



Signalisation verticale et horizontale retroréfléchissante & Nudge pour la sécurité des usagers vulnérables la nuit en agglomération

 17/03/2026

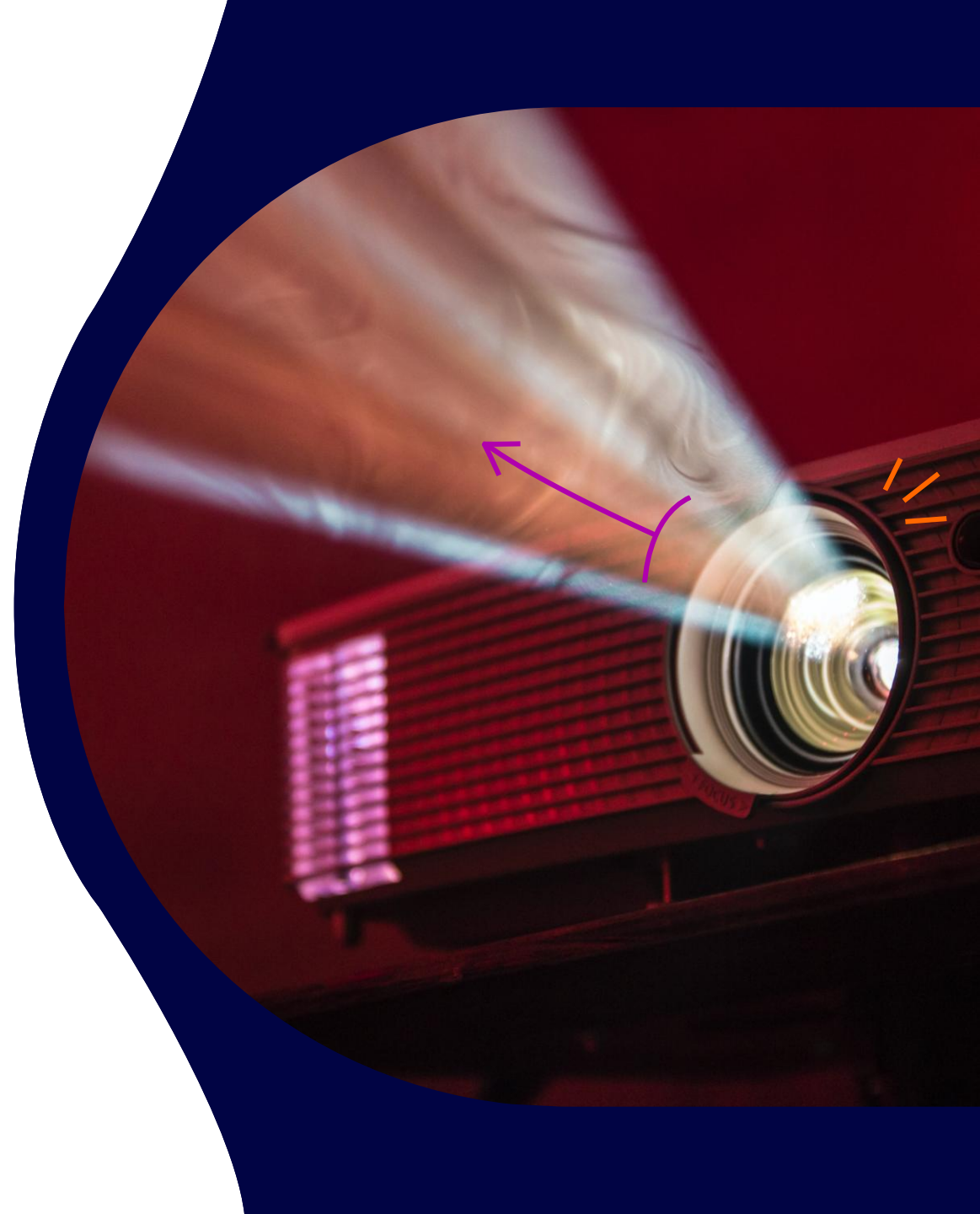
Préparé pour : **Marc Rigolot**, directeur Fondation MAIF
marc.rigolot@fondation.maif.fr

Préparé par : **Etienne Bressoud**, DG délégué BVA, Nudge consulting
etienne.bressoud@bvanudgeconsulting.com

Rustam Romaniuc, Directeur, Behavior Solutions For Good
rustam.romaniuc@gmail.com

Ali Ikkache, Ingénieur Application, 3M
aikkache1@mmm.com

Stephane Caro, Ingénieur de recherche, Université Gustave Eiffel
stephane.caro@univ-eiffel.fr

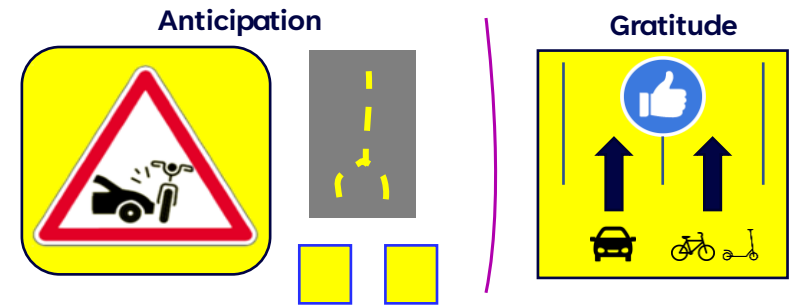


Le projet en 1 slide

Après vous pouvez aller prendre un café ☺

Objectif de la recherche : Réaliser une expérimentation scientifique dans un environnement contrôlé qui démontre l'intérêt d'utiliser les sciences comportementales et plus particulièrement la notion de planification comportementale, pour implémenter de manière créative une innovation technologique – type 3M – visant à diminuer la vulnérabilité des usagers.

Interventions comportementales imaginées : un nouvel usage de la signalétique avec des nouveaux panneaux qui proposent des **nouveaux symboles** à messages spécifiques : **anticipation**, avant l'intersection et **gratitude**, après l'intersection.



2 conditions expérimentales, dans un environnement urbain, de nuit sur simulateur :

1. Groupe de contrôle (piste ciblable normale)
2. Groupe test (signalétique horizontale et verticale, avec de nouveaux messages)

3 hypothèses pour tester la diminution de la prise de risque grâce aux interventions comportementales qui démontrent en partie l'efficacité des interventions comportementales imaginées :

Hypothèse H1 : Les interventions comportementales mises en place diminuent la vitesse de circulation – VALIDÉE

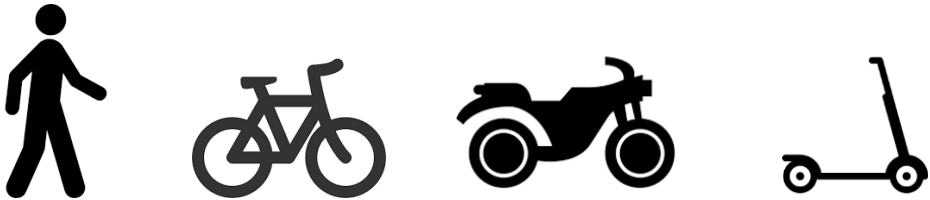
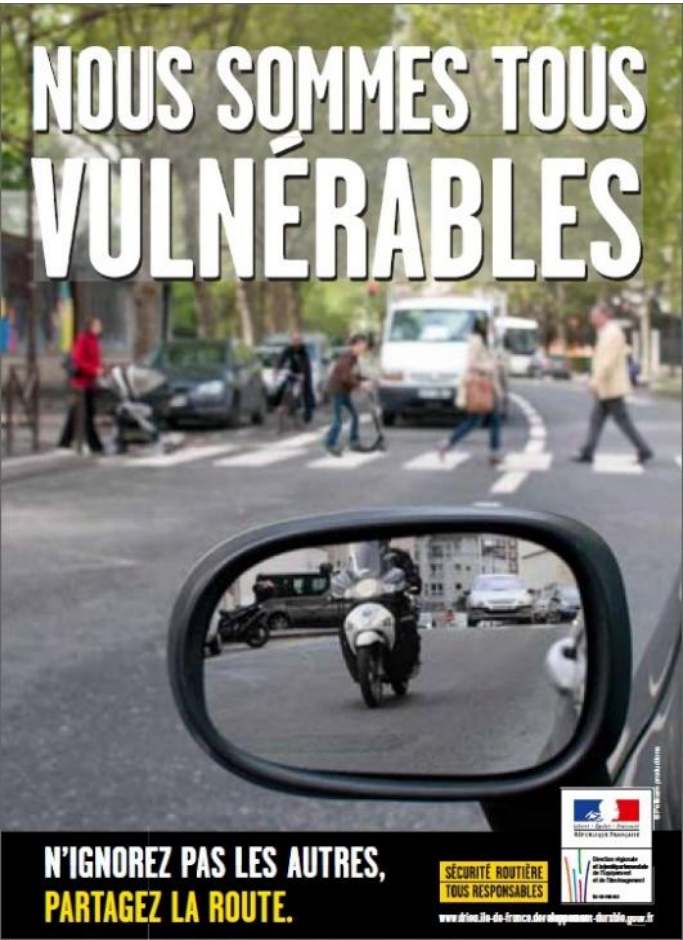
Hypothèse H2 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de feux grillés – VALIDÉE

