



HAL
open science

Sécurité des usagers de vélos à assistance électrique en ville - Similitudes et dissemblances avec les utilisateurs de vélos traditionnels

Nicolas Clabaux, Jean-Yves Fournier, Anaëlle Pitoiset, Jean Emmanuel Michel, Jean François Peytavin

► To cite this version:

Nicolas Clabaux, Jean-Yves Fournier, Anaëlle Pitoiset, Jean Emmanuel Michel, Jean François Peytavin. Sécurité des usagers de vélos à assistance électrique en ville - Similitudes et dissemblances avec les utilisateurs de vélos traditionnels. RTS. Recherche, transports, sécurité, 2021, Enjeux de sécurité chez les piétons et les cyclistes, 2021, 16p. 10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2021-10 . hal-03363728

HAL Id: hal-03363728

<https://hal.science/hal-03363728>

Submitted on 7 Oct 2021

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

DOSSIER / ISSUE

Enjeux de sécurité chez les piétons et les cyclistes

Safety issues for pedestrians and cyclists

Sécurité des usagers de vélos à assistance électrique en ville Similitudes et dissemblances avec les utilisateurs de vélos traditionnels

Safety of e-bikes in urban areas. Similarities and differences with conventional bicycles**Nicolas Clabaux, Jean-Yves Fournier, Anaëlle Pitoiset, Jean-Emmanuel Michel,
Jean-François Peytavin**

© Univ Gustave Eiffel 2021

Résumé L'usage de vélos à assistance électrique (VAE) a très fortement augmenté depuis le début des années 2010 dans la plupart des pays d'Europe. En France par exemple, il se vend depuis 2015 plus de vélos à assistance électrique que de cyclomoteurs. Près de 400 000 VAE ont été vendus en 2019 sur le territoire national. L'essor de ces véhicules dans les espaces urbains soulève un certain nombre de questions, dont celles relatives à la sécurité routière. L'objectif de la recherche présentée dans cette communication est double : d'une part, faire le point sur les connaissances actuelles sur

les risques liés à l'usage d'un VAE, qu'ils concernent les utilisateurs eux-mêmes ou les autres usagers de l'espace public avec lesquels ils interagissent (en particulier les piétons) ; d'autre part, contribuer à l'amélioration de ces connaissances par l'étude d'un échantillon d'accidents et la mise en évidence d'éventuelles spécificités, notamment dans leurs mécanismes, par rapport aux accidents de vélos traditionnels.

Les investigations se sont appuyées dans un premier temps sur des interrogations systématiques de bases documentaires internationales du champ de la santé, des transports et de la sécurité. Dans un deuxième temps, un échantillon d'accidents survenus entre 2015 et 2017 dans les départements du Rhône, des Bouches-du-Rhône et de Paris a été constitué. Chaque cas a fait l'objet d'une analyse approfondie. L'utilisation du concept de scénario type d'accident a permis de décrire les principales régularités observées dans ces accidents. À titre de comparaison, un second échantillon d'accidents impliquant des usagers de vélos traditionnels, et survenus dans les mêmes départements et au cours des mêmes années, a été constitué.

Les résultats des investigations conduites dans la littérature montrent que, fin 2019, peu de publications scientifiques traitent de la sécurité des usagers de VAE. Les principaux enseignements de cette revue de littérature sont présentés dans l'article. Ces investigations ont également permis de mettre en évidence un certain nombre de lacunes dans la connaissance, en particulier en ce qui concerne les processus à l'œuvre dans les accidents de VAE. L'étude qualitative d'un échantillon d'une centaine de cas d'accidents a permis de contribuer à combler ces lacunes. Les principaux

Nicolas Clabaux (Auteur référent) (✉)
TS2-LMA, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
F-13300 Salon de Provence, France
courriel : nicolas.clabaux@univ-eiffel.fr

Jean-Yves Fournier (✉)
TS2-LMA, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
F-13300 Salon de Provence, France
courriel : jean-yves.fournier@univ-eiffel.fr

Anaëlle Pitoiset (✉)
Cerema Méditerranée - Département Mobilité
Groupe Évaluation des Systèmes de Transport
Pôle d'activités - avenue Albert Einstein
CS 70 499 - 13593 Aix-en-Provence Cedex 3, France.
courriel : anaelle.pitoiset@cerema.fr

Jean-Emmanuel Michel (✉)
TS2-LMA, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
F-13300 Salon de Provence, France
courriel : jean-emmanuel.michel@univ-eiffel.fr

Jean-François Peytavin (✉)
TS2-LMA, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
F-13300 Salon de Provence, France
courriel : jean-francois.peytavin@univ-eiffel.fr

scénarios types d'accidents sont décrits. On n'observe pas de différences significatives avec les scénarios types d'accidents impliquant des vélos traditionnels.

Mots clés vélo à assistance électrique, VAE, vélo, sécurité routière, accident, scénario type

Abstract The use of electrically assisted bicycles (e-bikes) has increased dramatically since the early 2010s in most European countries. In France for example, since 2015 more electric bikes have been sold than mopeds. Nearly 400,000 e-bikes were sold in 2019 in France. The rise of these vehicles in urban spaces raises a number of questions, including those relating to road safety.

