les lignes directrices encadrant la collecte des données. Ce plan englobe la conception du processus de collecte, la sélection des participants, le choix des méthodes de collecte, ainsi que l'organisation des conditions dans lesquelles les données seront recueillies.

Le plan de cette collecte de données prévoit que les participants utilisent une application pour exécuter les activités prévues dans le protocole. Ce plan est conçu pour encadrer le processus dans des conditions spécifiques. Les données sont ensuite utilisées pour créer des jeux de données, qui serviront à concevoir et entraîner des modèles IA destinés à l'application d'authentification biométrique.

La Figure 3.1 est une représentation globale de l'intégration des systèmes dans un contexte d'authentification biométrique comportementale. Elle illustre comment les activités de la vie réelle nommées dans le sondage sur les positions habituelles sont intégrées à la conception d'une application de biométrie comportementale. Le sondage apporte des informations sur les habitudes de port et l'utilisation de la montre et du téléphone, informations exploitées par l'application de collecte de données, qui enregistre des données à partir de ces appareils. Cette boucle d'interaction continue entre les comportements réels, l'application de collecte et l'authentification biométrique assure une intégration fluide et en temps réel des données comportementales. L'analyse des données issues du positionnement des téléphones et des montres, présentée dans la Section 2.3 offre des opportunités d'amélioration pour l'application d'authentification, permettant désormais d'intégrer certaines fonctionnalités basées sur les habitudes de positionnement et des comportements spécifiques des utilisateurs.

Le processus de collecte de données à travers son application permet de développer des fonctionnalités, mais aussi d'améliorer les futures interactions entre les utilisateurs et avec l'application d'authentification.

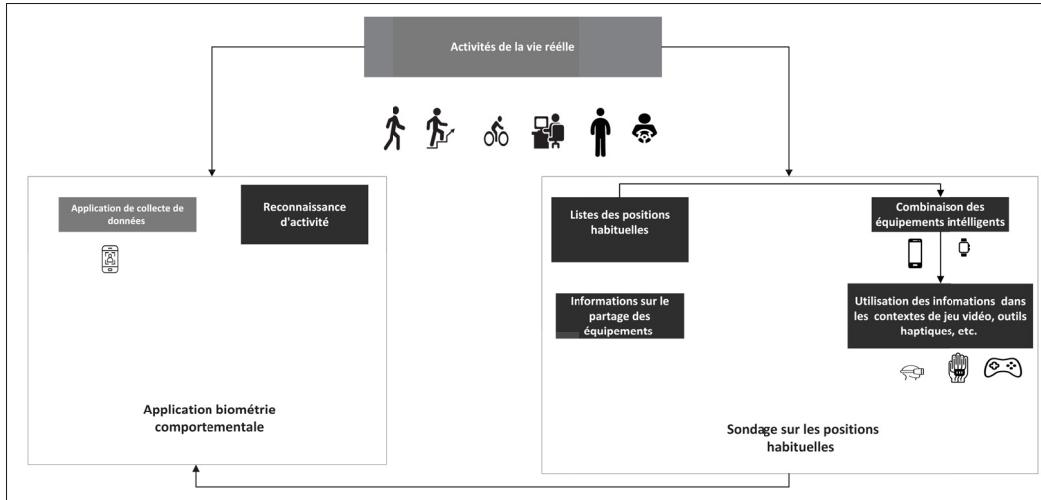


Figure 3.1 Activités de la vie réelles : collecte et analyse

Ce chapitre s'intéresse à l'application de collecte de données et à son plan pour recréer un environnement de vie réelle, tout en assurant des conditions raisonnables. Il aborde le contexte, les objectifs de collecte de données biométriques comportementales. Le chapitre se poursuivra par la présentation du processus de collecte, mettant en lumière les technologies utilisées, la sélection des participants, les mesures éthiques qui s'appliquent ainsi que les différentes étapes du processus de collecte. Nous terminons par la description d'une étape pilote visant à tester le protocole avec des outils technologiques simplifiés.

3.1 Le processus de collecte de données

La collecte des données biométriques comportementales constitue l'action par laquelle des individus réalisent diverses activités à l'aide de leur téléphone à travers une application dédiée à cet effet, permettant ainsi la capture de données grâce aux capteurs intégrés, tels que présentés dans la Section 1.4.1. Le processus de collecte implique des activités spécifiques, telles que la position du téléphone ou le nombre de frappes au clavier. Cette section abordera en détail le contexte, les objectifs du plan de collecte.

3.1.1 Contexte de la collecte

La collecte de données biométriques comportementales se fait dans un contexte où la conception de modèles d'IA est nécessaire au fonctionnement d'une application d'authentification. L'identification et l'analyse des comportements humains constituent une étape préalable à la conception de l'application de collecte de données.

Le contexte de la collecte englobe l'environnement, les conditions dans lesquelles se déroule l'étude, incluant les paramètres spécifiques au processus, tels que l'environnement de test, les interactions avec les participants ainsi que l'application utilisée.

L'application de collecte de données est le support technologique sur lequel s'appuie le cadre de collecte. Ses fonctionnalités de base fournissent un minimum d'action à l'utilisateur lui permettant de collecter des données utiles. Comme le présente la Figure 0.1, l'application de collecte de données est basée sur la frappe au clavier et la dynamique de marche. Ces données seront par la suite utilisées par des algorithmes afin de construire des modèles d'IA qui permettraient d'authentifier un utilisateur. Les interactions prévues pour cette application s'intègrent dans un parcours utilisateur minimaliste basé sur l'usabilité des tâches et des processus. Les capteurs sur les téléphones fonctionnent en arrière-plan, l'application de collecte est donc le point d'interfaçage entre les capteurs et les actions de l'utilisateur.

3.1.2 Les objectifs de la collecte

Ce processus de collecte contribue à :

- Collecter des données pouvant servir à construire des jeux de données. Ces jeux de données seront utilisés tout au long de la mise en œuvre de l'application d'authentification biométrique comportementale.
- Construire des modèles IA. Ces modèles, conçus à partir des jeux de données, seront élaborés à partir des données comportementales recueillies auprès des participants.

3.2 Processus de collecte

Le processus de collecte intègre la collecte de données libre et la collecte de données contrôlée.