Hypothèse H3 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de personnes qui ont au moins une collision – NON VALIDÉE

Le prochain challenge comportementale ? Comme inciter les organismes en charge de la sécurité des usagers vulnérables sur les routes à innover dans l'implémentation des éléments de signalétique horizontale et verticale ?

Les usagers vulnérables parfois encore plus vulnérables

La nuit, un facteur aggravant !



6 personnes tuées sur 10 en 2018.

	LE JOUR 	LA NUIT 
Nombre d'accidents par jour et par million de véhicules	74,1	257,5
Nombre de tués par jour et par million de véhicules	3,3	20,5

Note: Arrows in the original image indicate a multiplier of x3.5 from 74.1 to 257.5, and a multiplier of x6.2 from 3.3 to 20.5.

Chaque année, entre 40 et 45% des accidents mortels ont lieu la nuit alors que le trafic nocturne ne représente que 10% de la totalité du trafic

Des solutions ont été pensées ...

Autour des innovations

Des innovations technologiques

3M



Des innovations ludiques



... et elles sont améliorables

Comme tout

Intégrer

le comportement

dans

les innovations technologiques

Intégrer

la science

dans

les innovations
ludiques

S'appuyer sur la notion de planification comportementale pour implémenter les technologies

Le premier parti-pris

Réaliser une expérimentation scientifique dans un environnement contrôlé qui démontre l'intérêt d'utiliser les sciences comportementales et plus particulièrement la notion de planification comportementale, pour implémenter de manière créative une innovation technologique visant à diminuer la vulnérabilité des usagers, c'est-à-dire à ce que tous les usagers de la route ralentissent à l'approche d'endroits de rencontre avec d'autres usagers, de nuit, en agglomération

Un exemple de Nudge basé sur la planification comportementale ?



" Trouvez votre passeport "



" Ouvrez le passeport à la page avec la photo "



" Présentez le passeport comme ceci "



Réduction du temps d'attente aux heures de pointe de 18%

S'appuyer sur les innovations 3M en intégrant au mieux le volet « utilisateur » et en mesurant les effets

Le second parti-pris

Signalisation verticale



Zones de chantiers



Signalisation horizontale



Balisage de véhicules



Proposer une expérimentation en immersion virtuelle sur simulateur

Le troisième parti-pris

Environnement de test
initialement envisagé



Environnement de test utilisé pour une
meilleure immersion des participants





01

LES SCIENCES COMPORTEMENTALES APPLIQUÉES À LA SÉCURITÉ DES USAGERS VULNÉRABLES

Un défi, 4 étapes

La méthode

Comment faire pour que moi usager de la route je ralentisse à l'approche d'endroits de rencontre avec d'autres usagers de la route, de nuit, en agglomération



Inspirer

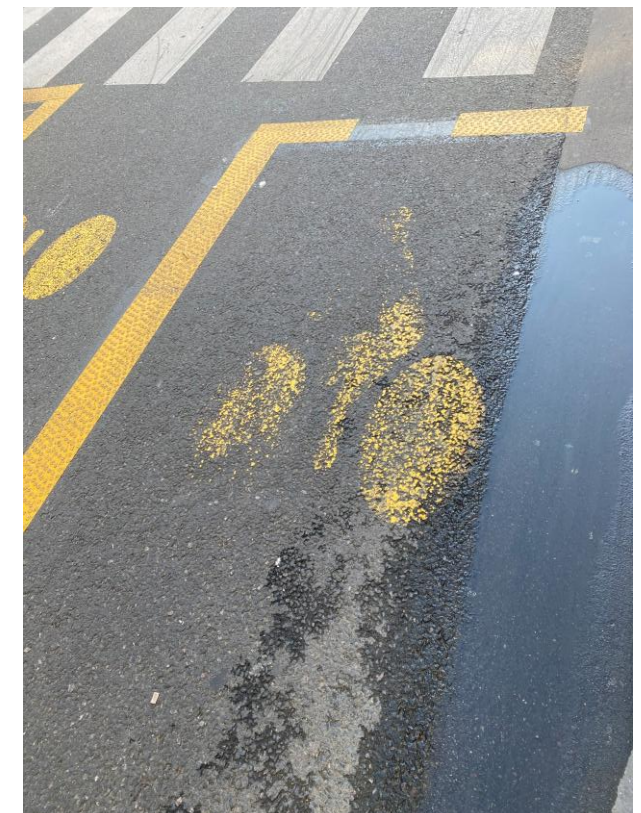
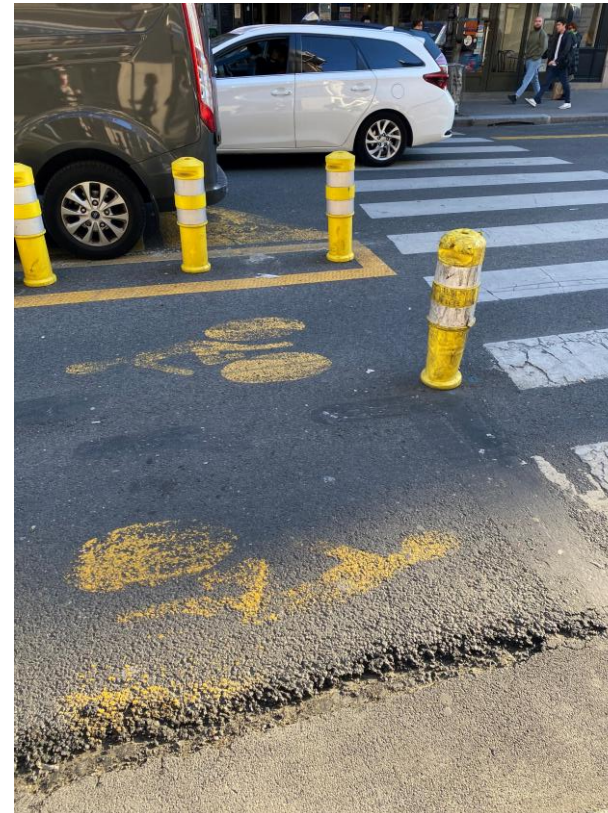
Observations et interviews usagers terrain - Octobre 2021, Paris



Balard

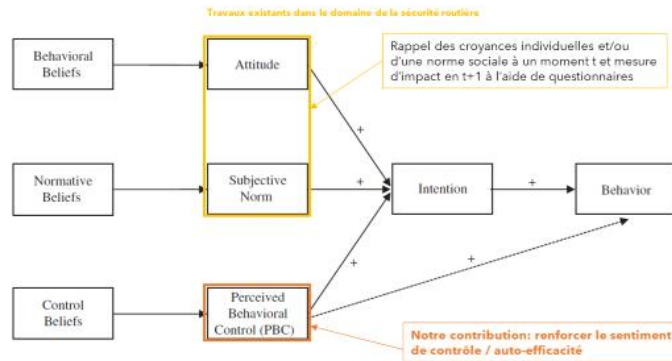


Rue Lafayette





A quel moment de la décision intervenir ? Les apports de la TPB (theory of planned behavior)



Théorie de la planification comportementale

La théorie de la planification comportementale met en avant trois principaux facteurs à la base des intentions et des comportements individuels et collectifs.

