



## L6.3.2 Mise en évidence des orientations visuelles et processus de prise de décision des piétons exposés à des VA

<b>Work Package</b>	6
<b>Responsable du WP, affiliation</b>	<i>Chauvel C., LAB</i>
<b>Livrable n°</b>	L6.3.2
<b>Version</b>	V3
<b>Auteur responsable du livrable</b>	<i>Métayer, N., VEDECOM</i>
<b>Auteurs, affiliations</b>	<i>Coeugnet, S., VEDECOM</i>
<b>Relecteurs, affiliations</b>	<i>Beillas, P., Université Gustave Eiffel</i> <i>Granié, M.-A., Université Gustave Eiffel</i>
<b>Statut du livrable</b>	<i>Final</i>



## Veuillez citer ce document de cette façon :

Métayer, N., & Coeugnet, S. (2021). L6.3.2 Mise en évidence des orientations visuelles et processus de prise de décision des piétons exposés à des VA, Projet SURCA

## Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
v1	Février 2021	Métayer, N. Coeugnet, S.	Livrable intermédiaire – Première version envoyée en relecture interne projet
v2	Septembre 2021	Métayer, N.	Livrable final – complétion de la partie sur l'étude 2 – version envoyée en relecture interne projet
v3	Juin 2022	Métayer, N. Coeugnet, S.	Livrable final après corrections suite aux commentaires des reviewers

## Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la sécurité routière et pour moitié par les partenaires du projet.

## Résumé du projet SURCA

Les questions posées par la cohabitation de véhicules de plus en plus automatisés avec des véhicules conventionnels et des usagers vulnérables, cyclistes, piétons, deux-roues motorisés, sont au cœur des préoccupations des décideurs publics, constructeurs, ou spécialistes de l'infrastructure routière et de la sécurité routière. Tous ont l'espoir que ces nouvelles technologies contribuent à améliorer la sécurité routière. L'objectif global du projet « Sécurité des Usagers de la Route et Conduite Automatisées, SURCA » est de contribuer à une meilleure intégration de la Conduite Automatisée dans la circulation actuelle.

Les partenaires du projet (Ifsttar, DSR, Ceesar, Cerema, VEDECOM, le LAB), ont ainsi comme objectif d'identifier quelles interactions existent et quelles stratégies pertinentes sont mises en place par les conducteurs pour proposer des recommandations aux concepteurs de véhicules autonomes sur les besoins en termes d'interactions et en termes de comportement du véhicule autonome. Pour cela, il est prévu d'analyser des bases de données existantes sur la conduite des véhicules conventionnels et d'identifier les facteurs qui peuvent expliquer des comportements différents.

Les connaissances issues de ces bases seront utilisables pour simuler l'introduction de la conduite automatisée de niveaux 3, 4 et 5, avec des taux de pénétration faibles. La gestion des interactions avec les autres usagers doit être réalisée dès que le véhicule peut évoluer en autonomie sans supervision du conducteur, quelles que soient la durée et les sections sur lesquelles cette automatisation sera possible. En cas de taux de pénétration très important, d'autres types d'interactions risquent de se mettre en place et devront alors être étudiés.

Ce projet est articulé autour de deux sous-thématiques :

- L'identification des scénarios d'interaction entre véhicules autonomes et autres usagers de la route (véhicules conventionnels, deux roues motorisés, cyclistes, piétons), avec un focus particulier sur les personnes âgées :
  - o Étude des situations de négociation où les conducteurs gèrent cette interaction humaine, à partir de bases de données de conduite conventionnelle, et en utilisant des éléments difficilement émis et perçus par les systèmes automatisés (regard, connaissance a priori d'intention, etc.),
  - o Étude de la réaction des autres usagers face à un véhicule autonome alors que son conducteur est absorbé dans une tâche annexe,
  - o Identification des besoins de communication du véhicule autonome en phase active avec les autres usagers,
  - o Analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité sociétale du véhicule autonome.
- L'étude des impacts de la posture des occupants (conducteur et passagers) d'un véhicule en mode autonome sur le risque lésionnel :
  - o Choix des scénarios de simulation : positions des occupants, conditions de choc (lors de la réalisation de tâches annexes) et systèmes de retenue,
  - o Évaluation des lésions potentielles par simulations numériques en fonction des systèmes de retenue (par ex. déploiement d'air bag),
  - o Recommandations en termes de postures acceptables selon les différents systèmes de retenue.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>ÉTUDE 1 : INTERACTION PIÉTONS-VÉHICULES CONVENTIONNELS.....</b>	<b>12</b>
2.1	MÉTHODE.....	12
2.1.1	Participants.....	12
2.1.2	Parcours.....	12
2.1.3	Enregistrements vidéo.....	13
2.1.4	Entretiens de fin de traversée.....	14
2.1.5	Questionnaires.....	14
2.2	MÉTHODE D'ANALYSE DES DONNÉES RÉCOLTÉES ET PRÉ-TRAITEMENTS.....	14
2.2.1	Codage des traversées.....	14
2.2.2	Pré-traitements des données.....	16
2.3	RÉSULTATS.....	16
2.3.1	Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête.....	17
2.3.2	Effet du type de traversée (en 1 temps ou 2 temps) sur le nombre de mouvements de tête.....	20
2.3.3	Effet de la pression temporelle sur le nombre moyen de mouvements tête.....	22
2.3.4	Effet de la présence d'un feu piéton rouge sur le nombre de mouvements de tête pour chaque phase de traversée en fonction de la prise de risque.....	26
2.3.5	Prise de risque et pression temporelle.....	27
2.3.6	Effet de la présence des piétons traversant avant les participants.....	30
2.3.7	Séquences de mouvements de tête.....	34
2.3.8	Entretiens semi-directifs et questionnaires.....	39
2.3.9	Analyse du lien entre les habitudes comportementales et les éléments de décision de traversés.....	43
2.4	CONCLUSION DE L'ÉTUDE 1.....	44
<b>3</b>	<b>ÉTUDE 2 : ÉTUDE DES MOUVEMENTS OCULAIRES LORS DE LA TRAVERSÉE DE ROUTE.....</b>	<b>46</b>
3.1	ANCRAGE THÉORIQUE.....	46
3.2	PARTICIPANTS ET PASSATIONS.....	47
3.2.1	Description de l'échantillon.....	47
3.2.2	Passations.....	47
3.3	MATÉRIEL.....	47
3.3.1	Véhicule Renault Zoé équipé de l'IHM externe et du Magicien d'Oz.....	47
3.3.2	Grille d'observation des comportements de traversée.....	48
3.3.3	Eye-tracking.....	49
3.3.4	Tâche distractive.....	50
3.3.5	Questionnaires.....	50
3.3.6	Entretien d'auto-confrontation.....	51
3.3.7	Variables et mesures.....	51
3.4	PROCÉDURE.....	52
3.5	RÉSULTATS.....	53
3.5.1	Evaluation de la technophilie.....	53
3.5.2	La compréhension de la situation de traversée et de l'environnement : la prise en compte du conducteur.....	53
3.5.3	Les comportements de traversée.....	55
3.5.4	Analyse des entretiens d'explicitation.....	63
3.6	CONCLUSION DE L'ÉTUDE 2.....	68
<b>4</b>	<b>DISCUSSION GÉNÉRALE ET LIMITES IDENTIFIÉES.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS.....</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>71</b>



## Table des tableaux

<b>TABLEAU 1.</b>	<b>RÉPARTITION DES TRAVERSÉES AVEC PRISE DE RISQUE ET SANS PRISE DE RISQUE EN FONCTION DE LA PRÉSENCE OU NON DE PRESSION TEMPORELLE. ....</b>	<b>27</b>
<b>TABLEAU 2.</b>	<b>MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DES MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRESSION TEMPORELLE LORS DES TRAVERSÉES NE COMPORTANT PAS DE FEU.....</b>	<b>28</b>
<b>TABLEAU 3.</b>	<b>MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DES MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRESSION TEMPORELLE LORS DES TRAVERSÉES AVEC FEU .....</b>	<b>29</b>
<b>TABLEAU 4.</b>	<b>RÉPARTITION DU NOMBRE DE TRAVERSÉES, ET MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DU NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRÉSENCE DES PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LES PARTICIPANTS DURANT LA PHASE 2 – CONDITION AVEC FEU. ....</b>	<b>31</b>
<b>TABLEAU 5.</b>	<b>RÉPARTITION DU NOMBRE DE TRAVERSÉES, ET MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DU NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRÉSENCE DES PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LES PARTICIPANTS DURANT LA PRÉ-PHASE 3 – CONDITION AVEC FEU. ....</b>	<b>32</b>
<b>TABLEAU 6.</b>	<b>RÉPARTITION DU NOMBRE DE TRAVERSÉES, ET MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DU NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRÉSENCE DES PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LES PARTICIPANTS DURANT LA PHASE 2 – CONDITION SANS FEU. ....</b>	<b>33</b>
<b>TABLEAU 7.</b>	<b>RÉPARTITION DU NOMBRE DE TRAVERSÉES, ET MOYENNES ET ÉCARTS TYPES DU NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE ET DE LA PRÉSENCE DES PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LES PARTICIPANTS DURANT LA PRÉ-PHASE 3 – CONDITION SANS FEU. ....</b>	<b>33</b>
<b>TABLEAU 8.</b>	<b>ANALYSE DE CORRÉLATION PAR R DE PEARSON ENTRE LES 4 DIMENSIONS ÉVALUÉES. ....</b>	<b>44</b>
<b>TABLEAU 9.</b>	<b>POURCENTAGE D'OCCURRENCES POUR CHACUNE DES MODALITÉS DE RECONNAISSANCE DE LA PRÉSENCE OU NON D'UN CONDUCTEUR DANS LE VÉHICULE CIBLE (I.E., CONDUCTEUR QUI CONTRÔLAIT LE VÉHICULE). ....</b>	<b>54</b>
<b>TABLEAU 10.</b>	<b>NOMBRE D'OCCURRENCES POUR CHACUNE DES MODALITÉS DE RECONNAISSANCE DE LA PRÉSENCE OU NON D'UN CONDUCTEUR DANS LE VÉHICULE CIBLE EN FONCTION DU TYPE DE VÉHICULE. ....</b>	<b>54</b>
<b>TABLEAU 11.</b>	<b>NOMBRE D'OCCURRENCES POUR CHACUNE DES MODALITÉS DE RECONNAISSANCE DE LA PRÉSENCE OU NON D'UN CONDUCTEUR DANS LE VÉHICULE CIBLE EN FONCTION DU SEXE.....</b>	<b>55</b>
<b>TABLEAU 12.</b>	<b>POURCENTAGE DE RÉPONDANTS ÉVOQUANT UNE DIMENSION RENVOYANT À LA PRÉSENCE D'UN PASSAGE PIÉTON LORS DE LA TRAVERSÉE ET EXEMPLES DE VERBATIM ASSOCIÉS.....</b>	<b>67</b>
<b>TABLEAU 13.</b>	<b>POURCENTAGE DE RÉPONDANTS ÉVOQUANT UNE DIMENSION RENVOYANT À L'ABSENCE DE PASSAGE PIÉTON LORS DE LA TRAVERSÉE ET EXEMPLES DE VERBATIM ASSOCIÉS. ....</b>	<b>68</b>

## Table des figures

<b>FIGURE 1.</b>	<b>TRAVERSÉES DE RUE DES PARCOURS SÉLECTIONNÉS. ....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURE 2.</b>	<b>CARTE DU DEUXIÈME PARCOURS. ....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURE 3.</b>	<b>TRAVERSÉE DE RUE DU POINT DE VUE DU PARTICIPANT À GAUCHE ET DU POINT DE VUE EXTERNE À DROITE. ....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURE 4.</b>	<b>ILLUSTRATION DES DIFFÉRENTES PHASES DE TRAVERSÉES DE RUE DES PARTICIPANTS. ....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURE 5.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DES PHASES DE TRAVERSÉES QUELLE QUE SOIT LA CONFIGURATION DE LA TRAVERSÉE (*P &lt; .05 ; ***P &lt; .001). ....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURE 6.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN PRÉSENCE ET EN ABSENCE DE FEU (*P &lt; .05 ; ***P &lt; .001). ....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURE 7.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS TÊTE EN FONCTION DE LA COULEUR DU FEU PIÉTONS POUR CHAQUE PHASE (*P &lt; .05 ; ***P &lt; .001). ....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE 8.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DU TYPE DE TRAVERSÉE (EN 1 TEMPS OU 2 TEMPS) QUELLE QUE SOIT LA PHASE OU LE TYPE D'INFRASTRUCTURE. ....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURE 9.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DU TYPE DE TRAVERSÉES SANS FEU POUR CHAQUE PHASE (*P &lt; .05 ; ***P &lt; .001). ....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURE 10.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE QUELLE QUE SOIT LA PHASE DE TRAVERSÉE SANS FEU. ....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURE 11.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE POUR CHAQUE PHASE DE TRAVERSÉES SANS FEU. ....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURE 12.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE EN PRÉSENCE D'UN FEU. ....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURE 13.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE POUR CHAQUE PHASE DE TRAVERSÉES AVEC FEU (*P &lt; .05). ....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURE 14.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR CHAQUE PHASE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE (*P &lt; .05). ....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURE 15.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE EN FONCTION DE LA PRISE DE RISQUE LORS DE LA TRAVERSÉE SANS FEU DURANT LA PRÉ-PHASE 3 (***P &lt; .001). ....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURE 16.</b>	<b>EFFET DE LA PRESSION TEMPORELLE EN INTERACTION AVEC LA PRISE DE RISQUE SUR LE NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR LES TRAVERSÉES SANS FEU. ....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURE 17.</b>	<b>EFFET DE LA PRESSION TEMPORELLE EN INTERACTION AVEC LA PRISE DE RISQUE SUR LE NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR LES TRAVERSÉES AVEC FEU. ....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURE 18.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE LORS DES TRAVERSÉES AVEC PRISE DE RISQUE ET SANS PRISE DE RISQUE, DURANT LA PHASE 2, SELON LA PRÉSENCE DE PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LE PARTICIPANT. ....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURE 19.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE LORS DES TRAVERSÉES AVEC PRISE DE RISQUE ET SANS PRISE DE RISQUE, DURANT LA PRÉ-PHASE 3, SELON LA PRÉSENCE DE PIÉTONS TRAVERSANT AVANT LES PARTICIPANTS. ....</b>	<b>32</b>

<b>FIGURE 20.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE DURANT LA PHASE 2 DES TRAVERSÉES SANS PRISE DE RISQUE ET SANS FEU SELON LA PRÉSENCE OU NON DE PIÉTONS. ....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURE 21.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE DURANT LA PRÉ-PHASE 3 DES TRAVERSÉES SANS PRISE DE RISQUE ET SANS FEU SELON LA PRÉSENCE OU NON DE PIÉTONS. ....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE 22.</b>	<b>RÉPARTITION EN POURCENTAGE DES SÉQUENCES DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR LES 4 PHASES DE TRAVERSÉE (I.E., PHASE 1 EN HAUT À GAUCHE, PHASE 2 EN HAUT À DROITE, PRÉ-PHASE 3 EN BAS À GAUCHE ET PHASE 3 EN BAS À DROITE) EN FONCTION DES TRAVERSÉES AVEC ET SANS FEU (VOIR PARTIE 2.1.2 PAGE 12 POUR UNE DESCRIPTION DE LA TOPOLOGIE DES TRAVERSÉES). ....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE 23.</b>	<b>RÉPARTITION EN POURCENTAGE DES SÉQUENCES DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR LES 4 PHASES DE TRAVERSÉE (I.E., PHASE 1 EN HAUT À GAUCHE, PHASE 2 EN HAUT À DROITE, PRÉ-PHASE 3 EN BAS À GAUCHE ET PHASE 3 EN BAS À DROITE) EN FONCTION DES TRAVERSÉES RISQUÉES ET NON RISQUÉES LORS DES TRAVERSÉES AU FEU PIÉTON ROUGE.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURE 24.</b>	<b>RÉPARTITION EN POURCENTAGE DES SÉQUENCES DE MOUVEMENTS DE TÊTE POUR LES 4 PHASES DE TRAVERSÉE (I.E., PHASE 1 EN HAUT À GAUCHE, PHASE 2 EN HAUT À DROITE, PRÉ-PHASE 3 EN BAS À GAUCHE ET PHASE 3 EN BAS À DROITE) EN FONCTION LA COULEUR DU FEU PIÉTON.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURE 25.</b>	<b>PREMIER ÉLÉMENT DE DÉCISION EN FONCTION DE LA CONFIGURATION QUELLE QUE SOIT LA PRESSION TEMPORELLE, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURE 26.</b>	<b>DEUXIÈME ÉLÉMENT DE DÉCISION EN FONCTION DE LA CONFIGURATION QUELLE QUE SOIT LA PRESSION TEMPORELLE, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURE 27.</b>	<b>PREMIER ÉLÉMENT DE DÉCISION SOUS PRESSION TEMPORELLE EN FONCTION DE LA CONFIGURATION, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE 28.</b>	<b>DEUXIÈME ÉLÉMENT DE DÉCISION EN FONCTION DE LA CONFIGURATION EN PRÉSENCE DE PRESSION TEMPORELLE, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE 29.</b>	<b>PREMIER ÉLÉMENT DE DÉCISION SANS PRESSION TEMPORELLE EN FONCTION DE LA CONFIGURATION, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURE 30.</b>	<b>DEUXIÈME ÉLÉMENT DE DÉCISION EN FONCTION DE LA CONFIGURATION SANS PRESSION TEMPORELLE, AVEC À GAUCHE, EN PRÉSENCE D'UN FEU, AU MILIEU, AVEC TRAVERSÉE EN 1 TEMPS EN ABSENCE DE FEU, ET À DROITE, TRAVERSÉE EN 2 TEMPS EN ABSENCE DE FEU.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURE 31.</b>	<b>INTÉRIEUR DU VÉHICULE RENAULT ZOÉ ÉQUIPÉ DU DISPOSITIF WOZ AVEC, À GAUCHE, UN CONDUCTEUR RÉALISANT UNE ACTIVITÉ AUTRE QUE LA CONDUITE, ET, À DROITE, UN PASSAGER, CONTRÔLANT LE VÉHICULE VIA UN JOYSTICK DISSIMULÉ DANS LA PORTIÈRE. ....</b>	<b>48</b>

<b>FIGURE 32.</b>	<b>TRACÉ DU TRAJET DU VÉHICULE WOZ EN ROUGE ; ENCADRÉ BLANC ET ZOOM EN HAUT À DROITE SUR L'EMPLACEMENT DE LA ZONE DE TRAVERSÉE DU PARTICIPANT (IMAGE SATELLITE GOOGLE MAPS).....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURE 33.</b>	<b>TOBII GLASSES PRO 2, LUNETTES ET BATTERIE (IMAGE @WWW.TOBIIPRO.COM).....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURE 34.</b>	<b>MOYENNES ET ÉCART-TYPES DE LA VITESSE DE TRAVERSÉE SUIVANT L'INFRASTRUCTURE, LE TYPE DE VÉHICULE ET LE SCÉNARIO (*P &lt; .05 ; ***P &lt; .001). .....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURE 35.</b>	<b>MOYENNES ET ÉCART-TYPES DE LA VITESSE DE TRAVERSÉE EN FONCTION DE L'INFRASTRUCTURE ET DU NIVEAU DE TECHNOPHILIE POUR LE PREMIER ET LE SECOND SCÉNARIO. ....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURE 36.</b>	<b>MOYENNES ET ÉCART-TYPES DE L'ÉCART ENTRE L'INITIATION DE LA TRAVERSÉE ET L'ARRÊT DU VÉHICULE SUIVANT L'INFRASTRUCTURE, LE TYPE DE VÉHICULE ET LE SCÉNARIO (**P &lt; .01).....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURE 37.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE VERS LA GAUCHE ET VERS LA DROITE PAR TRAVERSÉE. ....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURE 38.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE VERS LA GAUCHE EN FONCTION DU TYPE DE VÉHICULE ET DU SCÉNARIO.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURE 39.</b>	<b>NOMBRE MOYEN DE MOUVEMENTS DE TÊTE VERS LA GAUCHE EN FONCTION DE L'INFRASTRUCTURE ET DU NIVEAU DE DIPLÔME (**P &lt; .01 ; *P &lt; .05). ....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURE 40.</b>	<b>TEMPS DE REGARD MOYEN, EN SECONDES, VERS LA GAUCHE ET VERS LA DROITE PAR TRAVERSÉE. ....</b>	<b>62</b>

# 1 INTRODUCTION

Les études présentées dans ce livrable font suite aux livrables L2.1 – partie 1 et partie 2 du projet SURCA (Coeugnet, Honeine, & Merlhiot, 2019a, 2019b). Ces livrables ont mis en évidence que, si la littérature actuelle comporte des données sur l'initiation de la marche hors contexte d'une situation de traversée (pour une revue de littérature voir Yiou et al., 2017), les éléments portant sur la l'initiation de la marche sont moins documentés. Cependant, les travaux de Avineri et al. (2012) mettent en évidence que l'ajustement postural et le contrôle de l'équilibre lors de l'initiation de la traversée sont associés à des mouvements de têtes ainsi qu'à l'intégration des informations visuelles de la route et des véhicules à proximité. De plus, les travaux de simulation sur la prédiction d'intentions des piétons à traverser la route commencent à émerger (e.g., Gesnoui et al., 2020). Ainsi, les travaux de Brouwer et al. (2016) sur les algorithmes d'estimation de l'intention du piéton mettent notamment en évidence l'importance de prendre en compte la rotation de la tête.

Ce constat est en cohérence avec la littérature actuelle sur la traversée des piétons et la prise de décision (voir livrables L2.1). En effet, selon les travaux de Geruschat et al. (2003), les piétons vont orienter leur attention vers des éléments différents suivant la phase de la traversée dans laquelle ils se situent. Ainsi, en amont de la traversée, le piéton va fixer les différents éléments de la traversée (e.g., marquage au sol, feu piéton). Ensuite, lors de la phase d'approche, ce sont les véhicules qui vont être fixés. Puis lors de la prise de décision du piéton ou lorsque celui-ci est en position d'initier sa traversée, son regard sera orienté soit sur les autres véhicules soit sur le feu piéton. Pour finir, lorsqu'il initie la traversée, il dirige sa tête vers les zones dangereuses (arrivée des véhicules, zones masquées, etc.).

Il est toutefois important de souligner que des variations dans ces séquences apparaissent suivant les caractéristiques des piétons (e.g., âge, genre) et de l'environnement (e.g., type d'intersection ; pour une revue, voir Lévêque et al., 2020). Par exemple, Tom et Granié (2011) ont montré des différences dans les éléments observés suivant le sexe. Ainsi, les hommes regardent plus les véhicules alors que les femmes vont également porter leur attention sur les autres piétons. Ces résultats sont en adéquation avec la littérature sur la traversée de route qui fait apparaître que, de manière générale, de nombreux facteurs vont influencer la traversée des piétons lorsqu'ils sont face à des véhicules conventionnels (e.g., livrables L2.1 ; Rasouli & Tsotsos, 2019), facteurs qui se retrouvent également dans les recherches actuelles portant sur les piétons confrontés à un véhicule autonome (Rasouli & Tsotsos, 2019). Nous retrouvons ainsi les facteurs individuels tels que les caractéristiques démographiques (e.g., l'âge, le sexe), les facteurs sociaux (e.g., les normes sociales) ou les caractéristiques individuelles (e.g., le respect des lois), mais aussi les facteurs environnementaux comme les facteurs dynamiques (e.g., la vitesse ou la distance des véhicules) ou le contexte physique (e.g., structure routière, moment de la journée).

Ainsi l'étude 1 s'attachera à coder les mouvements de tête réalisés en milieu naturel *via* du suivi de piéton suivant différents facteurs renvoyant tant aux facteurs individuels et sociaux (e.g., prise de risque observé, influence des autres piétons) qu'aux facteurs environnementaux (e.g., pression temporelle, infrastructure routière). Pour ce faire, les participants devront se déplacer dans un environnement urbain ouvert où ils seront filmés, puis des entretiens centrés sur les traversées réalisées permettront d'obtenir des données qualitatives. Les objectifs de cette étude 1 sont les suivants :

- Caractériser les mouvements de tête en fonction des différentes variables étudiées (i.e., la phase de traversée, la présence ou non de feux, la couleur du feu piéton, le type de traversée, la pression temporelle, la prise de risque, la présence d'autres piétons) ;

- Apporter des éléments de compréhension sur les informations nécessaires à une prise de décision lors de la traversée *via* les verbatims récoltés.

Cependant, cette étude se déroulant dans un environnement naturel non contrôlé, les véhicules rencontrés par les participants seront exclusivement des véhicules conventionnels.

C'est pourquoi, l'étude 2 présentée dans ce livrable utilise un véhicule équipé d'un système de Magicien d'Oz (= WOZ) circulant dans un environnement péri-urbain ouvert au trafic en conditions réelles. Une dizaine de piétons a été amenée à traverser devant le véhicule qui était soit en mode autonome, soit en mode non autonome afin d'observer et de comparer les différents comportements de traversée des piétons. De plus, une méthodologie d'auto-confrontation a été mise en place afin de faire verbaliser les piétons sur leurs comportements de traversée de route.

Les objectifs de cette étude 2 étaient multiples :

- Observer le comportement des piétons dans un milieu ouvert :
  - o Face à différents types de véhicules (autonome et non autonome) ;
  - o Et face à différentes infrastructures piétonnes (avec ou sans passage piéton).
- Apporter des éléments de réflexion sur la prise de décision de traversée de route via les verbatims des piétons.

## 2 ÉTUDE 1 : INTERACTION PIÉTONS-VÉHICULES CONVENTIONNELS

Cette partie concerne le post-traitement de l'étude portant sur la prise de décision de traverser la rue dans une circulation conventionnelle avec des véhicules conventionnels menée en 2017. Elle fait suite à l'étude présentée dans la tâche 2 qui était basé sur des entretiens d'explicitation auprès de 20 participants (voir livrables L2.1 – partie 1 et partie 2 du projet SURCA, Coeugnet, Honeine, & Merlhiot, 2019a, 2019b). Cette étude, initialement sur 200 traversées, présente la particularité d'avoir été réalisée dans un environnement urbain réel non contrôlé. Les participants se déplaçaient donc selon un itinéraire et les éléments qu'ils rencontraient tout comme leur temporalité n'étaient donc pas du tout contrôlés. L'analyse, descriptive en partie, vise surtout à mettre en évidence des séquences répétitives de décision de traverser par les mouvements de tête et d'envisager ces données avec les entretiens menés et les questionnaires d'habitudes de traverser et de personnalité afin d'améliorer la compréhension du processus de décision de traverser ou non la rue. L'enjeu de ces analyses était donc de détecter des séquences de mouvements de tête afin d'alimenter les algorithmes de détection des piétons et de leurs intentions de traverser.

### 2.1 Méthode

#### 2.1.1 Participants

Un échantillon de 97 participants exploitables a pris part à l'étude comportant 48 femmes et 49 hommes d'âge moyen de 44 ans ( $ET = 7,1$  ; étendue = 24 – 52 ans). Ils appartenaient à des catégories socio-professionnelles variées. Deux d'entre eux ne possédaient pas le permis de conduire. Outre l'âge qui devait être compris entre 20 et 55 ans, les critères d'inclusion étaient d'avoir une vision normale ou corrigée et de ne pas avoir de difficultés motrices. Afin de respecter les accords d'Helsinki portant sur la recherche impliquant des êtres humains, tous les participants ont lu et signé un consentement de participation. Ils étaient dédommagés à hauteur de 50 euros en chèques cadeau pour leur participation et leur frais de déplacement. La moitié des participants était placée en condition de pression temporelle.

#### 2.1.2 Parcours

Deux parcours en ville (Versailles de mars à juillet 2017) d'un kilomètre environ chacun, ont été sélectionnés pour la diversité des passages piétons (avec feu/sans feu piéton, en un ou deux temps) et des environnements (trafic dense et trafic résidentiel) qu'ils comportaient. Chaque parcours comprenait 3 traversées de rue à double sens dont les configurations sont présentées en Figure 1.



Figure 1. Traversées de rue des parcours sélectionnés.

Une carte du quartier avait été imprimée pour chaque itinéraire avec le parcours tracé (Figure 2). Afin de s'assurer que tous les participants empruntaient les mêmes trottoirs et traversaient aux mêmes endroits, des points de passage étaient représentés sur la carte là où les participants devaient recueillir des informations. Cela permettait également aux participants d'avoir un objectif, pour se rapprocher des conditions réelles d'un déplacement piéton (i.e., se déplacer pour faire quelque chose).

