



HAL
open science

Usage des simulateurs de déplacement dans un institut de recherches finalisées

Stéphane Caro, Céline Mateev, Isabelle Aillerie, Stéphane Aillerie,
Nguyen-Thong Dang, Daniel Ndiaye, Fabrice Vienne

► **To cite this version:**

Stéphane Caro, Céline Mateev, Isabelle Aillerie, Stéphane Aillerie, Nguyen-Thong Dang, et al.. Usage des simulateurs de déplacement dans un institut de recherches finalisées. SELF 2017 - 52^{ème} Congrès International de la Société d'Ergonomie de Langue Française, Sep 2017, Toulouse, France. pp.449-453. hal-01593377

HAL Id: hal-01593377

<https://hal.science/hal-01593377>

Submitted on 26 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Texte original*.

Usage des simulateurs de déplacement dans un institut de recherches finalisées

Stéphane CARO¹, Céline MATEEV², Isabelle AILLERIE¹, Stéphane AILLERIE¹,
Nguyen-Thong DANG¹, Daniel NDIAYE¹, Fabrice VIENNE¹

Université Paris-Est, COSYS, LEPSIS, IFSTTAR, F-77447 Marne-la-Vallée, France ; stephane.caro@ifsttar.fr

Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI), Arts et Métiers ParisTech, 151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France ; celine.mateev@ensam.eu

Les simulateurs de conduite et plus largement, les simulateurs de déplacement, peuvent être utilisés pour étudier le comportement des usagers de la route en reproduisant les caractéristiques du monde réel. La reproduction du monde réel ne peut toutefois être que partielle, ce qui soulève la question de la validité des expérimentations. Nous nous sommes intéressés à la façon dont elles sont mises en œuvre. Une revue des expérimentations menées sur les simulateurs de déplacement de l'IFSTTAR sur une période de 3 ans a été menée, ainsi que trois entretiens avec des expérimentateurs. Les résultats indiquent d'une part que les recherches menées sur simulateur portent sur un champ relativement restreint et d'autre part, que la nature de la question de recherche permet le plus souvent de prédire le type de protocole mis en œuvre. Les choix méthodologiques opérés pourraient en fait être le fruit d'un compromis entre la validité interne et la validité externe de l'expérimentation.

Mots-clés : utilisation de simulateurs, étude de méthode, conception expérimentale

Use of displacement simulators

Driving simulators and, more broadly, displacement simulators can be used to study the behavior of road users by reproducing the characteristics of the real world. The reproduction of the real world can only be partial, raising the question of the experiments' validity. We are interested in how experiments are implemented on these tools. A review of the experiments conducted with the IFSTTAR's displacement simulators over a 3 years period was carried out, as well as three interviews with experimenters. The results indicate that the conducted researches focus on a limited research area. They also indicate that it is often possible to predict the type of protocol implemented from the nature of the research question. The methodological choices could in fact be the result of a compromise between the internal validity and the external validity of the experiment.

Keywords: use of simulators, method study, experimental design, observation techniques

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Toulouse du 20 au 22 septembre 2017. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

Caro, S., Mateev, C., Aillerie, I., Aillerie, S., Dang, N.T., Ndiaye, D. & Vienne, F. (2017). Usage des simulateurs de déplacement. 52^{ème} Congrès de la SELF - Présent et Futur de l'Ergonomie (Toulouse, 20-22 septembre).

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

INTRODUCTION

Contrairement à ce qu'indique leur nom, les simulateurs de conduite et plus largement les simulateurs de déplacement, ne servent pas à proprement parler à simuler la conduite. Ils servent, avant tout, à fournir un environnement virtuel dans lequel des participants peuvent conduire et se déplacer au moyen d'une interface. Le monde réel est ainsi remplacé par un environnement de synthèse obtenu par simulation.

Ces dispositifs de réalité virtuelle permettent de contrôler l'environnement ainsi que le comportement des agents virtuels. Il est possible de placer des participants dans des situations particulières que l'on souhaite étudier et de reproduire ces situations d'intérêt autant que nécessaire. Les simulateurs fournissent par ailleurs une information fine sur le déplacement des participants dans le monde virtuel et permettent d'enregistrer leurs actions sur l'interface de déplacement (i.e., le poste de conduite). Les avantages de ces outils les amènent à être utilisés dans le cadre de recherches sur les transports.