Les attitudes personnelles



Les études existantes considèrent PBC comme une variable de contrôle (ou variable médiatrice) qui explique la relation entre une var. indépendante et une var. dépendante.

Le contrôle perçu est mesuré à l'aide de questionnaires avant ou après une intervention.

Les attitudes personnelles sont déterminées par les coûts et les bénéfices associés au comportement en question. Par exemple, si le respect du code de la route est associé avec des récompenses importantes (sociales ou économiques), alors l'individu développera une attitude plus favorable vis-à-vis du respect des règles dans le domaine de la sécurité routière.

Les normes sociales



Les normes sociales sont le produit de l'observation des choix des autres (d'un groupe de référence) mais aussi des croyances sur ce que les autres pensent qu'il est acceptable de faire. Par exemple, le comportement au volant est influencé par la conduite des autres chauffeurs mais aussi par l'approbation sociale du respect et des déviations du code de la route.

Le contrôle perçu (perceived behavioral control)



Le contrôle perçu est défini comme la croyance que le comportement en question peut être mis en œuvre par l'individu. Ces croyances sont déterminées par les obstacles et les éléments facilitateurs perçus. Par exemple, le respect des priorités à une intersection sera influencé par la facilité (perçue) de repérer les autres usagers de la route.

Le sentiment de contrôle / auto-efficacité

Le sentiment de contrôle personnel perçu consiste à croire que, grâce à nos capacités et à nos actions, nous pouvons atteindre nos objectifs et éviter les événements désagréables.

Le contrôle perçu

- Croyance en la maîtrise d'un problème ou d'un stresser particulier. Consiste à croire que l'on dispose des ressources personnelles permettant d'affronter et de maîtriser les événements.
- Evaluation de la situation (incluant le stress perçu)
- Evaluation des ressources lui permettant de faire face (incluant contrôle perçu et soutien social perçu)
- Stratégies pour modifier la situation
 - Coping centré sur le problème
 - Coping centré sur l'émotion

L'auto-efficacité :

Croyance des individus en leur capacité à mobiliser les ressources nécessaires pour maîtriser certaines situations et y réussir.

Les individus évaluent leur efficacité sur la base de leurs expériences antérieures de succès ou d'échecs dans une activité donnée mais aussi de l'observation des expériences d'autrui.

Créer

Un atelier de co-création - Décembre 2021

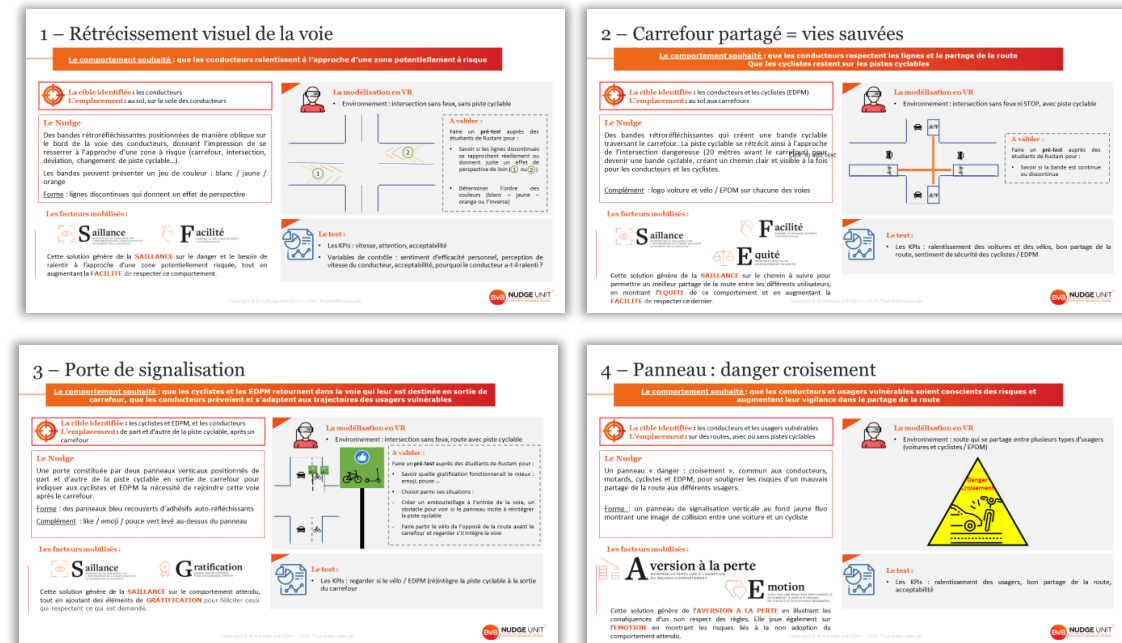
Inputs : les éléments de la phase d'inspiration



Un atelier de créativité, stimulé par les éléments de la phase d'inspiration et les outils sciences comportementales de BVA Nudge Consulting



Outputs : les idées d'interventions comportementales



2



Créer

Optimiser

Une signalétique rétro réfléchissante qui s'appuie sur l'anticipation et la gratitude - 2022-début 2023

3



Optimiser

À partir des outputs de la réunion de créativité, des nouvelles signalisations ont été imaginées, rétro réfléchissantes (signalisations verticales) et hautement rétro réfléchissante (signalétique horizontale) pour la nuit.

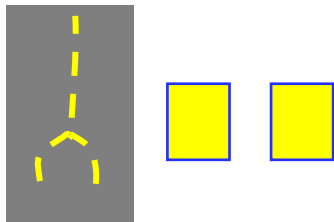
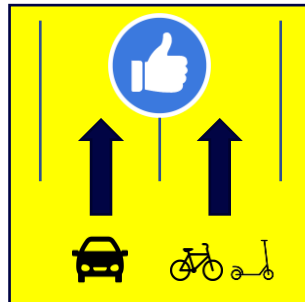
Ce nouvel usage de la signalétique et les nouveaux panneaux créés proposent des **nouveaux symboles** à messages spécifiques :

- **Anticipation**, avant l'intersection
- **Gratitude**, après l'intersection.

Anticipation



Gratitude



Puis cette signalétique a été intégrée dans l'outil de simulation :



Optimiser

Répliquer dans la simulation le niveau de visibilité de l'innovation 3M : 3M™ STAMARK™ 380AW

3



Optimiser

 **Science.
Applied to Life.™**

SOLUTIONS ENLEVABLES



Rapide à poser



Facile à enlever



02

EVALUER

La phase expérimentale en détail

4



Évaluer

Une expérimentation en laboratoire, sur simulateur

fin 2023 - début 2024

2 conditions expérimentales, dans un environnement urbain, de nuit :

1. Groupe de contrôle (piste ciblable normale), n=25
2. Groupe test (signalétique horizontale et verticale), n=25

NB : La condition expérimentale avec uniquement la signalétique horizontale a été abandonnée en cours d'expérimentation pour optimiser la taille des échantillons des 2 autres groupes, après un premier traitement exploratoire laissant supposer que son apport serait limité.

3 variables mesurées pour 3 marqueurs de l'impact des interventions comportementales en termes de prise de risque :

- La **vitesse de circulation** (marqueur de risque)
Hypothèse H1 : La vitesse de circulation en place diminuent
- Le **nombre de feux** (marqueur de risque)
Hypothèse H2 : Le nombre de feux en place diminuent
- Le **nombre de collisions** (marqueur de risque)
Hypothèse H3 : Le nombre de collisions en place diminuent
EN VALIDÉE



Le protocole d'expérimentation

Inciter à la prise de risque pour favoriser l'observation d'évènements rares

Le protocole issu de l'économie comportementale s'appuie sur une incitation monétaire. **Les participants sont incités à réaliser le parcours le plus rapidement possible, avec un enjeu monétaire (tirage au sort) fonction du temps mis** pour réaliser le parcours et des éventuelles collisions. Les participants sont incités à prendre des risques et non à respecter le code de la route. Il n'y a pas de sanction en cas de non respect de ce dernier. L'objectif étant de provoquer des situations de prise de risque, en laboratoire, plus fréquentes que dans la réalité, afin de disposer d'un nombre d'observations suffisant de ce qui sont habituellement des évènements rares.