La Figure 3.2 illustre ce processus de collecte de données :

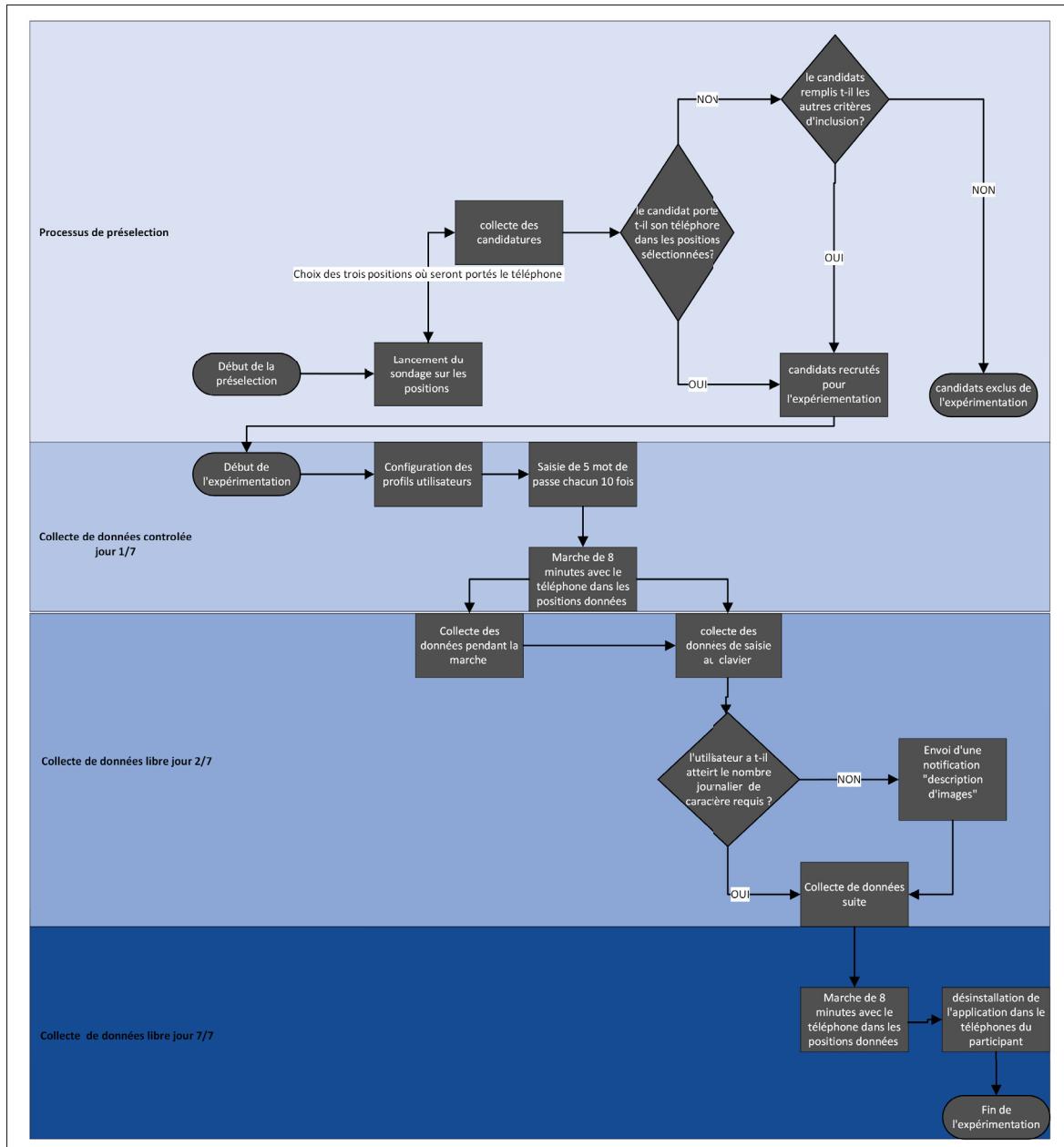


Figure 3.2 Processus de collecte de données

- La pré-sélection : Cette phase consiste à identifier les candidats idéaux en se basant sur les résultats au sondage sur les positions et l'analyse des réponses aux questions liées à l'utilisation du téléphone. Cette sélection s'appuie sur des critères d'inclusion préalablement définis, tels que, les habitudes de déplacement avec l'appareil, le choix des positions les plus utilisées issues de la Section 2.3.
- La collecte de données contrôlée : Cette phase utilise une approche de collecte de données dans laquelle un comportement est exigé à l'utilisateur. La méthode d'authentification étant basée sur le mouvement du corps, la manière de marcher et la façon de taper sur le clavier, il est demandé à l'utilisateur de réaliser des tâches précises. Un exemple : marcher pendant 8 minutes avec le téléphone dans la poche droite du pantalon ou de la jupe ou saisir 4 mots de passe dans un intervalle de temps. À cet effet, un itinéraire de marche doit être défini.
- La collecte de données libre : Cette phase n'est pas aussi exigeante que la précédente. L'utilisateur est libre de ses mouvements. Il exécute les tâches chez lui pendant une durée déterminée (7 jours maximum), sans aucun contrôle. Les seules conditions qui sont recommandées sont de toujours se déplacer avec un téléphone ou une montre, de garder actif le clavier de collecte.

Nous abordons dans cette section traitant du processus de collecte, les outils et technologies concernées par l'étude, la sélection des participants ainsi que les critères d'inclusion et d'exclusion, les mesures éthiques, les étapes de la collecte et la participation et mise en œuvre.

3.2.1 Technologies concernées par la collecte

La réalisation de la collecte de données fait intervenir les équipements technologiques suivants :

- L'application de collecte de données : définie comme le support applicatif sur lequel s'appuie le cadre de collecte, elle est encore en développement. Ses ajustements et améliorations sont progressivement réalisés, en s'inspirant des retours et des besoins identifiés.
- Téléphone intelligent : En raison de la permissivité du système Android, les téléphones fonctionnant avec ce système d'exploitation ont été privilégiés. La version exigée est 10 et

plus. Ces exigences sont justifiées par le fait que l'application de collecte est compatible avec ces systèmes. La précision des capteurs dépend également de la version. Pour la version 10 et plus, il a été démontré que les capteurs sont plus fiables et stables.

- Montre intelligente : l'exigence du système d'exploitation s'applique également à cet équipement.

3.2.2 Sélection des participants

Le processus de collecte de données comprend les étapes présentées dans la Figure 3.2. Il a été mis en place un processus de sélection des participants dont les critères sont basés sur les points suivants :

- Le choix des positions : le candidat devrait avoir au moins une position habituelle dans les propositions proposées.
- Le type de clavier utilisé : les candidats devaient utiliser soit un clavier AZERTY ou un clavier QWERTY. Ceux qui n'utilisaient ni l'un ni l'autre ont été exclus.
- La mobilité et le déplacement : ce critère visait à sélectionner des personnes qui se déplacent fréquemment au cours de la journée avec leur téléphone. Des personnes actives la plupart du temps.
- Nombre d'heures d'utilisation du téléphone : pour la collecte des données sur le clavier, il était nécessaire que les participants utilisent leur téléphone au moins 3 heures par jour, afin de s'assurer qu'ils sont à l'aise à fournir une quantité utilisable de données.