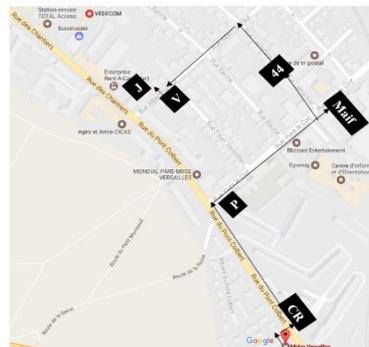


Figure 2. Carte du deuxième parcours.

### 2.1.3 Enregistrements vidéo

Tout au long des parcours, le participant était équipé de lunettes caméra permettant d'enregistrer les directions des regards, (gauche, droite, en face) et les éléments d'environnement perçus. De plus, l'expérimentateur suivait le participant à une distance d'environ 5 mètres pour filmer les situations rencontrées et mieux comprendre l'environnement de la prise de décision de traverser la rue (voir Figure 3 pour un exemple des deux points de vue enregistrés). L'ensemble de ces enregistrements ont fourni des informations sur le temps d'attente avant la traversée, sur les éléments rapportés en entretien d'explicitation et sur la distance des véhicules (proche ou éloignée). Le projet SURCA a permis, notamment, de procéder à l'analyse de ces vidéos qui n'avaient initialement pas été traitées.



Figure 3. Traversée de rue du point de vue du participant à gauche et du point de vue externe à droite.

### 2.1.4 Entretien de fin de traversée

Les participants étaient invités à répondre à un court entretien sur l'une des trois traversées par parcours au choix du participant et ce à la fin de chaque parcours, chaque participant effectuant 2 parcours. Il leur était d'abord demandé, sur questions ouvertes, quels étaient les éléments sur lesquels ils ont porté leur attention lors de la traversée. Ces éléments concernaient les véhicules (**présence, nombre, distance, vitesse, bruit, ralentissement, arrêt au passage piéton**), la configuration de la traversée (**largeur de la chaussée, traversée en deux temps, signalisation, feux piétons, présence d'obstacles, présence de piétons**), leur ressenti (**temps d'attente, sensation d'être pressé, sensation d'être en insécurité, sérénité, temps nécessaire pour traverser la route et proximité avec l'objectif**) et la communication avec les autres usagers de la route (**signe du conducteur, échange de regards**). Ensuite, ils devaient donner un ordre de priorité (1, 2, 3, 4, etc.) aux éléments qu'ils avaient pris en compte dans leur décision de traverser la rue. Il était possible que certains éléments soient en égalité dans l'ordre de priorité. Le choix d'ordre 1 concernait le premier élément pris en compte par le participant dans la décision de traverser la route, le choix d'ordre 2 portait sur le deuxième élément pris en compte par le participant dans la décision de traverser la rue, et ainsi de suite.

### 2.1.5 Questionnaires

Afin de connaître leurs habitudes de déplacement et leurs prédispositions à prendre des risques dans la vie de tous les jours et spécifiquement lors de leurs déplacements piétons, les participants répondaient une semaine avant à différents questionnaires et échelles de mesure (questionnaire *ad hoc* de mobilité piétonne ; échelle PBQ validation française Granié et al., 2013 pour les comportements piétons ; échelle version courte de Meertens & Lion, 2008 pour la propension à prendre des risques ; échelle de Lapsley & Hill, 2010 pour l'invulnérabilité, échelle UPPS validation française de Billieux et al., 2009, 2012).

## 2.2 Méthode d'analyse des données récoltées et pré-traitements

### 2.2.1 Codage des traversées

Les analyses statistiques ci-dessous portent sur les données issues du codage vidéo des traversées de rue des participants et sur les données qualitatives provenant des entretiens et questionnaires. Ces données n'avaient jamais été exploitées à ce jour. Le codage des vidéos a nécessité 2 mois ETP.

L'échantillon était composé de 97 participants exploitables. Les données vidéo de deux traversées par participant ont été codées. Il s'agissait de celles qui ont été choisies par le participant lui-même pour les entretiens de fin de traversée.

Pour l'analyse, chaque traversée a été découpée en 4 ou 7 phases temporelles et ce, en fonction du type de traversée (en un temps ou deux temps) :

- La première phase est la « phase d’approche » pour laquelle le participant s’approche de la zone de traversée. Pour chaque traversée un point précis de la zone a été précisé pour identifier le début de la zone d’approche (4,5 mètres du bord du trottoir ce qui est classiquement utilisé dans la littérature) ;
- La deuxième phase est la « phase d’attente » pour laquelle le participant s’arrête en attendant de pouvoir traverser, cette phase n’existe pas pour les situations où le participant ne s’arrête pas au bord du trottoir pour traverser ;
- La « pré-phase 3 – décision effective » est la phase où le participant prend la décision de traverser (i.e., il lève le pied) ;
- La phase 3 est la « phase de traversée » ;
- La phase 4, la pré-phase 5 et la phase 5 ont été codées seulement pour les traversées en 2 temps et sont similaires respectivement à la phase 2, à la pré-phase 3 et à la phase 3 (Figure 4).

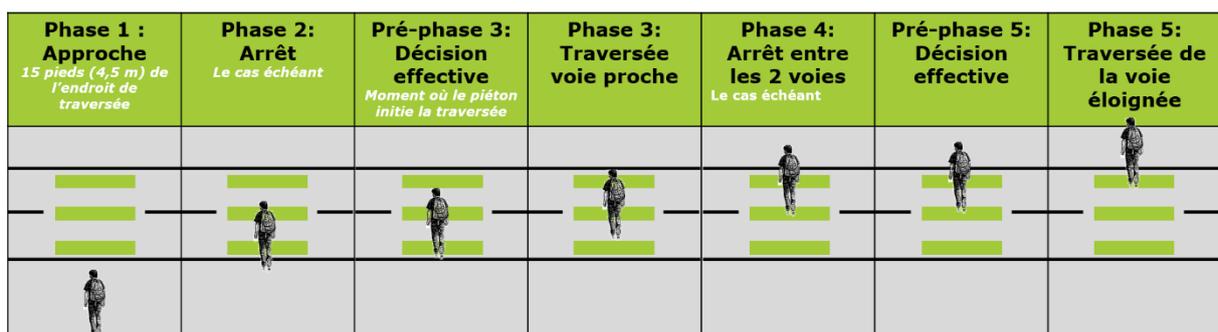


Figure 4. Illustration des différentes phases de traversées de rue des participants.

La grille de codage des vidéos incluait les variables suivantes<sup>1</sup> :

- La **condition expérimentale** : présence ou non de pression temporelle (induite par un scénario de rendez-vous important. Le participant ne pouvait pas être en retard. Aucun temps ne leur était imposé car cela dépendait de leur vitesse de déplacement) \*.
- La **configuration de la traversée** : traversée en un ou deux temps\*, présence ou non de feux piétons\*.
- Les **variables situationnelles** : présence des véhicules, arrêt des véhicules au passage piéton, approche lente des véhicules au passage piéton, couleur des feux routier, présence de piétons\*, présence d’obstacles et présence d’embouteillages.
- Le **comportement du piéton** : mouvement de tête à gauche, mouvement de tête à droite, mouvement de tête en face, nombre moyen de mouvements de tête toutes directions confondues\*, temps d’attente avant de traverser, faux départs, prise de risque (dans des conditions à risques et/ou avec non-respect des règles du code de la route ; soit à cause du non-respect du code de la route, soit du fait du risque perçu verbalisé par les participants en entretien ou soit en raison de la proximité des véhicules couplée au freinage d’urgence de ceux-ci, visible objectivement par les enregistrements vidéo) \*, trajectoire et vitesse de traversée. Les mouvements de tête correspondent à une prise de l’information directe dans l’environnement.

Certaines variables sont spécifiques à une phase comme, par exemple, le temps d'attente existe seulement dans la phase 2 et la phase 4.

## 2.2.2 Pré-traitements des données

### 2.2.2.1 Suppression de certaines traversées

Certaines traversées ont été supprimées dont les raisons sont explicitées ci-dessous :

- [1] Pour l'ensemble des analyses, il a été supprimé une traversée entière d'un participant, c'est-à-dire, l'ensemble des données de toutes les phases de cette traversée suite à un problème d'acquisition des données vidéo.
- [2] Pour les analyses des mouvements de tête, il n'y a pas de données en phase 2 lorsque les piétons ne se sont pas arrêtés au bord du trottoir.
- [3] Pour certaines phases de certaines traversées, le nombre et la séquence de mouvements de tête n'ont pas pu être récupérés, les données concernant spécifiquement ces phases ont été retirées des analyses.

### 2.2.2.2 Réduction des séquences

Concernant la phase 2, les séquences de mouvements de tête ont été simplifiées en prenant en compte seulement les 4 derniers mouvements de tête de chaque séquence, le nombre total de mouvements de tête étant fortement dépendant des événements non contrôlables dans le cadre de l'expérimentation.

### 2.2.2.3 Proportion de véhicules cédant la priorité aux piétons

En prenant en compte seulement les traversées sans feu, et en supprimant les traversées pour lesquelles il ne circule pas de véhicules ni en phase 2 ni en pré-phase 3, il a été calculé le pourcentage de véhicules cédant la priorité aux participants aux passages piétons parmi l'ensemble des véhicules qui sont passés sur la voie proche. Les véhicules cèdent la priorité aux piétons soit en s'arrêtant, soit en s'approchant lentement du passage piéton. En prenant en compte les 104 traversées sans feu, **44.08%** des véhicules parmi l'ensemble des véhicules qui sont passés sur la voie proche ont cédé la priorité aux piétons.

## 2.3 Résultats

Les résultats portent sur le nombre moyen des mouvements de tête lors de la traversée des piétons en milieu naturel (en moyenne, sur l'ensemble des données de la phase 3, il a été observé 2,14 mouvements de tête par traversée avec un écart-type de 1,52, un minimum à 0 et un maximum à 7). Les analyses portent principalement sur les effets de différentes configurations de la traversée (e.g., présence de feu, de pression temporelle) sur cette variable. Seules les phases 1, 2, pré-phase 3 et phase 3 ont été analysées car ce sont celles qui permettaient d'analyser l'intégralité des situations de traversée, les phases 4, pré-5 et 5 étant réservées uniquement aux traversées en deux temps (pour ces phases, les données n'étaient pas suffisantes pour obtenir une robustesse statistique).

De plus, il est important de souligner que l'étude ayant eu lieu en environnement naturel, de nombreux facteurs n'ont pu être contrôlés, c'est pourquoi plusieurs situations ne sont pas comparées (i.e., situations qui ne se sont pas ou peu produites, trop peu de données pour faire des analyses). De même, les passations ayant eu lieu en milieu ouvert en situation naturelle, les participants avaient la possibilité de choisir les lieux de leurs traversées sur le parcours, sous-entendu qu'ils ne leur étaient pas imposés de traverser sur les passages piétons. Peu de participants ont traversé hors des passages

piétons et, lorsqu'ils l'ont fait, ce ne sont pas ces traversées qu'ils ont choisi d'expliciter, d'où l'absence de données sur ce type de traversée dans les résultats.

### 2.3.1 Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête

#### 2.3.1.1 Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête quelle que soit la configuration de la traversée (avec ou sans feu ; 1 ou 2 temps)

Du fait de la présence de données non applicables, le nombre de traversées analysables pour la variable dépendante « nombre moyen de mouvements de tête » diffère en fonction des phases.

Il existe une différence significative dans le nombre moyen de mouvements de tête entre les phases ( $F(3, 718) = 28.67, p < .001$ ). Les comparaisons post hoc LSD de Fisher montrent que le nombre moyen de mouvements de tête ne diffère pas significativement entre la phase 1 ( $N = 195, M = 1.95, ET = 1.02$ ) et la phase 3 ( $N = 195, M = 2.14, ET = 1.51$  ; Figure 5). Par contre, le nombre de mouvements de tête diffère significativement :

- Entre la phase 2 ( $N = 136, M = 3.20, ET = 4.98$ ) et la phase 1 (LSD (1) = 1.24,  $p < .001$ ) ;
- Entre la phase 2 et la pré-phase 3 ( $N = 196, M = 0.76, ET = 0.91$  ; LSD (1) = 2.44,  $p < .001$ ) ;
- Entre la phase 2 et la phase 3 (LSD (1) = 1.06,  $p < .001$ ) ;
- Entre la pré-phase 3 et la phase 3 (LSD (1) = - 1.38,  $p < .001$ ) ;
- Et entre la pré-phase 3 et la phase 1 (LSD (1) = -1.20,  $p < .001$ ).

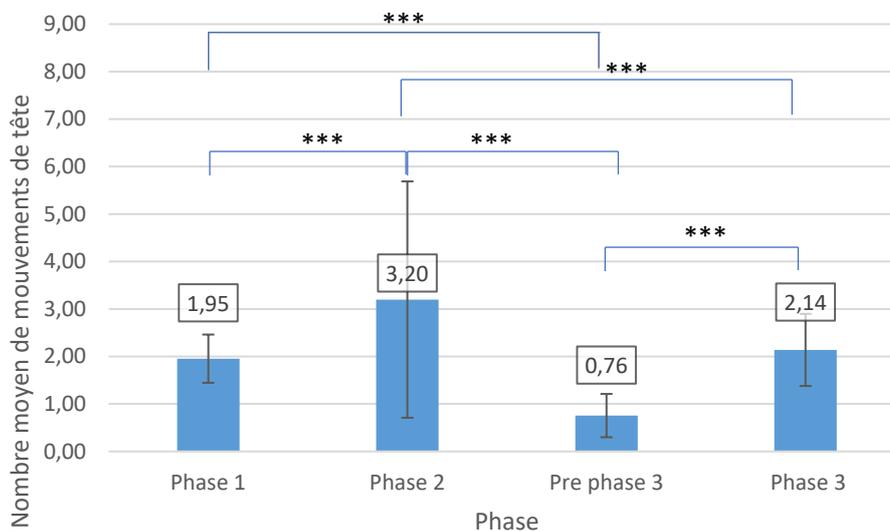


Figure 5. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction des phases de traversées quelle que soit la configuration de la traversée (\* $p < .05$  ; \*\*\* $p < .001$ ).

**Les résultats sont cohérents avec le type de phases. Le nombre plus élevé de mouvements de tête en phase 2 pourrait être lié à la durée de la phase en elle-même, celle-ci correspondant à la phase d'attente. De même, durant la pré-phase 3, les mouvements de tête sont moins nombreux, étant donné que les analyses se focalisent sur le dernier instant entraînant la prise de décision.**

### 2.3.1.2 Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête en présence ou absence de feu piétons

#### Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête en absence de feu

Dans la condition sans feu, il existe une différence significative concernant le nombre moyen de mouvements de tête entre les phases ( $F(3, 574)=31.20, p < .001$  ; Figure 6). Les comparaisons Post Hoc LSD de Fisher montrent que le nombre de mouvements de tête diffère :

- Entre la pré-phase 3 ( $N = 157, M = 0.61, ET = 0.77$ ) et la phase 1 ( $N = 156, M = 1.87, ET = 0.93$  ;  $LSD(1) = -1.25, p < .001$ ) ;
- Entre la pré-phase 3 et la phase 2 ( $N = 110, M = 1.98, ET = 2.98$  ;  $LSD(1) = -1.37, p < .001$ ) ;
- Entre la pré-phase 3 et la phase 3 ( $N = 155, M = 2.28, ET = 1.49$  ;  $LSD(1) = -1.67, p < .001$ ) ;
- Et entre la phase 1 et la phase 3 ( $LSD(1) = -.42, p < .05$ ).

#### Effet de la phase sur le nombre moyen de mouvements de tête en présence de feu<sup>2</sup>

L'analyse a révélé une différence significative du nombre moyen de mouvements de tête en fonction des phases de traversées avec feu ( $F(3, 140) = 25.70, p < .001$  ; Figure 6). Il y a plus de mouvements de tête en phase 2 que dans les autres phases ( $N = 26, M = 8.35, ET = 7.80$ ). La phase pré 3 est celle qui en compte le moins ( $N = 39, M = 1.33, ET = 1.20$ ). Le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé en phase 1 ( $N = 39, M = 2.31, ET = 1.26$ ) qu'en phase 3 ( $N = 40, M = 1.58, ET = 1.50$ ). Les comparaisons post hoc LSD de Fisher montrent que le nombre de mouvements de tête diffère :

- Entre la phase 2 et la phase 1 ( $LSD(1) = 6.04, p < .001$ ) ;
- Entre la phase 2 et la pré-phase 3 ( $LSD(1) = 7.01, p < .001$ ) ;
- Et entre la phase 2 et la phase 3 ( $LSD(1) = 6.77, p < .001$ ).

<sup>2</sup> A noter que l'étude en situation naturelle n'a pas permis d'avoir un trajet permettant de rencontrer un nombre identique de traversées avec et sans feu piétons, le deuxième cas ayant été le plus fréquemment rencontré.

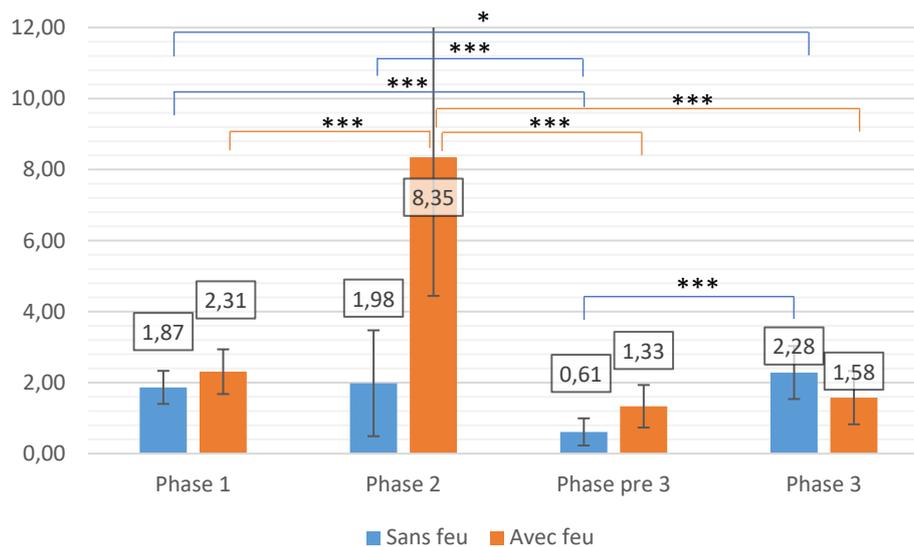


Figure 6. Nombre moyen de mouvements de tête en présence et en absence de feu (\* $p < .05$  ; \*\*\* $p < .001$ ).

**Le nombre plus élevé de mouvements de tête en phase 2 en présence de feu témoigne d'une dispersion de la prise d'information, qui pourrait être lié à de l'impatience, lorsque le piéton attend que celui-ci lui soit favorable, i.e., il regarderait plus son environnement dans les phases d'attente d'un passage au vert. Les analyses ci-dessous précisent ce point.**

### Effet de la couleur du feu piéton sur le nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la phase de traversée

La Figure 7 présente graphiquement le nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la phase de traversée et de la couleur du feu piéton.

En phase 1, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé au feu rouge ( $N = 29$ ,  $M = 2.59$ ,  $ET = 1.30$ ), qu'au feu vert ( $N = 10$ ,  $M = 1.5$ ,  $ET = 0.71$ ) ;  $t(37) = 2.51$ ,  $p < .05$ ).

Le nombre moyen de mouvements de tête durant la phase 2 est significativement différent entre la condition feu piéton rouge ( $N = 22$ ,  $M = 9.55$ ,  $ET = 7.90$ ) et la condition feu piéton vert ( $N = 17$  ;  $M = 1.75$ ,  $ET = 1.71$ ) ;  $t(24) = 1.94$ ,  $p < .001$ ).

En pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements est plus élevé au feu rouge ( $N = 14$ ,  $M = 1.93$ ,  $ET = 1.39$ ) qu'au feu vert ( $N = 25$ ,  $M = 1.0$ ,  $ET = 0.96$ ) ;  $t(37) = 2.47$ ,  $p < .05$ ).

En revanche, en phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête ne diffère pas significativement au feu rouge ( $N = 12$ ,  $M = 1.50$ ,  $ET = 1.17$ ) qu'au feu vert ( $N = 27$ ,  $M = 1.67$ ,  $ET = 1.65$  ;  $t(37) = -.32$ , ns).

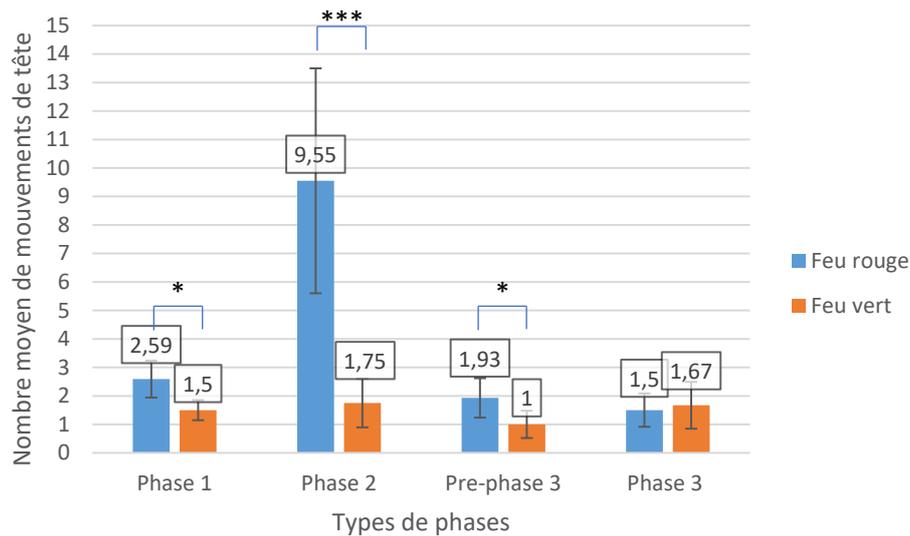


Figure 7. Nombre moyen de mouvements tête en fonction de la couleur du feu piétons pour chaque phase (\* $p < .05$  ; \*\*\* $p < .001$ ).

Les résultats obtenus montrent notamment des mouvements de tête plus importants en phase 2, phase d'attente, lorsque le feu piéton est rouge, ce qui confirme les résultats présentés dans la partie précédente sur la dispersion de la prise d'information lorsque le piéton est en attente.

### 2.3.2 Effet du type de traversée (en 1 temps ou 2 temps) sur le nombre de mouvements de tête

#### 2.3.2.1 Effet du type de traversée (en 1 temps ou 2 temps) sur le nombre de mouvements de tête toute configuration d'infrastructure et phase de traversée confondues

Le nombre moyen de mouvements de tête ne diffère pas significativement ( $t(576) = -1.49$ , ns) selon la condition de traversée en deux temps ( $N = 370$ ,  $M = 1.74$ ,  $ET = 1.95$ ) et la condition de traversée en un seul temps ( $N = 208$ ,  $M = 1.51$ ,  $ET = 1.35$  ; voir Figure 8).

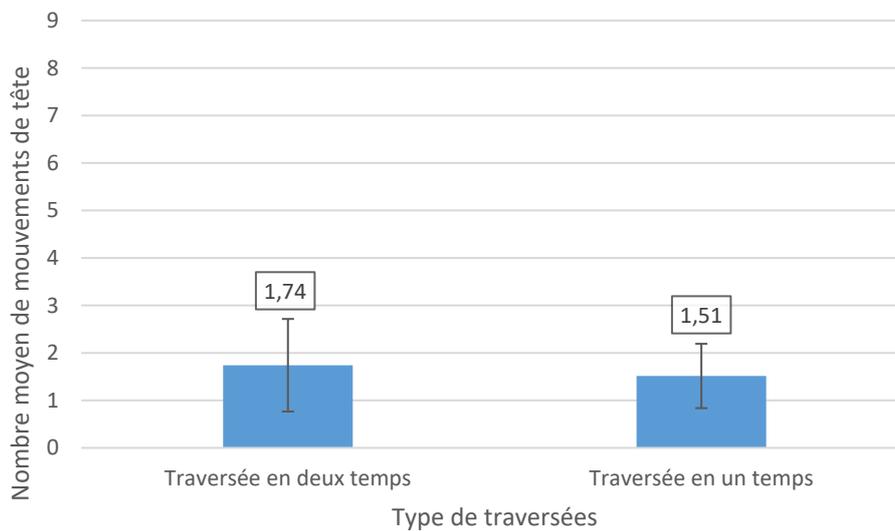


Figure 8. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction du type de traversée (en 1 temps ou 2 temps) quelle que soit la phase ou le type d'infrastructure.

### 2.3.2.2 Effet du type de traversée (en 1 temps ou 2 temps) sur le nombre de mouvements de tête pour chaque phase concernant les traversées sans feu<sup>3</sup>

Comme le montre la Figure 9, aucune différence significative apparaît concernant le type de traversée pour les phases 1 et 2 alors que des différences sont mises en évidence pour la pré-phase 3 et la phase 3.

Concernant la phase 1, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la traversée en 1 temps ( $N = 55$ ,  $M = 1.89$ ,  $ET = 0.83$ ) et la traversée en 2 temps ( $N = 101$ ,  $M = 1.85$ ,  $ET = 0.98$ ;  $t(154) = .25$ , ns).

Concernant la phase 2, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la traversée en 1 temps ( $N = 41$ ,  $M = 1.90$ ,  $ET = 2.13$ ) et la traversée en 2 temps ( $N = 70$ ,  $M = 2.00$ ,  $ET = 3.39$ ;  $t(109) = -.17$ , ns).

Concernant la pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est significativement plus élevé entre la traversée en 1 temps ( $N = 56$ ,  $M = 0.82$ ,  $ET = 0.81$ ) et la traversée en 2 temps ( $N = 101$ ,  $M = 0.50$ ,  $ET = 0.72$ ;  $t(155) = 2.60$ ,  $p < .05$ ).

Concernant la phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est significativement plus élevé en traversée en 2 temps ( $N = 98$ ,  $M = 2.72$ ,  $ET = 1.46$ ) qu'en traversée en 1 temps ( $N = 57$ ,  $M = 1.53$ ,  $ET = 1.25$ ;  $t(153) = -5.21$ ,  $p < .05$ ).

<sup>3</sup> Le nombre de traversées en 2 temps avec feux étant trop faibles pour être analysé, ce point n'a pas été traité dans le livrable.

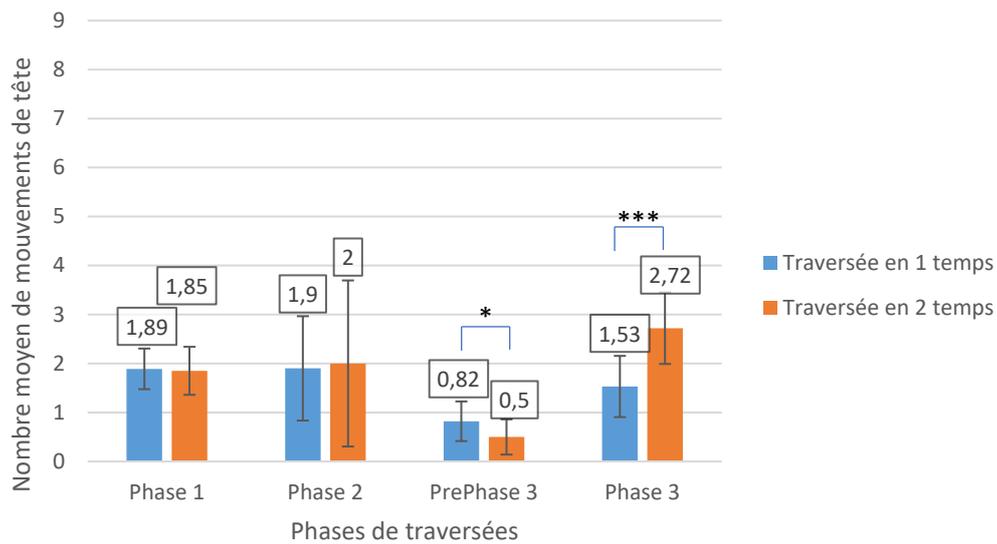


Figure 9. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction du type de traversées sans feu pour chaque phase (\* $p < .05$  ; \*\*\* $p < .001$ ).