Rappel de la consigne donnée aux participants :

Nous vous demandons de faire un circuit d'environ 5 kilomètres à vélo. En plus de la rémunération de 50€ pour votre participation, vous avez une chance de gagner un bonus. En effet, à la fin de l'expérience, un des participants sera choisi au hasard et le bonus lui sera versé en liquide ou via Lydia.

Le montant du bonus va dépendre du temps que vous mettrez pour faire tout le circuit à vélo. Plus vite vous complétez le circuit, plus votre bonus sera élevé. Concrètement, vous démarrez l'expérience avec une cagnotte qui contient 100€. Chaque minute passée sur le circuit vous coûte 5€. Ainsi, une fois l'expérience démarrée, après chaque minute, nous déduisons 5€ de votre cagnotte qui initialement contenait 100€. Par exemple, si vous complétez le circuit en 10 minutes, nous déduisons 50€ (10min x 5€) de la cagnotte et vous recevrez 50€ (si vous êtes tiré au sort). Mais si vous complétez le circuit en 20 minutes, nous déduisons 100€ (20min x 5€) de la cagnotte, ce qui veut dire que votre bonus sera de 0€.

Dans des essais réalisés auparavant, nous avons constaté qu'il faut entre 10 et 20 minutes pour compléter le circuit.

Attention, le circuit comporte d'autres usagers ainsi que des feux de circulation. Si jamais vous entrez en collision avec un autre usager de la route (par exemple, une voiture), vous aurez une pénalité d'une minute (5€). Il n'est pas interdit de passer à un feu rouge, mais vous risquez d'avoir un accident.

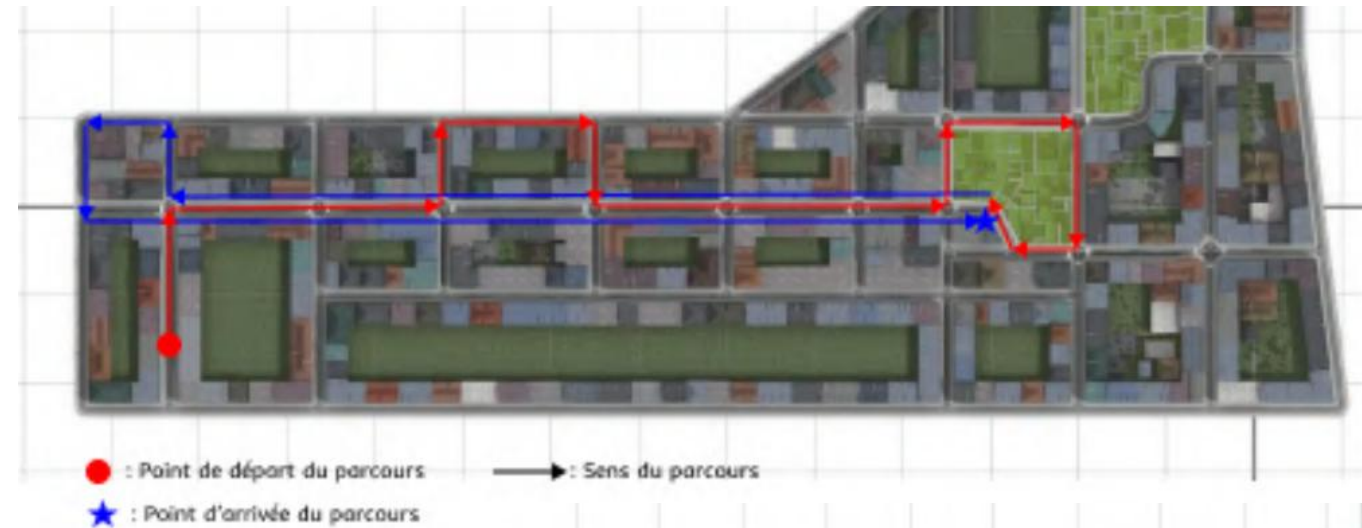
Notez que, dans le cadre de cette expérience, vous n'aurez pas de gain négatif (ou perte nette). Par exemple, si vous mettez 30 minutes pour compléter le circuit, le bonus sera toujours de 0€ et non pas de $30 \times (-5) = -150$.

A vous de jouer !

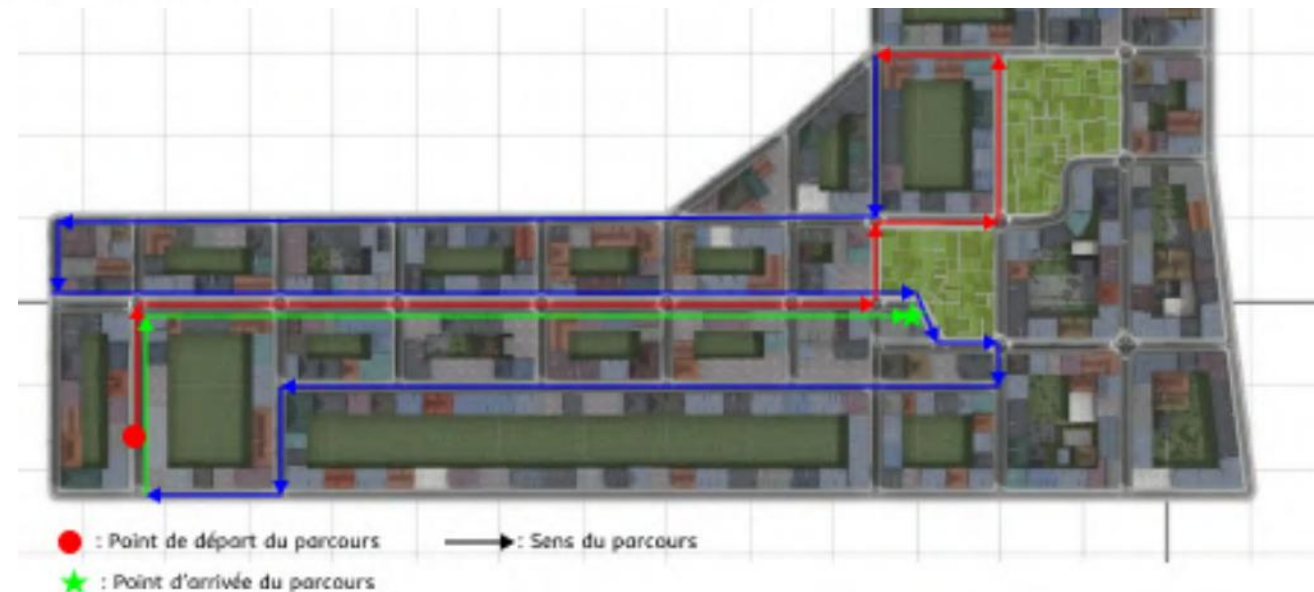
Parcours sur simulateur : chaque participant fait un parcours sur simulateur vélo puis un parcours sur simulateur voiture, ou inversement

2 observations pour 1 participant

- Parcours vélo

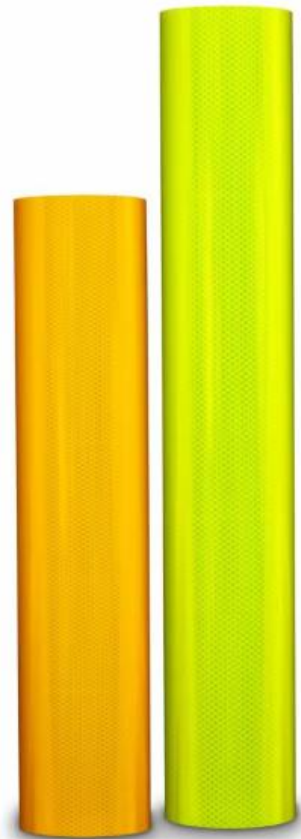


- Parcours voiture



Matériaux 3M hautement retro-réfléchissants pour la signalisation horizontale et verticale reproduit sur la simulation