Les critères d'inclusion présentés ci-dessous définissent les caractéristiques que doivent présenter les personnes pouvant être sélectionnées dans le cadre de cette étude. Il faut être étudiant.e ou employé.e de l'ÉTS, être agé.e de 18 ans et plus, posséder un téléphone Android version 10 et plus. La population de l'ÉTS est ciblée pour la phase de mise en oeuvre parce qu'un prêt de montre était envisageable. La montre devrait être synchronisée au téléphone pour collecter des données de la marche. Le choix s'est concentré vers cette population cible pour mitiger le risque

de vol ou de perte de l'équipement. Les critères d'exclusion comprennent les personnes qui utilisent la voix pour saisir ainsi que celles en mobilité réduite.

3.2.3 Mesures éthiques

Comme pour tout projet avec des participants humains, notre processus adhère aux normes éthiques imposées par le CER de l'ÉTS, notamment celles relatives au consentement éclairé, à la confidentialité et au droit de retrait de l'étude. Des mesures particulières quant au stockage et distribution des données biométriques s'appliquent à cette étude. Les données biométriques comportementales collectées sont stockées sur un serveur sécurisé. Il est accessible uniquement à l'équipe de recherche et supprimé au bout de 10 ans. Une autre mesure éthique permet à l'utilisateur de suspendre la collecte de données au clavier lorsque l'utilisateur saisit des informations sensibles, telles que les mots de passe ou d'autres données confidentielles.

3.2.4 Étapes de collecte de données

Ces étapes se déroulent suivant le plan suivant :

- Formation : installation de l'application de collecte de données sur le téléphone du participant. Il sera question également d'expliquer comment la collecte se fera en arrière-plan ainsi que ses fonctionnalités. La Figure 3.6 présente la page d'accueil de l'application, qui regroupe l'ensemble des fonctionnalités essentielles pour le participant. Elle constitue le point d'entrée de l'application de collecte de données biométriques et permet un accès direct à différentes actions telles que la collecte de données de marche, la collecte de données de frappe au clavier et les paramètres de l'application.
- Collecte de données contrôlée : elle commence une fois l'installation et la configuration du profil utilisateur terminées dans l'application. Le participant doit ensuite saisir cinq mots de passe, chacun répété dix fois, fournis par l'équipe de recherche. Par la suite, un parcours est prévu où l'utilisateur marche pendant 8 minutes avec le téléphone dans sa position habituelle. La Figure 3.4 illustre la fonctionnalité de collecte des données liées à la marche. Cette



Figure 3.3 Page d'accueil

fonctionnalité permet de recueillir des informations intéressantes lorsque le téléphone est porté d'une manière spécifique. Il est possible de sélectionner la position souhaitée, puis de démarrer l'activité en s'assurant que le téléphone est placé dans la position indiquée.

- Collecte des données libre 7 jours : elle démarre tout de suite après l'installation et l'explication. Le processus en détails précise que : le participant utilise son téléphone de façon naturelle comme à son habitude. Aucune instruction n'est exigée. Les données comportementales de ses activités (marche, course, vélo, conduite, activités physiques, etc.) et toutes les saisies de

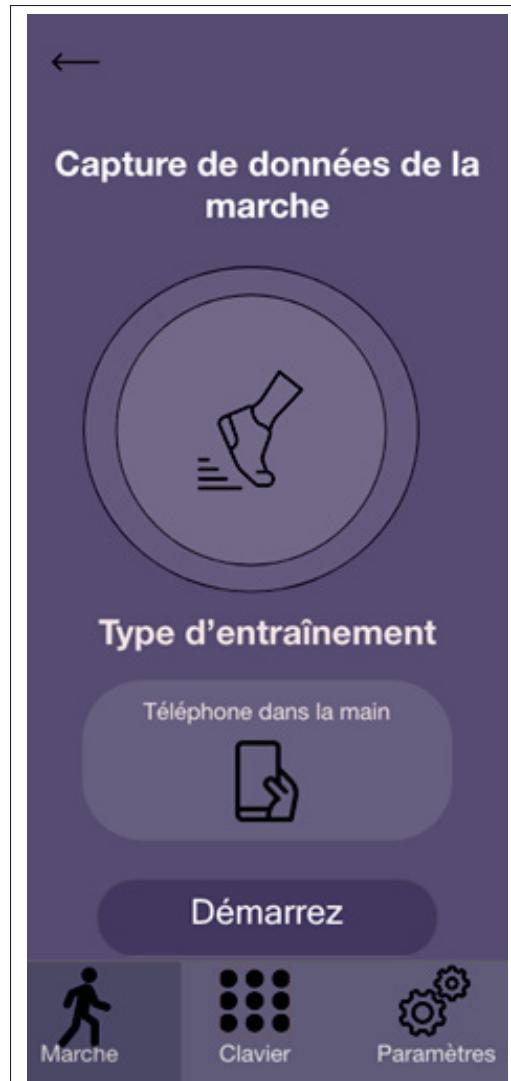


Figure 3.4 Page de collecte de la marche

clavier seront enregistrées. Pour des raisons de confidentialité, le participant a la possibilité de désactiver le clavier de collecte lorsqu'il saisit des données jugées sensibles. Aucun contenu de texte n'est enregistré. L'application produit des statistiques quotidiennes liées au nombre de caractères saisis par jour et au nombre de kilomètres parcourus (podomètre). Illustrée dans la Figure 3.5, cette fonctionnalité permet de configurer le clavier. Dans les paramètres, les utilisateurs peuvent également accéder à des informations détaillées, notamment les

statistiques des frappes au clavier, afin d'examiner leurs habitudes de saisie. Ces statistiques peuvent également être exploitées par l'équipe de recherche à la fin de la collecte.

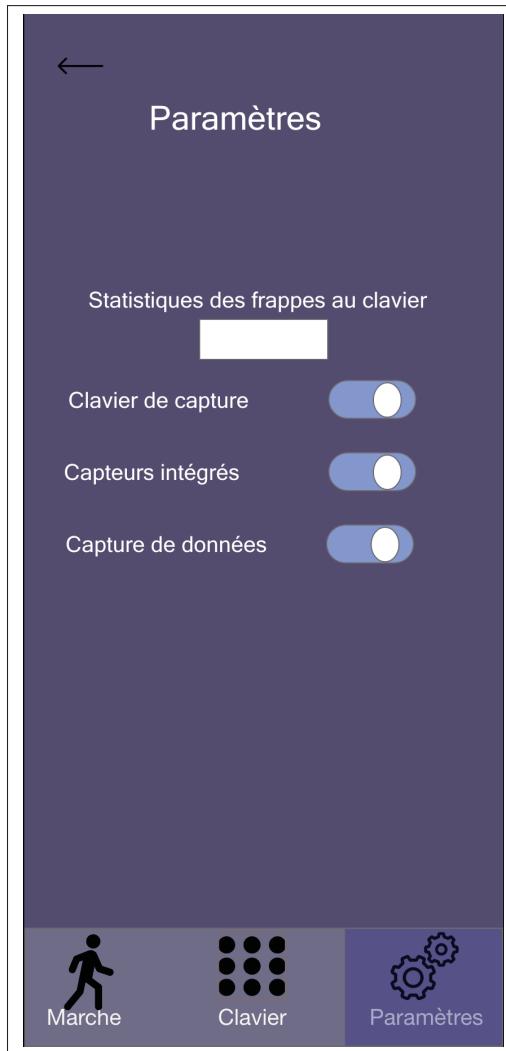


Figure 3.5 Paramètres de l'application

- Description d'un nombre d'images sélectionnées de manière aléatoire issues d'une banque d'images en ligne. Les images à décrire s'afficheront sur l'écran de téléphone comme une fenêtre pop-up avec une boîte pour saisir du texte. Les images sélectionnées de manière aléatoire proviennent de la banque d'images du site Unsplash : <https://unsplash.com/fr> via son API gratuite. L'espace de description peut contenir 1 à 200 caractères. Ces activités