The objective of the research presented in this paper is twofold: firstly, do a literature review of safety of e-bike users; secondly to contribute to the improvement of the knowledges by studying a sample of police reports in order to highlighting any specificities, particularly in their mechanisms, compared to conventional bicycle accidents.

A sample of accidents that occurred between 2015 and 2017 in the departments of Rhône, Bouches-du-Rhône and Paris was drawn up. Each case was precisely analyzed. The use of the concept of prototypical accident scenario made it possible to describe the main regularities observed in these accidents. For comparison, a second sample of accidents involving users of traditional bicycles, and occurring in the same departments and during the same years, was drawn up.

The results of the investigations carried out in the literature show that, at the end of 2019, few publications deal with the safety of e-bikes. Over the decade 2009-2018, this represents about 5% of publications dealing with the safety of cyclists. The main findings of this literature review are presented in the article. These investigations also revealed a number of knowledge gaps, in particular with regard to the processes at work in pedelec accidents. The qualitative study of a sample of 103 accident cases helped to fill these gaps. The main prototypical accident scenarios are described. There are no significant differences with those involving conventional bicycles.

Key words: electrically assisted bicycles, e-bikes, bicycle, road safety, accident scenario

1. Introduction

En France, depuis le début des années 2000, l'usage utilitaire du vélo progresse dans le centre des grandes agglomérations alors qu'il baisse partout ailleurs. Cette progression semble provenir du développement de la pratique chez certaines classes d'âges, en particulier les classes d'âges intermédiaires, et chez certaines catégories sociales, notamment les cadres et professions intermédiaires. C'est du moins ce qui est observé dans les métropoles de Paris, Lyon et Lille (voir [1, 2, 3]). Dans la métropole de Lille par exemple, Richer et Rabaud [3] observent qu'entre 1987 et 2016, les déplacements à vélo ont crû de 176 % dans la ville de Lille mais ont fortement baissé dans le reste de la métropole (-32 % à l'échelle de la couronne Lilloise et -70 % à l'échelle du reste de la métropole). En ce qui concerne la sociologie des cyclistes, les cadres et professions intermédiaires représentaient 8 % des personnes se déplaçant à vélo en 1987. Leur part est passée à 44 % en 2016. À l'inverse, la part des employés et ouvriers a reculé sensiblement, passant de 42 % en 1987 à 25 % en 2016 (Ibid).

Dans ce contexte, l'arrivée sur le marché à la fin des années 2000 à un prix attractif de vélos assistés d'un moteur électrique s'est traduit par un afflux important de ces nouveaux vélos dans les métropoles. Au cours des dix dernières années par exemple, les ventes en France de vélos à assistance électrique (VAE) ont été multipliées par 10, passant de 38 000 ventes en 2010 à 388 100¹ en 2019, soit 15 % du total des cycles vendus. Il se vend depuis 2015 plus de VAE que de cyclomoteurs, de l'ordre de 4 fois plus. Cette situation n'est pas propre à la France mais concerne l'ensemble du continent européen [4]. Le marché européen représente d'ailleurs le deuxième marché mondial, très loin toutefois du marché chinois. Les premiers éléments dont nous disposons pour l'année 2020, suggèrent que la crise de la COVID19 va probablement amplifier cette dynamique, au moins à court terme². Ces véhicules ne sont en effet pas sans vertu, que ce soit pour ceux qui les utilisent mais aussi sous certaines conditions³, pour la collectivité. En limitant l'effort à fournir, l'assistance électrique permet par exemple de réaliser des déplacements dans de bonnes conditions de confort y compris dans les territoires avec du relief et par temps chaud. L'assistance électrique permet également de réaliser des déplacements d'assez longue portée (entre 5 et 10 kilomètres) et à une vitesse moyenne assez élevée, ce qui rend les VAE potentiellement concurrentiels vis-à-vis d'autres modes individuels motorisés (voiture, deux-roues motorisé), pour un encombrement et pour des rejets de polluants locaux et de gaz à effet de serre très

1. Notons que le marché des VAE est pour l'heure dominé par les vélos à vocation utilitaire qui représentaient en 2019 plus des trois-quarts des ventes (voir L'Officiel du cycle, de la moto, du quad, de la mini-voiture, juin 2020 ; p.23).

2. Voir Le Monde « Les ventes de vélos explosent avec la crise sanitaire », 9 juin 2020.

3. En particulier si les trajets effectués en VAE remplacent des trajets précédemment effectués en véhicule individuel motorisé. Sur ce point, si des études rétrospectives ou transversales montrent que les usagers de VAE déclarent utiliser significativement moins leur voiture depuis l'acquisition d'un VAE (voir notamment les études citées dans la revue de littérature de Cairns et al. [5], d'autres travaux, qui comparent l'évolution de la mobilité avant et après l'acquisition d'un VAE, suggèrent que l'achat d'un VAE peut induire de nouveaux déplacements en vélo et des distances parcourues à vélo plus importantes, sans nécessairement remplacer beaucoup de déplacements en voiture (voir notamment [6]).

inférieurs [7]. D'après Jean-Pierre Orfeuill [8], l'usage des deux-roues électriques (VAE et scooters électriques) pourraient permettre d'éviter un tiers des circulations automobiles en Île-de-France. L'assistance électrique élargit aussi l'usage du vélo à de nouvelles catégories de population [9] et laisse entrevoir des bénéfices du point de vue de la santé publique [10, 11, 12].