Les mouvements de têtes sont plus nombreux lors des traversées en 1 temps pour la phase de décision quand il n’y a pas de feu alors que pour la traversée en 2 temps c’est lors de la traversée même que les mouvements de tête sont plus nombreux.

### 2.3.3 Effet de la pression temporelle sur le nombre moyen de mouvements tête

#### 2.3.3.1 Effet de la pression temporelle sur le nombre moyen de mouvements tête en l’absence de feu

##### Quelle que soit la phase de traversée

Il n’existe pas différence significative concernant le nombre moyen de mouvements de tête, quelle que soit la phase, entre la condition avec pression temporelle ( $N = 290$ ,  $M = 1.61$ ,  $ET = 1.79$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 288$ ,  $M = 1.71$ ,  $ET = 1.73$ ) lors des traversées sans feu ( $t(576) = -0.72$ , ns ; Figure 10).

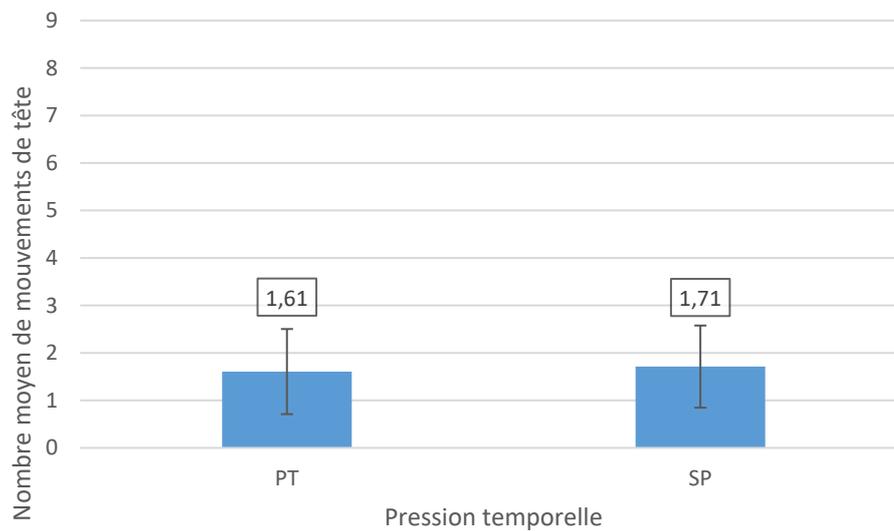


Figure 10. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la pression temporelle quelle que soit la phase de traversée sans feu.

### En fonction de la phase de traversée

La Figure 11 présente le nombre moyen de mouvements de tête pour chaque phase en condition de présence ou d'absence de pression temporelle.

Concernant la phase 1, le nombre moyen de mouvement de tête n'est significativement pas différent selon la condition avec pression temporelle ( $N = 79$ ,  $M = 2.00$ ,  $ET = 1.00$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 77$ ,  $M = 1.73$ ,  $ET = 0.84$  ;  $t(154) = 1.85$ , ns).

Concernant la phase 2, le nombre moyen de mouvement de tête n'est significativement pas différent entre la condition avec pression temporelle ( $N = 55$ ,  $M = 1.60$ ,  $ET = 3.02$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 56$ ,  $M = 2.32$ ,  $ET = 2.92$  ;  $t(154) = -1.28$ , ns).

Concernant la pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la condition avec pression temporelle ( $N = 80$ ,  $M = 0.55$ ,  $ET = 0.73$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 77$ ,  $M = 0.68$ ,  $ET = 0.8$  ;  $t(154) = -1.03$ , ns).

Concernant la phase 3, le nombre moyen de mouvement de tête n'est significativement pas différent entre la condition avec pression temporelle ( $N = 77$ ,  $M = 2.29$ ,  $ET = 1.56$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 78$ ,  $M = 2.28$ ,  $ET = 1.44$  ;  $t(154) = 0.02$ , ns).

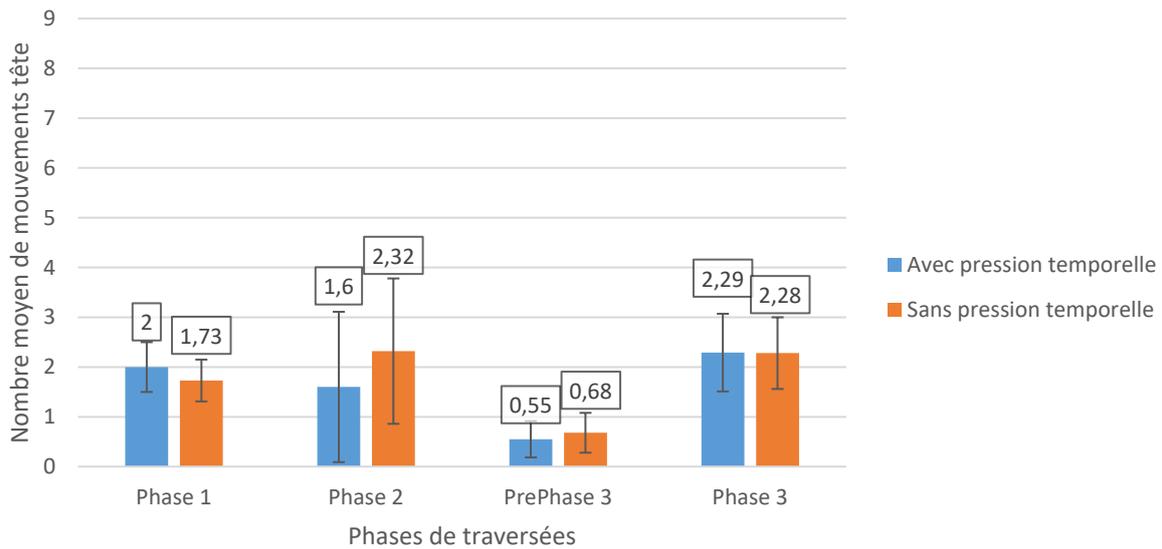


Figure 11. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la pression temporelle pour chaque phase de traversées sans feu.

### 2.3.3.2 Effet de la pression temporelle sur le nombre moyen de mouvements tête avec la présence d'un feu

#### Quelle que soit la phase de traversée

En présence d'un feu, il n'existe pas de différence significative dans le nombre moyen de mouvements de tête entre la condition sous pression temporelle ( $N = 76, M = 2.93, ET = 3.47$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 68, M = 2.93, ET = 5.15$  ;  $t(142) = 0.01, ns$  ; Figure 12).

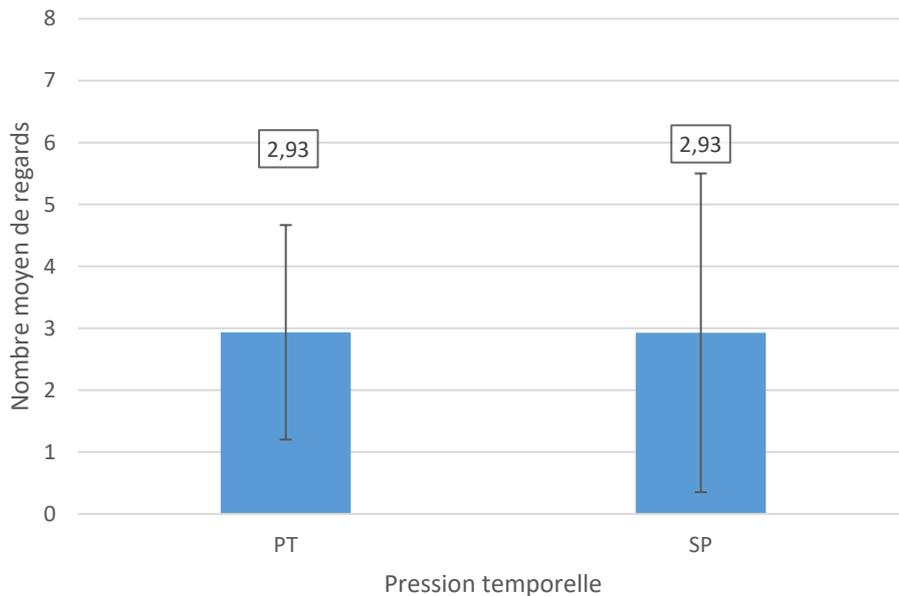


Figure 12. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la pression temporelle en présence d'un feu.

## En fonction de la phase de traversée

La Figure 13 présente le nombre moyen de mouvements de tête pour chaque phase des traversées avec feu.

En phase 1, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé sous pression temporelle ( $N = 21$ ,  $M = 2.86$ ,  $ET = 1.28$ ) que sans pression temporelle ( $N = 18$ ,  $M = 1.67$ ,  $ET = 0.91$  ;  $t(37) = 3.30$ ,  $p < .05$ ).

Concernant la phase 2, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la condition avec pression temporelle ( $N = 13$ ,  $M = 7.00$ ,  $ET = 6.56$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 13$ ,  $M = 9.69$ ,  $ET = 8.95$  ;  $t(24) = -.88$ , ns).

Concernant la pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent dans la condition avec pression temporelle ( $N = 21$ ,  $M = 1.67$ ,  $ET = 1.28$ ) que sans pression temporelle ( $N = 18$ ,  $M = 0.94$ ,  $ET = 1$ ) mais la différence est tendancielle ( $t(37) = 1.94$ ,  $.05 < p < .10$ ).

Pour finir, en phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la condition avec pression temporelle ( $N = 21$ ,  $M = 1.76$ ,  $ET = 1.45$ ) et la condition sans pression temporelle ( $N = 19$ ,  $M = 1.37$ ,  $ET = 1.58$  ;  $t(38) = .83$ , ns).

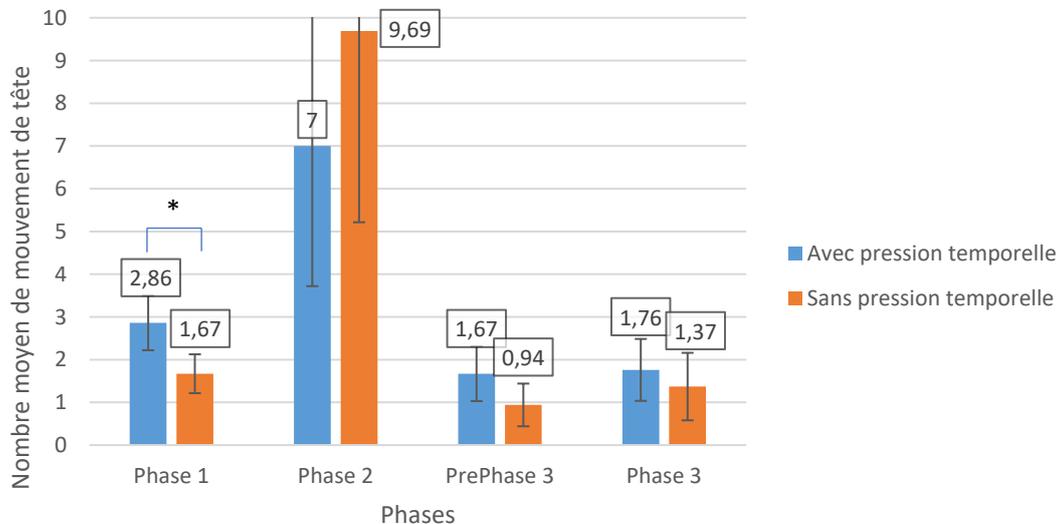


Figure 13. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la pression temporelle pour chaque phase de traversées avec feu (\* $p < .05$ ).

**L'effet de la pression temporelle n'apparaît que lorsqu'un feu est présent. En effet, les mouvements de tête sont plus nombreux avec pression temporelle lorsque le piéton est en phase d'approche que lorsqu'il n'y a pas de pression temporelle.**

### 2.3.4 Effet de la présence d'un feu piéton rouge sur le nombre de mouvements de tête pour chaque phase de traversée en fonction de la prise de risque<sup>4</sup>

En phase 1, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la situation de prise de risque ( $N = 11$ ,  $M = 2.82$ ,  $ET = 1.33$ ) et la situation sans prise de risque ( $N = 28$ ,  $M = 2.11$ ,  $ET = 1.2$  ;  $t(37) = 1.62$ , ns).

Concernant la phase 2, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la situation de prise de risque ( $N = 9$ ,  $M = 7.67$ ,  $ET = 5.94$ ) et la situation sans prise de risque ( $N = 17$ ,  $M = 8.71$ ,  $ET = 8.79$  ;  $t(24) = -.32$ , ns).

En pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé en situation de prise de risque ( $N = 11$ ,  $M = 2.00$ ,  $ET = 1.41$ ) que en situation sans prise de risque ( $N = 28$ ,  $M = 1.07$ ,  $ET = 1.02$  ;  $t(37) = 2.30$ ,  $p < .05$ ).

En phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête n'est significativement pas différent entre la situation de prise de risque ( $N = 11$ ,  $M = 1.27$ ,  $ET = 1.27$ ) et la situation sans prise de risque ( $N = 29$ ,  $M = 1.69$ ,  $ET = 1.58$  ;  $t(38) = -.78$ , ns).

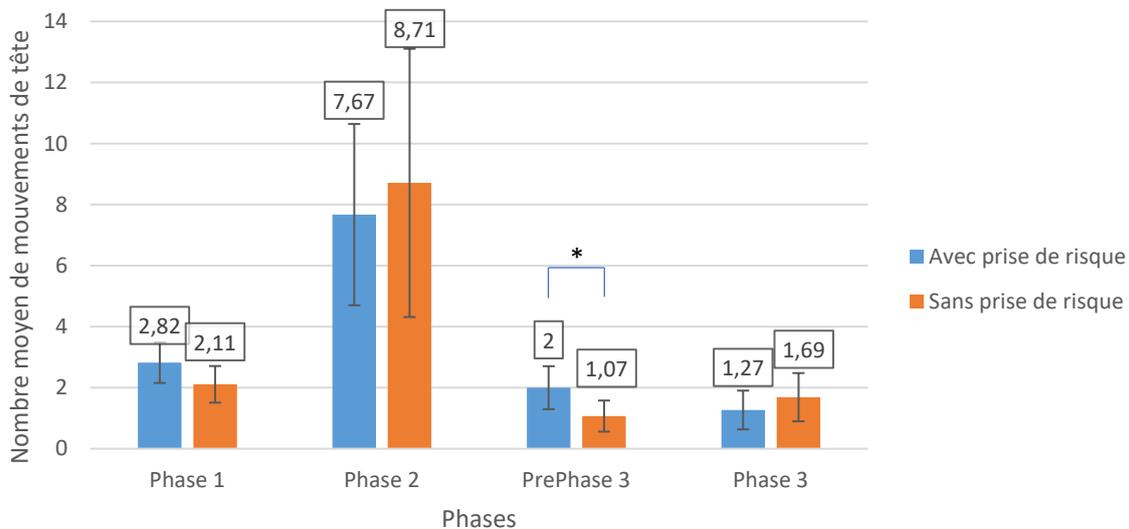


Figure 14. Nombre moyen de mouvements de tête pour chaque phase en fonction de la prise de risque (\* $p < .05$ ).

#### Le nombre de mouvement de tête durant la pré-phase 3 lors des traversées sans feu est modulé par la prise de risque (i.e., traverser en dehors du passage piéton et traverser en diagonale).

En l'absence de feu et durant la pré-phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est significativement plus bas lors des traversées avec prise de risque ( $N = 9$ ,  $M = 0.22$ ,  $ET = 0.44$ ) que lors des traversées sans prise de risque ( $N = 146$ ,  $M = 2.34$ ,  $ET = 1.50$  ;  $t(153) = -4.23$ ,  $p < .001$  ; Figure 15).

<sup>4</sup> L'absence de prise de risque lorsque le feu piéton est vert explique que cet élément ne soit pas abordé dans ce livrable. Pour rappel, une situation de prise de risque désigne des conditions à risques et/ou avec non-respect des règles du code de la route ; soit à cause du non-respect du code de la route, soit du fait du risque perçu verbalisé par les participants en entretien ou soit en raison de la proximité des véhicules couplée au freinage d'urgence de ceux-ci, visible objectivement par les enregistrements vidéo.

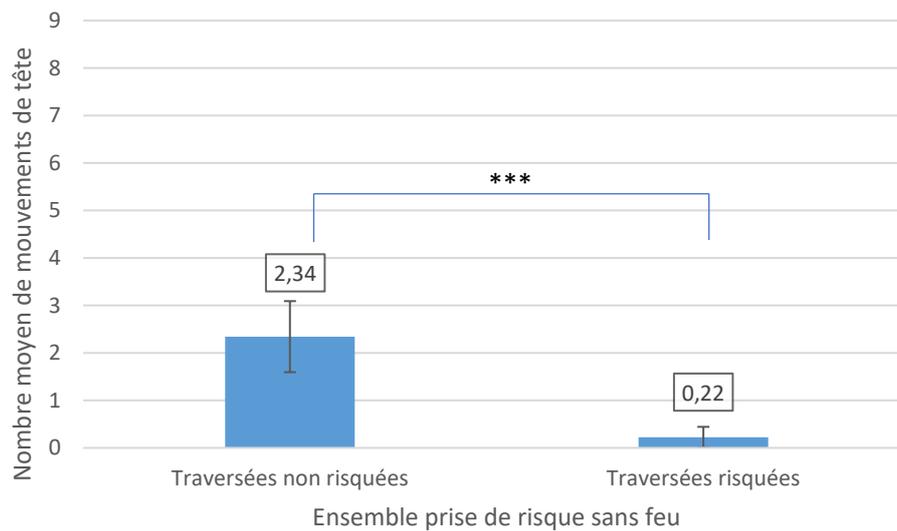


Figure 15. Nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la prise de risque lors de la traversée sans feu durant la pré-phase 3 (\*\*\*)  $p < .001$ .

**L'effet de la prise de risque n'est présent que lors de la phase de décision où les mouvements de tête sont plus nombreux avec prise de risque en présence de feu alors qu'ils sont moins nombreux avec prise de risque en absence de feu.**

### 2.3.5 Prise de risque et pression temporelle

Tableau 1. Répartition des traversées avec prise de risque et sans prise de risque en fonction de la présence ou non de pression temporelle.

	Avec pression temporelle	Sans pression temporelle
Traversée sans prise de risque	87	89
Traversée avec prise de risque	14	6

Comme le montre le tableau ci-dessus, nous pouvons observer davantage de traversées avec prise de risque lorsque les participants sont soumis à de la pression temporelle que lorsque les participants ne sont pas sous pression temporelle. Il existe une tendance concernant le lien entre la prise de risque et la pression temporelle ( $\chi^2(N = 196, 1) = 3.04, 0.05 < p < 0.10$ ).

#### 2.3.5.1 Effet de la prise de risque sur le nombre de mouvements de tête selon la condition de pression temporelle lorsque les traversées ne comportent pas de feu par phase de traversée

Du fait de groupes comportant des échantillons trop faibles, les analyses réalisées ci-dessous ne sont que descriptives. Le Tableau 2 présente les données descriptives associées aux traversées sans feu avec ou sans pression temporelle suivant la phase de traversée.

Tableau 2. Moyennes et écarts types des mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la pression temporelle lors des traversées ne comportant pas de feu.

Traversées sans feu		Phase 1	Phase 2	Pré-phase 3	Phase 3
Avec pression temporelle Sans prise de risque	Moyenne	2,03	1,59	0,58	2,41
	Écart-type	1,02	3,08	0,74	1,55
Avec pression temporelle Avec prise de risque	Moyenne	<b>1,6</b>	<b>1,75</b>	<b>0,17</b>	<b>0,83</b>
	Écart-type	0,55	2,36	0,41	0,75
Sans pression temporelle Sans prise de risque	Moyenne	1,76	2,24	0,69	2,28
	Écart-type	0,84	2,93	0,81	1,46
Sans pression temporelle Avec prise de risque	Moyenne	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>0,333</b>	<b>2,333</b>
	Écart-type	0	2,12	0,58	1,16

Comme l’illustre la Figure 16, en phase 1, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé avec pression temporelle et sans prise de risque ( $N = 74$  observations,  $M = 2.03$ ,  $ET = 1.02$ ).

En phase 2, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé sans pression temporelle et avec prise de risque ( $N = 2$  observations,  $M = 4.5$ ,  $ET = 2.12$ ).

En pré phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé sans pression temporelle et sans prise de risque ( $N = 74$  observations,  $M = 0.69$ ,  $ET = 0.81$ ).

En phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé avec pression temporelle et sans prise de risque ( $N = 71$  observations,  $M = 2.41$ ,  $ET = 1.55$ ).

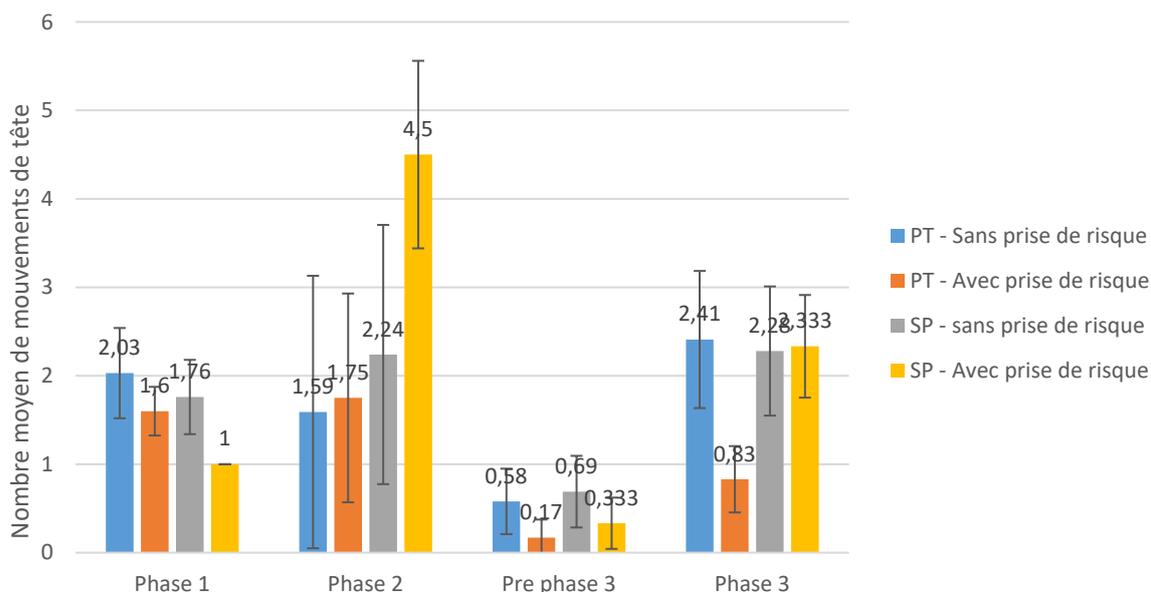


Figure 16. Effet de la pression temporelle en interaction avec la prise de risque sur le nombre moyen de mouvements de tête pour les traversées sans feu.

**Il semble que le nombre de mouvements de tête en l’absence de feu soit plus important lors de la phase d’attente (i.e., phase 2) lorsque le piéton prend des risques et qu’il n’est pas sous pression**

temporelle. De plus, ce nombre semble moins important en phase de traversée (i.e., phase 3) lorsque le piéton prend des risques et est sous pression temporelle.

### 2.3.5.2 Effet de la pression temporelle et de la prise de risque sur le nombre de mouvements de tête des traversées avec feu par phase de traversée

Comme pour les données précédentes, du fait de groupes comportant des échantillons trop faibles, les analyses réalisées ci-après ne sont que descriptives. Le Tableau 3 présente les données descriptives associées aux traversées avec feu avec ou sans pression temporelle suivant la phase de traversée.

Tableau 3. Moyennes et écarts types des mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la pression temporelle lors des traversées avec feu

Traversées avec feu		Phase 1	Phase 2	Pré-phase 3	Phase 3
Avec pression temporelle Sans prise de risque	Moyenne	2,62	6	1,23	1,92
	Écart-type	1,26	6,14	1,01	1,5
Avec pression temporelle avec prise de risque	Moyenne	<b>3,25</b>	<b>8,17</b>	<b>2,38</b>	<b>1,5</b>
	Écart-type	1,28	7,41	1,41	1,41
Sans pression temporelle Sans prise de risque	Moyenne	1,67	10,6	0,93	1,5
	Écart-type	0,98	10,12	1,03	1,67
Sans pression temporelle Avec prise de risque	Moyenne	<b>1,67</b>	<b>6,67</b>	<b>1</b>	<b>0,67</b>
	Écart-type	0,58	1,15	1	0,58

En phase 1, comme illustré dans la Figure 17, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé avec pression temporelle et avec prise de risque ( $N = 8$ ,  $M = 3.25$ ,  $ET = 1.28$ ).

En phase 2, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé sans pression temporelle et sans prise de risque ( $N = 10$ ,  $M = 10.6$ ,  $ET = 10.12$ ).

En pré phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé avec pression temporelle et avec prise de risque ( $N = 8$ ,  $M = 2.38$ ,  $ET = 1.41$ ).

En phase 3, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé avec pression temporelle et sans prise de risque ( $N = 13$ ,  $M = 1.92$ ,  $ET = 1.50$ ).

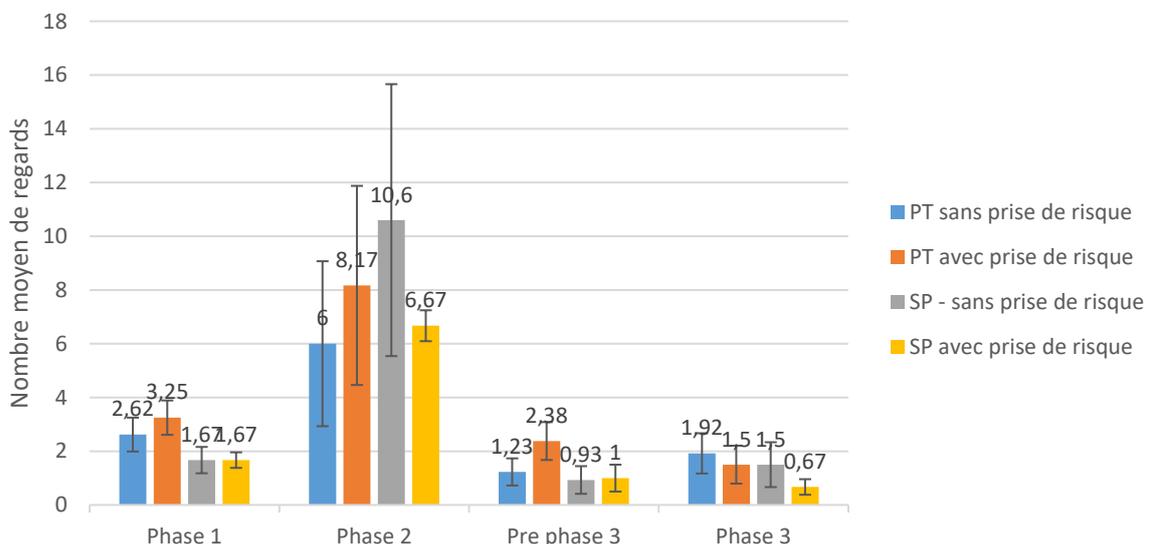


Figure 17. Effet de la pression temporelle en interaction avec la prise de risque sur le nombre moyen de mouvements de tête pour les traversées avec feu.

**Il semble que le nombre de mouvements de tête en présence de feu soit plus important lors de la phase d'attente (i.e., phase 2) lorsque le piéton ne prend pas de risque et qu'il n'est pas sous pression temporelle.**

### 2.3.6 Effet de la présence des piétons traversant avant les participants

Une des hypothèses de l'étude reposait également sur le fait que les piétons pouvaient aussi être influencés dans leur traversée par la présence d'autres piétons. L'étude, ayant été réalisée en environnement réel, n'a pas permis de rencontrer un nombre significatif de situations où des piétons ont traversé avant nos participants. Aussi, nous ne présenterons qu'une analyse descriptive des situations rencontrées. De plus, ce sont majoritairement lors des phases 2 et pré-phases 3 que la présence des autres piétons pourrait avoir une influence sur le comportement de traversée, c'est pourquoi seules ces deux phases sont présentées dans les parties suivantes.

#### 2.3.6.1 Effet de la présence des piétons traversant avant les participants sur le nombre moyens de mouvements de tête lors des traversées avec feu

La prise de risque lors des traversées avec feu concerne les traversées au feu piéton rouge. Le nombre de traversées au feu piéton rouge est de 11 sur 40 traversées avec feu.