de saisie peuvent prendre 10 minutes par jour. Cette durée peut varier en fonction de la vitesse de saisie du participant. La Figure 3.6 montre la fonctionnalité liée à la saisie du texte notamment la description d'images au sein de l'application. La fonctionnalité de texte d'entraînement permet également d'enrichir les données collectées en simulant des scénarios réels de saisie.

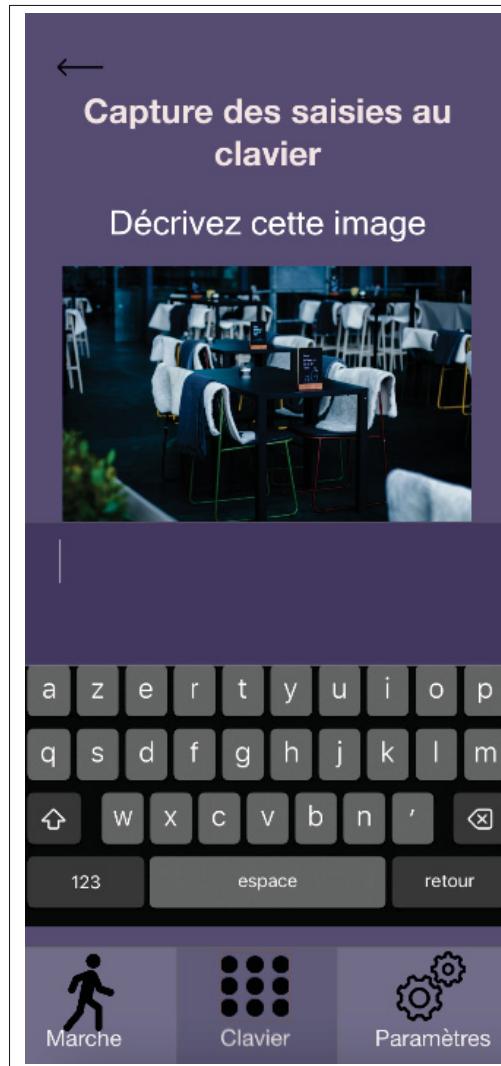


Figure 3.6 Page de description d'images

3.3 Étape pilote

La phase pilote sert à tester le processus de collecte dans son ensemble. Cette étape est conçue dans le but de valider la faisabilité et l'efficacité du plan de collecte avant sa mise en œuvre. Elle peut être réalisée sans l'apport de l'application de collecte.

Dans le contexte de cette étude, elle permettra de corriger les erreurs et d'anticiper les potentiels problèmes. Le processus et les outils seront testés en deux étapes : la première consiste à la frappe au clavier, ensuite la marche.

Étape 1 : frappe au clavier

L'objectif de cette étape est de mesurer le nombre de caractères saisis sur une période donnée afin de déterminer s'il est nécessaire d'introduire une activité de description d'images. Il s'agit également d'évaluer combien de caractères peuvent être saisis lors de cette activité de description d'images. Pour cela, nous utilisons un clavier open source, Heliboard, dont le code sera modifié pour enregistrer chaque frappe. Le scénario se déroule comme suit : le participant installe le clavier sur son téléphone, le configure comme clavier par défaut, et utilise son téléphone normalement pendant sept jours. Au cours de cette période, plusieurs courriels lui seront envoyés dans un intervalle de 2 jours, lui demandant de décrire des images. Conformément au protocole, toutes les frappes au clavier sont capturées et comptabilisées. Les critères de validation incluent l'efficacité de la collecte des frappes qui pourront être vérifiés à travers des statistiques. Enfin, en termes d'usabilité, un changement de clavier est possible lors de la saisie d'informations sensibles.

Étape 2 : marche

La dynamique de la marche est capturée à l'aide d'une application indépendante, qui, après des tests, s'est révélée fiable pour une utilisation dans ce contexte. L'objectif principal de cette étape est d'évaluer la capacité des utilisateurs à réaliser l'activité de marche. Nous comptabilisons le nombre de pas réalisés et observons la quantité de données recueillies. Pour ce faire, nous utilisons l'application CrowdSense, généralement employée dans le domaine de la recherche

pour collecter un maximum de données sur différents participants en vue de la reconnaissance d'activités. Le scénario se déroule ainsi : le participant installe CrowdSense sur son téléphone. Il marche avec le téléphone placé dans la poche arrière de son pantalon, permettant ainsi de collecter les données nécessaires pour l'analyse. Les critères de validation comprennent le déplacement avec le téléphone et l'exécution des tâches assignées. Concernant les paramètres d'usabilité, l'application fonctionne en arrière-plan sans envoyer de notifications, et il est possible de désactiver la collecte des données de marche à tout moment. La position testée pour cette étape est la marche avec le téléphone tenu en main.

3.4 Conclusion

Ce chapitre a abordé la planification de la collecte de données biométriques comportementales, en détaillant le contexte et les objectifs de cette collecte. Il a présenté le processus de collecte, en couvrant les technologies utilisées, la sélection des participants, les mesures éthiques mises en place, ainsi que les différentes étapes du plan de collecte, décrivant les activités à réaliser par les participants. Une phase pilote a également été introduite, visant à tester le protocole avec des technologies plus simples telles que Heliboard, un clavier modifiable, et CrowdSense, pour capturer la dynamique de la marche.

Le plan définit les principes essentiels pour garantir une collecte de données réussie. Il s'appuie sur les comportements quotidiens des utilisateurs, cherchant à reproduire des activités de marche ou de frappe saisie au clavier en situation de test. Nous cherchons à maintenir ce cadre réaliste afin de s'assurer que les tâches soient menées à bien. Toutefois, il est crucial de ne pas surcharger les participants, car une trop grande exigence pourrait entraîner un abandon avant la fin des activités.