Implémenter autrement l'innovation technologique



Synthèse des travaux menés pour l'expérimentation sur simulateurs

Construction pierre après pierre

Partie technique

- *Reprise d'un environnement virtuel existant et passage en condition nocturne : ajout des lampadaires.*
NB: cette reprise d'un environnement virtuel existant est lié à des choix budgétaires et n'a pas permis de faire un carrefour avec virage à gauche pour étudier le comportement des usagers dans ce scenario.
- *Programmation des scenarii expérimentaux pour les différentes intersections : feux et véhicules*
- *Programmation du "leaderboard" affichant le score des meilleurs participants*
- *Insertion de la signalisation verticale et horizontale spécifique au projet*
- *Création d'un "shader" permettant de simuler les effets du marquage hautement rétroréfléchissant*
- *Programmation de l'enregistrement des données utiles au projet (collisions, feux grillés...)*

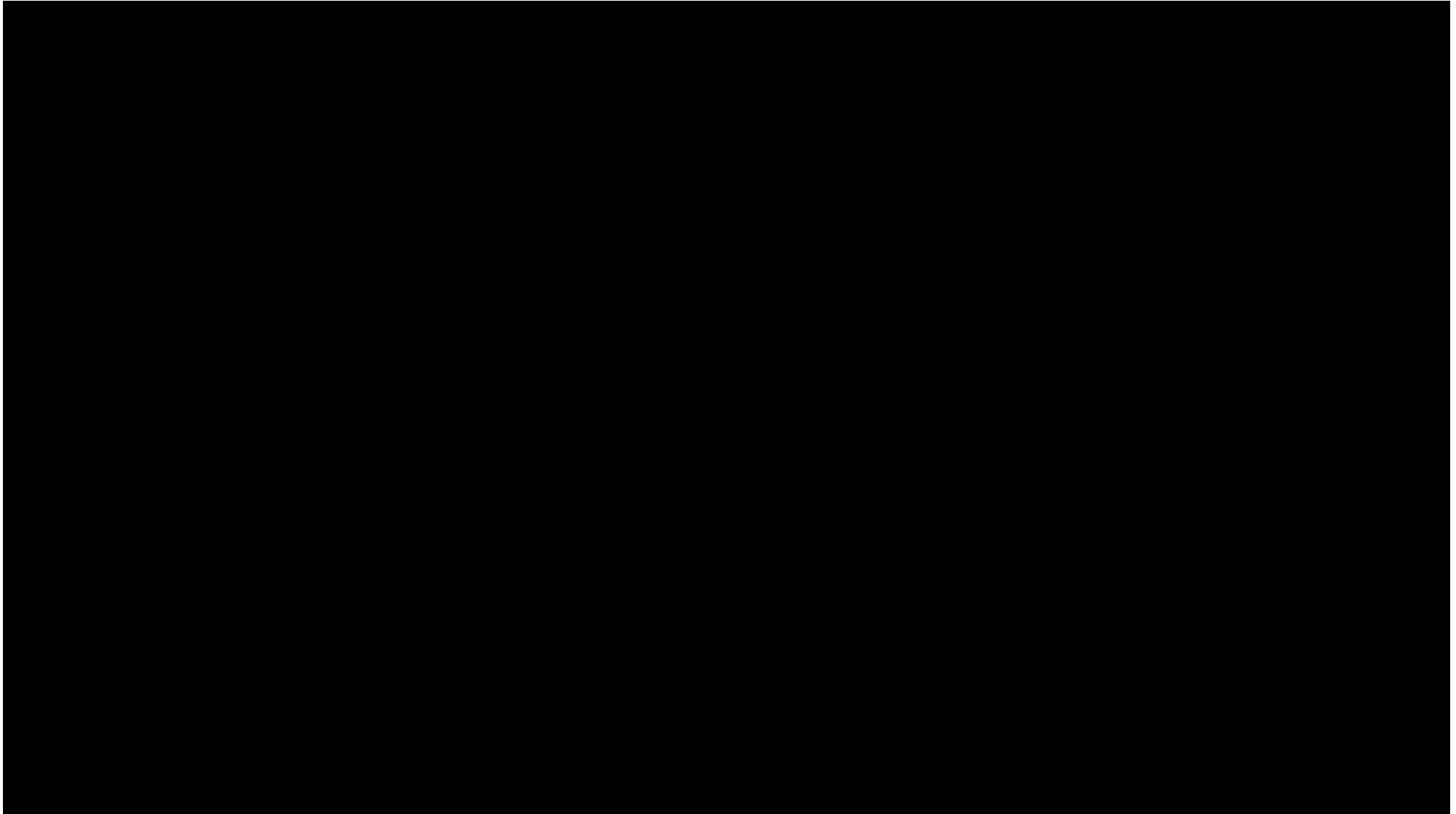
Partie expérimentale

- *Demande d'autorisation au comité d'éthique de l'Université Gustave Eiffel*
- *Recrutement de 60 participants et passation sur les deux simulateurs*
- *Analyse des données et traitements statistiques*

*Nous tenons à remercier Kellian, Adrien et Alexandre
pour le travail réalisé dans le cadre de cette expérimentation*

Extrait vidéo de l'expérimentation menée

Les participants à vélo et en voiture



Modalité de test des hypothèses

Les marqueurs de la diminution du risque

Hypothèse H1 : Les interventions comportementales mises en place diminuent la vitesse de circulation.

La **vitesse de circulation** est mesurée par la vitesse moyenne, la vitesse médiane et le 85^{ème} percentile.

- L'unité statistique utilisée est le **parcours**, n=25 par groupe

Hypothèse H2 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de feux grillés

Le **nombre de feux grillés** est comptabilisé selon deux manières, en fonction des 2 unités statistiques retenues :

- L'unité statistique utilisée est le **parcours** – nombre de feux grillé lors du parcours, n=25 par groupe
- L'unité statistique utilisée et le **feu** (plusieurs feux pour un parcours) – feu grillé ou non pour chaque interaction participant x feu, n=700 au total

Hypothèse H3 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de personnes qui ont au moins une collision

Le **nombre de personnes qui ont au moins une collision** est simplement comptabilisé

- L'unité statistique utilisée est le **parcours** – présence de collision lors du parcours (valeur binaire), n=25 par groupe

Remarques préalables

Avant de commencer l'analyse

- La consigne visant à susciter la prise de risque dans les 2 conditions expérimentales a fonctionné : presque tous les participants grillent les feux ;
- Bien que le nombre de collisions soit plus important que ce que cela ne serait dans la réalité, ce nombre reste faible, et l'évènement rare (1,2 collision en moyenne par participant pour les deux parcours, pour environ 230 véhicules rencontrés);
- Limite de la recherche : les résultats sont valables en laboratoire et nécessiteraient une validation sur le terrain, même si tout laisse à penser que les effets observés seraient de même sens, mais probablement de moindre ampleur au regard de la consigne encourageant la prise de risque, possible en laboratoire, mais pas en condition réelle.

Hypothèse H1 : Les interventions comportementales mises en place diminuent la vitesse de circulation.

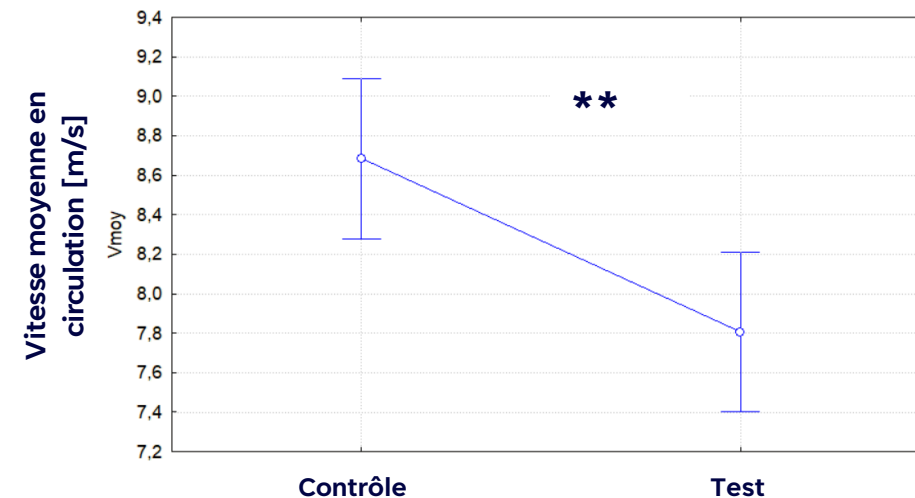


Validée

Quelle que soit la mesure (vitesse moyenne, médiane ou 85^{ème} percentile), l'écart de vitesse entre le groupe contrôle et le groupe test est significatif. La vitesse de circulation est significativement inférieure en condition de test, avec les interventions comportementales, par rapport à la condition de contrôle. L'hypothèse H1 est validée.