## En phase 2

Sur ces 11 traversées, deux traversées ne comportent pas de phases d'attente, elles ont alors été retirées des analyses de la phase 2. Sur les 9 traversées avec prise de risque, 2 comportent des piétons qui traversent avant le participant (Tableau 4). Lors des situations de prise de risque, le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé en condition de présence de piétons avant ( $M = 8.50$ ,  $ET = 2.12$ ) qu'en condition d'absence de piétons avant ( $M = 7.43$ ,  $ET = 6.78$  ; Figure 18).

À noter que pour rappel, sur les 29 traversées pour lesquelles le feu piéton était vert, les piétons ont traversé directement (phase 2 non applicable) dans 14 traversées d'entre elles donc un total (faible) *in fine* de 26 traversées observables intégralement sur toutes les phases.

Tableau 4. Répartition du nombre de traversées, et moyennes et écarts types du nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la présence des piétons traversant avant les participants durant la phase 2 – condition avec feu.

Phase 2	Avec prise de risque		Sans prise de risque	
	Présence piétons	Absence piétons	Présence piétons	Absence piétons
Moyenne	8,50	7,43	8,60	8,75
Écart-type	2,12	6,78	11,35	8,09
Effectif (N)	2	7	5	12

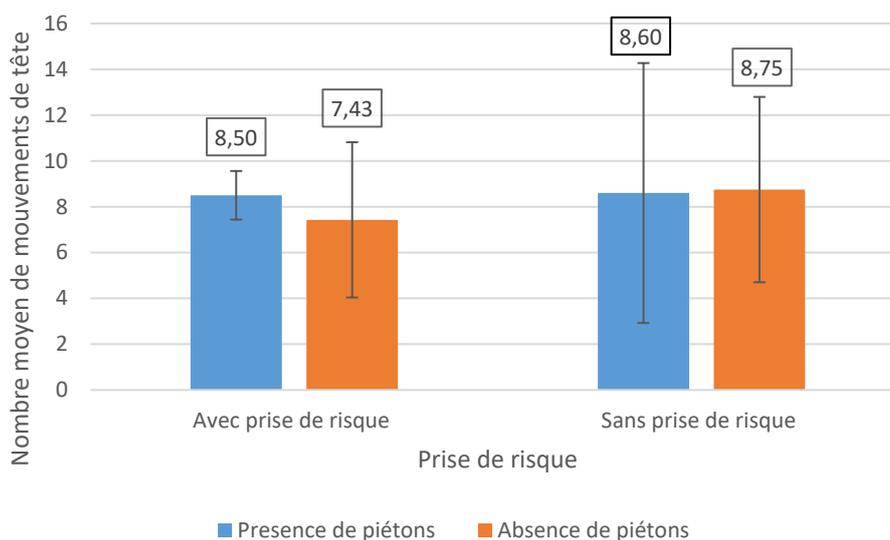


Figure 18. Nombre moyen de mouvements de tête lors des traversées avec prise de risque et sans prise de risque, durant la phase 2, selon la présence de piétons traversant avant le participant.

## En pré-phase 3

Sur les 11 traversées avec prise de risque, deux comportaient des piétons ayant traversé avant le participant (Tableau 5). Le nombre moyen de mouvements de tête est plus élevé en condition de présence de piétons traversant avant ( $M = 3.00$ ,  $ET = 1.41$ ) qu'en condition d'absence de piétons traversant avant ( $M = 1.78$ ,  $ET = 1.39$  ; Figure 19). Ce constat va dans le même sens lors des traversées sans prise de risque.

Tableau 5. Répartition du nombre de traversées, et moyennes et écarts types du nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la présence des piétons traversant avant les participants durant la pré-phase 3 – condition avec feu.

Pré-phase 3	Prise de risque		Sans prise de risque	
	Présence piétons	Absence piétons	Présence piétons	Absence piétons
Moyenne	3,00	1,78	1,80	0,91
Écart-type	1,41	1,39	1,10	0,95
Effectif (N)	2	9	5	24

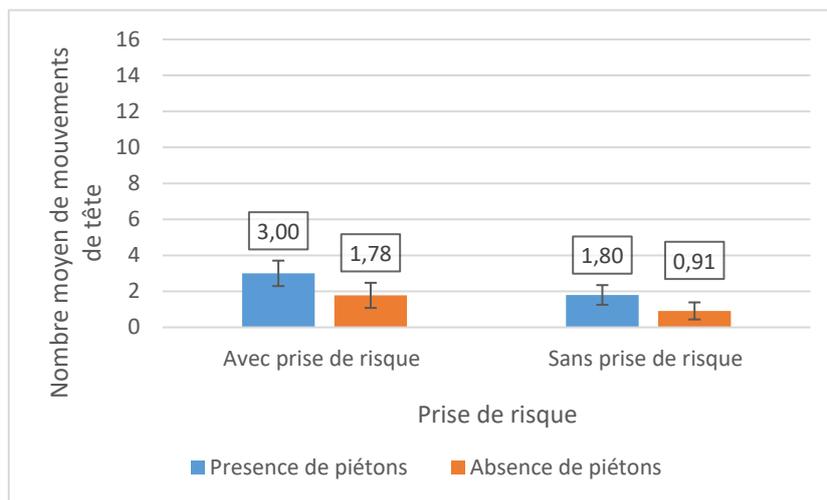


Figure 19. Nombre moyen de mouvements de tête lors des traversées avec prise de risque et sans prise de risque, durant la pré-phase 3, selon la présence de piétons traversant avant les participants.

### 2.3.6.2 Effet de la présence des piétons traversant avant les participants sur le nombre moyens de mouvements de tête lors des traversées sans feu

La prise de risque lors des traversées sans feu concerne les traversées en diagonale et les traversées en dehors du passage piéton.

#### En phase 2

Sur l'ensemble de traversées sans feu où il y a eu une phase d'attente ( $N = 159$  traversées), le nombre de traversées avec prise de risque est de 9 mais seulement 6 présentent une phase d'attente. Aucune traversée ne comporte de piétons traversant avant le participant durant la phase 2. Comme le montrent la Figure 20 et le Tableau 6, le nombre moyen de mouvements de tête sans prise de risque semble équivalent entre les traversées avec et sans piéton lors de la traversée du participant en phase 2.

Tableau 6. Répartition du nombre de traversées, et moyennes et écarts types du nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la présence des piétons traversant avant les participants durant la phase 2 – condition sans feu.

Phase 2	Sans prise de risque	
	Présence de piétons	Absence de piétons
Moyenne	2,00	1,92
Écart Type	1,77	3,09
Effectif (N)	8	97

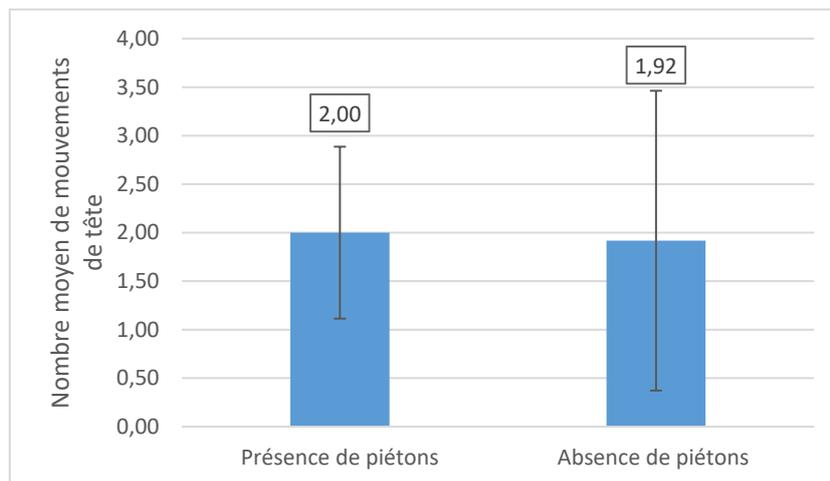


Figure 20. Nombre moyen de mouvements de tête durant la phase 2 des traversées sans prise de risque et sans feu selon la présence ou non de piétons.

### En pré-phase 3

Sur les 9 traversées avec prise de risque, aucun piéton n'a traversé avant le participant. Comme le montrent la Figure 21 et le Tableau 7, le nombre moyen de mouvements de tête sans prise de risque semble équivalent entre les traversées avec et sans piéton lors de la traversée du participant en pré-phase 3.

Tableau 7. Répartition du nombre de traversées, et moyennes et écarts types du nombre moyen de mouvements de tête en fonction de la prise de risque et de la présence des piétons traversant avant les participants durant la pré-phase 3 – condition sans feu.

Pré-phase 3	Sans prise de risque	
	Présence de piétons	Absence de piétons
Moyenne	0,67	0,63
Écart Type	0,82	0,78
Effectif (N)	6	153

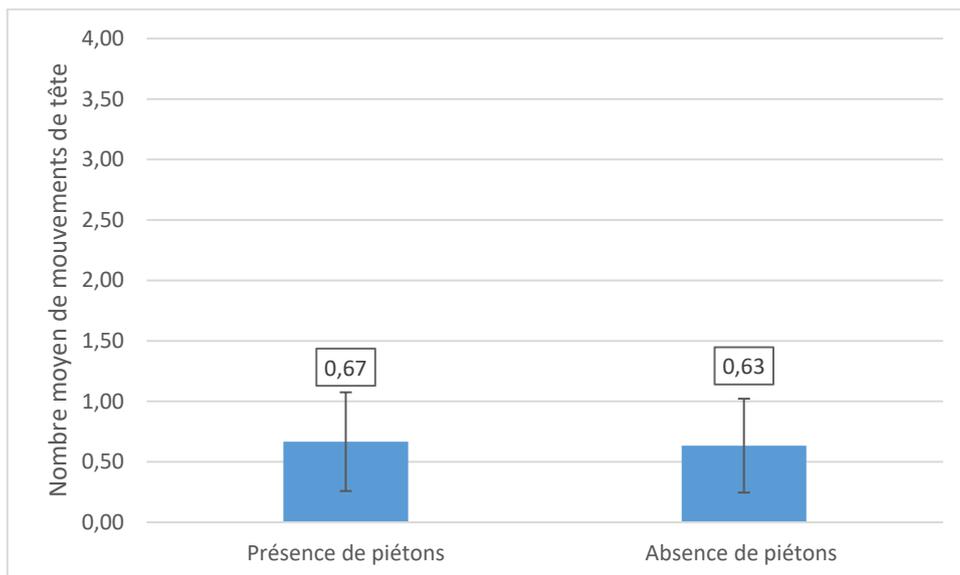


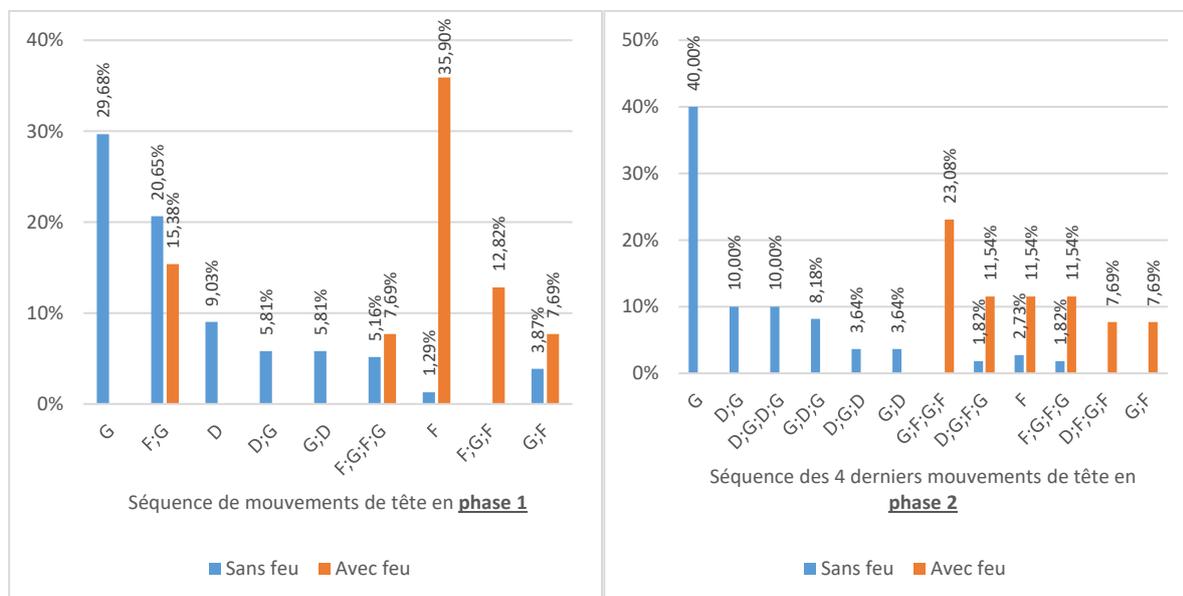
Figure 21. Nombre moyen de mouvements de tête durant la pré-phase 3 des traversées sans prise de risque et sans feu selon la présence ou non de piétons.

**La présence de piétons lors des traversées semble avoir peu d’impact sur le nombre de mouvements de tête des participants.**

### 2.3.7 Séquences de mouvements de tête

#### 2.3.7.1 Séquences de mouvements de tête pour chaque phase selon la présence ou l’absence de feu durant la traversée

Cette partie propose une comparaison des séquences de mouvements de tête pour chaque phase des traversées observées, qu’elles aient eu ou non un feu. Seules les séquences ayant une répartition de plus de 6% dans au moins une des deux conditions (feu, sans feu) sont affichées dans les graphiques pour une meilleure visibilité car un grand nombre de type de séquences a été retrouvé (Figure 22).



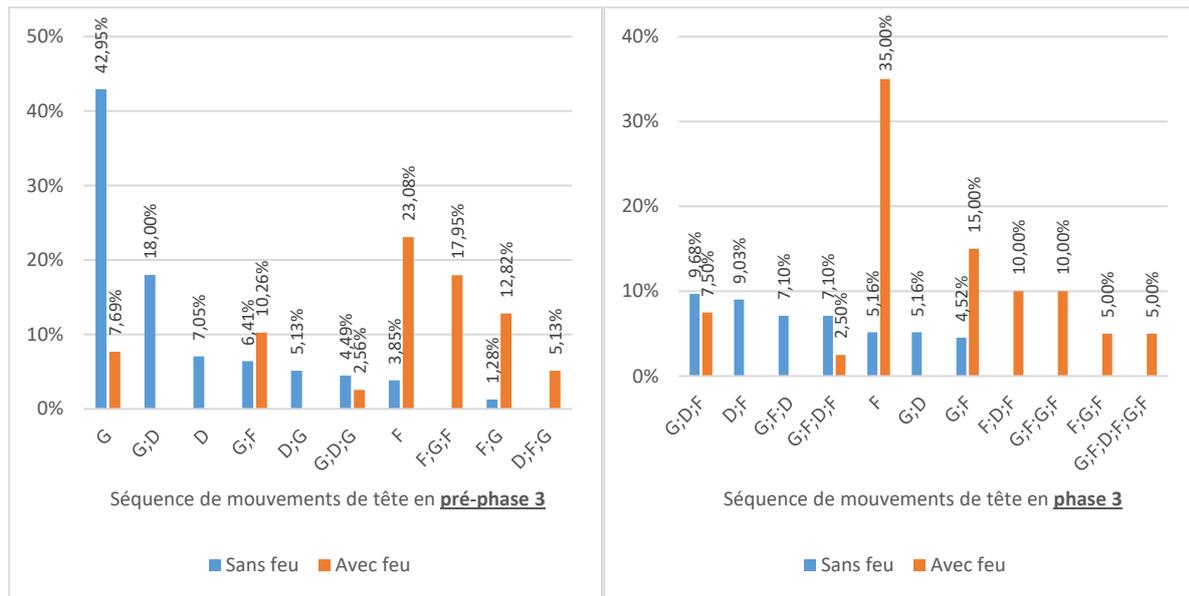


Figure 22. Répartition en pourcentage des séquences de mouvements de tête pour les 4 phases de traversée (i.e., phase 1 en haut à gauche, phase 2 en haut à droite, pré-phase 3 en bas à gauche et phase 3 en bas à droite) en fonction des traversées avec et sans feu (voir partie 2.1.2 page 12 pour une description de la topologie des traversées).

Notes. D = « Droite », G = « Gauche » et F = « en Face ».

En l’absence de feu, lors des trois premières phases de traversée, la répartition des mouvements de tête se situent principalement vers la gauche alors qu’en présence de feu, pour la première phase et les deux dernières, c’est en face que sont principalement dirigés les mouvements de tête. Lors de la phase d’attente en présence de feu, ce sont majoritairement des alternances entre en face et la gauche du participant qui sont observées.

### 2.3.7.2 Séquences de mouvements de tête pour chaque phase selon la présence ou l’absence de prise de risque durant la traversée

La prise de risque concerne les traversées en présence d’un feu piéton rouge. Sur l’ensemble des traversées avec feu (N = 40), 11 sont risquées. Il est à noter que les traversées à risque n’apparaissent que lors de la présence d’un feu piéton rouge, c’est pourquoi cette variable n’est pas présente pour les traversées sans feu.

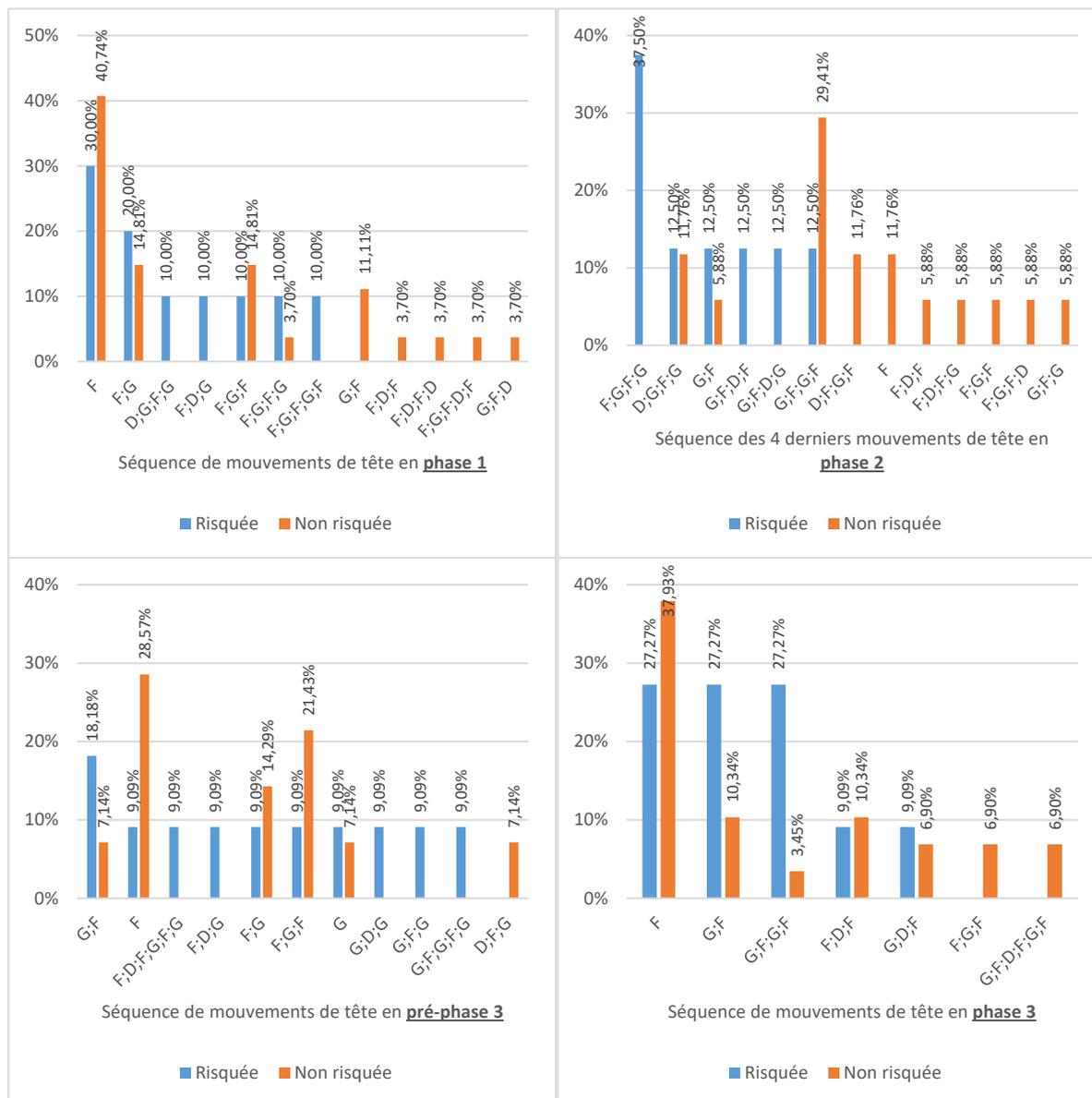


Figure 23. Répartition en pourcentage des séquences de mouvements de tête pour les 4 phases de traversée (i.e., phase 1 en haut à gauche, phase 2 en haut à droite, pré-phase 3 en bas à gauche et phase 3 en bas à droite) en fonction des traversées risquées et non risquées lors des traversées au feu piéton rouge.  
Notes. D = « Droite », G = « Gauche » et F = « en Face ».

Comme l’illustre la Figure 23, lors de la phase d’approche pour les traversées avec feu, nous pouvons observer que, quelle que soit la traversée réalisée par la suite (i.e., avec ou sans prise de risque), la majorité des mouvements de tête est dirigée vers le feu.

En phase d’attente, la séquence des 4 derniers mouvements de tête majoritaires est inversé entre les deux types de traversées avec une alternance en face-gauche-en face-gauche lors des traversées risquées alors que cette alternance est gauche-en face-gauche-en face pour les traversées non risquées.

Lors de la phase de décision, lors des traversées risquées, les séquences de mouvements tête sont plus hétérogènes, il semblerait que celle qui ressort le plus soit celle d’un mouvement vers la gauche suivi d’un mouvement en face. Cependant, le faible nombre de ce type de traversée ne permet pas de conclure. En revanche, lors des traversées non risquées, les deux séquences qui ressortent sont soit

celle avec la tête orientée uniquement en face soit celle avec une alternance de mouvements en face, puis vers la gauche et de nouveau en face.

Enfin, lors des traversées risquées en phase de traversée, là encore les séquences varient en fonction des participants mais les mouvements de tête sont soit dirigés en face uniquement, soit alternent entre en face et la gauche, alors que lors des traversées non risquées, majoritairement les mouvements de tête sont orientés en face uniquement.

Il semblerait donc que lors des traversées risquées, les séquences de mouvements de tête sont plus hétérogènes même si elles tendent à faire des alternances entre en face et la gauche du piéton d'où peut potentiellement venir un danger le plus immédiat alors que pour les traversées non risquées, le feu (situé face aux participants) est la source privilégiée et parfois unique d'information.

### 2.3.7.3 Séquences de mouvements de tête selon la couleur du feu piéton pour chaque phase de traversée (N=40)

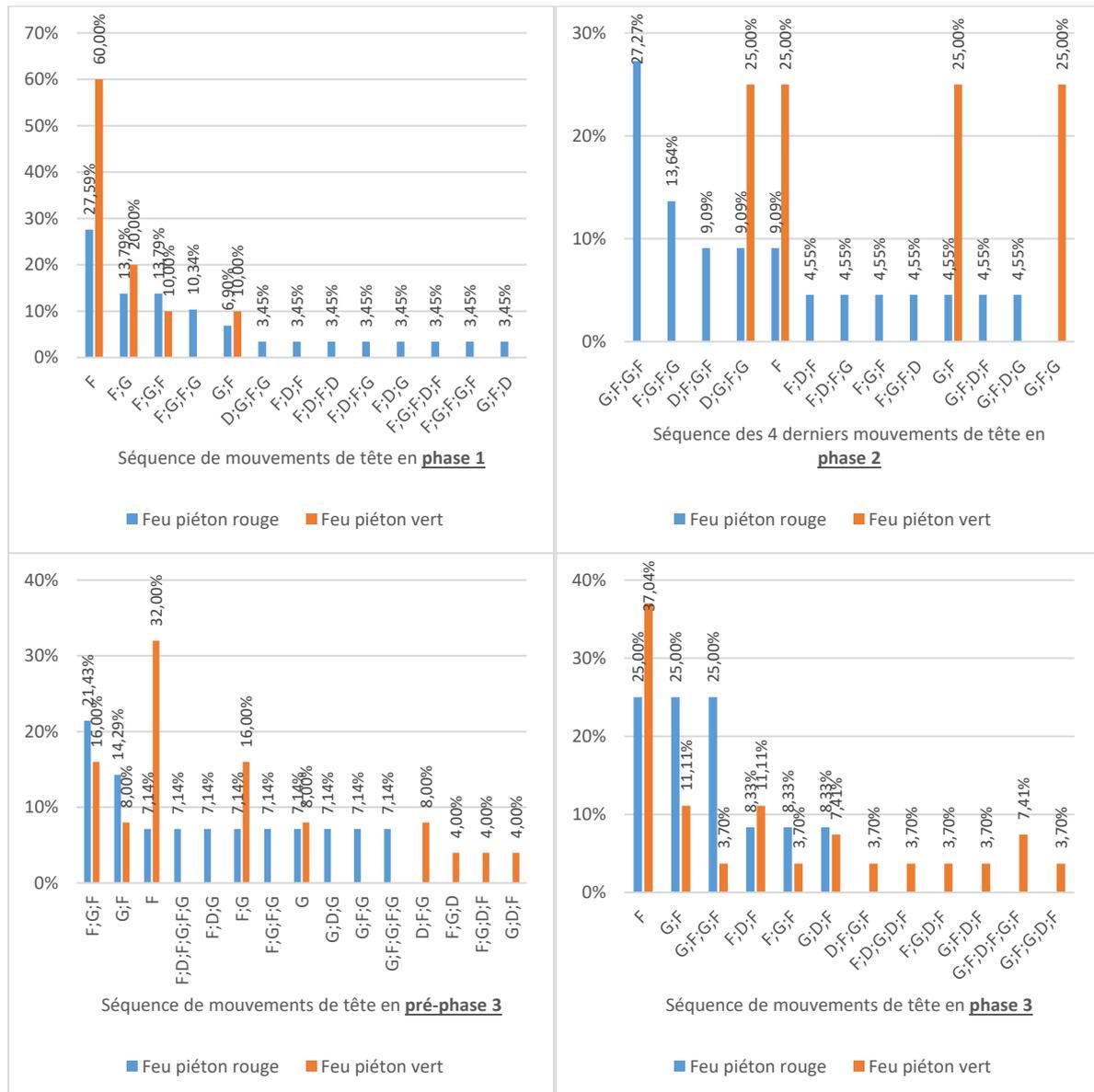


Figure 24. Répartition en pourcentage des séquences de mouvements de tête pour les 4 phases de traversée (i.e., phase 1 en haut à gauche, phase 2 en haut à droite, pré-phase 3 en bas à gauche et phase 3 en bas à droite) en fonction de la couleur du feu piéton.

Notes. D = « Droite », G = « Gauche » et F = « en Face ».

Comme le montre la Figure 24, et en cohérence avec les résultats précédents sur les traversées à risque ou non, les patterns de mouvements de tête sont plus hétérogènes lors des traversées avec le feu piéton rouge que lors des traversées avec le feu piéton vert. En effet, lorsque le feu piéton est vert, les mouvements de têtes sont majoritairement orientés en face uniquement notamment lors de la première phase de la traversée et des deux dernières alors que pour les traversées avec le feu piéton rouge, ce sont majoritairement des alternances entre en face et la gauche du piéton qui sont mises en place notamment pour les trois dernières phases.

**Les séquences de mouvements de tête sont modulées par l'infrastructure présente (i.e., présence de feux) mais également par la prise de risque notamment pour les phases d'attente et de décision effective (i.e., phase 2 et pré-phase 3).**

### 2.3.8 Entretiens semi-directifs et questionnaires

Les résultats de cette partie concernent les entretiens semi-directifs menés à la fin de chaque parcours et portent sur la répartition en pourcentage des éléments pris en compte dans la décision de traverser la rue en premier choix (ordre 1) et en deuxième choix (ordre 2). Les analyses effectuées permettent de comparer ces répartitions en fonction de la configuration de la traversée. Ces différentes configurations sont 1 – **traversée en 1 temps sans feu**, 2-**traversée en 1 temps avec feu** et 3- **traversée en 2 temps sans feu**.