L'essor de ces véhicules dans les zones urbaines et périurbaines soulève toutefois un certain nombre de questions, touchant à la réglementation, l'aménagement des réseaux, la planification des transports, mais aussi des questions de sécurité routière. Dotés d'un moteur, ces véhicules permettent par exemple de circuler dans l'espace public à des vitesses en moyenne supérieures aux vélos traditionnels⁴, ce qui peut poser des problèmes d'interaction avec les autres usagers, notamment les piétons. À ces vitesses plus élevées s'ajoute une masse plus importante (de l'ordre de 50 % supérieure), qui, associée à la vitesse plus importante, peut donner lieu à des difficultés de contrôlabilité du véhicule. D'autre part, l'usage de ces véhicules dans les franges urbaines par de nouvelles populations de cyclistes peut donner lieu à des problèmes de sécurité spécifiques, liés par exemple à des vitesses du trafic automobile supérieures ou à des attentes inappropriées des automobilistes à l'égard des cyclistes dans ces espaces.

On observe d'ailleurs au cours des dernières années une forte augmentation des accidents impliquant des VAE, en lien avec la hausse des ventes et de l'utilisation des VAE. Siman-Tov et al. [13] observent par exemple qu'entre 2013 et 2017, le nombre d'usagers de VAE admis suite à un accident de la circulation dans 17 trauma centers d'Israël a été multiplié par presque 14 (de 42 patients en 2013 à 575 en 2017). Peu de pays, dont la France, distinguent toutefois les VAE des autres vélos dans les fichiers d'accident, ce qui ne permet pas d'estimer le véritable enjeu de sécurité routière lié à l'usage de ce mode de déplacement, ni son évolution. En Suisse, où les VAE sont distingués des vélos traditionnels depuis 2011, les usagers de VAE représentaient au cours des années 2016 et 2017, 16 % des cyclistes victimes d'accidents (soit plus de deux fois plus qu'en 2012) et près d'un cycliste tué sur trois [14]. En Allemagne, ces proportions s'élevaient respectivement à 6,4 % et 18 % en 2017 [15]. Malgré un enjeu croissant, la question de la sécurité des usagers de VAE a cependant été peu traitée dans la littérature scientifique et les connaissances sont pour l'instant embryonnaires. Le présent article a pour objectif dans un premier temps de faire le point sur les connaissances actuelles dans la littérature scientifique internationale sur la sécurité des usagers de vélos à

assistance électrique. Cette revue de littérature fait apparaître certaines lacunes, en particulier concernant la connaissance des processus à l'œuvre dans la genèse des accidents impliquant ces usagers. C'est pourquoi, nous proposons dans un deuxième temps une contribution s'appuyant sur l'étude détaillée d'un échantillon de cas d'accidents survenus dans trois départements que sont le Rhône, les Bouches-du-Rhône et Paris.

2. État des connaissances sur la sécurité des usagers de vélos à assistance électrique

Cette section a pour but de décrire l'état actuel des connaissances sur la sécurité des usagers de vélos à assistance électrique. Un travail préalable a dans un premier temps consisté à recenser dans les principales bases documentaires internationales du champ des transports, de la santé et de la sécurité, les publications traitant de la sécurité des usagers de VAE. Les investigations se sont appuyées sur l'interrogation des bases documentaires suivantes : Web of Science, TRIS, Springer, Sciencedirect, Medline, Madis (base documentaire de l'IFSTTAR), HAL archives-ouvertes, Google-Scholar, Cairn, et ont porté sur la période allant jusqu'à la fin de l'année 2019. Chaque base documentaire a été interrogée en utilisant les mots clés suivants : « electric bike » ; « e-bike » ; « e-bicycle » ; « pedelec » ; « electrically assisted bike » ; « electrically assisted bicycle » ; « electrically assisted cycle » ; « vélo électrique » ; « vélo à assistance électrique » ; « bicyclette électrique ».

Ces investigations montrent que, fin 2019, dans les bases documentaires interrogées, 59 publications abordent la sécurité des usagers de VAE. La quasi-totalité d'entre-elles ont été publiées après 2009. Cela représente au cours de la dernière décennie de l'ordre de 4 à 5 % (selon les bases documentaires) des publications traitant de la sécurité des cyclistes. Cette proportion semble croître au cours des dernières années. Un examen détaillé de ces 59 publications montre que 27 d'entre-elles portent uniquement sur la sécurité. Nous proposons ci-dessous de décrire les principaux enseignements issus de ces 27 publications⁵. Deux principaux axes de recherche se dégagent. Le premier concerne des publications qui rendent compte d'études épidémiologiques, qui traitent des blessures des usagers de VAE, des caractéristiques de leurs accidents et des principaux facteurs de risque. Le second concerne des publications qui décrivent généralement des études dites en « conduite naturelle » et qui s'intéressent aux comportements des usagers de VAE en situation non accidentelle.

4. Nous y reviendrons plus loin mais des études observationnelles suggèrent qu'en ville, les usagers de VAE circulent à des vitesses en moyenne plus élevées par rapport aux usagers de vélos traditionnels. Les écarts peuvent aller jusqu'à 10 km/h pour les VAE de type speedelec (bridés à 45 km/h et relevant de la catégorie des cyclomoteurs) et jusque 3 km/h pour les VAE de type pedelec (bridés à 25 km/h et relevant de la catégorie des cycles à pédalage assisté) (voir par exemple [16]).