➔ Les interventions comportementales diminuent la prise de risque mesurée par la vitesse.

Une vitesse de circulation moyenne diminuée de 10% en voiture et à vélo grâce aux interventions comportementales :
-4.3km/h en voiture
et -2km/h à vélo



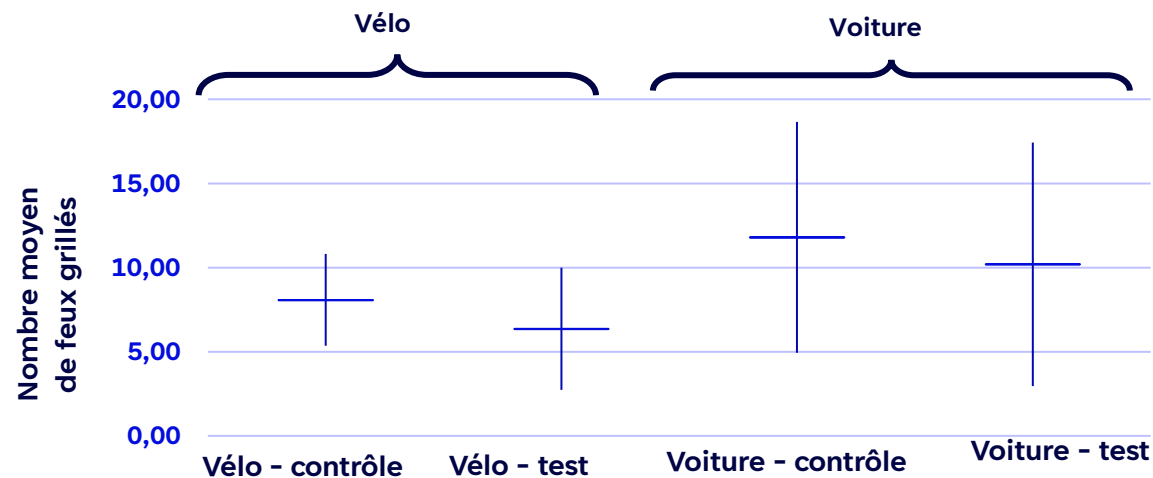
ANOVA factorielle 2, indique un effet de la condition expérimentale $F(1,96)=9.26$, $p<.005$
Effets également significatifs pour la vitesse médiane ($p<.0002$) et le 85^{ème} percentile ($p<.02$)

Hypothèse H2 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de feux grillés



Validée

Une première analyse sur l'unité statistique « parcours » montre une tendance non significative à la baisse du nombre de feux grillés entre le groupe contrôle et le groupe test. Le nombre de feux grillés est non significativement inférieur en condition de test, avec les interventions comportementales, par rapport à la condition de contrôle



Afin de valider ou non statistiquement cette tendance, une analyse sur l'unité statistique « feu » a été réalisée. Cela revient à considérer que les participants prennent une nouvelle décision à chaque feu

Hypothèse H2 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de feux grillés



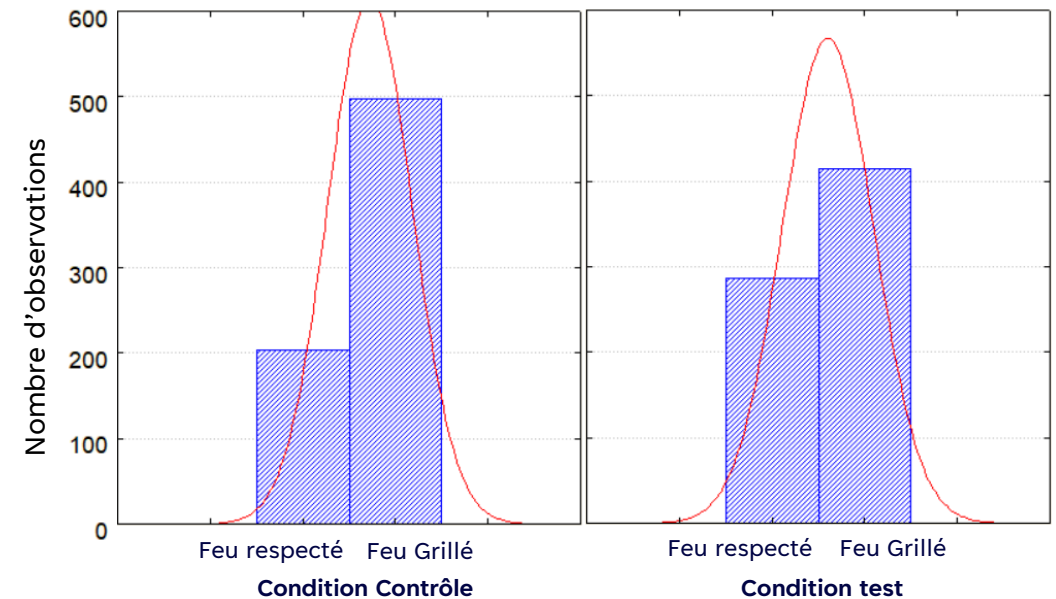
Validée

Une seconde analyse sur l'unité statistique « feu » montre une tendance significative à la baisse du nombre de feux grillés entre le groupe contrôle et le groupe test. Le nombre de feux grillés est significativement inférieur en condition de test, avec les interventions comportementales, par rapport à la condition de contrôle. L'hypothèse H2 est validée.

→ Les interventions comportementales diminuent la prise de risque mesurée par le nombre de feux grillés.

Un nombre de feux grillés en diminution de **13.5%** grâce aux interventions comportementales en voiture

Un nombre de feux grillés en diminution de **21%** grâce aux interventions comportementales à vélo



Test de Mann-Whitney, indique un effet de la condition expérimentale ($p < .0002$)
Également significatif avec chacun des parcours vélo ($p < .0001$) et voiture ($p < .01$).

Hypothèse H3 : Les interventions comportementales mises en place diminuent le nombre de personnes ayant au moins une collision

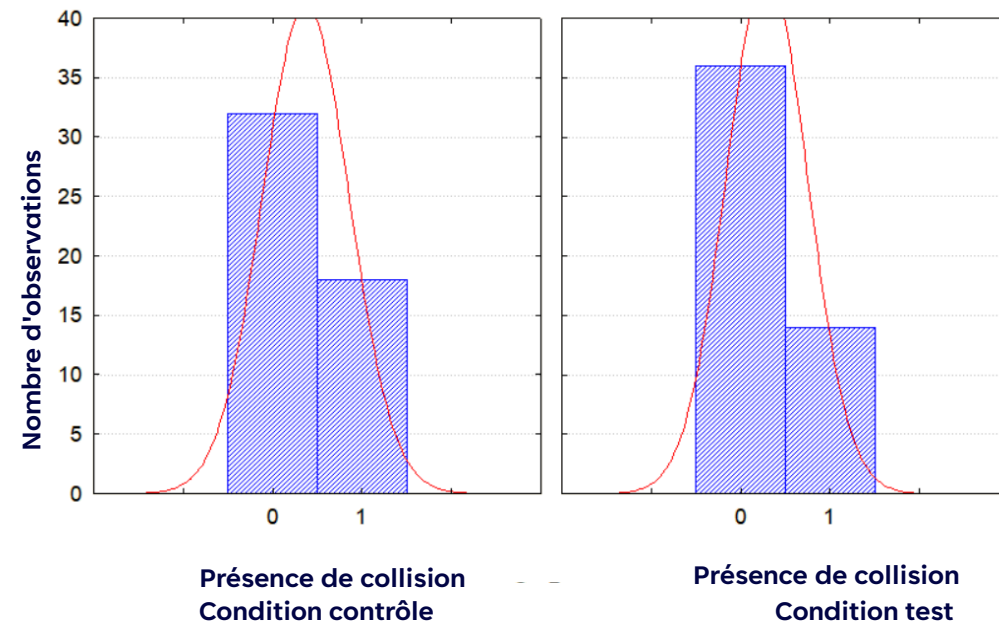


Non validée

Le nombre de personnes ayant au moins une collision est inférieur en condition de test, avec les interventions comportementales, par rapport à la condition de contrôle. Cette tendance n'est cependant pas significative. L'hypothèse H3 n'est pas validée.