Pour chaque élément, lorsque le pourcentage est en dessous de **6%**, ces éléments sont classés dans la catégorie **Autres** pour laquelle il est additionné tous les pourcentages en dessous de 6%.

#### 2.3.8.1 Eléments décisionnels de traversée

##### Premier élément décisionnel rapporté en fonction des 3 configurations de traversées et quelle que soit la pression temporelle

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le **PREMIER** élément pris en compte pour traverser et ce, en fonction de la configuration.

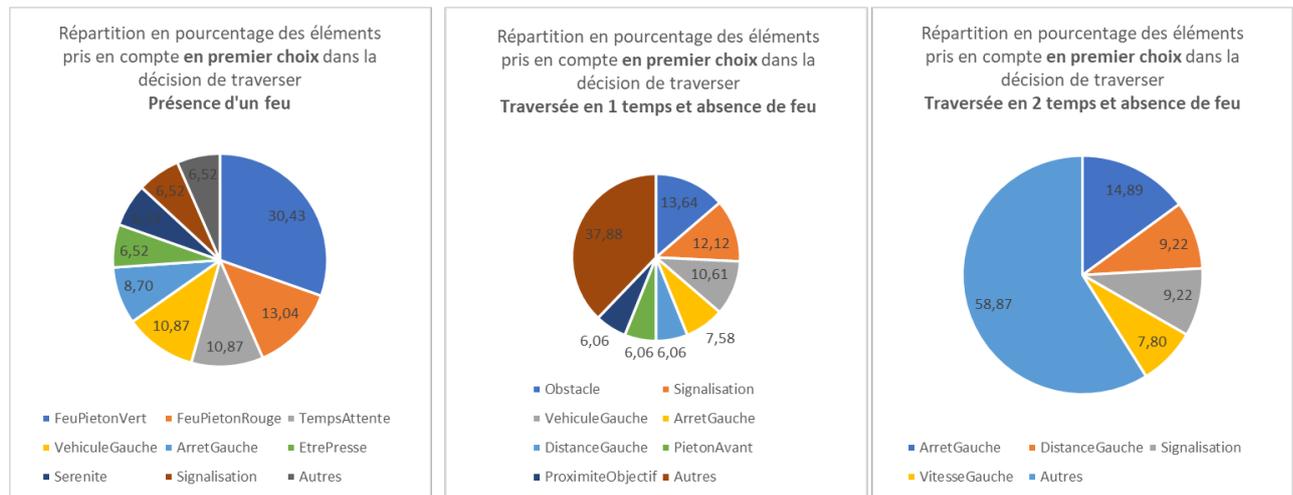


Figure 25. Premier élément de décision en fonction de la configuration quelle que soit la pression temporelle, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

Le feu piéton est l'élément majeur le plus fréquemment rapporté en situation de feu en situation de transgression ou non. Lorsqu'il n'y a pas de feu, il s'agit de la présence d'un éventuel obstacle (e.g., un véhicule stationné, travaux) dans le cadre d'une traversée en un temps et de la vérification que le véhicule soit bien à l'arrêt à gauche dans le cadre d'une traversée en deux temps.

## Deuxième élément décisionnel rapporté en fonction des 3 configurations de traversées et quelle que soit la pression temporelle

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le DEUXIEME élément pris en compte pour traverser et ce, en fonction de la configuration.

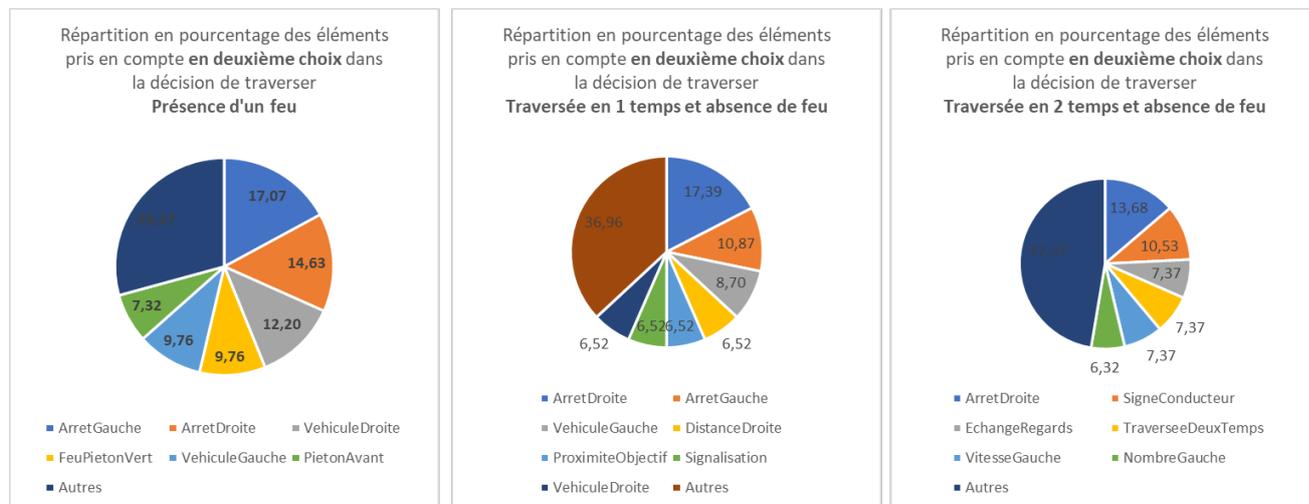


Figure 26. Deuxième élément de décision en fonction de la configuration quelle que soit la pression temporelle, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

L'arrêt d'un véhicule à gauche est le second élément de décision le plus fréquemment rapporté en situation de feu. Lorsqu'il n'y a pas de feu, il s'agit de l'arrêt d'un véhicule à droite dans le cadre d'une traversée en un temps et en deux temps.

### 2.3.8.2 Éléments décisionnels de traversée en fonction de la condition de pression temporelle

#### Comparaison des répartitions des éléments pris en compte dans la décision de traverser sous pression temporelle et en fonction des 3 configurations de traversées

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le PREMIER élément pris en compte pour traverser sous pression temporelle et ce, en fonction de la configuration.

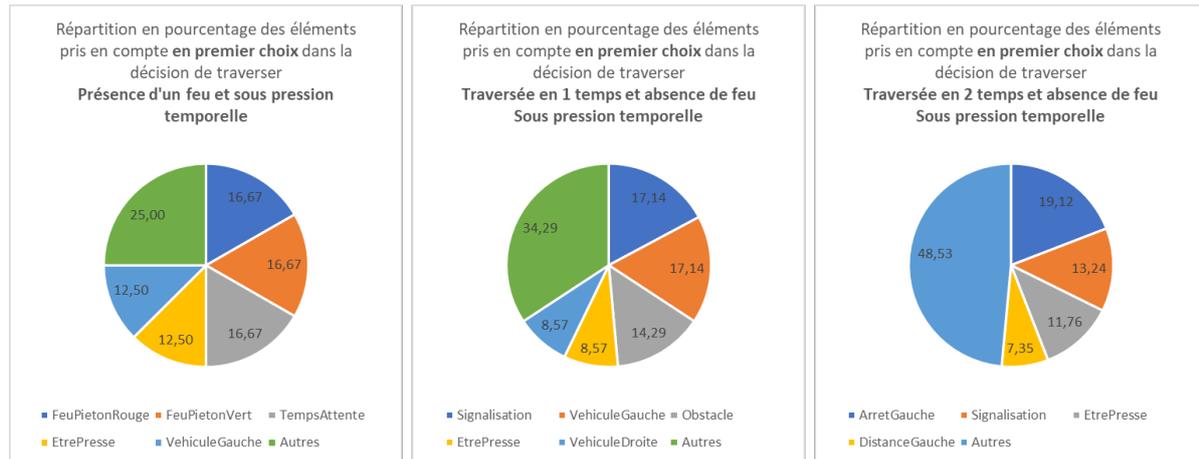


Figure 27. Premier élément de décision sous pression temporelle en fonction de la configuration, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

Sous pression temporelle, le premier élément auquel le piéton prête attention dans le cadre de la présence d'un feu piéton serait la couleur du feu (à proportion égale entre vert et rouge – c'est-à-dire que spontanément les participants répondent « je regarde si le feu est vert » et « je regarde si le feu est rouge ») suivi du temps où ils supposent qu'ils vont sans doute devoir attendre. Dans le cadre de traversées sans feu, en un temps, sous pression temporelle, le piéton prête attention autant à la signalisation qu'à la présence d'un véhicule à gauche et en deux temps, au fait que le véhicule soit bien arrêté à gauche.

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le DEUXIEME élément pris en compte pour traverser sous pression temporelle et ce, en fonction de la configuration.

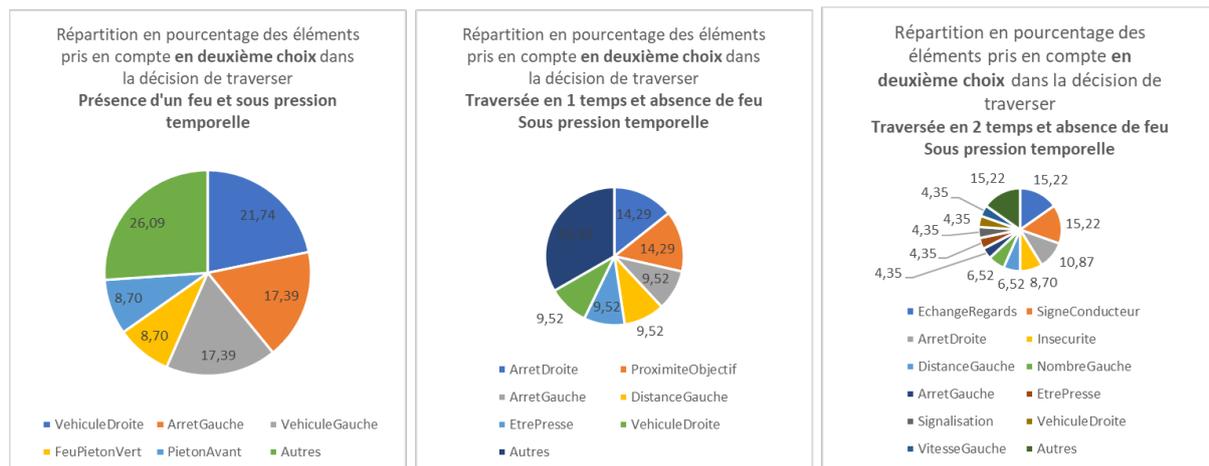


Figure 28. Deuxième élément de décision en fonction de la configuration en présence de pression temporelle, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

La présence d'un véhicule à droite est le second élément de décision sous pression temporelle le plus fréquemment rapporté en situation de feu. Lorsqu'il n'y a pas de feu, il s'agit de l'arrêt d'un véhicule à droite dans le cadre d'une traversée en un temps et, en deux temps, autant un échange de regards ou un signe provenant du conducteur.

## Comparaison des répartitions des éléments pris en compte dans la décision de traverser sans pression temporelle et en fonction des 3 configurations de traversées

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le PREMIER élément pris en compte pour traverser sans pression temporelle et ce, en fonction de la configuration.

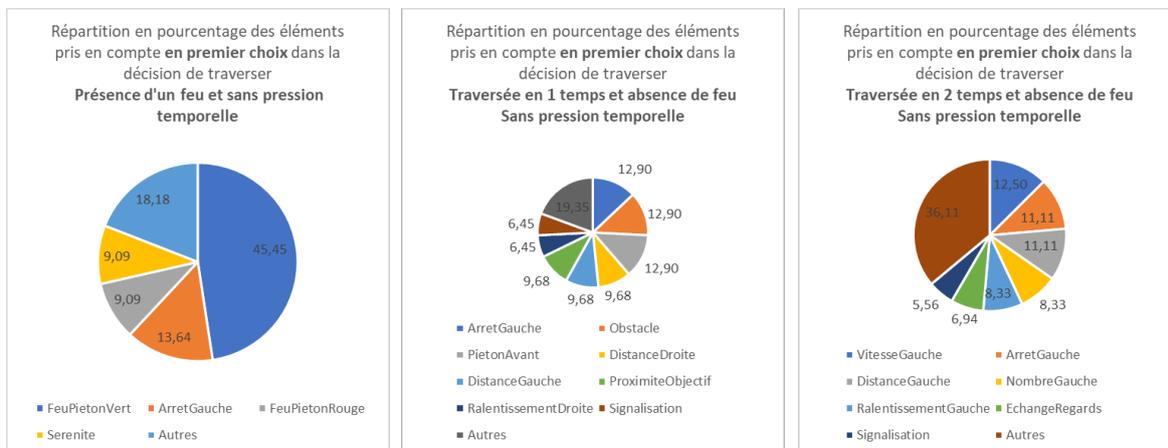


Figure 29. Premier élément de décision sans pression temporelle en fonction de la configuration, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

Sans pression temporelle, le premier élément auquel le piéton prête attention dans le cadre de la présence d'un feu piéton serait si le feu est vert. Dans le cadre de traversées sans feu, en un temps, sans pression temporelle, le piéton prête attention autant à la présence d'un obstacle, d'un piéton qui aurait déjà pu initier une traversée et l'arrêt à gauche d'un véhicule (la condition de traverser ayant sans doute aussi modulée cette réponse), et en deux temps, à la vitesse du véhicule arrivant sur la gauche.

Les figures ci-dessous présentent la répartition des éléments rapportés en entretien comme étant le DEUXIEME élément pris en compte pour traverser sans pression temporelle et ce, en fonction de la configuration.

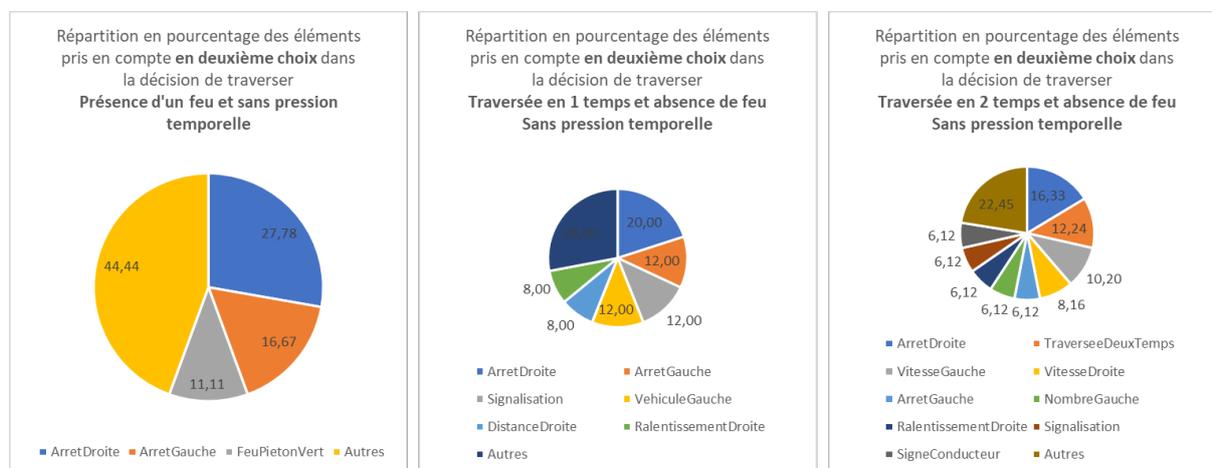


Figure 30. Deuxième élément de décision en fonction de la configuration sans pression temporelle, avec à gauche, en présence d'un feu, au milieu, avec traversée en 1 temps en absence de feu, et à droite, traversée en 2 temps en absence de feu.

L'arrêt d'un véhicule à droite est le second élément de décision sans pression temporelle le plus fréquemment rapporté en situation de feu. Lorsqu'il n'y a pas de feu, il s'agit aussi de l'arrêt d'un véhicule à droite dans le cadre d'une traversée en un et deux temps.

### 2.3.9 Analyse du lien entre les habitudes comportementales et les éléments de décision de traversés

Pour rappel, les participants avaient répondu à un questionnaire en ligne qui reprenait plusieurs échelles de mesure. Il s'agissait de :

- Échelle d'**invulnérabilité** (Lapsley & Hill, 2010) ;
- UPPS version courte d'**impulsivité** (validation française Billieux, D'Argembeau, Lewicki, & Van der Linden, 2009) ;
- **Risk Propensity Scale** (version courte de Meertens & Lion, 2008), prise de risque en générale ;
- Échelle de recherche de sensation (UPPS version courte – sous-échelle de recherche de sensation, validation française Billieux et al., 2012).

#### 2.3.9.1 Corrélations entre les différentes dimensions évaluées

Le Tableau 8 présente les analyses de corrélation entre les 4 dimensions évaluées : invulnérabilité, impulsivité, propension à prendre des risques et recherche de sensation.

Il est ainsi à noter que l'on observe :

- Une **corrélation positive significative entre la recherche de sensation et le sentiment d'invulnérabilité** – plus les participants se sentent invulnérables et plus ils recherchent des sensations ;
- Une **corrélation positive significative entre la recherche de sensation et la propension à prendre des risques** – plus les participants recherchent des sensations et plus ils prennent des risques dans la vie de tous les jours.

Aucune autre corrélation significative n'a été révélée par notre analyse.

Tableau 8. Analyse de corrélation par *r* de Pearson entre les 4 dimensions évaluées.

		Invulnérabilité	Propension à prendre des risques	Recherche de sensation	Impulsivité
Invulnérabilité	Pearson's <i>r</i> <i>p</i> -value	- -			
Propension à prendre des risques	Pearson's <i>r</i> <i>p</i> -value	-0.029 0.770	- -		
Recherche de sensation	Pearson's <i>r</i> <i>p</i> -value	<b>-0.250</b> <b>0.012</b>	<b>0.454</b> <b>&lt; .001</b>	- -	
Impulsivité	Pearson's <i>r</i> <i>p</i> -value	0.045 0.657	-0.156 0.120	-0.043 0.671	- -

### 2.3.9.2 Liens entre dimensions évaluées et observations de prise de risques

Pour chacune des dimensions, la médiane des scores a été calculée et les participants classés selon qu'ils étaient en dessous de la médiane (le moins soumis à la dimension) ou au-dessus (le plus soumis à la dimension). Des analyses ont ensuite été réalisées sur la variable qui comptait la présence ou l'absence de prises de risque (au moins une) durant l'étude chez les participants.

Les résultats ont montré que les personnes qui avaient le plus rapporté prendre des risques dans la vie de tous les jours sont celles qui ont significativement le plus pris de risque durant l'étude ( $\chi^2(1, 100) = 11.9, p < .001$ ). De même, les personnes qui avaient le plus rapporté être à la recherche de sensation dans la vie de tous les jours sont celles qui ont significativement pris le plus de risque durant l'étude ( $\chi^2(1, 100) = 6.78, p < .01$ ).

Aucun lien significatif ne semble être retrouvé en ce qui concerne la prise de risques observée et l'impulsivité ( $\chi^2(1, 100) = 0.152, ns$ ) ou le sentiment d'invulnérabilité ( $\chi^2(1, 100) = 2.33, ns$ ).

Nous avons également testé la fréquence d'apparition du premier facteur de décision de traverser la rue en fonction des dimensions. Néanmoins, toutes les analyses ont échoué à montrer un lien significatif, sans doute du fait d'un nombre trop important de facteurs décisionnels. Le même constat est fait avec les séquences de mouvements de tête. Une analyse *via* une technique d'eye-tracking permettra de mieux catégoriser les actions.

Néanmoins, il est intéressant de noter que les échelles de recherche de sensation et de propension à prendre des risques demeurent des échelles avec un pouvoir prédictif qui semble plutôt bon, eu égard, en outre, au contexte expérimental dans lequel nous nous trouvons.

## 2.4 Conclusion de l'étude 1

Les résultats obtenus dans cette étude à partir des données récoltées en environnement naturel sont en cohérence avec la littérature qui montre des mouvements de têtes différents en fonction de la phase de traversée (Geruschat et al., 2003). Il apparaît que les mouvements de tête lors de la traversée vont notamment dépendre de la présence ou non de feux où les phases d'attente avant la traversée vont engendrer une apparition importante des mouvements de tête. L'infrastructure présente semble donc jouer un rôle important dans l'apparition des mouvements de tête. De plus, le nombre de

mouvements de tête va être modulé par la prise de risque des piétons lors de la traversée (i.e., moins de mouvements de tête lors de la traversée lorsque celle-ci est risquée) ainsi que par la pression temporelle (i.e., quand des différences apparaissent, c'est en faveur de plus de mouvements de tête lors des traversées avec pression temporelle).

Il apparait également que les mouvements de tête vont être dépendants de la prise de risque et de la présence ou non de feu dans l'environnement de traversée. En effet, si les piétons sont en situation de prise de risques alors nous pouvons observer une alternance dans les mouvements de tête entre le feu et la gauche du piéton, alors que si l'information transmise par le feu est en cohérence avec l'action de traversée (i.e., le feu piéton est vert), les piétons vont orienter leur regard seulement sur l'infrastructure. Il apparait donc que l'étude des mouvements de tête apporte des informations sur la prise d'information des piétons lorsqu'ils sont en situation de prendre la décision de traverser et lorsqu'ils initient leurs traversées (i.e., en phase 2 et en pré-phase 3). La présence de feux et notamment la couleur de ces derniers vont avoir un impact sur l'orientation et la séquence des mouvements de tête où une infrastructure diffusant des informations permettant la prise de décision de traversée (i.e., feu piéton vert) entrainera peu de mouvements de tête et une orientation de celle-ci vers cette source d'information, tandis qu'une infrastructure diffusant des informations qui ne permet pas la prise de décision de traversée (i.e., feu piéton rouge) entrainera une alternance dans la séquence des mouvements de tête.

De plus, nous pouvons constater une cohérence entre les mouvements de tête observés et les données déclaratives des participants. Ainsi, en présence de feux, les piétons déclarent considérer comme première source d'information l'infrastructure et plus précisément le feu, puis les véhicules, alors qu'en absence de feu, ils déclarent regarder les véhicules en premier. Ces déclarations sont en accord avec les séquences de mouvements de tête codées.

Pour conclure, il est cependant important de souligner que, du fait d'une étude en milieu naturel où très peu de variables ont pu être contrôlées, certaines situations ne sont pas apparues un nombre suffisamment de fois, voire ne se sont jamais produites, pour être étudiées. C'est le cas notamment pour les traversées avec prise de risque tandis que d'autres piétons, extérieurs à l'étude, traversent avant le participant. De même, il est à souligner que le nombre de mouvements de tête ne signifie pas une prise d'information de meilleure qualité, les éléments objectifs recueillis ne permettant pas de conclure cela. Des données subjectives croisées avec les données objectives récoltées permettraient d'apporter des éléments d'informations. Néanmoins, cette étude met en évidence que les mouvements de tête sont des indicateurs de la prise d'information lors de la décision de traverser la route (Dommes et al., 2015 ; Tom & Granié, 2011). La mise en place d'une étude en milieu plus contrôlé permettra : 1/ de confirmer les résultats déjà obtenus face à des véhicules conventionnels, et 2/ de comparer ces résultats face à des véhicules autonomes.

## 3 ÉTUDE 2 : ÉTUDE DES MOUVEMENTS OCULAIRES LORS DE LA TRAVERSÉE DE ROUTE

### 3.1 Ancrage théorique

La revue de littérature de Lévêque et al. (2020) met en évidence qu'à l'heure actuelle, si beaucoup de travaux se sont penchés sur la question de la traversée piéton (Rasouli & Tsotsos, 2019), il y en a encore peu qui ont intégré la notion de mouvements oculaires dans leurs études et encore moins face à des véhicules autonomes. De plus, à la lecture de l'article de Lévêque et al. (2020), il apparaît notamment que les travaux sur la prise d'information des piétons lors de la traversée :

- Ont des méthodologies variées avec des protocoles et des granularités différents. En effet, certaines études vont avoir lieu en environnement réel (e.g., Geruschat et al., 2003 ; Jiang et al., 2018), d'autres via des vidéos (e.g., Eisma et al., 2020) ou encore en utilisant de la réalité virtuelle (e.g., Tapiro et al., 2016, 2020, 2014). Concernant la granularité, par exemple, en eye-tracking, les chercheurs utilisent des zones d'intérêts pour définir celles sur lesquelles les participants vont fixer leur regard. Certaines études vont définir des zones très larges comme pour les mouvements de tête avec trois grandes zones, à gauche, en face et à droite (Tapiro et al., 2016, 2020), alors que d'autres études vont être très spécifiques dans la définition de leurs zones d'intérêts par exemple avec un découpage en zones des différentes parties du véhicule (Eisma et al., 2020) ;
- Ont majoritairement étudié la question des différences individuelles liées à l'âge lors de la traversée des piétons (7 articles sur 11 répertoriés traitent de cette question). Les travaux menés ont mis en évidence des différences dans la prise d'information suivant l'âge des piétons où il apparaît que les enfants et les adultes ne portent pas leur attention sur les mêmes zones d'intérêts. Ainsi, les enfants regardent plus la partie centrale de la route mais également des éléments plus saillants mais considérés comme non pertinents pour traverser en toute sécurité en comparaison aux adultes (e.g., Tapiro et al., 2014). De plus, il apparaît que les personnes âgées vont également regarder plus souvent la partie centrale et la gauche de la route alors que les jeunes adultes vont aussi regarder vers la droite, résultat qui pourrait trouver une source d'explication dans les capacités visuelles et cognitives qui déclinent avec le vieillissement entraînant des difficultés dans la prise de décision (e.g., Zito et al., 2015) ;
- Ont étudié plusieurs autres variables que l'effet de l'âge sur les stratégies visuelles comme : l'effet du trafic (e.g., Tapiro et al., 2014), l'ajout d'une interface homme-machine externe pour communiquer les intentions du véhicule autonome (Eisma et al., 2020), le type d'intersection (Geruschat et al., 2003), l'utilisation d'un téléphone portable (Jiang et al., 2018), le champ de vision (Tapiro et al., 2014), le passage piéton (Tapiro et al., 2014) et la charge visuelle contenue dans l'environnement (Tapiro et al., 2020).

Il semble donc que les recherches actuelles se penchent sur la question de la prise d'information lors de la traversée piéton mais que de nombreuses questions sur les différents facteurs intervenant dans cette prise d'information sont encore à investiguer (e.g., impact de l'infrastructure, effet des variables intra et inter-individuelles).

Dans cette étude, nous nous proposons de comparer les patterns de mouvements oculaires en fonction du type de véhicule (i.e., conventionnel vs. autonome) et le type d'infrastructure (i.e., avec vs. sans passage piéton). En effet, même si les travaux de Tapiro et al. (2014) n'ont pas mis en évidence de différences sur les stratégies oculaires, il apparaît cependant que la littérature actuelle montre un effet de l'infrastructure sur la traversée en elle-même (e.g., Clamann et al., 2017 ; Jayaraman et al., 2018). En effet, les travaux de Jayaraman et al. (2018), menés en réalité virtuelle, montrent notamment

que la présence d'un passage piéton augmente la confiance dans le véhicule autonome. L'étude de Clamann et al. (2017) sur route a, quant à elle, montré que la présence d'un passage piéton permet aux individus de prendre leur décision de traverser plus rapidement, tandis que son absence voit l'apparition d'une stratégie consistant à traverser derrière le véhicule dans 56% des cas. De plus, les résultats de l'étude 1 présentés dans ce livrable montrent notamment qu'en présence de feux piétons et lorsque ceux-ci sont congruents avec la décision de traversée, les mouvements de tête sont moins nombreux et orientés principalement vers le feu tandis que lors des situations avec prise de risques (i.e., traversées lorsque le feu piéton est rouge) les séquences de mouvements de tête diffèrent et alternent principalement entre le feu et le côté gauche. Dans le protocole présenté ci-dessous, afin de pouvoir contrôler les informations présentées dans l'infrastructure, les situations de traversée sans passage piéton peuvent être apparentées aux situations de traversées avec prise de risques.

## 3.2 Participants et passations

### 3.2.1 Description de l'échantillon

L'échantillon était composé de 28 participants ( $M_{\text{âge}} = 41.46$ ,  $ET_{\text{âge}} = 11.66$ ) avec une répartition identique en matière de genre (14 femmes et 14 hommes) et deux tranches d'âges distinctes (i.e., 14 personnes âgées de 20 à 35 ans, et 14 personnes âgées de 45 à 60 ans) afin de tester l'effet de l'âge sur la traversée. Les critères d'inclusion étaient d'avoir une vision normale ou corrigée et de ne pas avoir de difficultés de mobilité.