5. Notons que les principales revues scientifiques dans lesquelles sont parues ces publications sont : *Accident Analysis and Prevention* (8 publications), *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* (4 publications), *Journal of Transport and Health* (4 publications), *Safety Science* (2 publications), *Traffic Injury Prevention* (2 publications), *Journal of Transportation Safety & Security* (2 publications).

2.1. Caractéristiques des accidents impliquant des VAE, nature des blessures et principaux facteurs de risque

Quelques travaux ont tout d'abord cherché à comparer le risque d'accident nécessitant des soins médicaux entre utilisateurs de VAE et usagers de vélos traditionnels. Van Boggelen et al. [17] observent qu'aux Pays-Bas les utilisateurs de VAE ont un risque d'accident (par kilomètre parcouru) 30 % supérieur à celui des utilisateurs de vélos traditionnels. Les auteurs ne contrôlent cependant pas l'effet de facteurs de confusion, comme par exemple l'âge ou le kilométrage parcouru. Dans une étude cas témoins conduite aux Pays-Bas, Schepers et al. observent également un sur-risque significatif, sur-risque qui se maintient en tenant compte de l'âge, du genre et de la fréquence d'utilisation [18]. Dans la réplication de cette étude plusieurs années plus tard, et en tenant compte cette fois de la distance parcourue, les auteurs ne trouvent plus de différence entre VAE et vélos traditionnels [19, 20]. Dans une étude conduite en Norvège, Fyhri et al., ne trouvent pas non plus de sur-risque d'accident associé à l'usage d'un VAE, une fois contrôlés différents cofacteurs [21]. Les auteurs mettent toutefois en évidence que les femmes en VAE auraient un sur-risque d'accident en comparaison aux femmes en vélo traditionnel. Pour les auteurs, cela proviendrait du fait que le VAE attirerait vers le vélo des femmes qui auparavant se déplaçaient très peu en vélo et qui de fait sont peu expérimentées des situations de circulation routière à vélo.

En résumé, la sur-implication des utilisateurs de vélos à assistance électrique parmi les victimes d'accidents observées dans les premières publications, proviendrait d'une distance annuelle parcourue plus grande des usagers de VAE et du rôle d'autres facteurs, notamment l'âge, l'état de santé et l'expérience des usagers.

D'autres recherches se sont intéressées à comparer la gravité des blessures des victimes d'accidents de VAE par rapport à celles d'usagers en vélo traditionnel. Les travaux de Siman-Tov et al. [13] suggèrent que, même si le nombre d'hospitalisations pour 1 000 VAE est deux fois plus faible par rapport à celui pour 1 000 vélos traditionnels, les blessures des usagers de VAE sont plus graves et nécessitent plus de ressources hospitalières que celles observées chez les usagers de vélo traditionnel. Les auteurs montrent notamment que les usagers de VAE présentent un risque plus élevé de présenter des lésions modérées à sévères (+27 %), de subir une chirurgie

(+11 %) et d'être hospitalisés longtemps (+44 %). La tendance est la même en tenant compte de l'âge, du type d'accident (avec ou sans tiers) et du genre. Cela confirme la tendance observée par Gehlert et al., à partir de données policières en Allemagne [22]. Les résultats obtenus par Hu et al. [23] et Gross et al. [24] respectivement sur les trauma centers de Hefei (Chine) et de Jérusalem (Israël), vont dans le même sens. D'après les travaux de Gross et al. [24], les blessures des utilisateurs de VAE ressemblent même davantage à celles observées chez les motocyclistes qu'à celles observées chez les usagers de vélos traditionnels. La durée moyenne d'hospitalisation, le score ISS⁶, la proportion de victimes admises en soins intensifs sont en effet non significativement différents entre usagers de VAE et motocyclistes alors qu'ils sont significativement inférieurs chez les utilisateurs de vélos traditionnels. Ces différences observées dans ces études pourraient toutefois provenir de pratiques de déplacements distinctes⁷ ou de la différence d'âge entre les échantillons puisque par exemple l'âge moyen observé dans [24], chez les utilisateurs de VAE et de motos est de 30 ans alors qu'il est de 15 ans chez les cyclistes utilisant des vélos traditionnels⁸. Weber et al. [25] (2014) et Schepers et al. [18] montrent en effet que la probabilité d'être hospitalisé, après avoir été pris en charge aux urgences à la suite d'un accident de VAE, augmente avec l'âge (probabilité multipliée par 1.35 pour les 50-64 ans par rapport aux personnes plus jeunes et par 2, 3 pour les plus de 64 ans), ce qui est cohérent avec ce qui est observé chez les utilisateurs de vélos classiques (voir par exemple [26]).