La conception du protocole souligne l'importance de choisir des tâches qui reflètent fidèlement les situations de la vie quotidienne, afin d'assurer la pertinence des données recueillies. En intégrant divers scénarios, comme marcher en tenant le téléphone, le protocole permettra de capturer une variété des interactions quotidiennes. Cela pourrait limiter les biais contextuels et

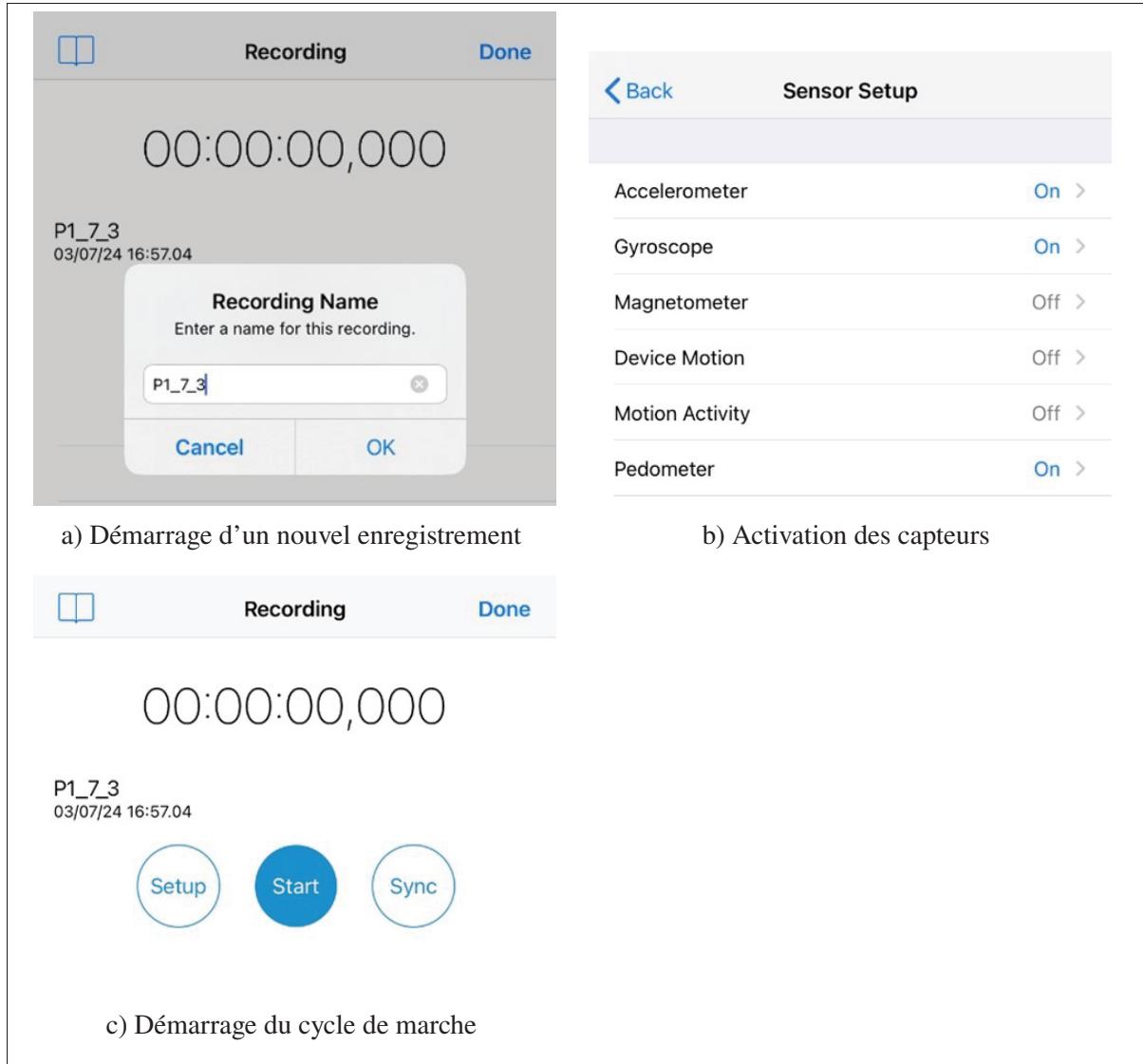


Figure 3.7 Étapes de configuration crowdsense

évaluera la capacité des modèles IA à s'adapter à des situations variées, tout en tenant compte des différences individuelles dans les habitudes d'utilisation.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude, structurée en trois chapitres, a exploré les concepts clés liés à la méthodologie de collecte de données pour l’authentification biométrique comportementale. Le premier chapitre a introduit le cadre théorique, suivi des deux contributions principales développées dans les chapitres 2 et 3. Le chapitre 2 s’est concentré sur le sondage sur les habitudes de port du téléphone et de la montre, tandis que le chapitre 3 a abordé la planification de la collecte de données.

Le sondage a permis de mieux comprendre les préférences des utilisateurs en ce qui concerne le positionnement et l’utilisation des appareils intelligents, tels que le téléphone et la montre, pendant leurs activités quotidiennes. Grâce à ce sondage sur ces habitudes, cette première contribution a apporté ces préférences dans le plan de collecte de données biométriques comportementales. Par ailleurs, une planification de la collecte de données a été réalisée, en tenant compte des habitudes, pour élaborer un cadre de collecte de données en situation réelle. Un processus pilote, basée sur un plan de collecte défini, permettra de valider l’approche proposée, assurant ainsi une collecte de données pertinente et adaptée aux utilisateurs. L’objectif est d’assurer l’adoption de l’application de collecte de données en veillant à ce qu’elle s’intègre aux habitudes et comportements des utilisateurs. L’analyse des résultats a permis de mieux comprendre ces habitudes, d’identifier les préférences des utilisateurs et de planifier des tâches adaptées.

La marche est l’activité la plus recommandée pour l’expérience de collecte de données. Parmi les différentes options de positionnement du téléphone, la poche du pantalon est considérée comme la position la plus courante et représentative des habitudes des utilisateurs. D’autres positions doivent être considérées, telles que lors de la conduite d’un véhicule, du déplacement à vélo ou du travail sur ordinateur. Dans ces cas, les individus ne portent généralement pas leur téléphone sur eux. Le partage de téléphone est aussi un aspect à considérer lors de la conception d’une application de collecte de données. Bien qu’il puisse restreindre la qualité ou

la continuité de la collecte, l'application doit être en mesure de créer des instances spécifiques afin de préserver l'intégrité des données recueillies. L'utilisation d'une montre intelligente, bien que peu répandue, représente enfin une opportunité intéressante pour l'associer au téléphone dans le cadre de la collecte de données biométriques. L'application de collecte de données pourrait ainsi être installée sur les deux appareils. La montre pourrait prendre le relais lorsque l'utilisateur n'a pas son téléphone sur lui, ou bien collecter des données simultanément avec le téléphone. En somme, les résultats du sondage offrent une meilleure compréhension des comportements des utilisateurs et mettent en lumière des tendances clés, permettant de formuler des recommandations sur les fonctionnalités qui peuvent améliorer l'efficacité de la collecte de données biométriques comportementales.