Avantages et limites des simulateurs

Dans le cadre de ces recherches, il est possible de faire appel à des participants et de les confronter à des situations à risque, voire, des situations d'accident sans danger réel pour eux. Ces situations qui ne se présentent habituellement que par un concours de circonstances défavorable peuvent être construites de toutes pièces en contrôlant les conditions environnementales et le comportement des autres usagers. Les expérimentateurs peuvent ainsi recueillir les données d'intérêt pour des durées d'expérimentations relativement courtes (Nyssen, 2005).

Les différences entre l'environnement réel et l'environnement simulé peuvent être vues comme des avantages dans la mesure où elles permettent de mener des recherches qui seraient impossibles en situation réelle. Elles peuvent également être vues comme des limites dans la mesure où

elles sont susceptibles d'affecter la perception de l'environnement, le contrôle du déplacement, ou plus largement, le comportement dans l'environnement virtuel. On peut alors s'interroger sur les limites des simulateurs dans la mesure où l'activité de conduite est transformée compte tenu de l'écart avec les situations réelles (Mateev et al., 2014).

Vienne et al. (2014) ont proposé de décomposer en quatre niveaux les interactions entre les participants et l'environnement expérimental, tel que présenté sur la figure 1. Pour chacun de ces niveaux, l'inadéquation de l'environnement expérimental par rapport à l'environnement réel habituel est susceptible d'affecter les résultats expérimentaux.

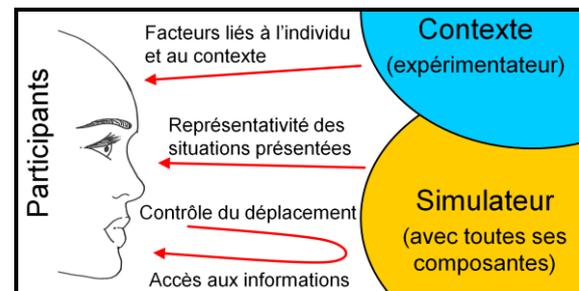


Figure 1 : Hiérarchisation en quatre niveaux des interactions entre les participants (à gauche) et le simulateur (à droite), incluant l'ensemble de ses composantes (en jaune) et le contexte expérimental (en bleu). Les quatre niveaux d'interactions sont représentés par les flèches rouges, entre participants et simulateur.

Sur la question de la validité des simulateurs, une littérature abondante porte sur les dispositifs de restitutions sensorielles, garantissant aux participants l'accès aux informations pertinentes (e.g., Kemeny & Panerai, 2003). Kaptein et al. (1996) abordent la validité des expérimentations en distinguant la validité interne, liée à l'interprétation des résultats expérimentaux et la validité externe, liée à leur généralisation aux situations de conduite réelles. Selon Hoc (2001), la validité écologique est un aspect particulier de la validité externe. Elle concerne la représentativité des situations expérimentales présentées aux participants, tel que mentionné sur la figure 1.

D'autres auteurs enfin, adoptent une approche centrée sur l'activité des participants et leurs interactions avec les expérimentateurs (Mateev et al., 2014).

Quelles conséquences sur les protocoles expérimentaux ?

Il est du ressort de l'expérimentateur de tirer parti des avantages des simulateurs tout en contournant et en palliant leurs limites. Une palette de techniques relevant généralement des méthodes utilisées en psychologie expérimentale permettent d'y parvenir. Citons à titre d'exemple, le choix de consignes appropriées, la familiarisation des participants avec l'outil et les consignes ainsi que l'entretien post-expérimental qui pourra dans une certaine mesure, prévenir les erreurs d'interprétation.

Le travail présenté ici vise à établir un état des lieux sur la façon dont les simulateurs sont utilisés. Il vise plus spécifiquement à déterminer comment les recherches y sont mises en œuvre.

SITUATION ET METHODES

Terrain

Une partie des recherches menées à l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) porte sur des questions de mobilité et de sécurité routière et s'appuient, pour certaines d'entre-elles, sur les simulateurs de déplacement présents dans l'institut. Ces simulateurs sont implantés sur quatre sites et concernent différents modes de déplacement : voiture, vélo, marche. Certains de ces équipements sont conséquents (voir figure 2) et d'autres sont plus modestes. Une

équipe de six personnes a en charge la conception, la mise au point et l'exploitation de ces équipements. Les chercheurs qui les utilisent s'appuient, à différents degrés, sur les compétences de cette équipe.