Les interventions comportementales ne diminuent pas la prise de risque mesurée par le nombre de personnes ayant au moins une collision.



En synthèse

Ce qu'il faut retenir

Dans les conditions de l'expérimentation, les interventions comportementales ont permis :

- De réduire la vitesse de circulation sur le parcours (sur les périodes de circulation) de 10%
- D'améliorer le respect des feux (en considérant une observation par feu) de 17%
- De diminuer le nombre de personnes ayant au moins une collision, mais de manière non statistiquement significative.
- De mettre au jour un effet de contagion : la vigilance globale est augmentée au-delà des messages des panneaux qui ne portent pas directement sur la vitesse et le respect des feux .

Ces résultats sont corroborés par les observations de l'expérimentateur.



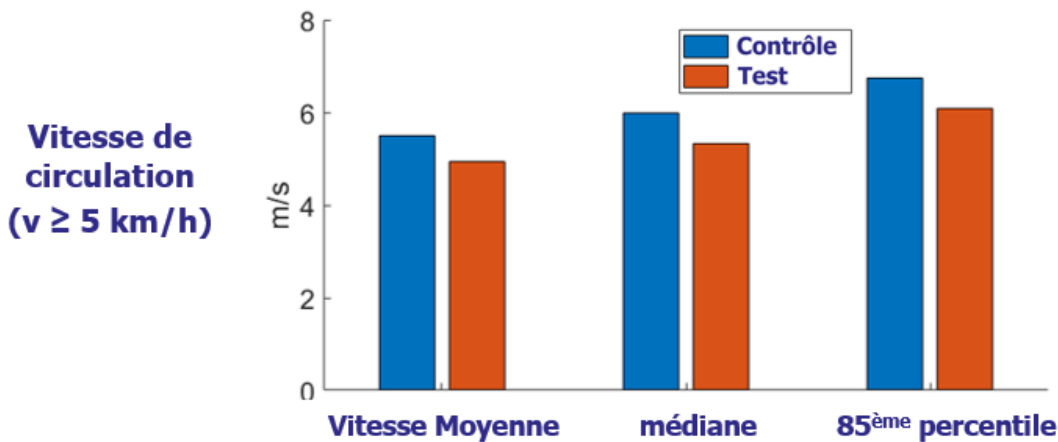
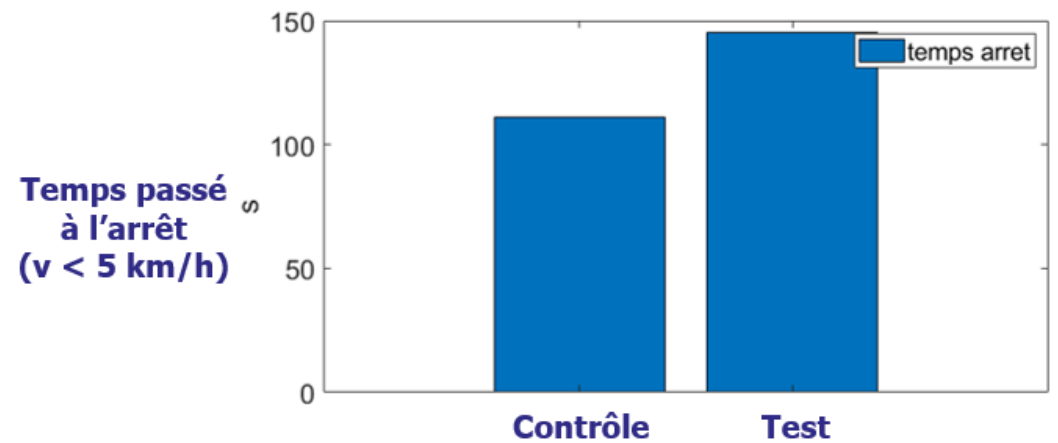
LES PROCHAINES ÉTAPES ?

Vers des actions de communication ?

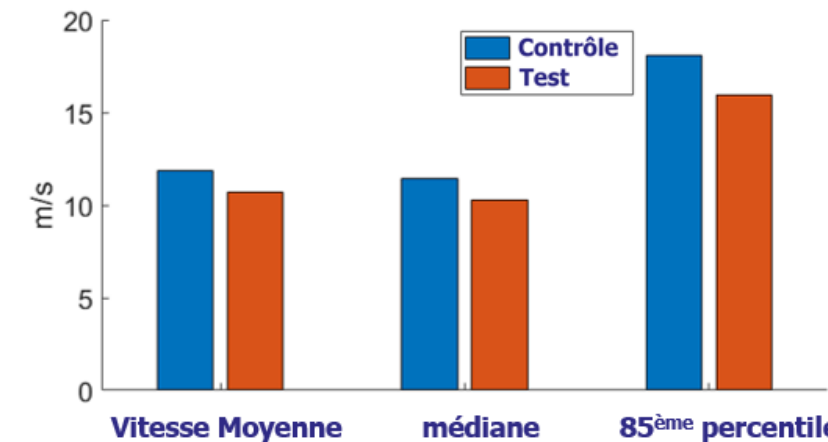
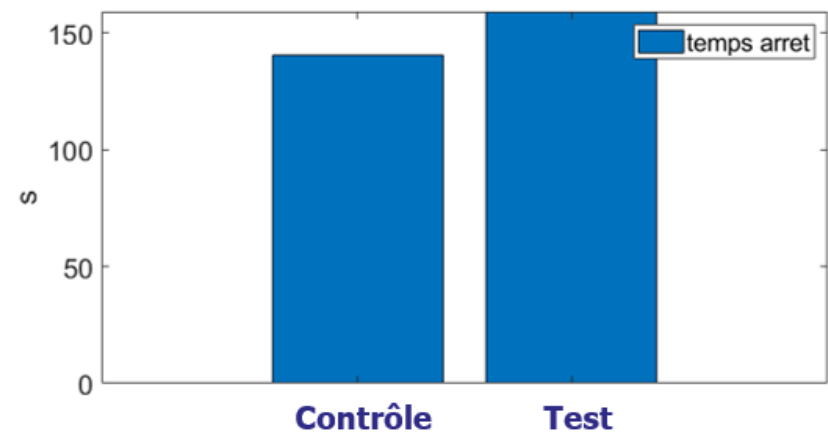
ANNEXE

Périodes d'arrêt vs. périodes circulation

Vélo



Voiture

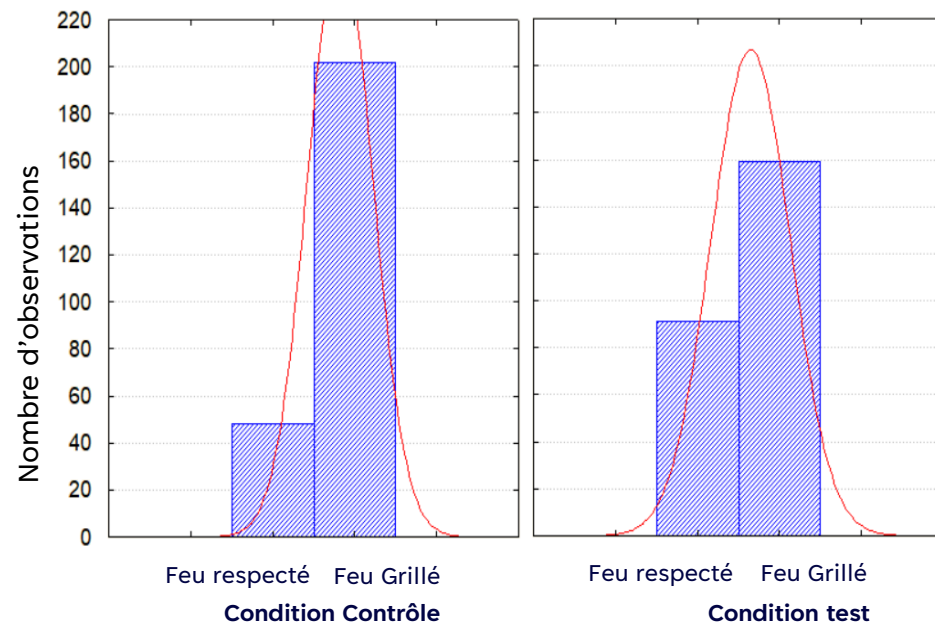


ANOVA factorielle 2 indique un effet de la condition expérimentale pour le temps passé à l'arrêt ($F(1,96)=4.37, p<.05$)
ANOVA factorielle 2 indique un effet de la condition expérimentale pour la vitesse de circulation moyenne ($F(1,96)=9.26, p<.005$), médiane ($F(1,96)=15.22, p<.0002$) et pour le 85ème percentile de la vitesse de circulation ($F(1,96)=6.03, p<.02$).