Schepers et al. qui contrôlent l'âge, le genre, des variables de santé, la fréquence d'utilisation du vélo et la distance annuelle parcourue à vélo, n'observent pas de différence significative quant au risque d'être hospitalisé à la suite d'un accident entre usagers de VAE et usagers de vélos traditionnels [19]. Le risque relatif s'élève à 1,17 (IC à 95 % qui contient 1 : [0,89-1,55]). Les travaux de Fyhri et al. [21] conduits sur un échantillon d'usagers en Norvège et ceux de Otte et Facius [27] conduits en Allemagne, ne conduisent pas non plus à conclure dans le sens d'une gravité plus forte. En première analyse, les accidents de VAE ne tendraient donc pas à être plus graves que ceux impliquant des vélos traditionnels, même si cela nécessite d'être confirmé par d'autres études. Les gravités plus fortes observées dans certaines études proviendraient avant tout de l'âge plus important des usagers de VAE. Cela pourrait également provenir de la nature des accidents dans lesquels sont impliqués les usagers de VAE puisque nous verrons plus loin que

6. Le score ISS (Injury Severity Score) est un score de gravité lésionnel reconnu au niveau international qui permet d'estimer la gravité globale des blessures d'une personne. Il correspond à la somme des carrés des scores AIS (Abbreviated Injury Scale), des trois blessures les plus graves de trois régions corporelles distinctes, parmi six définies. Il s'appuie sur la classification AIS qui permet d'attribuer à chaque blessure une gravité sur une échelle allant de 1 à 6 (1 = gravité mineure, 2 = modérée, 3 = sérieuse, 4 = sévère, 5 = critique, 6 = au-delà des ressources thérapeutiques) [28].

7. Les usagers de VAE circuleraient d'après Gross et al. davantage sur la route, comme les motocyclistes, contrairement aux usagers de vélos traditionnels qui eux, circuleraient plus souvent sur le trottoir. Cela se traduirait par des collisions plus fréquentes avec des automobilistes et de fait, des lésions souvent plus graves [24].

8. Rappelons que l'effet délétère de l'âge sur la gravité des blessures infligées à une victime d'accident ne s'observe pas uniquement chez les personnes les plus âgées. Des travaux sur la sécurité des piétons suggèrent par exemple que le risque de lésion grave chez un piéton tendrait à être plus faible chez les adolescents que chez les adultes (voir par exemple [29, 30]).

ces derniers semblent davantage impliqués dans les collisions avec un véhicule motorisé par rapport aux usagers de vélos traditionnels.

En ce qui concerne la nature des blessures, les blessures les plus fréquentes chez les utilisateurs de VAE semblent être avant tout orthopédiques et dans une moindre mesure, neurologiques. Dans le Trauma Center de Bern, Papoutsi et *al.* remarquent en effet que parmi les 23 victimes d'accidents de VAE admises entre avril 2012 et septembre 2013, un tiers souffrent de fractures, 20 % de contusions et 15 % de lésions cérébrales légères (traumatismes crâniens) [31]. Sur un échantillon de 30 victimes, Gross et *al.* obtiennent des résultats similaires [24]. Sur un échantillon plus important ($n = 549$), Tenenbaum et *al.* montrent que plus de 65 % des patients admis dans les trauma centers d'Israël, à la suite d'un accident à VAE, présentent des blessures orthopédiques et plus de 40 % sont des fractures [32].

Concernant la localisation des blessures, les résultats des études sont plus contrastés. L'étude de Papoutsi et *al.* conduite à Berne met en évidence que les blessures sont situées essentiellement à la tête et au cou (27 % des cas), au visage (19 %) et au niveau des membres supérieurs (23 %) [31]. Papoutsi et *al.* observent une plus grande proportion de fractures aux membres supérieurs qu'aux membres inférieurs (34,8 % des patients admis à la suite d'un accident à VAE souffrent d'une fracture de la clavicule contre 8,7 %, d'une fracture d'un membre inférieur). Tenenbaum et *al.*, dont les travaux portent sur un échantillon de victimes plus important, observent le contraire : les fractures des membres inférieurs sont significativement plus fréquentes que celles des membres supérieurs (respectivement 23 % contre 16 %) [32]. Notons également que les blessures multiples sont fréquentes, comme le montre l'étude de Tenenbaum et *al.* sur 47 victimes d'accidents de VAE, admises uniquement dans le Trauma Center de Jérusalem : plus de 40 % des patients admis présentent une blessure supplémentaire à la blessure orthopédique, très souvent à la tête, au visage ou au cou.

Certaines études se sont intéressées à comparer la localisation des blessures des victimes d'accidents de VAE à celle des blessures des victimes d'accident de vélo traditionnel. Siman-Tov et *al.* observent que les usagers de VAE présentent un risque significativement plus élevé (+16 %) par rapport aux usagers du vélo traditionnel de se blesser à la tête, au visage et au cou mais aussi un risque significativement plus élevé de se blesser aux extrémités inférieures (+37 %) [13].

Ainsi, en ce qui concerne les blessures des usagers de VAE, nous pouvons retenir des publications actuellement disponibles qu'elles sont principalement orthopédiques et dans une moindre mesure, neurologiques. Il s'agit principalement de fractures, notamment au niveau des membres. La localisation des blessures semble se

distinguer sensiblement de celles observées chez les utilisateurs de vélos traditionnels avec plus de blessures à la tête, au visage et au cou ainsi qu'aux membres inférieurs. Au-delà de la gravité et de la nature des lésions, d'autres études épidémiologiques se sont intéressées aux facteurs de risque ainsi qu'aux principales caractéristiques des accidents impliquant des VAE.