Le plan de collecte de données établit les lignes directrices nécessaires pour mener à bien une collecte de données biométriques comportementales. Il introduit les habitudes réelles des utilisateurs et vise à refléter leur quotidien en offrant la possibilité de réaliser des activités familiaires, telles que la marche ou la frappe au clavier. Nous préservons cette authenticité pour garantir que les tâches soient réalisées dans leur intégralité. En même temps, il est important de ne pas imposer une charge excessive aux participants, car une surcharge pourrait les décourager et les amener à abandonner avant de terminer les activités proposées.

Toutes ces réflexions ont conduit à deux contributions, que nous considérons comme des éléments essentiels pour une intégration réussie des applications biométriques dans un contexte de vie quotidienne.

La résolution de la problématique, centrée sur l'identification d'une méthode efficace pour la collecte de données comportementales dans un contexte réel d'utilisation, s'appuie sur les résultats du sondage. Ces derniers fournissent des indications précieuses sur les positions habituelles des individus, constituant ainsi des éléments fondamentaux intégrés dans l'élaboration

du plan de collecte des données. Toutefois, bien que la méthode proposée apparaisse pertinente, son absence de validation souligne les limites de cette étude.

Les limites de l'étude

L'une des principales limites de cette étude réside dans le fait que la collecte de données prévue n'a pas été réalisée. En l'absence de cette collecte il n'est donc pas possible de confirmer si les méthodes envisagées auraient permis de collecter une quantité de données suffisante et exploitable pour la conception des modèles IA.

Une autre limite concerne la taille et les caractéristiques démographiques de notre échantillon de répondants au sondage. Il s'agissait principalement d'une population relativement jeune (âgée de 20 à 30 ans), composée en grande majorité de personnes de genre masculin. Cela pourrait introduire des biais, car cet échantillon ne reflète pas fidèlement la diversité des potentiels utilisateurs d'une application de biométrie comportementale.

Travaux futurs

Nos travaux ont posé les bases d'une approche méthodique contribuant au développement d'un plan de collecte de données qui prend en considération les comportements habituels et spécifiques des utilisateurs. Le premier axe de travail à envisager consiste à mettre en œuvre et valider le plan de collecte élaboré.

D'autres recherches futures seront axées sur l'optimisation du parcours utilisateur, afin de garantir que les applications d'authentification par biométrie comportementale répondent aux besoins et aux attentes des utilisateurs. Ces travaux pourraient impliquer la mise en œuvre des contributions théoriques développées dans le cadre de notre étude à travers une collecte de données dans des conditions de vie réelles conformément à notre plan de collecte. D'autres travaux pourraient inclure, la conception centrée sur l'utilisateur relevant de l'observation des comportements, des habitudes et de la routine des groupes. Cela implique le développement et

le test de prototypes permettant l'optimisation des interfaces utilisateurs en se concentrant sur l'amélioration de l'expérience utilisateur. Des études longitudinales sur l'acceptabilité, menées sur une longue ou moyenne période, permettraient d'évaluer comment l'acceptabilité sociale évolue à mesure que l'application de collecte et l'application biométrique sont adoptées et utilisées dans des contextes réels. Ces recherches pourraient également explorer les facteurs qui influencent l'acceptabilité au fil du temps, comme les bris de sécurité dus au changement de comportements. Des investigations basées sur l'influence de l'usabilité et de la transparence sur l'appropriation des applications biométriques comportementales qui comprendraient une étude sur les compromis potentiels entre facilité d'utilisation et robustesse du mécanisme.

ANNEXE I

SONDAGE SUR LES HABITUDES DE PORT DE TÉLÉPHONE ET DE LA MONTRE

1. Quel âge avez-vous ?

2. Quel est votre genre ?

Féminin

Masculin

Je préfère ne pas répondre

3. Où se trouve votre téléphone lorsque vous marchez ?

Dans la main

Dans la poche du pantalon ou de la jupe

Dans le sac à dos ou sac à main

Dans la poche du manteau ou du chandail

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Autre

4. Où se trouve votre téléphone lorsque vous jouez à des jeux sur console ?

Dans la poche du pantalon ou de la jupe

Dans le sac à dos ou sac à main

Dans la poche du manteau ou du chandail

Sur un meuble près de moi

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Je ne joue pas à des jeux sur console

Autre

5. Où se trouve votre téléphone lorsque vous jouez à un jeu avec un casque de réalité virtuelle (VR)

Dans la poche du pantalon ou de la jupe

Dans le sac à dos ou sac à main

Dans la poche du manteau ou du chandail

Sur un meuble près de moi

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Je ne joue pas à des jeux sur console

Autre

6. Où se trouve votre téléphone lorsque vous utilisez un ordinateur ?

Dans la poche du pantalon ou de la jupe

Dans le sac à dos ou sac à main

Dans la poche du manteau ou du chandail

Sur un meuble près de moi

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Je n'utilise pas d'ordinateur

Autre

7. Où se trouve votre téléphone lorsque vous conduisez une voiture ?

Dans la poche du pantalon ou de la jupe

Dans le sac à dos ou sac à main

Dans la poche du manteau ou du chandail

Dans un support accroché au tableau de bord ou trépieds

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Je ne conduis pas de voiture

Autre

8. Où se trouve votre téléphone lorsque vous faites une activité sportive ?

Autour du bras (porté à l'aide d'un brassard)

Autour de la taille (attaché à l'aide d'une ceinture)

Dans une poche fermée

Je n'ai pas mon téléphone avec moi

Je ne fais pas de sport

Autre

9. Où se trouve votre téléphone lorsque vous faites du vélo ?

Autour du bras (porté à l'aide d'un brassard)

Autour de la taille (attaché à l'aide d'une ceinture)

- Dans une poche fermé du pantalon, jupe ou culotte
Je n'ai pas mon téléphone avec moi
Je ne fais pas de vélo
Autre
10. Partagez-vous votre téléphone avec quelqu'un d'autre ? Cela peut impliquer de prêter votre téléphone à un ami ou à un membre de votre famille pour un usage temporaire ou même partager l'utilisation régulière de votre téléphone avec une autre personne, comme un conjoint ou un collègue
oui
non
11. Possédez-vous une montre intelligente ?
oui
non
12. Où portez vous le plus votre montre intelligente ?
Poignet gauche
Poignet droit
13. Pendant quelle(s) activité(s) portez vous fréquemment votre montre intelligente ?
Activités sportives
Marche
Conduite de voiture
Balade en vélo
Jeux vidéo sur console
Jeu avec un casque de réalité virtuelle
Utilisation d'un ordinateur
Autre
14. Lors de vos déplacements, quel(s) appareil(s) avez-vous le plus souvent avec vous ?
Ma montre intelligente
Mon téléphone