### 3.2.2 Passations

Les passations étaient individuelles. Elles se sont déroulées en présentiel à l'Institut VEDECOM. Elles duraient environ 1h30 durant laquelle le participant était amené à traverser la route à plusieurs reprises dans plusieurs configurations différentes. Les passations se dérouleraient entre 9h30 et 17h00 afin d'avoir des conditions lumineuses relativement équivalentes.

Afin de compléter les données obtenues auprès des premiers 18 participants *via* les questionnaires lors de la traversée et les vidéos enregistrées durant la traversée, des entretiens d'auto-confrontation (i.e. visionnage des traversées réalisées avec les participants où ces derniers verbalisent ce qu'ils ont pensé) ont été menés auprès de 10 participants (5 femmes et 5 hommes,  $M_{\text{âge}} = 43.9$ ,  $ET_{\text{âge}} = 10.42$ ). Ces entretiens, individuels, étaient réalisés 1 à 3 jours plus tard en distanciel et duraient 1h durant laquelle les participants verbalisaient sur leurs traversées.

## 3.3 Matériel

### 3.3.1 Véhicule Renault Zoé équipé de l'IHM externe et du Magicien d'Oz

#### 3.3.1.1 Description du véhicule

Le véhicule utilisé dans le cadre de cette étude était un véhicule Renault Zoé équipé d'un dispositif « magicien d'Oz » (= WOZ, pour Wizard of Oz) simulant un véhicule autonome. Sa particularité est d'être équipé d'un joystick caché dans la portière avant côté passager permettant de contrôler le véhicule. Autrement dit, un piéton situé face au véhicule et voyant deux personnes dans l'habitacle, une personne côté passager et une personne côté conducteur mais ce dernier faisant autre chose que conduire (voir Figure 31), sera amené à penser que le véhicule est autonome. Aucune information n'était donnée aux participants quant au type de véhicules qu'ils seraient amenés à croiser lors de l'expérimentation.



Figure 31. Intérieur du véhicule Renault Zoé équipé du dispositif WOZ avec, à gauche, un conducteur réalisant une activité autre que la conduite, et, à droite, un passager, contrôlant le véhicule via un joystick dissimulé dans la portière.

### 3.3.1.2 Parcours du véhicule

Les passations se sont déroulées sur l’allée des Marronniers à Versailles, proche de l’Institut VEDECOM. C’est une route ouverte aux deux sens de circulation séparés par une ligne blanche discontinue. Le parcours du véhicule était composé d’allers-retours successifs afin d’interagir plusieurs fois avec le piéton. Le piéton était amené à un emplacement précis du parcours ayant les caractéristiques suivantes :

- Un trottoir de chaque côté de la route ;
- Un passage piéton à l’une des extrémités du trottoir, l’autre extrémité ne comportait pas de passage piéton ;
- Être à une position à mi-parcours dans le tracé du véhicule WOZ.

La Figure 32 présente le parcours du véhicule WOZ ainsi que la zone où se sont déroulées les déplacements et traversées du participant.

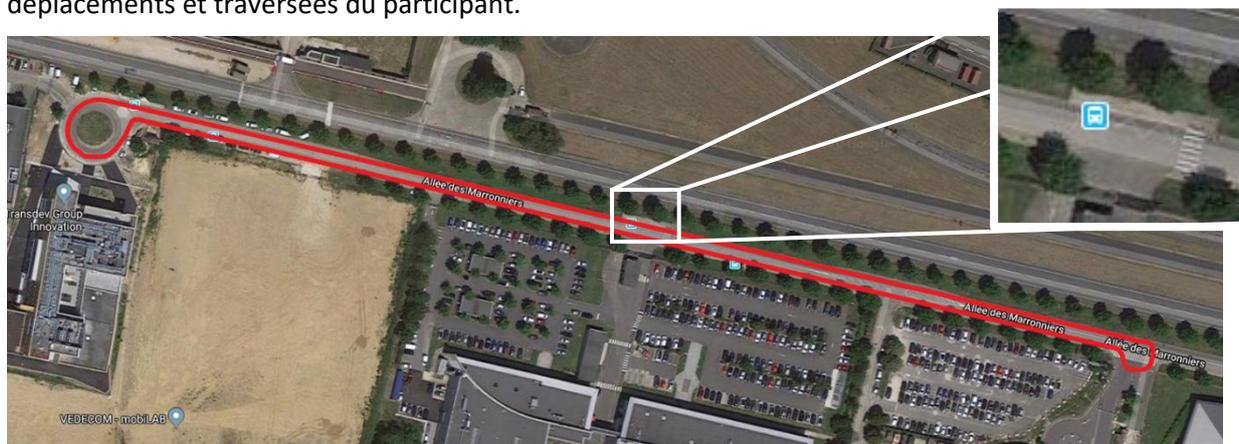


Figure 32. Tracé du trajet du véhicule WOZ en rouge ; encadré blanc et zoom en haut à droite sur l’emplacement de la zone de traversée du participant (image satellite Google Maps).

### 3.3.2 Grille d’observation des comportements de traversée

La grille d’observation était composée des variables suivantes :

- La traversée du participant devant le véhicule (ou non) : cela correspond au comportement effectif du participant, à savoir s'il a traversé devant le véhicule avant que les personnes à l'intérieur de l'habitacle du véhicule lui aient fait signe de passer (codé 1) ou s'il a attendu que les personnes à l'intérieur de l'habitacle du véhicule lui aient fait signe de passer (codé 0).
- Le nombre de mètres parcourus par seconde lors de la traversée du participant (i.e., vitesse de traversée) : cela correspond au ratio entre le nombre de mètres à parcourir pour traverser la route (la configuration avec et sans passage piéton n'étant pas identique entre les deux) et le temps mis par le participant pour traverser la route. Cette dernière mesure correspond au temps entre le moment où un des pieds du participant quitte le trottoir jusqu'à ce qu'un de ses pieds touche le trottoir opposé, ce temps étant mesuré en secondes.
- La durée des mouvements de tête vers la gauche et vers la droite ainsi que leur nombre : cela correspond :
  - Au temps passé (en secondes), par traversée, avec la tête tournée vers la gauche, et celui avec la tête tournée vers la droite. Une traversée correspond au moment où le participant est amené, par l'expérimentateur, à traverser la route et le moment où le participant a fini sa traversée.
  - Au nombre de fois, par traversée, où le participant a tourné la tête vers la gauche et vers la droite.
 Ces variables pourront être contrôlées avec les données oculométriques enregistrées.
- Les arrêts du participant : cela correspond aux nombres d'arrêts du participant lors de la traversée.
- Les gestes du participant : cela correspond aux nombres de gestes réalisés vers le véhicule comme un geste de la main ou un signe de tête.

### 3.3.3 Eye-tracking

Afin d'enregistrer les mouvements oculaires des participants, les Tobii Pro Glasses 2 ont été utilisées (voir Figure 33). Il s'agit d'une paire de lunettes avec des verres neutres reliée de façon filaire à une batterie que le participant accroche sur lui et qui enregistre sur une carte SD la vidéo de la scène ainsi que les mouvements oculaires du participant. Cette batterie étant également équipée d'un système diffusant du wifi, il est possible à distance, côté expérimentateur, de voir la scène avec les mouvements oculaires du participant en simultané afin de s'assurer qu'aucun problème ne survient.

Le dispositif *via* une caméra située au centre des lunettes, entre les deux yeux, filme la scène se déroulant face au participant. Des capteurs, situés à l'intérieur des lunettes, enregistrent les mouvements oculaires, ces derniers étant ensuite incrustés sur la vidéo de scène.



Figure 33. Tobii Glasses Pro 2, lunettes et batterie (image ©www.tobiipro.com).

Les données recueillies par l'eye-tracker permettent d'extraire, entre autres :

- Le temps et le nombre de fixations sur une zone donnée (par exemple, sur le véhicule). Une fixation correspond à l'immobilité du regard sur une période continue (i.e., le laps de temps entre le début et la fin de l'immobilité du regard correspond à une fixation). Le mouvement entre deux fixations correspond à une saccade. Une fixation peut durer quelques millisecondes à plusieurs secondes ;
- Le nombre de visites sur une zone donnée. Cela correspond au nombre de fois où un participant a fixé un élément en continu indépendamment du nombre ou de la durée des fixations (par exemple, si un participant a fixé un objet A, puis un objet B, et de nouveau l'objet A, alors il aura réalisé 2 visites sur l'objet A et 1 visite sur l'objet B). Elles sont à distinguer des fixations dans le sens où une visite peut être composée de plusieurs fixations, la réciproque ne s'appliquant pas ;
- Le parcours oculaire lors de la traversée de route.

### 3.3.4 Tâche distractive

Afin de ne pas focaliser l'attention des participants sur la circulation et leur donner un objectif en proposant une situation plus écologique que des déplacements sans but, un jeu d'énigmes leur était proposé. Après chaque déplacement effectué, une énigme leur était soumise. Les participants devaient inscrire leur réponse sur une feuille prévue à cet effet et lors de leur dernier déplacement, la manière de découvrir le mot mystère, objectif final des énigmes, leur était donnée.

### 3.3.5 Questionnaires

Deux questionnaires étaient utilisés durant cette étude : un questionnaire socio-démographique couplé à une évaluation de la technophilie et un questionnaire de compréhension de la situation.

- Le questionnaire socio-démographique interrogeait le participant sur son sexe, son âge, sa profession et catégorie socioprofessionnelle (CSP) ainsi que son niveau d'études. De plus, le participant devait évaluer son niveau de technophilie à partir de 4 affirmations sur lesquelles il devait donner son degré d'accord sur une échelle de Likert en 6 points allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord ». Une moyenne était ensuite calculée afin d'obtenir le niveau de technophilie compris entre 1 (i.e., non technophile) à 6 (i.e., très technophile) et deux groupes étaient construits *a posteriori* entre les « peu technophiles » et les « fortement technophiles ».

- Un questionnaire *ad hoc* de compréhension et de perception était administré. Il portait sur la compréhension des intentions du véhicule et sur la perception par les piétons du type de véhicule qu'ils ont croisé. Ces différentes questions étaient posées sous forme de QCM. Afin d'éviter au participant de se focaliser uniquement sur le véhicule de l'étude, des questions distrayantes étaient posées avant et après les questions cibles (e.g., « est-ce qu'une sirène de pompier a retenti durant votre déplacement ? », « avez-vous croisé un piéton durant votre déplacement »). De plus, du fait de la configuration des déplacements, lorsque le piéton était amené à se déplacer sans que son déplacement implique une traversée (par exemple, rejoindre un endroit avec passage piéton vers un endroit sans passage piéton pour effectuer sa traversée), seules des questions distrayantes étaient posées.

### 3.3.6 Entretien d'auto-confrontation

L'entretien d'auto-confrontation était réalisé quelques jours (1 à 3 jours) après la passation. Les vidéos des traversées enregistrées *via* le système d'eye-tracking (i.e., vidéo égocentrique) étaient visionnées avec le participant qui était notamment amené à verbaliser sur ses ressentis, ses pensées, et sa perception de l'environnement lors de la traversée. La grille d'analyse pour traiter les données recueillies était composée de 8 grandes catégories, chacune décomposée en sous-catégories, à savoir :

- Les stratégies visuelles (e.g., regarder à gauche et à droite) ;
- La perception sonore (i.e., entendre les véhicules) ;
- Le comportement individuel (e.g., la vitesse de marche) ;
- La traversée en général (e.g., sécurité, danger) ;
- Le véhicule en général (e.g., son comportement, sa distance) ;
- Le véhicule autonome (e.g., confiance, danger) ;
- Le véhicule conventionnel (e.g., recherche du conducteur) ;
- La présence et l'absence d'un passage piéton (e.g., protection).

Les entretiens ont été analysés en comptabilisant le nombre d'apparition de chacune de ces catégories durant le discours d'explicitation des participants.

### 3.3.7 Variables et mesures

Deux variables indépendantes intra-sujets ont été comparées :

- Le type d'infrastructure (sans passage piéton vs. avec passage piéton) ;
- Le véhicule (véhicule conventionnel vs. véhicule autonome).

Une troisième variable indépendante, le scénario, a été ajoutée lors des analyses statistiques afin de vérifier l'impact d'une confrontation répétée aux véhicules (i.e., habitude). En effet, les participants faisant deux fois de suite le même scénario, cette variable a été statistiquement testée.

Trois variables indépendantes inter-sujets étaient également contrôlées afin d'explorer des possibles variations : le sexe (femme vs. homme), les deux catégories d'âge (junior vs. sénior) et le niveau de technophilie (peu technophile vs. fortement technophile).

Les variables dépendantes mesurées étaient multiples. Elles concernaient la compréhension et la perception liées au véhicule autonome, à la situation de traversée et à l'environnement de traversée. Les ressentis, les attentes ou les éléments décisionnels étaient également des dimensions investiguées. Les éléments qualitatifs dans le discours des individus, comme leurs prises de décision lors des traversées, leur perception du véhicule autonome et leurs attentes globales sur cet objet ont été relevés afin d'apporter des éléments de réflexion.

Enfin, plusieurs variables dépendantes objectives et complémentaires ont été mesurées lors de l'expérience comme la traversée effective ou non (« Go-NoGo »), le nombre de mètres parcourus par seconde lors de la traversée, les gestes de remerciements, le nombre d'arrêts lors de la traversée, le nombre de regard (Rasouli, Kotseruba, & Tsotsos, 2018; Zito et al., 2015), le temps et le nombre de fixations sur le véhicule ou encore les parcours oculaires. De plus, un temps, en secondes, a été calculé correspondant à la différence entre le moment où le participant commence à traverser et le moment où le véhicule s'arrête pour laisser passer le piéton. Ce temps pouvait être positif, signifiant alors que le participant a attendu que la voiture s'arrête pour traverser, ou négatif signifiant que le participant a initié sa traversée avant que le véhicule ne s'arrête.

### 3.4 Procédure

Au minimum, une semaine avant la passation, lors de la confirmation du rendez-vous pour l'étude, le participant recevait par mail le formulaire de consentement afin qu'il en prenne connaissance. Environ une semaine plus tard, le participant était accueilli dans les locaux de l'Institut VEDECOM où le formulaire de consentement lui était remis en version papier qu'il devait compléter et signer. Un questionnaire socio-démographique, sur tablette, lui était ensuite administré. En vue des entretiens d'auto-confrontation, lorsque le participant était concerné, il était équipé du dispositif d'eye-tracking avec l'ajustement des lunettes à sa morphologie et le positionnement de la batterie à sa taille. Puis, le participant était amené à l'extérieur sur le lieu de la passation (voir Figure 32). Les consignes lui étaient présentées par l'expérimentateur puis, pour les participants concernés, l'eye-tracker était calibré afin d'enregistrer correctement les mouvements oculaires du participant. Pour ce faire, le participant devait fixer durant quelques secondes un point fixe sur une carte qu'il devait tenir à bout de bras (soit environ une soixantaine de centimètres de ses yeux) pendant que l'expérimentateur, *via* son interface de contrôle s'assurait que la calibration était de bonne qualité. Dans le cas contraire, une calibration était relancée. Une fois la calibration satisfaisante, le test pouvait commencer. Au signal de l'expérimentateur présent avec le participant *via* l'utilisation de talkie-walkie (i.e., un appui sur une touche de la part de l'expérimentateur déclenchait le signal émis vers le véhicule), le véhicule WOZ s'approchait sur la gauche du participant, à une vitesse moyenne de 40 km/h. Il commençait à freiner à environ 25 mètres avant le lieu de traversée et s'arrêtait en amont du participant si celui-ci n'avait pas encore traversé. Le participant devait traverser la route. Dans le cas où le participant ne traversait pas la route, après 6 secondes d'attente, le passager de la voiture WOZ faisait un signe de la main au participant afin de l'inciter à traverser. Chaque participant voyait les 4 conditions expérimentales, ces conditions étant contrebalancées entre chaque participant :

- Avec passage piéton, véhicule conventionnel ;
- Avec passage piéton, véhicule autonome ;
- Sans passage piéton, véhicule conventionnel ;
- Sans passage piéton, véhicule autonome.

De plus, afin d'obtenir des résultats robustes, chaque participant était confronté à chacune de ces configurations plusieurs fois (i.e., 4 fois devant le véhicule conventionnel, 8 fois devant le véhicule autonome, soit 12 traversées par participants). Après chaque déplacement, le participant répondait à une série de questions sur le déplacement qu'il venait d'effectuer.

Ensuite, une fois tous les déplacements réalisés, l'enregistrement des mouvements oculaires cessait, le participant était ramené jusqu'à l'Institut VEDECOM pour participer à un rapide debriefing et, pour les participants concernés par les entretiens d'auto-confrontation, une explication sur la suite de l'étude qui avait lieu à distance était donnée. Les participants non concernés par cette seconde phase étaient remerciés et un bon cadeau leur était remis en guise de gratification.

Un à trois jours plus tard, pour les participants concernés, un entretien d'auto-confrontation était réalisé afin de faire expliciter, face au rejeu des vidéos enregistrées par les lunettes, les comportements, les prises de décisions, les ressentis et les pensées des participants. Une fois l'entretien terminé, le participant était remercié et un bon cadeau lui était remis en guise de gratification.

### 3.5 Résultats

Suite à des conditions météorologiques non favorables (e.g., luminosité non adaptée), les données oculométriques récoltées lors des passations n'ont pas été de suffisamment bonne qualité en raison de très nombreuses pertes de signal pour permettre des analyses exploitables. La majorité des données oculométriques n'ont donc pas été traitées. Les éléments qui ont été conservés dans les analyses, du fait de l'enregistrement à la première personne (i.e., point de vue du participant), étaient l'orientation de la tête du participant vers la gauche et vers la droite (nombre et temps ont ainsi été calculés) ainsi que les vidéos en elles-mêmes qui ont été utilisées pour les entretiens d'auto-confrontations.

De plus, suivant les configurations des traversées ainsi que des événements non contrôlables ponctuellement apparus (e.g., défaillance des appareils de synchronisation, circulation bloquée par un afflux important de véhicules), certaines données n'étaient pas exploitables, voire étaient manquantes, et ont donc été retirées des analyses. C'est pourquoi le nombre total de traversées analysées ne correspond pas au nombre total de traversées réalisées par les participants.

#### 3.5.1 Evaluation de la technophilie

Le score moyen de notre échantillon à l'échelle de technophilie (allant de 1 à 6) est élevé ( $M = 4.30$ ,  $ET = 1.18$ ).

Ce score ne varie pas selon le sexe ou la catégorie socioprofessionnelle ( $p > .05$ ).

En revanche, une différence significative apparaît selon l'âge ( $t(-2.340) = 26$ ,  $p = .027$ ) et le niveau de diplôme des individus ( $t(2.481) = 26$ ,  $p = .020$ ).

Ainsi, les participants âgés entre 20 et 35 ans ont un score moyen plus faible ( $M = 3.82$ ,  $ET = 1.17$ ) que les participants âgés entre 45 et 60 ans ( $M = 4.79$ ,  $ET = 1$ ). De plus, les individus avec un diplôme supérieur à bac +3 ont un score moyen de technophilie plus faible ( $M = 3.63$ ,  $ET = 1.06$ ) que les individus avec un diplôme inférieur ou égal à bac +3 ( $M = 4.68$ ,  $ET = 1.09$ ).

Il est cependant important de noter qu'au vu de notre échantillon assez faible (28 participants), ces résultats sont à interpréter avec réserve.

#### 3.5.2 La compréhension de la situation de traversée et de l'environnement : la prise en compte du conducteur

Après chaque traversée, le participant devait indiquer s'il y avait un conducteur qui conduisait la voiture cible. Chaque réponse était codée selon 4 modalités : la réponse est incorrecte, la réponse est correcte, le participant n'y a pas prêté attention et le participant ne sait pas. Le Tableau 9 montre les scores d'occurrences pour chacune des modalités.

Tableau 9. Pourcentage d'occurrences pour chacune des modalités de reconnaissance de la présence ou non d'un conducteur dans le véhicule cible (i.e., conducteur qui contrôlait le véhicule).

	Pourcentage d'occurrences
Réponse incorrecte	35%
Réponse correcte	59%
« N'y a pas prêté attention »	4%
« Ne sait pas »	3%

Les analyses statistiques n'ont mis en évidence aucune différence significative pour l'infrastructure ( $p > .05$ ), le nombre d'occurrences concernant les reconnaissances sur le conducteur est identique que les participants aient traversé sur un passage piéton ou non. En revanche, une différence significative apparaît pour le type de véhicule ( $\chi^2(3, N = 315) = 32.684, p < .001$ ). Les participants font plus de mauvaises reconnaissances lorsque le véhicule est autonome (i.e., les participants considèrent qu'il y avait un conducteur qui conduisait la voiture alors que c'est inexact) que lorsqu'il est conventionnel (voir Tableau 10)<sup>5</sup>.

Tableau 10. Nombre d'occurrences pour chacune des modalités de reconnaissance de la présence ou non d'un conducteur dans le véhicule cible en fonction du type de véhicule.

	Véhicule conventionnel	Véhicule autonome
Réponse incorrecte	6	105
Réponse correcte	92	92
« N'y a pas prêté attention »	3	9
« Ne sait pas »	3	5

De plus, des différences significatives apparaissent sur la reconnaissance en fonction du sexe des participants ( $\chi^2(3, N = 319) = 20.074, p < .001$ ). Les hommes font moins de fausses reconnaissances que les femmes tous statut de véhicule confondus (voir Tableau 11).

<sup>5</sup> La question posée demandait si « quelqu'un conduisait-il cette voiture ? ». Il est donc à noter qu'il est possible que les participants aient considéré que la présence d'une personne côté conducteur signifiait que c'était elle qui conduisait la voiture bien que celle-ci soit manifestement en train de réaliser une autre tâche que celle de conduite. En effet, il n'était pas demandé directement aux participants s'ils pensaient que le véhicule était en mode autonome, le parti pris étant de ne pas focaliser l'attention du participant sur cet aspect, notamment lors des premières traversées. Une surestimation du nombre de réponses incorrectes est donc possible.

Tableau 11. Nombre d'occurrences pour chacune des modalités de reconnaissance de la présence ou non d'un conducteur dans le véhicule cible en fonction du sexe.

	Femme	Homme
Réponse incorrecte	69	42
Réponse correcte	75	112
« N'y a pas prêté attention »	4	9
« Ne sait pas »	7	1

Pour finir, aucune différence significative n'est mise en évidence concernant la classe d'âge, le niveau de diplôme, le niveau de technophilie ou le scénario (i.e., le scénario 1 et le scénario 2)<sup>6</sup>, le nombre d'occurrences de chacune des modalités de réponses est identique entre les groupes ( $p > .05$ ).

### 3.5.3 Les comportements de traversée

#### 3.5.3.1 La traversée

Tous les participants (= 100%) ont traversé devant le véhicule quel que soit son type (conventionnel ou autonome) sans attendre que les personnes à l'intérieur du véhicule fassent un signe indiquant la traversée possible et quelle que soit l'infrastructure (avec ou sans passage piéton).

#### 3.5.3.2 Le nombre de mètres parcourus par seconde lors de la traversée (i.e., la vitesse de traversée)

Concernant le nombre de mètres parcourus par seconde lors de la traversée des participants (i.e., à partir du moment où le participant décolle un pied du trottoir jusqu'au moment où un de ses pieds rejoint le trottoir situé en face), plusieurs modèles linéaires mixtes ont été testés :

- Un modèle comprenant les deux variables indépendantes principales (i.e., le type de véhicule tel que défini dans l'expérimentation et l'infrastructure) ainsi qu'en variable aléatoire le scénario (i.e., le scénario 1 et le scénario 2)<sup>7</sup>, afin de déterminer si ces variables avaient un effet sur la vitesse de traversée des participants ;
- Puis plusieurs modèles reprenant le modèle précédent auquel étaient ajoutées diverses variables pour tester les effets sur la vitesse de traversée, à savoir : le sexe, l'âge, le niveau de diplôme et la technophilie.

L'utilisation de ce modèle permet la prise en compte de toutes les traversées avec leur dimension intra-sujet en supprimant les effets liés aux participants (i.e., pas de prise en compte des caractéristiques individuelles). Au final, ce sont entre 318 et 322 traversées qui ont été intégrées dans le modèle<sup>8</sup>.

À la suite du premier modèle, les analyses statistiques montrent un effet simple de l'infrastructure ( $F(1,283.337) = 4.031, p = .046$ ) et du scénario ( $F(1,283.337) = 15.517, p < .001$ ). En revanche, aucun

<sup>6</sup> Pour rappel, les participants réalisaient deux fois le scénario comprenant 6 traversées.

<sup>7</sup> Cette variable a été introduite dans le modèle en variable aléatoire afin d'en contrôler l'effet.

<sup>8</sup> Suivant les configurations des traversées, certaines données sont manquantes. C'est pourquoi le nombre total de traversées analysées varie en fonction des modèles et variables testées.

effet simple du véhicule ou d'effet d'interaction entre ces différentes variables n'apparaît ( $p > .05$ ). La Figure 34 présente une représentation graphique de la vitesse de traversée en fonction des différentes variables testées. Ainsi, les participants ont significativement été plus rapides à traverser lorsqu'il n'y a pas de passage piéton ( $M = 1.36$ ,  $ET = .22$ ) que lorsqu'il y en a un ( $M = 1.32$ ,  $ET = .19$ ) ainsi que lors du premier scénario ( $M = 1.37$ ,  $ET = .19$ ) que lors du second scénario ( $M = 1.31$ ,  $ET = .21$ ).

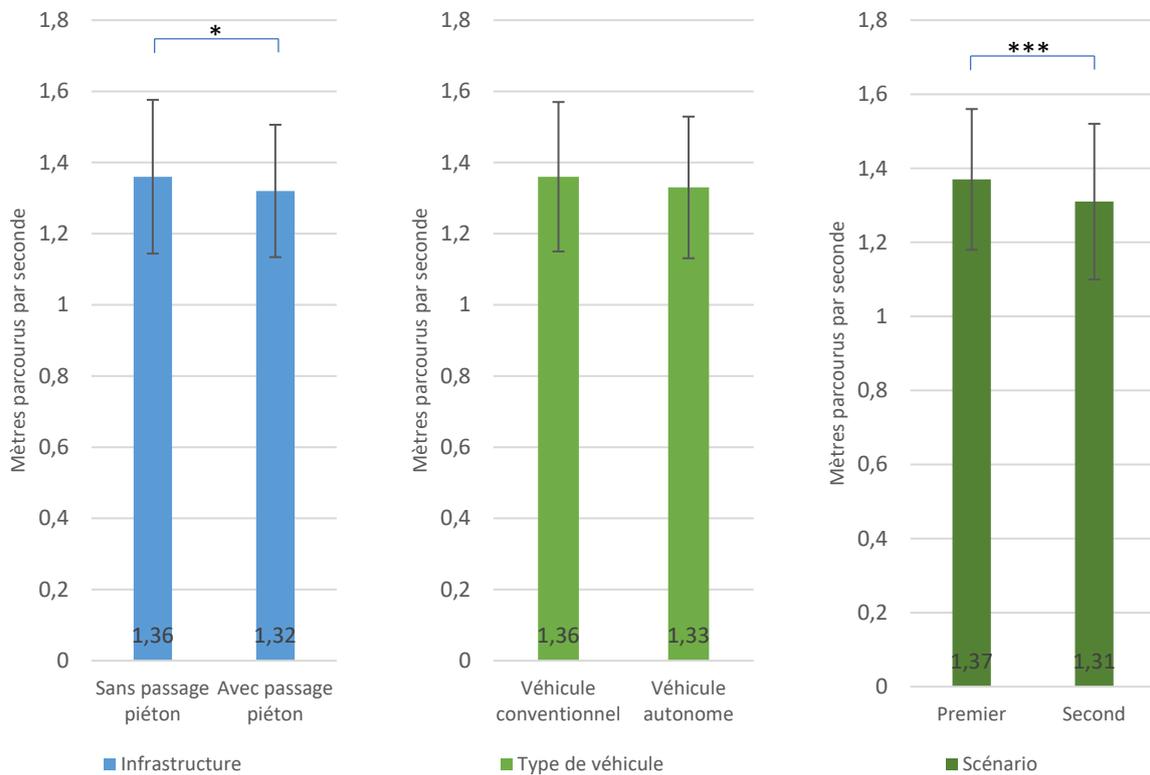


Figure 34. Moyennes et écart-types de la vitesse de traversée suivant l'infrastructure, le type de véhicule et le scénario (\* $p < .05$  ; \*\*\* $p < .001$ ).