Concernant les caractéristiques des accidents de VAE, les études rétrospectives de Gross et *al.* [24] et Papoutsi et *al.* [31], portant sur des données de victimes admises dans les trauma centers respectivement de Jérusalem et de Berne, identifient, comme cela a déjà été observé pour les usagers de vélos traditionnels, que le type d'accident dominant est l'accident sans tiers. Gross et *al.* observent que parmi les 47 victimes d'accidents de VAE admises au Trauma Center de Jérusalem, entre 2014 et 2016, la moitié ont chuté seule [24]. Papoutsi et *al.* observent qu'à Berne, 61 % des accidents de VAE entre 2012 et 2013 ont impliqué uniquement le VAE. L'accident le plus fréquent est lié au blocage d'une des roues dans les rails du tramway [31].

La proportion d'accident seul, apparaît naturellement moins élevée dans les travaux de Weber et *al.* qui s'appuient sur des données policières [33]. D'après cette étude, 42 % des accidents de VAE recensés en Suisse impliquent uniquement le VAE.

Certaines études ont comparé les types d'accident les plus fréquents entre VAE et vélos traditionnels. Les résultats obtenus sont contradictoires. Siman-Tov et *al.* observent que les usagers de VAE admis dans un trauma center d'Israël se blessent significativement moins souvent seuls que les usagers de vélos traditionnels (59,8 % contre 76,4 %), ce qui est à relier avec un usage significativement plus souvent récréatif du vélo traditionnel (52,4 % pour le VAE contre 75,8 % pour le vélo traditionnel), effectués davantage sur des routes non revêtues alors que les usagers de VAE se déplaceraient davantage en ville, pour des trajets utilitaires [13]. Les usagers de VAE auraient donc plus de risque d'être impliqué dans des accidents avec un tiers (automobiliste, piéton, etc.), ce qui est confirmé par Gross et *al.* qui montrent dans une étude rétrospective à partir de données de victimes d'accidents de VAE, admises au trauma center de Jérusalem, que les usagers de VAE sont significativement surimpliqués dans les collisions avec un autre véhicule (32 % contre 2 % pour les usagers de vélos traditionnels) [24]. D'après les auteurs, cela pourrait tenir au fait que les usagers de VAE circulent davantage sur la route et moins sur le trottoir, en comparaison aux usagers de vélos traditionnels.

Cependant, l'étude cas-témoins de Schepers et *al.* [19], réalisée aux Pays-Bas à partir d'un questionnaire passé auprès d'usagers de VAE, admis aux urgences à la suite d'un accident et d'un autre questionnaire proposé aux usagers de vélo traditionnel, montre que les accidents des usagers de VAE sont significativement moins

fréquemment des collisions avec d'autres usagers que ceux impliquant des vélos traditionnels (23 % contre 33 %). Cela est confirmé par Gehlert et *al.* sur la base de données de source policière [22]. D'après cette étude, les accidents de VAE sont significativement plus souvent des accidents liés à une perte de contrôle en situation de conduite (19,3 % contre 11,8 % pour les vélos traditionnels). Cette différence pourrait provenir de niveaux de vitesses plus grands [33]. La même tendance est observée par Otte et Facius sur la base d'investigations en profondeur sur des cas d'accidents [27].

Nous retiendrons ainsi que le type d'accident à VAE le plus fréquent (entre 50 et 60 % des cas) est l'accident sans collision avec un autre usager, qui consiste en une perte de contrôle du VAE par l'utilisateur, n'impliquant pas directement un autre usager et prenant généralement la forme d'une chute. Il s'agit de la même tendance que celle observée pour les accidents de vélos traditionnels. Concernant la comparaison du type d'accident le plus fréquent entre les deux types de vélo, les résultats inhomogènes ne permettent pas de dégager une tendance générale.

Certaines études épidémiologiques se sont également intéressées aux caractéristiques des accidents (heure, type de jour, etc.) impliquant des VAE et les ont comparées à celles des accidents impliquant des vélos traditionnels. Là encore, les résultats sont assez contrastés. Siman-Tov et *al.* [34] soulignent que les accidents de VAE ont lieu souvent l'après-midi et le soir en Israël, lors du week-end (vendredi, samedi) tandis que Papoutsi et *al.* remarquent que les accidents ont plus souvent lieu le matin et l'après-midi, lors des pics de déplacements pendulaires en Suisse [31]. Ces différences peuvent alors être reliées à des différences d'âge des victimes d'accidents de VAE et d'usage du VAE en Suisse et en Israël puisqu'ils sont beaucoup plus jeunes en Israël (dans [34], 32,4 % des victimes d'accidents de VAE avaient moins de 14 ans et 39,4 % entre 15-29 ans alors que 78,3 % des patients avaient plus de 40 ans dans [31]). Le VAE semble donc davantage être utilisé comme un mode de transport pour les déplacements domicile-travail par des personnes assez âgées en Suisse alors qu'en Israël, les jeunes l'utilisent plus en tant que loisir sur leur temps libre et le week-end. Néanmoins, l'étude allemande de Gehlert et *al.*, portant sur un grand échantillon d'accidents, a mis en évidence que la proportion d'utilisateurs de VAE, victimes d'accidents le weekend était significativement plus élevée qu'à vélo traditionnel ($p < 0,01$) [22], ce qui suggère que les VAE sont aussi beaucoup associés à la pratique de loisir en Europe, en particulier dans les pays germanophones.