Revue des expérimentations

Des informations relatives aux expériences menées sur les simulateurs de déplacement de l'institut sur une période de trois ans (janvier 2013 - décembre 2015) ont été collectées en s'appuyant sur les rapports d'activité des années concernées ainsi que sur des entretiens avec les agents responsables des simulateurs. Pour une partie d'entre-elles, les chercheurs responsables des expérimentations ont également apporté des compléments d'information.

Les données recueillies concernent le simulateur utilisé, l'objet de l'expérimentation ainsi que les grandes lignes du protocole expérimental. Les données relatives au contexte administratif des recherches et aux développements réalisés ont également été recueillies.

Entretiens complémentaires

Afin de permettre une analyse plus fine, trois chercheurs ayant conduit une expérimentation récemment ont été interviewés. Ils ont été amenés à s'exprimer sur leur question de recherche, sur leurs choix méthodologiques, sur le choix de l'outil ainsi que sur l'impact des avantages et limites de l'outil sur la mise en œuvre de la recherche. Nous leur avons également demandé si une méthodologie différente aurait pu être envisagée.



Figure 2 : Trois exemples de simulateurs de déplacement présents à l'IFSTTAR. De gauche à droite : un simulateur de voiture, un simulateur de vélo et un simulateur de traversée de rue pour piétons.

RESULTATS

51 expérimentations ont été menées sur la période considérée.

Intérêt sociétal et protocole expérimental

En considérant qu'il s'agit d'un descripteur de la question de recherche, les expérimentations ont été classées en six catégories en fonction de leur intérêt sociétal : (1) celles qui portent sur l'identification des facteurs de sécurité et d'insécurité routière, (2) celles qui portent sur l'évaluation de dispositifs d'aide à la conduite et au déplacement, (3) celles qui portent sur l'évaluation des simulateurs et des outils expérimentaux, (4) celles qui portent sur l'évaluation d'aménagements routiers et de signalisations, y compris la signalisation des véhicules, (5) celles qui visent à recueillir des données qui serviront d'entrée pour d'autres travaux et (6), celles qui portent sur des dispositifs de formation ou d'entraînement.

Par ailleurs, les protocoles expérimentaux mis en œuvre ont été classés en trois catégories : (1) ceux composés d'une succession d'essais de courte durée (< 30 secondes), que les participants se déplacent ou non, et que nous appellerons « essais courts », (2) ceux pour lesquels les participants conduisent ou se déplacent dans un environnement simple, que nous appellerons « déplacements simples » et enfin, (3) ceux pour lesquels les participants se déplacent dans un environnement plus complexe, incluant des interactions avec les agents virtuels, que nous appellerons « plus écologiques ». Le tableau 1 montre le nombre d'expérimentations en fonction de leur intérêt sociétal et du type de protocole expérimental mis en œuvre.

	Essais courts	Déplacement simple	Plus écologique	Total
1. Facteurs d'insécurité routière	8	2	6	16
2. Aides au déplacement	1	10	3	14
3. Evaluation simu – outils expé	3	7	1	11
4. Aménagements – Signalisation	4	1	1	6
5. Recueil de données	1	1	1	3
6. Formation – entraînement	0	0	1	1
Total	17	21	13	51

Tableau 1 : Nombre d'expérimentations en fonction de leur intérêt sociétal (lignes) et du type de protocole expérimental mis en œuvre (colonnes).

Niveau d'interaction avec le simulateur

Pour préciser la question de recherche au-delà de son intérêt sociétal, nous avons cherché en nous appuyant sur les éléments disponibles, à déterminer le niveau d'interaction entre le participant et l'environnement auquel elle s'adresse, en reprenant le découpage proposé par Vienne et al. (2014), présenté sur la figure 1. Ont été classées au premier niveau, les recherches portant essentiellement sur la perception de l'environnement pour la prise de décision. Celles classées au second niveau sont celles qui portent essentiellement sur le contrôle du déplacement et, au troisième niveau, celles qui portent sur les interactions avec l'environnement et les autres usagers. Enfin, les recherches portant sur l'effet du contexte ont été classées au quatrième niveau. Certaines recherches adressent plusieurs questions et ont été comptabilisées partiellement dans les niveaux concernés, expliquant la présence de nombre décimaux dans le tableau 2.