Les deux

BIBLIOGRAPHIE

- Ailisto, H. J., Lindholm, M., Mantyjarvi, J., Vildjiounaite, E. & Makela, S.-M. (2005). Identifying people from gait pattern with accelerometers. pp. 7. doi : 10.1111/12.603331.
- Ali, M. L., Monaco, J. V., Tappert, C. C. & Qiu, M. (2017). Keystroke Biometric Systems for User Authentication. *Journal of Signal Processing Systems*, 86(2-3), 175–190. doi : 10.1007/s11265-016-1114-9.
- Alzubaidi, A. & Kalita, J. (2016). Authentication of Smartphone Users Using Behavioral Biometrics. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1998–2026. doi : 10.1109/COMST.2016.2537748.
- Anjum, A. & Ilyas, M. U. (2013). Activity recognition using smartphone sensors. *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 914–919. doi : 10.1109/CCNC.2013.6488584.
- Arase, Y., Ren, F. & Xie, X. (2010). User activity understanding from mobile phone sensors. *Proceedings of the 12th ACM international conference adjunct papers on Ubiquitous computing - Adjunct*, pp. 391–392. doi : 10.1145/1864431.1864452.
- Atarodi, S., Berardi, A. & Toniolo, A.-M. (2019). Le modèle d'acceptation des technologies depuis 1986 : 30 ans de développement. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 25(3), 191–207. doi : 10.1016/j.pto.2018.08.001.
- Aviv, A. J., Sapp, B., Blaze, M. & Smith, J. M. (2012). Practicality of accelerometer side channels on smartphones. *Proceedings of the 28th Annual Computer Security Applications Conference*, pp. 41–50. doi : 10.1145/2420950.2420957.
- Baig, A. F. & Eskeland, S. (2021). Security, Privacy, and Usability in Continuous Authentication : A Survey. *Sensors*, 21(17), 5967. doi : 10.3390/s21175967. Number : 17 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Bevan, N. (1995). Usability is Quality of Use. Dans *Advances in Human Factors/Ergonomics* (vol. 20, pp. 349–354). Elsevier. doi : 10.1016/S0921-2647(06)80241-8.
- Bevan, N. & Macleod, M. (1994). Usability measurement in context. *Behaviour & Information Technology*, 13(1-2), 132–145. doi : 10.1080/01449299408914592.
- Bloch, L., Wolfhugel, C., Kokos, A., Billois, G., Soullié, A., Anzala-Yamajako, A. & Debize, T. (2016). *Sécurité informatique : pour les DSI, RSSI et administrateurs* (éd. 5e éd). Paris : Eyrolles.

- Collins, R., Gross, R. & Jianbo Shi. (2002). Silhouette-based human identification from body shape and gait. *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, pp. 366–371. doi : 10.1109/AFGR.2002.1004181.
- Coskun, D., Incel, O. D. & Ozgovde, A. (2015). Phone position/placement detection using accelerometer : Impact on activity recognition. *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pp. 1–6. doi : 10.1109/ISSNIP.2015.7106915.
- Crawford, H. (2010). Keystroke dynamics : Characteristics and opportunities. *2010 Eighth International Conference on Privacy, Security and Trust*, pp. 205–212. doi : 10.1109/PST.2010.5593258.
- Dargan, S. & Kumar, M. (2020). A comprehensive survey on the biometric recognition systems based on physiological and behavioral modalities. *Expert Systems with Applications*, 143, 113114. doi : 10.1016/j.eswa.2019.113114.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology : A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982–1003. doi : 10.1287/mnsc.35.8.982.
- Deane, F., Barrelle, K., Henderson, R. & Mahar, D. (1995). Perceived acceptability of biometric security systems. *Computers & Security*, 14(3), 225–231. doi : 10.1016/0167-4048(95)00005-S.
- Ellavarason, E., Guest, R., Deravi, F., Sanchez-Riello, R. & Corsetti, B. (2020). Touch-dynamics based Behavioural Biometrics on Mobile Devices – A Review from a Usability and Performance Perspective. *ACM Computing Surveys*, 53(6), 120 :1–120 :36. doi : 10.1145/3394713.
- Gamboa, H. & Fred, A. (2004). A behavioral biometric system based on human-computer interaction. pp. 381–392. doi : 10.1117/12.542625.
- Gay-Betton, D. M., Alirezaee, P., Cooperstock, J. R. & Schlesinger, J. J. (2017). HAPTIC : Haptic Anatomical Positioning to Improve Clinical Monitoring. Dans Alonso, M. B. & Ozcan, E. (Éds.), *Proceedings of the Conference on Design and Semantics of Form and Movement* (ch. 13). Rijeka : IntechOpen. doi : 10.5772/intechopen.71111.
- Gupta, S., Maple, C., Crispo, B., Raja, K., Yautsiukhin, A. & Martinelli, F. (2023). A survey of human-computer interaction (HCI) & natural habits-based behavioural biometric modalities for user recognition schemes. *Pattern Recognition*, 139, 109453. doi : 10.1016/j.patcog.2023.109453.

- Hamilton, P. & Wigdor, D. J. (2014). Conductor : enabling and understanding cross-device interaction. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (CHI '14), 2773–2782. doi : 10.1145/2556288.2557170.
- Hassenzahl, M. & Tractinsky, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2), 91–97. doi : 10.1080/01449290500330331.
- Jain, A., Ross, A. & Pankanti, S. (2006). Biometrics : A Tool for Information Security. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 1(2), 125–143. doi : 10.1109/TIFS.2006.873653.
- Kasaei, S. & Levesque, V. (2022). Effect of Vibration Frequency Mismatch on Apparent Tactile Motion. *2022 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 1–6. doi : 10.1109/HAPTICS52432.2022.9765602.
- Kern, N. & Schiele, B. (2003). Context-aware notification for wearable computing. *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003. Proceedings.*, pp. 223–230. doi : 10.1109/ISWC.2003.1241415.
- Khan, I. M., Sun, S., Rowe, W. S. T., Thompson, A., Al-Hourani, A. & Sithamparanathan, K. (2022). Comparison of classifiers for use case detection using onboard smartphone sensors. *2022 32nd International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)*, pp. 261–266. doi : 10.1109/ITNAC55475.2022.9998423.
- Khan, W. Z., Xiang, Y., Aalsalem, M. Y. & Arshad, Q. (2013). Mobile Phone Sensing Systems : A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1), 402–427. doi : 10.1109/SURV.2012.031412.00077.
- Kwang, G., Yap, R. H. C., Sim, T. & Ramnath, R. (2009). An Usability Study of Continuous Biometrics Authentication. Dans Tistarelli, M. & Nixon, M. S. (Éds.), *Advances in Biometrics* (vol. 5558, pp. 828–837). Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. doi : 10.1007/978-3-642-01793-3_84.
- Lane, N., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T. & Campbell, A. (2010). A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine*, 48(9), 140–150. doi : 10.1109/MCOM.2010.5560598.
- Lee, L. & Grimson, W. (2002). Gait analysis for recognition and classification. *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, pp. 155–162. doi : 10.1109/AFGR.2002.1004148.