Nombre de feux grillés : séparation du parcours vélo et du parcours voiture

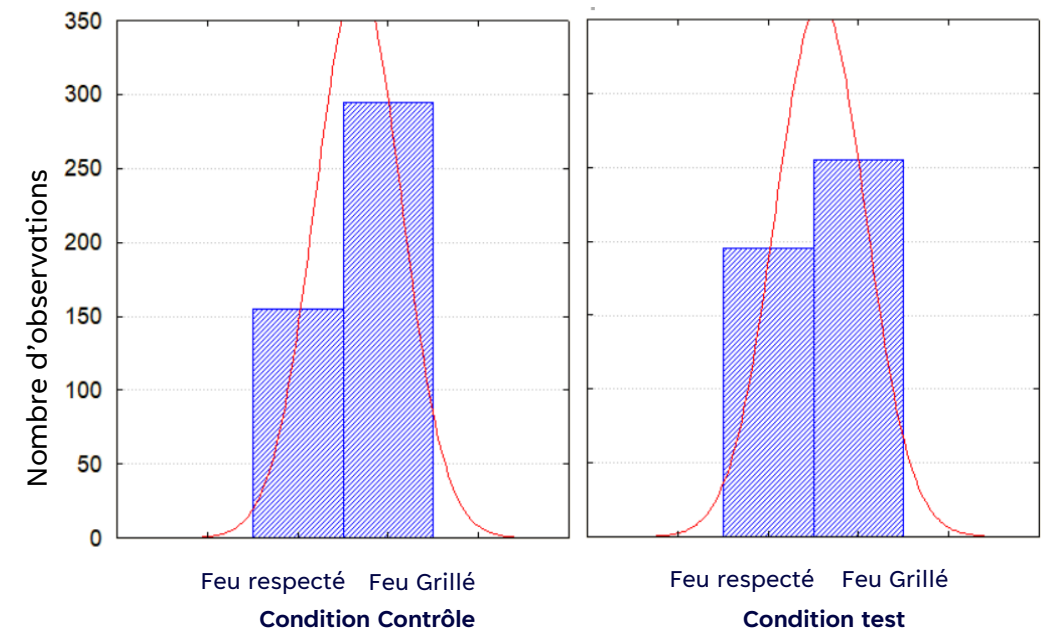
Validée

Vélo



Test de Mann-Whitney, indique un effet de la condition expérimentale ($p < .0001$)

Voiture



Test de Mann-Whitney, indique un effet de la condition expérimentale ($p < .01$)

Nombre de feux grillés : analyse plus fine de la traversée du carrefour

3 cas possibles : 0: arrêt avant le feu

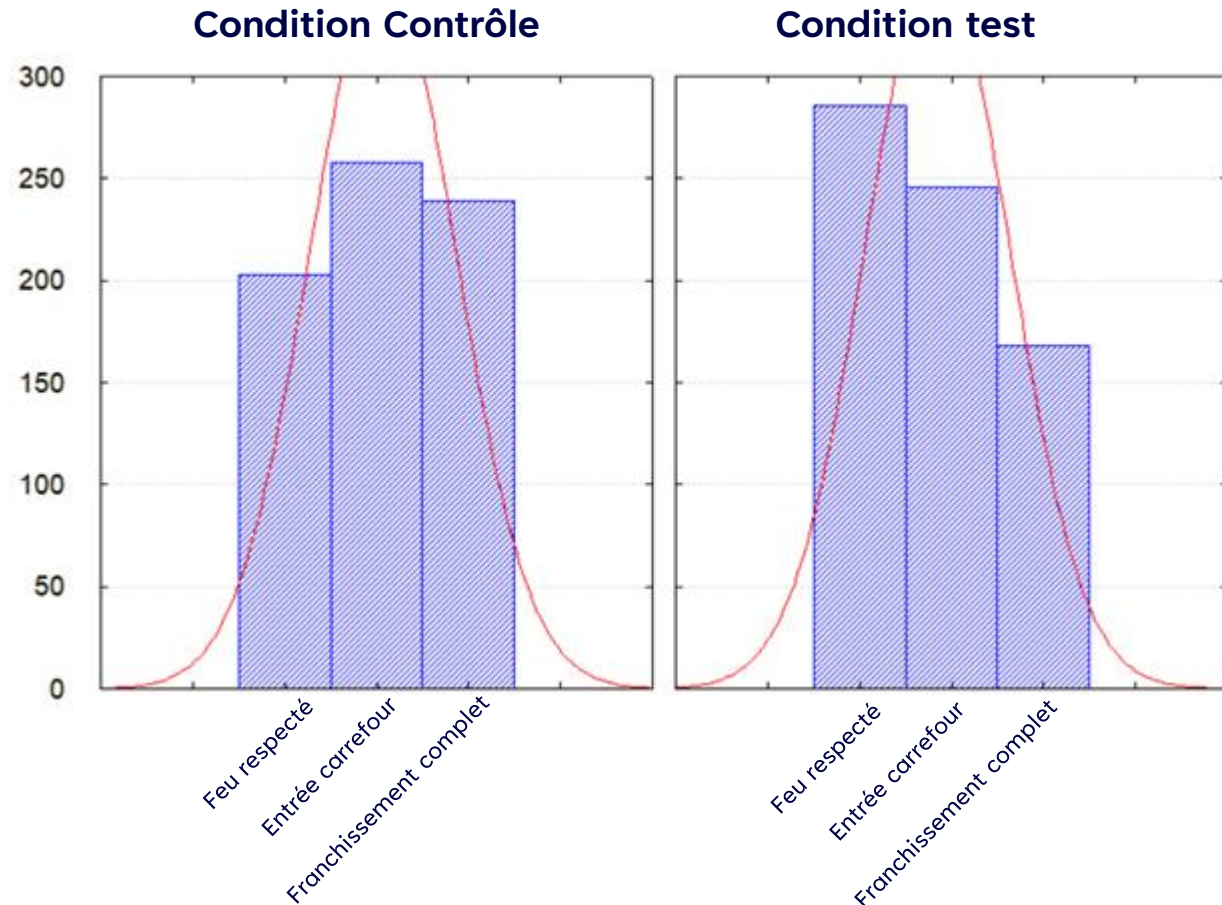
1: entrée dans le carrefour alors que le feu est rouge

2: franchissement complet du carrefour alors que le feu est rouge

Test de Mann-Whitney indique un effet de la condition expérimentale ($p < .0001$).

Également significatif avec chacun des parcours vélo ($p < .0001$) et voiture ($p < .002$).

-> Le traitement a un effet sur la stratégie de traversée des intersections par les participants allant dans le sens d'un meilleur respect des feux et d'une prise de risques atténuée.



Typologie des participants

Equilibre entre les groupes

Les participants étaient 26 femmes et 24 hommes, âgés en moyenne de 26,9 ans (19 à 41 ans, $\sigma=6,5$)

Les groupes contrôle et test ont été équilibrés en utilisant les sous-échelles "Violations ordinaires" et "Violations agressives" de la traduction française du Driver Behavior Questionnaire (Guého et al., 2014).

Le sexe était équilibré dans les groupes contrôle (12 femmes/13 hommes) et test (14 femmes/11 hommes)

L'âge était équilibré entre les groupes contrôle (25,2 ans) et test (28,5 ans) ainsi que les fréquences déclarées de conduite de vélo et de voiture.