Ensuite, plusieurs variables ont été introduites dans le modèle afin de tester leurs éventuels effets. Les analyses statistiques n'ont mis en évidence aucun effet du sexe, de l'âge ou du niveau de diplôme sur la vitesse de traversée ( $p > .05$ ). En revanche, un effet d'interaction de l'infrastructure, du scénario et de la technophilie a été mis en évidence ( $F(1,276.125) = 7.232$ ,  $p = .008$ ). La Figure 35 illustre que les participants traversent plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de passage piéton notamment lorsqu'ils sont peu technophiles en comparaison aux participants les plus technophiles.

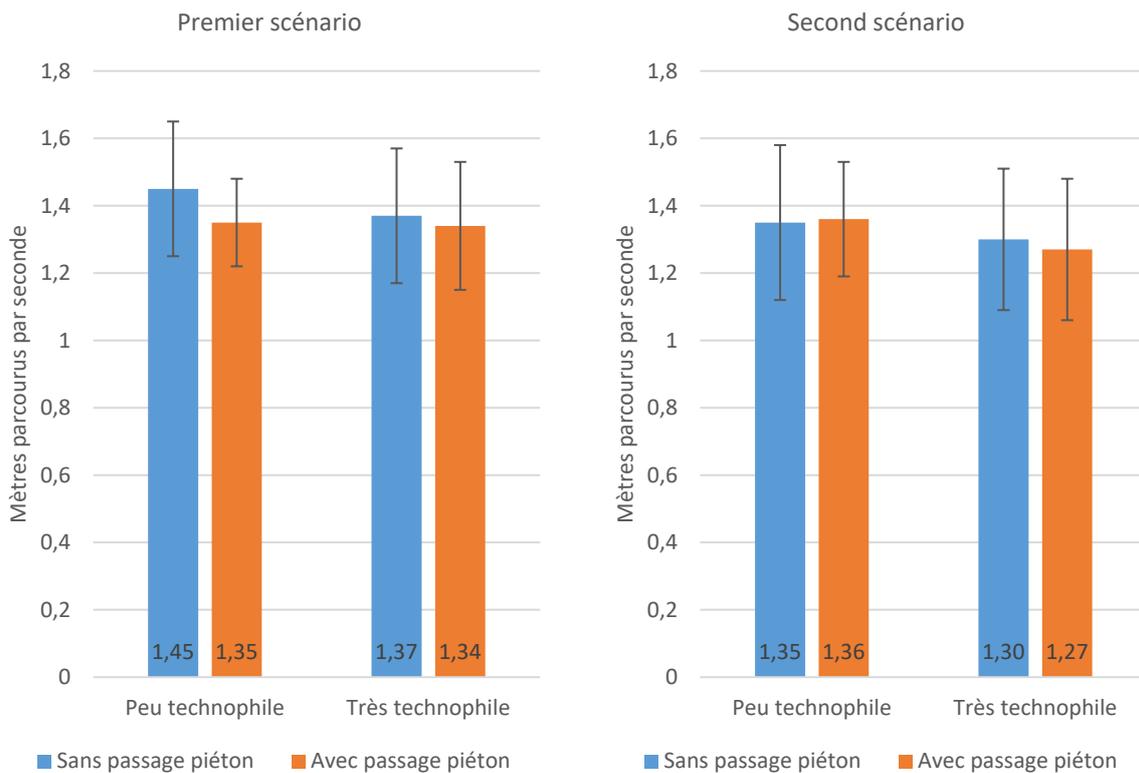


Figure 35. Moyennes et écart-types de la vitesse de traversée en fonction de l'infrastructure et du niveau de technophilie pour le premier et le second scénario.

### 3.5.3.3 L'écart entre l'initiation de la traversée et l'arrêt du véhicule

Cette mesure prend en compte le temps (en seconde) entre le moment où le participant a initié sa traversée (i.e., le participant a décollé un de ses pieds du trottoir) et le moment où la voiture s'est arrêtée. Une valeur positive signifie donc que le participant a attendu que le véhicule s'arrête avant d'initier sa traversée tandis qu'une valeur négative indique que le participant a commencé à traverser avant que le véhicule ne se soit arrêté.

Comme pour la mesure précédente, des modèles mixtes ont été testés avec, en premier lieu un test des variables principales que sont l'infrastructure et le type de véhicule (le scénario en variable aléatoire), puis le modèle est complété par les autres variables pouvant les influencer comme le sexe, l'âge, le niveau de diplôme ou le niveau de technophilie. Pour ce modèle, ce sont entre 313 et 317 traversées qui ont été prises en compte, plusieurs traversées ont été retirées des analyses du fait d'un temps d'attente aberrant<sup>9</sup> lié à une circulation en sens inverse importante ayant retardé la traversée du participant.

En moyenne, les participants initient leur traversée avant l'arrêt du véhicule, soit 1.04 secondes avant ( $ET = 2.46$ ). Le premier modèle testé et les analyses statistiques associées mettent en évidence un effet simple de l'infrastructure ( $F(1,253.593) = 8.316, p = .004$ ) et du scénario ( $F(1,31.543) = 11.443, p = .002$ ). En revanche, aucun effet simple du type de véhicule tel que défini dans l'expérimentation et

d'effet d'interaction entre les variables testées n'apparaissent ( $p > .05$ ). Ainsi, les analyses montrent que les participants initient plus rapidement leurs traversées lorsqu'il y a un passage piéton ( $M = -1.46$ ,  $ET = 2.17$ ) que lorsqu'il n'y en a pas ( $M = -.60$ ,  $ET = 2.66$ ) et lors du deuxième scénario ( $M = -1.50$ ,  $ET = 2.29$ ) plutôt que lors du premier ( $M = -.57$ ,  $ET = 2.54$  ; voir Figure 36).

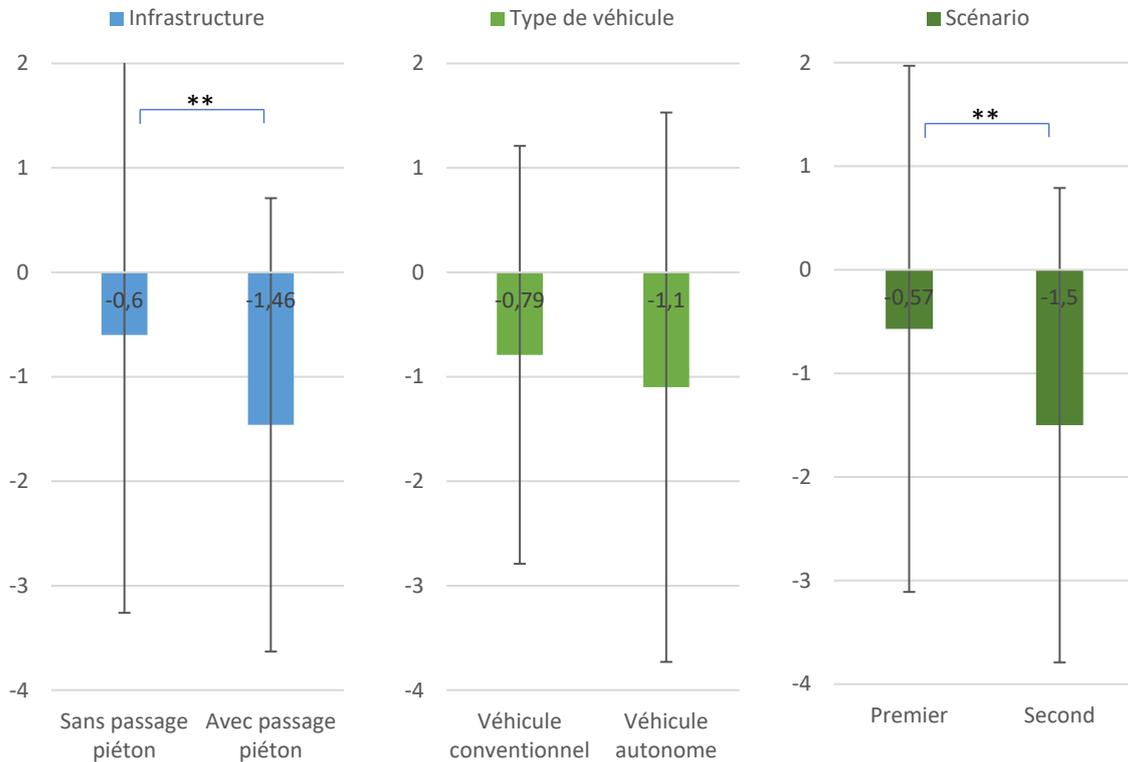


Figure 36. Moyennes et écart-types de l'écart entre l'initiation de la traversée et l'arrêt du véhicule suivant l'infrastructure, le type de véhicule et le scénario (\*\* $p < .01$ ).

Pour finir sur cette mesure, l'introduction d'autres variables (i.e., le sexe, l'âge, le niveau de diplôme et la technophilie) dans le modèle n'a mis en évidence aucun effet significatif ( $p > .05$ ).

### 3.5.3.4 Les mouvements de tête et le temps de regard

Cette étude comprenait des conditions expérimentales fortes : le véhicule cible venait toujours de la gauche et s'arrêtait systématiquement, les participants étaient positionnés proches des lieux de traversées et ils ont déclaré, lors des entretiens d'explicitation, un apprentissage des conditions de traversées (élément congruent avec les résultats statistiques montrant un effet du scénario). C'est pourquoi il n'apparaît pas pertinent de relever les séquences de mouvements de têtes en fonction des différentes phases tel que cela a été réalisé pour l'étude 1 présentée en première partie de ce livrable. Cependant, les conditions expérimentales étant plus contrôlées que dans l'étude 1 qui se déroulait en milieu totalement naturalistique, des comparaisons ont été réalisées sur le nombre de mouvements de tête et la durée de ces mouvements.

## Les mouvements de tête

La Figure 37 illustre le nombre moyen de mouvements de tête dirigés vers la droite et vers la gauche pour chacune des traversées de la part des participants, entre le moment où ils sont invités à traverser la route et le moment où ils rejoignent le trottoir opposé<sup>10</sup>.

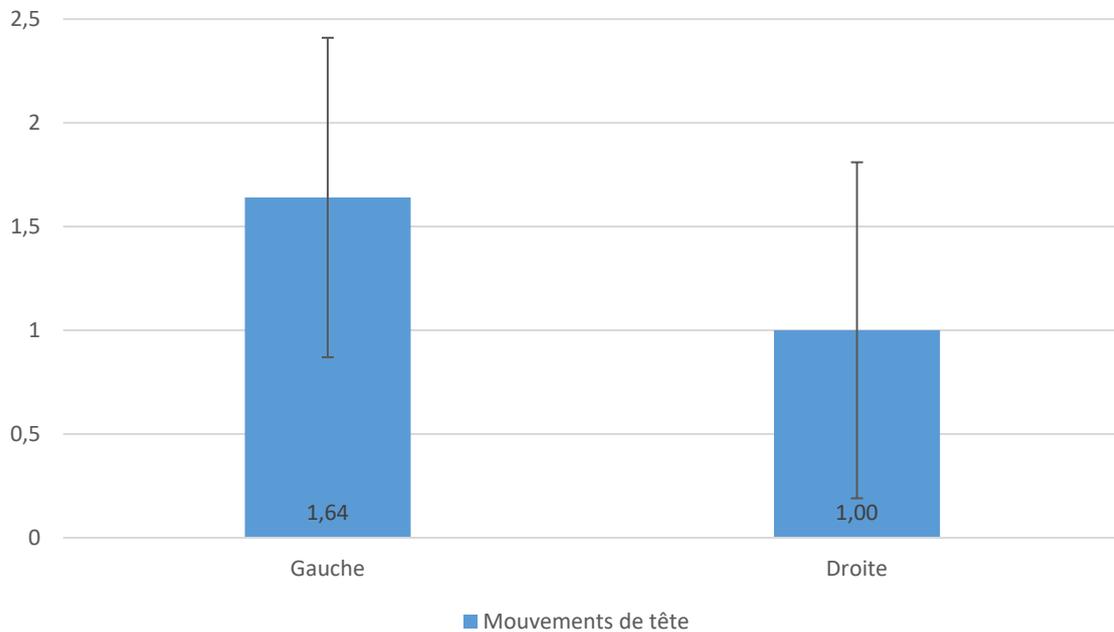


Figure 37. Nombre moyen de mouvements de tête vers la gauche et vers la droite par traversée.

Un modèle d'équation d'estimation généralisée a été testé afin de prendre en compte la dimension intra-sujet et la nature des données (ici, un comptage d'événements) suivant une distribution de Poisson. Dans ce modèle, ont également été introduites les variables liées à l'infrastructure, au type de véhicule et au scénario, ainsi que celles liées au sexe, à l'âge, au niveau de diplôme et à la technophilie.

### Nombre de mouvements de tête vers la droite

Les analyses statistiques ont mis en évidence une différence significative concernant le nombre de mouvements de tête vers la droite entre la configuration de traversée avec passage piéton et sans passage piéton ( $\chi^2(1, N = 295) = 4.515, p = .034$ ). Les participants ont réalisé plus de mouvements de tête vers la droite lorsqu'il n'y avait pas de passage piéton ( $M = 1.11, ET = .86$ ) que lorsqu'il y en avait ( $M = .89, ET = .76$ ).

<sup>10</sup> De par des conditions expérimentales fortes avec le véhicule cible venant toujours de la gauche du participant, alors qu'il n'y avait pas nécessairement de circulation tierce venant de la droite du participant, il n'apparaît pas pertinent de comparer statistiquement le nombre de mouvements de tête entre la gauche et la droite (i.e., biais expérimental).

Aucun autre effet, simple ou d'interaction, n'a été mis en évidence avec les autres variables testées ( $p > .05$ ).

#### Nombre de mouvements de tête vers la gauche

Les analyses statistiques ont révélé un effet tendanciel de l'interaction entre le type de véhicule et le scénario pour le nombre de mouvements de tête vers la gauche ( $\chi^2(1, N = 295) = 3.785, p = .052$ ). La Figure 38 illustre cet effet tendanciel. Les comparaisons par paires tendent à montrer que cette différence se situe entre les deux scénarios pour le véhicule conventionnel. Autrement dit, les participants lors du premier scénario feraient plus de mouvements de tête vers la gauche lorsque le véhicule est conventionnel que lors du second scénario ( $p = .071$ ).

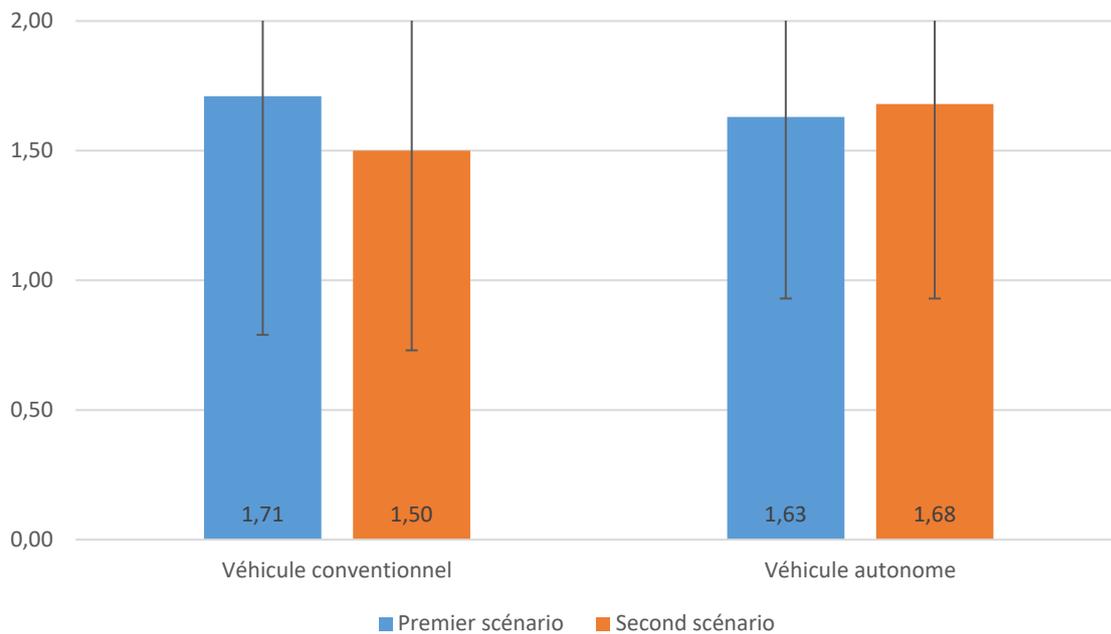


Figure 38. Nombre moyen de mouvements de tête vers la gauche en fonction du type de véhicule et du scénario.

De plus, il apparaît un effet tendanciel simple de l'âge ( $\chi^2(1, N = 295) = 3.179, p = .075$ ). Les participants entre 45 et 60 ans effectuent tendanciellement plus de mouvements de tête vers la gauche ( $M = 1.78, ET = .90$ ) que les participants âgés entre 20 et 35 ans ( $M = 1.51, ET = .61$ ).

Enfin, un effet d'interaction est mis en évidence concernant l'infrastructure et le niveau de diplôme des participants sur les mouvements de tête vers la gauche ( $\chi^2(1, N = 295) = 8.994, p = .003$ ). La Figure 39 illustre cet effet où les comparaisons par paires mettent en évidence que les participants moins diplômés effectuent plus de mouvements de tête vers la gauche lorsqu'il n'y a pas de passage piéton que les participants plus diplômés ( $p = .018$ ), de même que ces derniers effectuent moins de mouvements de tête en direction de la gauche lorsqu'il n'y a pas de passage piéton que lorsqu'il y en a un ( $p = .003$ ).

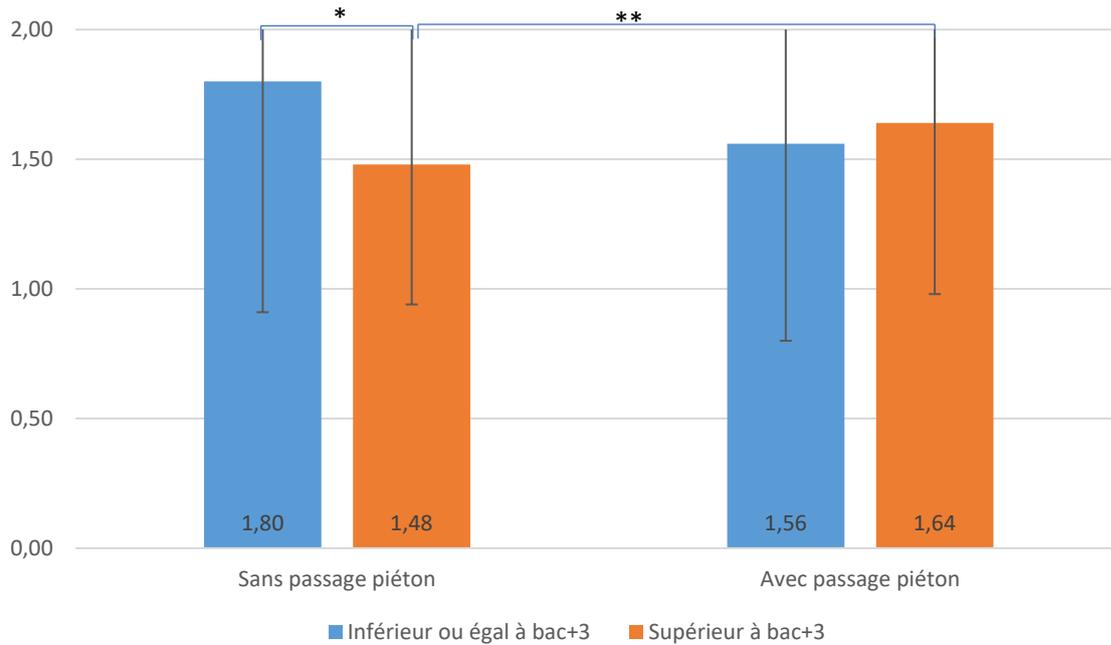


Figure 39. Nombre moyen de mouvements de tête vers la gauche en fonction de l'infrastructure et du niveau de diplôme (\*\* $p < .01$  ; \* $p < .05$ ).

### Les temps de regard

La Figure 40 illustre le temps moyen, en secondes, passé à regarder vers la droite et vers la gauche pour chacune des traversées de la part des participants, entre le moment où ils sont invités à traverser la route et le moment où ils rejoignent le trottoir opposé<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> De par des conditions expérimentales fortes avec le véhicule cible venant toujours de la gauche du participant, alors qu'il n'y avait pas nécessairement de circulation tierce venant de la droite du participant, il n'apparaît pas pertinent de comparer statistiquement le temps de regard entre la gauche et la droite (i.e., biais expérimental).

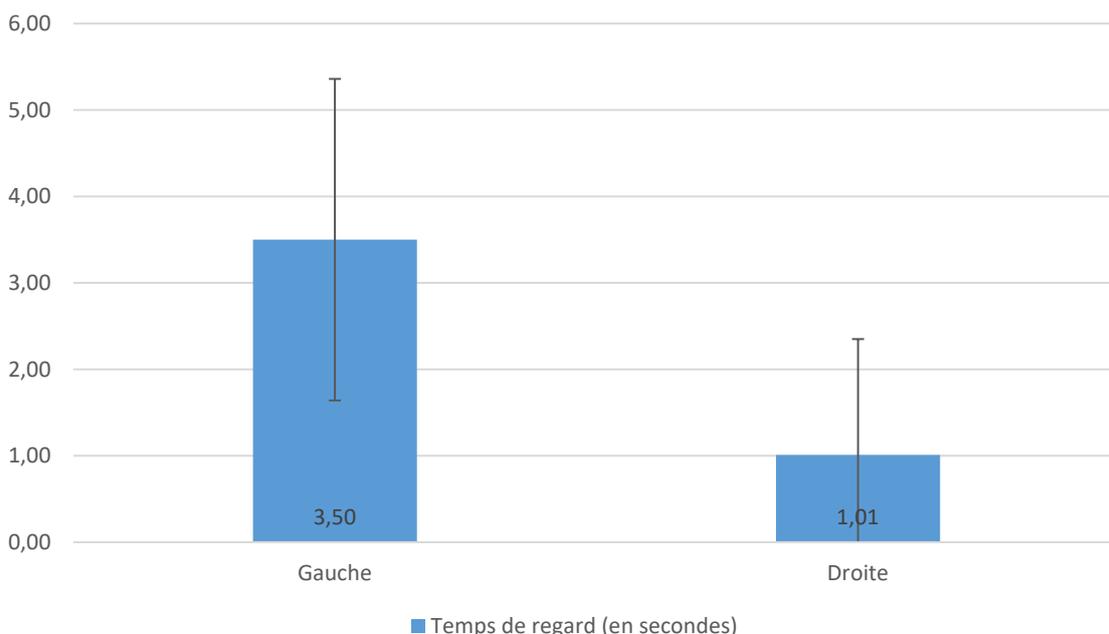


Figure 40. Temps de regard moyen, en secondes, vers la gauche et vers la droite par traversée.

Des modèles mixtes ont été testés avec, en premier lieu, un test des variables principales que sont l’infrastructure et le type de véhicule (le scénario en variable aléatoire), puis le modèle est complété par les autres variables pouvant les influencer comme le sexe, l’âge, le niveau de diplôme ou le niveau de technophilie.

Les analyses statistiques n’ont mis en évidence aucun effet simple ou d’interaction de ces différentes variables ( $p > .05$ ) que ce soit pour la gauche ou pour la droite. Ainsi, que le véhicule soit conventionnel ou autonome tel que défini par les expérimentations, les participants ont regardé dans une même proportion vers la gauche ; autrement dit, les participants n’ont pas regardé plus longtemps vers la gauche lorsque le véhicule était autonome que lorsqu’il était conventionnel.

### 3.5.3.5 Les gestes des participants vers le véhicule

Lors des traversées, les participants ont parfois effectué un geste, de la main ou de la tête, en direction du véhicule cible (dans 9% des traversées) alors que les personnes à l’intérieur du véhicule avaient une expression neutre et ne manifestaient pas de geste à l’intention des piétons<sup>12</sup>. Les analyses statistiques n’ont mis en évidence aucune différence significative que ce soit en fonction du type de véhicule, de l’infrastructure, du scénario, du genre, de la catégorie d’âge, du niveau de diplôme ou de la technophilie ( $p > .05$ ).

### 3.5.3.6 Les arrêts lors de la traversée

Concernant la mesure des arrêts lors de la traversée, ce comportement apparait dans moins de 3% des traversées. Les différentes analyses réalisées ne montrent aucune différence significative et ce quel

<sup>12</sup> Pour rappel, tous les participants ont traversé avant que les personnes à l’intérieur du véhicule ne fassent un signe en direction des participants les invitant à traverser devant le véhicule.

que soit la variable testée (i.e., le type de véhicule, l'infrastructure, le scénario, le sexe, la catégorie d'âge, le niveau de diplôme ou le niveau de technophilie).

Afin de compléter les éléments quantitatifs recueillis par questionnaire, observation et codage des comportements de traversée, des données qualitatives sur la perception et la compréhension des situations de traversée sont présentées dans la section suivante.

### 3.5.4 Analyse des entretiens d'explicitation

Pour 10 participants, des entretiens d'auto-confrontation ont été menés consistant à faire verbaliser les participants sur les traversées réalisées à partir des vidéos enregistrées de leur point de vue sur leurs traversées. Plusieurs thèmes étaient abordés notamment les éléments décisionnels lors de la traversée ainsi que leur perception de l'autonomie du véhicule ou de la présence ou non d'un passage piéton. En moyenne, chaque participant explicitait les 4 premières traversées présentant une configuration différente (i.e., une traversée avec un passage piéton et un véhicule conventionnel, une traversée avec un passage piéton et un véhicule autonome, une traversée sans passage piéton et avec un véhicule conventionnel et une traversée sans passage piéton et avec un véhicule autonome). Lorsqu'un événement particulier était présent sur l'une des traversées, comme l'arrivée d'un autre véhicule ne faisant pas partie du protocole expérimental sur la droite du participant et retardant sa traversée, l'explicitation de cette traversée était réalisée en plus. Au total, ce sont 42 traversées qui ont été analysées pour ce livrable.

Il est important de noter que l'analyse des entretiens ne montre pas de différence dans les discours selon le fait d'avoir déjà eu ou non une ou des expérience(s) avec des véhicules autonomes<sup>13</sup>.

#### 3.5.4.1 De manière globale

Il apparaît que tous les participants (= 100%) :

- Verbalisent la même stratégie visuelle à savoir de regarder à gauche et à droite avant de traverser ;
- Déclarent observer le comportement du véhicule (e.g., ralentit, accélère) avant de prendre leur décision de traverser ;
- Considèrent qu'un véhicule qui s'arrête devant eux et ne redémarre pas signifie qu'ils peuvent traverser.

Les verbatims présentés ci-dessous viennent illustrer les éléments présentés<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Lorsque les participants exprimaient une expérience précédente à cette étude avec des véhicules autonomes, ils citaient principalement les expériences suivantes : avoir précédemment participé à une étude sur les véhicules autonomes et/ou avoir testé et/ou avoir été en interaction avec des navettes autonomes expérimentées en région parisienne (e.g., navette autonome en expérimentation à la Défense, celle sur le pont Charles de Gaulle – Paris 12<sup>ème</sup>).

<sup>14</sup> Pour les différents points abordés dans cette analyse des discours, des verbatims seront présentés afin d'illustrer les différents éléments. Ces verbatims ne sont pas exhaustifs, ce ne sont que des extraits.

---

« C'est des réflexes quand on traverse, je pense que je dois le faire en permanence, regarder tout au long de la traversée, regarder un peu à gauche, à droite, à gauche, à droite [...] » Femme, junior

« Là je regarde s'il y a un véhicule ou non, et s'il y a un véhicule, je regarde effectivement s'il ralentit ou s'arrête afin de me laisser passer en tant que piéton. » Homme, junior

« Et, une fois que je sais qu'elle est bien, bel et bien arrêtée, c'est là que je traverse. » Femme, sénior

---

Ainsi, 9 participants expriment clairement qu'ils portent leur attention sur les éléments présents dans l'environnement de traversée (e.g., « regarder les véhicules qui arrivent »), tandis que 1 participant n'explicite pas clairement cet élément.