Niveau d'interaction	Type de protocole			Total
	Essais courts	Déplacements simples	Plus écologique	
Niveau 1	14	2	0	16
Niveau 2	2,5	17,5	4	24
Niveau 3	0	0	7,5	7,5
Niveau 4	0,5	1,5	1,5	3,5

Tableau 2 : Nombre d'expérimentations en fonction du niveau d'interaction avec l'environnement auquel s'adresse la recherche (lignes) et du type de protocole expérimental mis en œuvre (colonnes).

DISCUSSION

Intérêt sociétal

Les travaux menés sur les simulateurs de l'institut concernent essentiellement,

l'identification des facteurs de sécurité et d'insécurité routière (31%), l'évaluation des aides à la conduite et au déplacement (27%) et l'évaluation des simulateurs eux-mêmes et des outils expérimentaux (22%). Malgré l'étendue des activités de l'institut dans le domaine des transports, les travaux menés sur simulateur portent sur un champ restreint, essentiellement orienté vers les questions de sécurité routière et d'aides au déplacement.

Ce champ applicatif restreint s'explique vraisemblablement par l'utilisation des premiers simulateurs de l'institut sur les questions de sécurité routière. Le développement des outils a alors été guidé et modelé par les besoins exprimés dans ce domaine. Les simulateurs de déplacement pourraient être utilisés à d'autres fins, comme le montre leur utilisation marginale sur d'autres sujets. Cependant, les exigences vis-à-vis des différents composants et des différentes fonctionnalités ne seraient pas nécessairement les mêmes. Il pourrait donc être intéressant d'orienter les développements en fonction des thèmes qui seront traités à l'avenir au sein de l'institut.

Niveau d'interaction avec le simulateur

Les données montrent que les questions de recherche traitées sur simulateur portent principalement (à 78%) sur la perception de l'environnement et le contrôle du déplacement (niveaux 1 et 2). Elles font par ailleurs ressortir (tableau 2) une relation étroite entre la question de recherche, caractérisée par le niveau d'interaction (entre le participant et son environnement) auquel elle s'adresse, et le type de protocole expérimental mis en œuvre. En effet, les travaux portant principalement sur les facteurs perceptifs (niveau 1) se font majoritairement avec des essais courts (à 87%), ceux portant principalement sur le contrôle du déplacement (niveau 2) se font majoritairement avec de la conduite en environnement simple (à 73%) et enfin, ceux portant sur les interactions avec l'environnement (niveau 3) se font exclusivement en environnement « plus écolo-

gique ». Notons enfin que les recherches portant en partie sur le niveau 4 portent également sur l'un des trois autres niveaux. C'est alors ce dernier qui permet de prédire, dans la plupart des cas, le type de protocole mis en œuvre.

Une analyse plus fine sur les expériences qui ne suivent pas ce schéma met en évidence que celles classées dans la catégorie « Niveau 2 – essais courts » portent sur des zones d'intérêt très courtes (e.g., traversée de rue ou d'intersections) imposant l'usage d'essais de courtes durées. De même, les expériences classées dans la catégorie « Niveau 1 – déplacements simples » portent essentiellement sur des situations de collision imminente qui doivent être contextualisées dans des déplacements de plus longue durée.

Il existe donc une relation étroite entre nature de la question de recherche et le type de protocole mis en œuvre. Comme nous allons le voir, nous pensons que le type de protocole sélectionné par les expérimentateurs est le fruit d'un compromis entre différentes contraintes.

Choix méthodologiques

Lorsqu'ils sont interrogés sur leurs choix méthodologiques, les expérimentateurs interviewés considèrent qu'il n'y avait pas de méthode alternative pertinente pour leurs recherches. Bien que permettant de mieux contrôler les variables en jeu et de présenter aux participants un grand nombre de situations, un protocole plus abstrait et centré sur la question de recherche (i.e., situation de laboratoire) ne permet pas d'inclure toutes les composantes de l'activité essentielles à la généralisation des résultats (i.e., à la validité externe). Au contraire, un protocole plus écologique ne permet pas de contrôler suffisamment les variables en jeu (et remet donc en cause la validité interne) et est techniquement plus difficile à mettre en œuvre.