Concernant les mécanismes d'accidents, très peu de publications abordent cet aspect. Par l'intermédiaire d'un questionnaire passé auprès d'utilisateurs de VAE en Suisse germanophone en 2016, Hertach et *al.* s'intéressent aux accidents de VAE sans collision avec un tiers [35]. Ils

observent que les types d'accidents les plus fréquents sont : le dérapage (31 %), dû à une route mouillée ou verglacée, un franchissement de niveau (18 %), en particulier le franchissement de bordures de trottoirs ou de rails de tramway (13 %) et des actions d'évitement d'autres usagers ou d'obstacles sur les voies (12 %). Une chaussée glissante (51 %), une vitesse trop élevée et inadaptée à la situation (37 %) et l'incapacité de garder l'équilibre (34 %) sont les facteurs d'accidents les plus souvent évoqués par les victimes d'accident. En s'appuyant sur des investigations en profondeur sur 64 cas d'accidents impliquant un VAE en Allemagne, Otte et Facius, ne trouvent pas de différence significative dans les typologies d'accidents entre VAE et vélos traditionnels, ni dans les vitesses des cyclistes au moment de l'accident [27].

Certaines publications mettent en évidence que les utilisateurs de VAE sont plus susceptibles de chuter lors de la montée ou la descente du vélo ou à faible vitesse (voir les références citées dans [36]). Ces chutes représenteraient entre 20 et 25 % des cas de blessure chez les usagers de VAE de plus de 65 ans, ce qui suggère l'existence d'un effet d'interaction entre l'âge et le fait d'utiliser un VAE (*Ibid.*). Cela pourrait provenir de la masse d'un VAE, plus importante que celle d'un vélo traditionnel, ce qui le rendrait plus instable à l'arrêt et à basse vitesse. Cela pourrait aussi provenir du moindre effort musculaire à fournir pour démarrer, ce qui nuirait à la prise d'équilibre. Enfin, la gestion difficile de l'accélération, en particulier lorsque le couple d'assistance est réglé au maximum, est également évoqué par certains auteurs pour expliquer la surimplication des VAE dans ce type d'accident [37]. Les travaux de Schepers et *al.*, qui contrôlent l'âge, ne trouvent toutefois pas de différence significative pour ce type de chute entre utilisateurs de VAE et utilisateurs de vélos traditionnels [19]. D'autres investigations sont par conséquent nécessaires pour confirmer l'existence de difficultés particulières chez les usagers de VAE les plus âgés.

Plusieurs études épidémiologiques identifient certaines variables, liées aux caractéristiques des usagers de VAE qui sembleraient jouer un rôle dans les risques d'accidents de cette catégorie d'utilisateurs.

Le premier facteur de risque bien identifié dans les publications est l'âge des victimes. Comme nous l'avons vu, l'âge a en effet une forte incidence sur la probabilité de blessure, avec par exemple, un risque multiplié par deux pour les utilisateurs de VAE de plus de 65 ans, d'être hospitalisé par rapport aux personnes de moins de 50 ans [18]. En Europe, l'utilisation d'un VAE semble plus répandue chez les personnes plus âgées par rapport aux autres classes d'âge. Par exemple, dans le panel des usagers actifs et réguliers de VAE, étudiés par Hertach et *al.* en Suisse, plus de 40 % des usagers ont entre 50 et 64 ans et la deuxième catégorie la plus représentée est les 65 ans et plus (27 %) [35]. D'ailleurs, la majorité

des victimes d'accidents de VAE dans l'étude suisse de Weber et *al.* [25] sont âgées entre 40 et 65 ans, tandis que celles du vélo traditionnel ont principalement moins de 40 ans, ce qui rejoint ce que Gehlert et *al.* [22] et Otte et *al.* [38] observent en Allemagne. Ces auteurs ne tiennent toutefois pas compte de l'exposition au risque de chacune des classes d'âge. D'autres travaux tenant compte des kilomètres parcourus notamment, sont par conséquent nécessaires pour confirmer cette tendance.

Ainsi, les usagers de VAE, plus âgés, seraient davantage représentés parmi les victimes d'accidents. Cette surreprésentation serait liée à la surreprésentation des personnes plus âgées parmi les utilisateurs de ce mode de déplacement et dans une moindre mesure à leur plus grande vulnérabilité en cas de choc.

En ce qui concerne l'effet du genre, Schepers et *al.* mettent en évidence que les femmes utilisatrices d'un VAE ont une probabilité d'accident significativement plus faible que les hommes (OR de 0,68) [14], ce qui est confirmé par les études de Hertach et *al.* (OR de 0,71) [35] et de Du et *al.* [39], qui montrent que les hommes ont une pratique du VAE, notamment en termes de vitesse, moins sûre que les femmes. Les femmes en VAE aurait toutefois un risque d'accident plus grand que les femmes en vélo traditionnel [21, 20]. Cela pourrait provenir, comme nous l'avons vu plus haut, du manque d'expérience des femmes se mettant au VAE.

En ce qui concerne l'effet de la fréquence de la pratique, il apparaît que les cyclistes réguliers ont une probabilité significativement plus élevée d'avoir un accident (de l'ordre de 2 fois supérieure pour une fréquence d'utilisation comprise entre 1 et 7 fois par semaine) [18, 35].