- Liang, Y., Samtani, S., Guo, B. & Yu, Z. (2020). Behavioral Biometrics for Continuous Authentication in the Internet-of-Things Era : An Artificial Intelligence Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(9), 9128–9143. doi : 10.1109/JIOT.2020.3004077.
- Majidi, P. (2022). *Navigation Using the Haptic Feedback of a Mobile Phone and a Smartwatch*. (Mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, Montréal).
- Meng, W., Wong, D. S., Furnell, S. & Zhou, J. (2015). Surveying the Development of Biometric User Authentication on Mobile Phones. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3), 1268–1293. doi : 10.1109/COMST.2014.2386915.
- Motani, K., Wong, K. & Kamijo, S. (2019). Classifying Human Activity and Smartphone Holding Mode Using Accelerometer and Gyroscope. *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 11–12. doi : 10.1109/GCCE46687.2019.9015384.
- Murmuria, R., Stavrou, A., Barbará, D. & Fleck, D. (2015). Continuous Authentication on Mobile Devices Using Power Consumption, Touch Gestures and Physical Movement of Users. Dans Bos, H., Monroe, F. & Blanc, G. (Éds.), *Research in Attacks, Intrusions, and Defenses* (vol. 9404, pp. 405–424). Cham : Springer International Publishing. doi : 10.1007/978-3-319-26362-5_19.
- Naaz, S., Khan, S. A., Siddiqui, F., Sohail, S. S., Madsen, D. O. & Ahmad, A. (2022). OdorTAM : Technology Acceptance Model for Biometric Authentication System Using Human Body Odor. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16777. doi : 10.3390/ijerph192416777.
- Ould-Slimane, H. (2022, Septembre). Sécurité de l'internet.
- Papaioannou, M., Mantas, G., Panaousis, E. M., Essop, A., Rodriguez, J. & Sucasas, V. (2023). Behavioral Biometrics for Mobile User Authentication : Benefits and Limitations. *2023 IFIP Networking Conference (IFIP Networking)*, pp. 1–6. doi : 10.23919/IFIPNetworking57963.2023.10186419.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Salehi, A. & Georgakopoulos, D. (2012). Capturing sensor data from mobile phones using Global Sensor Network middleware. *2012 IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications - (PIMRC)*, pp. 24–29. doi : 10.1109/PIMRC.2012.6362778.
- Perfillon, M. (2019). *Investigation of behavioral variability In humans*. (phdthesis, Université de Lille). Repéré à <https://theses.hal.science/tel-02890918>.
- Pieczynski, W., Benboudjema, D. & Lachantin, P. (2003). Statistical image segmentation using triplet Markov fields. pp. 92–101. doi : 10.1117/12.463182.

- Pons, A. P. & Polak, P. (2008). Understanding user perspectives on biometric technology. *Communications of the ACM*, 51(9), 115–118. doi : 10.1145/1378727.1389971.
- Ravi, S. & Mankame, D. P. (2013). Multimodal biometric approach using fingerprint, face and enhanced iris features recognition. *2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, pp. 1143–1150. doi : 10.1109/ICCPCT.2013.6528884.
- Reddy, S., Mun, M., Burke, J., Estrin, D., Hansen, M. & Srivastava, M. (2010). Using mobile phones to determine transportation modes. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 6(2), 1–27. doi : 10.1145/1689239.1689243.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., Elmquist, N. & Diakopoulos, N. (2016). *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Pearson Education.
- Shoaib, M., Bosch, S., Incel, O., Scholten, H. & Havinga, P. (2014). Fusion of Smartphone Motion Sensors for Physical Activity Recognition. *Sensors*, 14(6), 10146–10176. doi : 10.3390/s140610146.
- Singh, P., Juneja, N. & Kapoor, S. (2013). Using mobile phone sensors to detect driving behavior. *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Computing for Development*, pp. 1–2. doi : 10.1145/2442882.2442941.
- Song-Mi Lee, Sang Min Yoon & Heeryon Cho. (2017). Human activity recognition from accelerometer data using Convolutional Neural Network. *2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, pp. 131–134. doi : 10.1109/BIGCOMP.2017.7881728.
- Sousa, K. & Furtado, E. (2005). From usability tasks to usable user interfaces. *Proceedings of the 4th international workshop on Task models and diagrams - TAMODIA '05*, pp. 103. doi : 10.1145/1122935.1122956.
- Statistique Canada. Utilisation de téléphones intelligents et habitudes liées à leur utilisation, selon le groupe d'âge et le genre. Repéré le 2024-05-17 à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=2210011501>.
- Stylios, I., Kokolakis, S., Thanou, O. & Chatzis, S. (2021). Behavioral biometrics & continuous user authentication on mobile devices : A survey. *Information Fusion*, 66, 76–99. doi : 10.1016/j.inffus.2020.08.021.

- Stylios, I., Skalkos, A., Kokolakis, S. & Karyda, M. (2022). BioPrivacy : a behavioral biometrics continuous authentication system based on keystroke dynamics and touch gestures. *Information & Computer Security*, 30(5), 687–704. doi : 10.1108/ICS-12-2021-0212.
- Stylios, I., Chatzis, S., Thanou, O. & Kokolakis, S. (2023). Continuous authentication with feature-level fusion of touch gestures and keystroke dynamics to solve security and usability issues. *Computers & Security*, 132, 103363. doi : 10.1016/j.cose.2023.103363.
- Suto, J. & Oniga, S. (2018). Efficiency investigation of artificial neural networks in human activity recognition. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(4), 1049–1060. doi : 10.1007/s12652-017-0513-5.
- Tian, Q., Salcic, Z., Wang, K. I.-K. & Pan, Y. (2016). A Multi-Mode Dead Reckoning System for Pedestrian Tracking Using Smartphones. *IEEE Sensors Journal*, 16(7), 2079–2093. doi : 10.1109/JSEN.2015.2510364.
- Toledano, D. T., Fernandez Pozo, R., Hernandez Trapote, a. & Hernandez Gomez, L. (2006). Usability evaluation of multi-modal biometric verification systems. *Interacting with Computers*, 18(5), 1101–1122. doi : 10.1016/j.intcom.2006.01.004.
- Turgeman, A. & Zelazny, F. (2017). Invisible challenges : the next step in behavioural biometrics ? *Biometric Technology Today*, 2017(6), 5–7. doi : 10.1016/S0969-4765(17)30114-5.
- Valette, M., Bouchihain, H. & Lévesque, V. (2024). Exploring Cross-Device Haptics for Virtual Reality Experiences. pp. 5. doi : 10.1145/3670947.3670968.
- Yang, J., Munguia-Tapia, E. & Gibbs, S. (2013). Efficient in-pocket detection with mobile phones. *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, (UbiComp '13 Adjunct), 31–34. doi : 10.1145/2494091.2494099.
- Zeman, J., Tanuska, P. & Kebisek, M. (2009). The Utilization of Metrics Usability to Evaluate the Software Quality. *2009 International Conference on Computer Technology and Development*, pp. 243–246. doi : 10.1109/ICCTD.2009.58.