---

« Moi ce qui m'intéresse c'est ce qui arrive sur la gauche et sur la droite quand je traverse, de toute manière. » Homme, sénior

---

En plus du comportement du véhicule, 8 participants évoquent également la vitesse du véhicule approchant et 6 participants parlent de la distance du véhicule.

---

« Déjà, il faut qu'elle diminue sa vitesse, et puis il faut au bout d'un moment qu'elle s'arrête. » Femme, sénior

« Un véhicule est à, est à, je ne sais pas combien là, là il y a, pff, c'est un peu faussé la perspective, mais il y a peut-être, il y a peut-être 100, même pas 100 mètres, 80 mètres, je n'en sais rien, ça me laissait le temps de traverser aussi, hein. » Homme, sénior

---

Le son a également un effet sur les stratégies visuelles puisque 5 participants l'évoquent comme un indice les incitant à regarder de tel ou tel côté.

---

« Bah, j'ai commencé à regarder à gauche parce que j'entendais la voiture qui arrivait vers la gauche. » Femme, junior

---

Bien que 7 participants déclarent ne pas nécessairement chercher le regard du conducteur lorsqu'ils doivent prendre leur décision de traverser, 6 participants déclarent cependant regarder celui-ci. De plus, 3 participants expliquent que regarder le conducteur leur permet de s'assurer que celui-ci les a bien vus et 1 participant exprime également que cette recherche du regard se fait notamment dans le cas où il y a des ambiguïtés lors de la traversée.

---

« Vraiment pendant toute l'étude je n'ai pas du tout porté attention au fait que ce soit quelqu'un ou non qui conduise. » Femme, junior

---

« Eh bien, je ne suis pas sûr de me concentrer sur le conducteur puisqu'il se trouve que là il y a un reflet avec le soleil [...]. Mais à la limite peu importe, le plus important c'est bien de constater que le véhicule ralentit et s'arrête. » Homme, sénior

« Alors, oui, je regarde effectivement si le véhicule ralentit ou s'arrête, et en général je croise le regard du conducteur. C'est vrai que c'est une sécurité supplémentaire en tant que piéton ; s'assurer qu'il t'a bien vu. » Homme, junior

« C'est à dire que hier la première traversée que j'ai faite je, je ne savais pas que la voiture allait s'arrêter, je ne savais pas qu'elle allait s'arrêter toute seule, et du coup comme c'était ambigu je voulais m'assurer que le conducteur m'avait vu. » Femme, junior

Enfin, 6 participants vérifient, après avoir regardé des deux côtés de la route, que le véhicule qui s'était arrêté ne redémarre pas. Ainsi, des différences interindividuelles apparaissent entre les participants où 50% d'entre eux déclarent réaliser lors de leurs traversées une double vérification en regardant deux fois alternativement à gauche et à droite, tandis que, lors de la traversée effective, 40% des participants considèrent qu'une fois le véhicule dépassé lors de la traversée, il n'y a plus besoin de regarder.

« Une fois, quand elle était arrêtée, j'ai regardé de l'autre côté, j'ai vu qu'il n'y a personne, j'ai regardé encore la voiture pour me rassurer qu'elle ne bouge toujours pas. » Femme, sénior

« Bah, je pense que dans tous les cas, j'ai fait 2 allers-retours à chaque fois. Au niveau de la tête. » Homme, sénior

« Non bah du coup, surtout qu'en plus, enfin je ne regarde pas davantage vers la gauche vu que je sais que j'ai un peu, enfin que j'ai déjà dépassé la voiture. » Femme, junior

De manière générale, les participants semblent réaliser leurs mouvements de tête vers les éléments qu'ils considèrent comme étant un danger pour eux (e.g., les véhicules), tout en maintenant leur regard vers cet élément.

« Et je vérifie toujours 2 fois, 2 ou 3 fois, du côté où il y a la voiture, de l'autre côté où il n'y a pas de mouvement, je vérifie qu'une seule fois. » Femme, sénior

« Voilà, j'ai regardé à gauche et effectivement j'ai vu qu'il y avait une voiture qui arrivait, donc j'ai continué à regarder fixement jusqu'à ce que je sois sûre que le véhicule avait bien pour intention de s'arrêter et que finalement il s'arrêtait bien. » Femme, junior

### 3.5.4.2 L'effet du type de véhicule

Les analyses ont montré également quelques différences en fonction du type de véhicule croisé lors des traversées (i.e., véhicule conventionnel, véhicule autonome). En effet, comme relevé dans la partie précédente, 3 répondants déclarent, de manière générale, rechercher le regard du conducteur

notamment pour s’assurer que celui-ci les a bien vu. De plus, 2 participants déclarent l’humain comme faillible.

---

*« Bah oui, si elle est conduite, parce que la réaction humaine et la réaction d'une machine n'est pas la même. Euh... Un humain, un humain, moi je suis quelqu'un qui fait confiance aux machines parce qu'en fin de compte, la machine est précise quand même. Que nous, on a des réactions, dans une voiture on peut fumer, on peut baisser la tête, on peut éternuer, il peut se passer plein de choses. Donc voilà. » Homme, sénior*

---

Concernant le véhicule autonome, 2 participants lui font confiance, se sentent en sécurité, tandis que 3 participants se sentent en danger, en ont peur, notamment sur les failles que pourraient avoir ces véhicules.

---

*« Quand elle était autonome je traversais en toute sécurité [...]. » Homme, sénior*

*« [...] à la base, j'ai pas confiance de toute manière puisqu'on peut accélérer, s'arrêter, redémarrer, que ce soit un véhicule autonome ou pas, l'erreur, il y aura toujours des erreurs possibles, et il y aura toujours des anomalies de fonctionnement. » Homme, sénior*

---

Cependant, ce n’est pas le type de véhicule qui va réellement avoir un impact sur les mouvements de tête des piétons mais le comportement des différents éléments interagissant dans l’environnement.

---

*« Au pire, même s'il n'y avait pas eu de conducteur du tout, j'aurai attendu qu'il soit à l'arrêt, ça, ça ne change rien en fait. » Homme, sénior*

---

### 3.5.4.3 L’effet de l’infrastructure

L’analyse des entretiens d’explicitation a également permis d’obtenir des éléments de réflexion en fonction de la présence ou non de passage piéton lors de la traversée. Il apparaît que la présence d’un passage piéton rend l’action de traverser comme légitime pour la majorité des participants (voir Tableau 12) alors que son absence fait apparaître un sentiment d’inconfort (voir Tableau 13).

En effet, les participants vont avoir tendance à considérer le passage piéton comme une protection, un lieu où ils sont en confiance pour traverser même si certains soulignent néanmoins qu’ils doivent rester prudents sur les éléments les entourant (voir Tableau 12). De plus, ce lieu étant considéré comme un endroit légitime où traverser, les participants vont effectuer moins de mouvements de tête.

---

*« Je regarde à gauche la voiture qui arrive dans mon sens, euh, qui décélère, qui va marquer un arrêt. Donc quand je suis moins sur le passage piéton, je me dis effectivement c'est pour moi, donc j'ai le droit de traverser, je regarde à droite, pas de voiture, donc je m'engage, et je ne reregarde pas à droite puisque je suis en droit de traverser, donc je n'ai pas ce réflexe. » Homme, junior*

---

Tableau 12. Pourcentage de répondants évoquant une dimension renvoyant à la présence d'un passage piéton lors de la traversée et exemples de verbatim associés.

En présence d'un passage piéton		
Sous-dimension	Pourcentage de répondants évoquant cette dimension	Exemples de verbatim
Lieu donnant la priorité au piéton, à de la légitimité pour le piéton	70%	« [...] alors que, à l'inverse sur un passage piéton, je me sens plus légitime, parce que je sais que je suis prioritaire [...]. » <u>Femme, junior</u>
Lieu associé à une protection, à de la confiance	60%	« C'est plus rassurant, moi je trouve, le passage piéton. » <u>Femme, sénior</u>
Lieu dans lequel maintenir son attention	30%	« Mais ce n'est pas non plus une garantie suffisante. Il n'y a pas tous les conducteurs qui respectent cette priorité, c'est vraiment le visuel, l'assurance que la voiture va s'arrêter qui va me permettre de me décider. » <u>Homme, sénior</u>
Prise de décision de traversée plus rapide	20%	« J'ai le droit de traverser ici donc je vais y aller avec plus d'assurance, plus rapidement. » <u>Homme, junior</u>
Ce n'est pas un endroit sécurisé, manque de confiance	10%	« Pour moi, le passage piéton, ce n'est pas, je ne suis pas dans un tunnel avec du béton autour de moi, c'est un lieu pour traverser, mais ce n'est pas un lieu plus en sécurité qu'un autre. » <u>Homme, sénior</u>

À l'inverse, lorsque les participants ont été amenés à traverser sur les endroits sans passage piéton, la traversée étant perçue comme moins protégée, les participants se disent moins en sécurité et plus déstabilisés notamment parce que les véhicules ne devraient pas s'arrêter pour les laisser passer (voir Tableau 13). C'est pourquoi les participants déclarent mettre en place plus de mouvements de tête vers la droite et vers la gauche.

« Euh je regarde un peu plus, je suis plus attentive enfin à, à, à regarder justement à droite gauche à m'assurer que ma, que c'est bon que je peux traverser. Parce que je me sens moins légitime de pouvoir traverser s'il n'y a pas un passage piéton. [...] Je me dis qu'il y a potentiellement plus de danger. » Femme, junior

Tableau 13. Pourcentage de répondants évoquant une dimension renvoyant à l'absence de passage piéton lors de la traversée et exemples de verbatim associés.

En l'absence d'un passage piéton		
Sous-dimension	Pourcentage de répondants évoquant cette dimension	Exemples de verbatim
Sentiment d'inconfort, de déstabilisation, de perte de repère	60%	« C'est moins rassurant oui. C'est moins rassurant. Je ne sais pas pourquoi, je ne sais pas si c'est une question d'habitude, mais c'est plus rassurant quand il y a le passage piéton. » <u>Femme, sénior</u>
Traversée perçue comme moins protégée et moins sécurisée, avec plus de danger	50%	« Je me dis qu'il y a potentiellement plus de danger. » <u>Femme, junior</u>
Les voitures ne s'arrêtent pas normalement	50%	« Bah, en, en, en, en l'interprétant, alors justement, du coup la situation est très bizarre, parce que ce véhicule, n'aurait jamais dû s'arrêter. [...] Mais en fin de compte, le véhicule n'avait pas à s'arrêter. Parce que si le véhicule s'arrête à chaque fois qu'il voit un piéton sur le trottoir, là on ne circule plus. Toutes les voitures s'arrêtent. » <u>Homme, sénior</u>
Le piéton ne doit pas traverser hors passage piéton	40%	« Non, non, je regarde quand même parce que je ne suis pas censé traverser là, donc je regarde quand même qu'il n'y ait pas une voiture que j'ai raté ou qui arrive vite. » <u>Homme, junior</u>
Attente de l'arrêt complet du véhicule	30%	« Oui, là je vais attendre un peu plus ma prise de décision, je vais vraiment avoir besoin de m'assurer que la voiture va s'arrêter avant de vraiment me décider à traverser. » <u>Homme, sénior</u>
Lieu où regarder plus souvent à gauche et à droite	30%	« J'ai regardé à 2 reprises le côté où il y avait la voiture, je me rassure quand même. » <u>Femme, sénior</u>

### 3.6 Conclusion de l'étude 2

L'étude menée en milieu naturalistique auprès d'un panel de participants montre que le type de véhicule (i.e., conventionnel, autonome) ne semble pas avoir d'impact sur les comportements de traversée des piétons au contraire de l'infrastructure. Toutefois, il serait pertinent de vérifier que ces résultats restent consistants lorsque les analyses sont effectuées en mettant en variable non pas les modalités telles que définies par l'expérimentation (i.e., le véhicule autonome effectif vs. le véhicule conventionnel effectif) mais celles telles que perçues par les participants (i.e., le véhicule perçu comme autonome vs. le véhicule perçu comme conventionnel). De même, l'étude ayant eu lieu en milieu ouvert, certaines variables n'ont pas été entièrement contrôlées et ont pu jouer un rôle dans la prise de décision de traverser des piétons (e.g., les véhicules venant de la droite lorsqu'il y en a eu, les conditions lumineuses). C'est pourquoi la répétition des traversées permettait de pallier une partie de cette variabilité en reproduisant plusieurs fois les situations, l'effet de la répétition étant lui contrôlé dans nos analyses statistiques. Ainsi, les analyses réalisées mettent en évidence qu'en présence d'un passage piéton, les participants vont initier plus vite leur traversée que lorsqu'il n'y a pas de passage piéton, résultat déjà observé dans la littérature face à un véhicule autonome (Clamann et al., 2017). En revanche, sur un passage piéton, leur vitesse de traversée va être plus lente qu'en l'absence de

passage piéton. Ces résultats trouvent une source d'explication dans les explicitations des participants qui déclarent se sentir légitimes sur un passage piéton.

De plus, lorsqu'un piéton souhaite traverser, nos observations et les verbatim recueillis auprès des participants à nos études mettent en évidence qu'il va effectuer une série de mouvements de tête vers la gauche et vers la droite afin de prendre les informations nécessaires à sa prise de décision. Il apparaît notamment que les participants vont se baser sur le son pour orienter leurs mouvements de tête vers la source du bruit et que lorsqu'il n'y a qu'un seul véhicule dans l'environnement, la durée de ces mouvements va être plus longue dans la direction de ce véhicule afin de s'assurer que ledit véhicule va s'arrêter pour les laisser traverser. De plus, nos analyses des discours semblent indiquer que les comportements visuels mis en place seront les mêmes quels que soient le type de véhicule. Cependant, les travaux de Liu, Hirayama, Morales et Murase (2020) montrent que les piétons vont observer plus longtemps le véhicule autonome lorsqu'ils ne comprennent pas les intentions de ce dernier, ce qui peut venir biaiser les séquences de fixation des piétons.

Ainsi, de nombreux facteurs vont venir influencer ces séquences (e.g., facteurs interindividuels, environnementaux). Par exemple, certains participants, une fois engagés dans leur traversée, n'effectueront plus de mouvements de tête vers la gauche et vers la droite et regarderont droit devant eux, alors que d'autres continueront à basculer leur tête d'un côté et de l'autre durant la totalité de leur traversée. De même, la présence d'un passage piéton, perçu par la plupart des participants comme un lieu légitime de traversée, va entraîner des séquences de mouvements de tête moins conséquentes qu'en l'absence d'un passage piéton.

De plus, il apparaît que la distance et la vitesse du véhicule auront un impact sur le comportement de traversée où une situation avec un véhicule jugé comme suffisamment distant avec une vitesse plus ou moins réduite sera perçue comme une situation permettant la traversée sans attendre l'arrêt du véhicule pour s'engager. Dans une telle situation, le véhicule approchant n'aura donc pas la nécessité de s'arrêter complètement, voire de ralentir suivant la distance à laquelle il se situe du piéton.

En conclusion de cette étude, il apparaît que les participants ne perçoivent pas systématiquement l'autonomie du véhicule approchant (dans 50% des réponses, lorsque le véhicule est autonome, les participants déclarent qu'il y a un conducteur qui conduisait le véhicule ; Moore et al., 2019). Autrement dit, **les participants ne semblent pas considérer la présence du conducteur comme une information essentielle dans leur décision de traverser**. Cet élément est conforté par l'analyse des discours issus des entretiens où, lorsque les participants explicitent leurs traversées suivant les différentes configurations auxquelles ils ont été confrontés, **ils énoncent le comportement du véhicule et l'infrastructure présente pour prendre leur décision** (e.g., Granié et al., 2014). **Certains évoquent l'interaction avec le conducteur mais pas majoritairement.**

## 4 DISCUSSION GÉNÉRALE ET LIMITES IDENTIFIÉES

Les résultats obtenus dans l'étude 1 visant à caractériser les séquences de mouvements de tête lors de la traversée piéton dans un milieu ouvert ont mis en évidence plusieurs caractéristiques qui ont été confirmées dans l'étude 2 en présence de véhicules autonomes. Ainsi, les deux études menées ont permis de confirmer que les séquences de mouvements de tête vont être modulées par des différences interindividuelles mais également environnementales. En effet, le rôle de l'infrastructure est important dans ces séquences où il apparaît, qu'en l'absence de feux de circulation, les mouvements de tête seront orientés en premier vers les véhicules en mouvement.

Il est cependant important de souligner que dans les études menées, les participants étaient concentrés sur leur tâche, autrement dit, aucune tâche distractive n'était incluse dans le protocole. Or, des comportements de distraction attentionnelle de plus en plus fréquents de la part des piétons, comme la consultation de téléphone portable durant la traversée, apparaissent, entraînant des stratégies visuelles différentes. Ainsi, Gruden, Ištoka Otković et Šraml (2021) ont comparés deux situations à savoir les participants ne devaient pas utiliser leur smartphone et ceux devant les utiliser. Ils ont notamment mis en évidence que les piétons utilisant leur smartphone vont concentrer leur attention sur celui-ci ainsi que sur les piétons alentour mais vont diminuer leur temps de fixation vers les éléments présents dans l'environnement de traversée. De plus, il apparaît que la recherche sur les véhicules autonomes s'interroge sur la nécessité de mettre en place des Interfaces Homme-Machine (IHM) externes, or la présence de telles IHM va modifier les stratégies visuelles des piétons lors de la traversée (e.g., Lee, Daimon, & Kitazaki, 2021).

Pour finir, il est important de souligner certaines limites inhérentes aux études naturalistiques. La principale limite concerne la comparabilité des différentes traversées. En effet, bien que les protocoles mis en place visent à rendre chaque traversée identique, notamment dans l'étude 2, des variations apparaissent qui sont de plusieurs ordres. Par exemple, dans les éléments ne pouvant être contrôlés, apparaissent le trafic tiers, les conditions lumineuses, la météo, le comportement des autres usagers de la route qu'ils soient piétons, cyclistes ou conducteurs, etc. De plus, dans l'étude 2 utilisant le véhicule WOZ, le comportement de ce dernier apporte lui aussi de la variabilité dans les traversées. En effet, la complexité de contrôler parfaitement la vitesse du véhicule, sa vitesse de décélération, la distance à laquelle il s'arrête du piéton ou encore le comportement de neutralité des occupants du véhicule, entraîne l'apparition de légères variations entre les différentes traversées. Enfin, une autre limite apparaissant pour l'étude 2 peut être soulignée à savoir la répétitivité des traversées. En effet, bien que les situations de traversée aient été contrebalancées, un apprentissage apparaît pour les participants qui comprennent qu'un véhicule arrivera toujours sur leur gauche lors de la traversée et que celui-ci s'arrêtera systématiquement. Les comportements ainsi mis en place au fur et à mesure de l'étude deviennent alors de moins en moins spontanés.

Néanmoins, malgré ces diverses limites relevées, il apparaît que les études naturalistiques permettent d'extraire des éléments de réflexion pour appréhender les mécanismes décisionnels mis en jeu lors de la traversée des piétons. En effet, en l'absence d'éléments distracteurs, tels qu'étudiés dans les deux expérimentations réalisées, les mouvements de têtes vont être principalement orientés vers les sources jugées porteuses d'informations pour les piétons, à savoir, les feux de circulation, lorsqu'il y en a, et les véhicules en mouvement. De plus, ce sont notamment la distance des véhicules et le comportement de ceux-ci qui leur permettra de prendre leur décision de traverser, notamment en fonction de l'infrastructure routière. Il apparaît donc que ce sont aussi les attentes liées à la connaissance des piétons du mode de fonctionnement de l'interaction « véhicules – autres usagers de la route – infrastructure » qui va déterminer les intentions des piétons de traverser la route ou non plutôt que les stratégies visuelles seules.

Ainsi, sur la base des données recueillies lors de nos études, nous pouvons émettre des suggestions de recommandations qui devront néanmoins être testées pour validation :

- En présence d'infrastructure routière où le piéton se considère comme « légitime » pour traverser (e.g., le passage piéton), le véhicule autonome doit réduire son allure suffisamment en amont afin que le piéton perçoive le comportement de décélération. Ainsi, lorsque le piéton se trouve devant un passage piéton sans feux piéton, il pourra commencer à engager sa traversée avant même l'arrêt complet du véhicule. Ainsi, dans nos études, il apparaît que lorsqu'un véhicule approche à 40 km/h et commence sa décélération à 25m du piéton, ledit piéton perçoit la décélération du véhicule ;

- En revanche, en l'absence de passage piéton, un VA s'arrêtant pour laisser traverser un piéton sera considéré, sur la base des entretiens réalisés dans l'étude 2, par ledit piéton comme « imprévisible » (i.e., dans le code de la route, il n'a aucune raison de s'arrêter donc son comportement n'est pas interprétable) et des comportements divers, et donc moins prévisibles, de la part des piétons apparaîtront (e.g., traversées devant le véhicule plus ou moins rapidement après l'arrêt du véhicule, pas de traversée pouvant aboutir à des situations de blocage).
- ➔ De manière générale, il semble nécessaire que le VA soit prévisible pour les autres usagers de la route (Granié et al., 2019). Ainsi, pour chaque situation similaire, il est important que le VA adopte un comportement identique afin que les piétons puissent anticiper et mettre en place des stratégies adaptées. En effet, la répétition des situations de traversées couplées aux comportements prévisibles du VA auprès des piétons ont notamment montré des prises de décision de traverser plus rapides. Un enjeu se situera donc également autour de la communication, de l'information et de la formation auprès du public sur le VA.

## 5 LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Signification
WOZ	Wizard of Oz

## 6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Avineri, E., Shinar, D., & Susilo, Y. O. (2012). Pedestrians' behaviour in cross walks: The effects of fear of falling and age. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 30–34. Retrieved from [https://ideas.repec.org/p/hhs/ctswps/2011\\_018.html](https://ideas.repec.org/p/hhs/ctswps/2011_018.html)
- Billieux, J., D'Argembeau, A., Lewicki, P., & Van der Linden, M. (2009). A French adaptation of the internal and external encoding style questionnaire and its relationships with impulsivity. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 59(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2008.09.002>
- Billieux, J., Rochat, L., Ceschi, G., Carré, A., Offerlin-Meyer, I., Defeldre, A. C., ... Van Der Linden, M. (2012). Validation of a short French version of the UPPS-P Impulsive Behavior Scale. *Comprehensive Psychiatry*, 53(5), 609–615. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2011.09.001>
- Brouwer, N., Kloeden, H., & Stiller, C. (2016). Comparison and evaluation of pedestrian motion models for vehicle safety systems. *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7795912/>
- Clamann, M., Aubert, M., & Cummings, M. L. (2017). Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles. *96th Annual Research Board Meeting, Washington D.C., USA, January (2017), Tech. Rep. 17-02119*.
- Dommes, A., Granié, M.-A., Cloutier, M. S., Coquelet, C., & Huguenin-Richard, F. (2015). Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.002>
- Eisma, Y. B., van Bergen, S., ter Brake, S. M., Hensen, M. T. T., Tempelaar, W. J., & de Winter, J. C. F. (2020). External human-machine interfaces: The effect of display location on crossing intentions

- and eye movements. *Information*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/info11010013>
- Geruschat, D. R., Hassan, S. E., & Turano, K. A. (2003). Gaze behavior while crossing complex intersections. *Optometry and Vision Science*, 80(7), 515–528. <https://doi.org/10.1097/00006324-200307000-00013>
- Gesnouin, J., Pechberti, S., Bresson, G., Stanciulescu, B., & Moutarde, F. (2020). Predicting intentions of pedestrians from 2d skeletal pose sequences with a representation-focused multi-branch deep learning network. *Algorithms*, 13(12), 1–23. <https://doi.org/10.3390/a13120331>
- Granié, M.-A., Brenac, T., Montel, M. C., Millot, M., & Coquelet, C. (2014). Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, 67, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.02.008>
- Granié, M. A., Pannetier, M., & Gueho, L. (2013). Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 830-839.
- Granié, M.-A., Varet, F., Degraeve, B., & Khalafian, A. (2019, 2019 July 24). *The role of context and perception of road rules in the pedestrian crossing decision: a challenge for the autonomous vehicle*. 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, Washington D.C. (USA).
- Gruden, C., Ištoka Otković, I., & Šraml, M. (2021). Safety Analysis of Young Pedestrian Behavior at Signalized Intersections: An Eye-Tracking Study. *Sustainability*, 13(8), 4419. <https://doi.org/10.3390/su13084419>
- Jayaraman, S. K., Creech, C., Robert Jr., L. P., Tilbury, D. M., Yang, X. J., Pradhan, A. K., & Tsui, K. M. (2018). Trust in AV. *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction - HRI '18*, 133–134. <https://doi.org/10.1145/3173386.3177073>
- Jiang, K., Ling, F., Feng, Z., Ma, C., Kumfer, W., Shao, C., & Wang, K. (2018). Effects of mobile phone distraction on pedestrians' crossing behavior and visual attention allocation at a signalized intersection: An outdoor experimental study. *Accident Analysis and Prevention*, 115, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.019>
- Lapsley, D. K., & Hill, P. L. (2010). Subjective invulnerability, optimism bias and adjustment in emerging adulthood. *Journal of Youth and Adolescence*, 39(8), 847–857. <https://doi.org/10.1007/s10964-009-9409-9>
- Lee, J., Daimon, T., & Kitazaki, S. (2021). Negative Effect of External Human-Machine Interfaces in Automated Vehicles on Pedestrian Crossing Behaviour: A Virtual Reality Experiment. In: *Black N.L., Neumann W.P., Noy I. (Eds) Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021). IEA 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 221, 718–725.* [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7\\_88](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_88)
- Lévêque, L., Ranchet, M., Deniel, J., Bornard, J. C., & Bellet, T. (2020). Where do pedestrians look when crossing? A state of the art of the eye-tracking studies. *IEEE Access*, 8, 164833–164843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021208>
- Liu, H., Hirayama, T., Morales, L. Y., & Murase, H. (2020). What Is the Gaze Behavior of Pedestrians in Interactions with an Automated Vehicle When They Do Not Understand Its Intentions? *ArXiv Preprint ArXiv:2001.01340*.
- Meertens, R. M., & Lion, R. (2008). Measuring an individual's tendency to take risks: The risk propensity scale. *Journal of Applied Social Psychology*, 38(6), 1506–1520. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2008.00357.x>

- Moore, D., Currano, R., Strack, G. E., & Sirkin, D. (2019). The case for implicit external human-machine interfaces for autonomous vehicles. *Proceedings - 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2019*, 295–307. <https://doi.org/10.1145/3342197.3345320>
- Rasouli, A., Kotseruba, I., & Tsotsos, J. K. (2018). Understanding Pedestrian Behavior in Complex Traffic Scenes. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 3(1), 61–70. <https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2788193>
- Rasouli, A., & Tsotsos, J. K. (2019). Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–19. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901817>
- Tapiro, H., Borowsky, A., Oron-Gilad, T., & Parmet, Y. (2016). Where do older pedestrians glance before deciding to cross a simulated two-lane road? A pedestrian simulator paradigm. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60(1), 11–15. <https://doi.org/10.1177/1541931213601003>
- Tapiro, H., Meir, A., Parmet, Y., & Oron-Gilad, T. (2014). Visual search strategies of child-pedestrians in road crossing tasks. In D. de Waard, K. Brookhuis, R. Wiczorek, F. di Nocera, R. Brouwer, P. Barham, ... A. Toffetti (Eds.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2013 Annual Conference*. Retrieved from <http://www.hfes-europe.org/wp-content/uploads/2014/06/Tapiro.pdf>
- Tapiro, H., Oron-Gilad, T., & Parmet, Y. (2020). Pedestrian distraction: The effects of road environment complexity and age on pedestrian's visual attention and crossing behavior. *Journal of Safety Research*, 72, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.003>
- Tom, A., & Granié, M.-A. (2011). Gender Differences in Pedestrian Rule Compliance and Visual Search at Signalized and Unsignalized Crossroads. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1794–1801. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.012>
- Yiou, E., Caderby, T., Delafontaine, A., Fourcade, P., & Honeine, J. L. (2017, November 18). Balance control during gait initiation: State-of-the-art and research perspectives. *World Journal of Orthopaedics*, Vol. 8, pp. 815–828. <https://doi.org/10.5312/wjo.v8.i11.815>
- Zito, G. A., Cazzoli, D., Scheffler, L., Jäger, M., Müri, R. M., Mosimann, U. P., ... Nef, T. (2015). Street crossing behavior in younger and older pedestrians: an eye- and head-tracking study. *BMC Geriatrics*, 15(1), 176. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0175-0>