Le type de protocole utilisé serait donc celui qui offre le meilleur compromis entre la validité interne et la validité externe de l'expérimentation, tout en limitant la com-

plexité de mise en œuvre et la durée d'expérimentation.

Par ailleurs, les expérimentateurs interviewés sur leurs choix méthodologiques ont tendance (pour deux d'entre eux) à aborder directement les aspects techniques du protocole expérimental sans évoquer les choix principaux tels que la sélection de l'outil et du type de protocole, qui semblent implicites pour eux. Ils sauraient donc identifier le type de protocole pertinent sans que ça ne leur paraisse comme un choix méthodologique notable. Nous expliquons cela par leur connaissance pointue du domaine s'appuyant sur leur expérience et sur la littérature scientifique.

Portée de l'étude

Le recensement et l'analyse de l'ensemble des expérimentations menées sur simulateur de déplacement, indépendamment de la date et du support de communication des résultats, offre une vision au plus près de l'activité des chercheurs. Il semblerait toutefois pertinent d'étendre ce travail à l'échelle internationale en analysant un ensemble de publications scientifiques. Bien que le terrain de cette étude soit limité aux activités de recherche d'un institut, les méthodes qui y sont utilisées sont le reflet de celles décrites dans la littérature et donc des recherches menées sur le plan international.

Nous avons par ailleurs fait le choix, pour permettre ces analyses, de classer les expérimentations en un nombre restreint de catégories, masquant ainsi leurs spécificités individuelles. Bien qu'elles portent sur un champ thématique restreint, elles sont particulièrement variées, tant dans les questions de recherche posées que dans les détails de leurs mises en œuvre. Certains protocoles originaux méritent, selon nous, d'être mis en avant. Nous retenons en particulier ceux qui placent une partie de l'activité dans l'environnement réel à proximité du participant. Citons à titre d'exemple, la mise en situation professionnelle d'agents autoroutiers dans un espace (réel) reproduisant partiellement un chantier, où ils sont confrontés au trafic envi-

ronnant (virtuel) affiché sur écrans. L'environnement virtuel peut alors être vu comme un prolongement de l'environnement réel proche, dans lequel se situe une partie de l'activité.

Les casques de réalité virtuelle permettent d'établir une continuité sans rupture entre l'environnement proche et l'environnement plus lointain. L'arrivée sur le marché de casques de plus en plus performants, associés à des techniques de capture de mouvement, devrait donc favoriser l'émergence de protocoles originaux profitant de cette continuité entre l'espace personnel (manipulation d'objets) et les espaces plus lointains.

CONCLUSION

A la lumière des éléments présentés et dans le cadre du terrain de notre étude, les simulateurs de déplacements peuvent être vus comme des dispositifs qui permettent, en fonction de contraintes souvent implicites, d'adopter le juste niveau entre les situations expérimentales de laboratoire parfaitement contrôlées et les situations expérimentales plus écologiques.

Leur champ d'utilisation semble être lié aux fonctionnalités disponibles et au degré de perfectionnement des différents composants. Il pourrait donc être pertinent d'orienter les développements en tenant compte des thèmes qui seront traités à l'avenir au sein de l'institut.

BIBLIOGRAPHIE

- Hoc, J.M. (2001). Towards ecological validity of research in cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2 (3), 278-288.
- Kaptein, N.A., Theeuwes, J., Van Der Horst, R. (1996). Driving simulator validity: some considerations. *Transportation Research Record*, 1550.
- Kemeny, A., & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 31-37.
- Mateev, C., Caro, S., Auberlet, J.M., Safin, S., Bationo-Tillon, A., & Decortis,

F. (2014). Analyser l'activité d'expérimentation pour approcher la validité d'une simulation. *Actes du 49^{ème} congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF)*. La Rochelle, FR, 1-3 Octobre.

Nyssen, A. S. (2005). Simulateurs dans le domaine de l'anesthésie : études et réflexions sur les notions de validité et de fidélité. In Pastré, P., *Apprendre par la simulation* (pp. 260-281), Toulouse: Octarès Editions.

Vienne, F., Caro, S., Désiré, L., Auberlet, J.M., Rosey, F., & Dumont, E. (2014). Driving simulator: an innovative tool to test new road infrastructures. *Proceedings of the Transport Research Arena Conference*. Paris, France, April 14-17.