Concernant le type d'usage et le type de VAE, Hertach et *al.*, qui se focalisent sur les accidents sans tiers, observent que la pratique récréative du VAE est associée à un risque d'accident significativement plus faible (de l'ordre de 30 %) par rapport à une pratique utilitaire [35]. Quant au type de vélo, l'utilisation d'un VAE de type VTT serait associé à un risque d'accident significativement plus faible (de l'ordre de 50 %) par rapport à un VAE à vocation urbaine (Ibid). A noter également que dans cette étude, les auteurs ne trouvent pas de différence significative d'implication dans les accidents entre les VAE avec le moteur dans la roue avant et les VAE avec le moteur dans la roue arrière, toutes choses égales par ailleurs.

Les hommes et les usagers réguliers auraient donc plus de risque d'accident tandis que les usages non utilitaires (loisir, notamment l'utilisation d'un VAE de type VTT) diminueraient le risque d'accident.

Au-delà des publications portant sur l'accidentologie touchant les usagers de VAE, d'autres études se sont

intéressées, non pas aux usagers de VAE accidentés, mais à leurs comportements en situation de conduite. Nous présentons ci-après les principaux enseignements que l'on peut tirer de ce champ de recherche.

2.2. Comportements des usagers de VAE en situation non accidentelle

La plupart des études conduites dans ce domaine s'apparentent à des « naturalistic driving studies » (études en conduite naturelle). Il s'agit de travaux qui, par l'intermédiaire d'un système d'acquisition de données installé sur les vélos des participants (caméra, GPS, etc.), collectent et exploitent des données sur les comportements des usagers en circulation, telles que leur vitesse, les caractéristiques des incidents rencontrés, leur manière de circuler et parfois les équipements de protection utilisés.

Bien que ces études puissent être entachées de certains biais (par exemple : biais de sélection, biais de conformité, en particulier à l'égard des règles du Code de la route), ces études sont à considérer comme complémentaires aux précédentes, au sens où elles sont susceptibles d'éclairer les connaissances acquises dans d'autres disciplines.

Plusieurs études tentent tout d'abord de caractériser les situations critiques rencontrées par les usagers de VAE, c'est-à-dire les situations d'interaction entre un cycliste et un autre usager de la route, dans laquelle au moins un des deux usagers doit changer sa vitesse ou sa direction pour éviter une collision. Dozza et *al.* montrent que les usagers de VAE rencontrent significativement plus de situations critiques (de l'ordre de deux fois plus) par kilomètre parcouru que les usagers de vélo traditionnel, en particulier dans les intersections [40]. Leurs résultats sont proches de ceux obtenus par Petzoldt et *al.* [41]. Les auteurs suggèrent que cette plus grande proportion de conflits, qui implique le plus souvent un véhicule motorisé, pourrait s'expliquer par la vitesse supérieure des VAE et par le fait que les usagers des véhicules motorisés sous-estiment la vitesse des VAE en les confondant avec des vélos traditionnels (position de l'usager sur le vélo et fréquence de pédalage similaires mais vitesse plus élevée), ce qui est confirmé par les résultats d'une autre étude conduite ultérieurement [42] : lors d'une manœuvre non prioritaire les usagers des véhicules motorisés tolèrent en effet un créneau d'insertion significativement plus étroit lorsque les cyclistes roulent à une vitesse plus élevée et lorsqu'il s'agit de VAE (même lorsque la vitesse est identique entre VAE et vélo traditionnel). D'ailleurs, la sous-estimation de la vitesse par les autres usagers de la route représente la première cause évoquée par les usagers du VAE (47,4 %) qui ont fait l'expérience d'une situation critique d'accident, qu'ils n'auraient pas rencontré, selon eux, avec un vélo traditionnel, dans l'enquête danoise de Haustein et Møller [43].

D'autres études s'intéressent à la prévalence des infractions routières chez les usagers de VAE en comparaison aux utilisateurs de vélos traditionnels. Bien que particulièrement fréquentes chez ces usagers, avec par exemple 40 % des usagers observés circulant en sens interdit, 70 % de non-respect de feux rouges, Langford et *al.* ne trouvent pas de différence significative entre les deux groupes [44]. En Allemagne, Schleinitz et *al.* n'observent pas non plus de différence entre les taux de non-respect du feu rouge entre les usagers de VAE et de vélo traditionnel (16 %) [45]. Schleinitz et *al.* caractérisent alors ces situations de non-respect du feu rouge dans leur étude naturaliste, grâce à des caméras installées sur les vélos des participants [46]. La plupart des usagers qui s'affranchissent du caractère impératif d'arrêt au feu rouge ne s'arrêtent ou ne freinent pas (70 %), tournent à droite (56 %) et roulent plutôt sur des voies cyclables (26 %) ou des trottoirs (21 %). Il s'agit principalement d'intersection en T (38 %). Notons également qu'environ 5 % des usagers, en plus des 16 % ne respectant pas le feu rouge, l'évitent en changeant d'espace de circulation, manœuvre souvent réalisée par les usagers pour rouler sur le trottoir afin de conserver leur vitesse (40 % des usagers du VAE et 53 % des usagers du vélo traditionnel) ou de raccourcir leur trajet (26 % des usagers du VAE et 33 % des usagers du vélo traditionnel). Du et *al.* observent en Chine, sur un échantillon beaucoup plus grand, que 26,6 % des usagers de VAE ne respectaient pas les règles du Code de la route avec une proportion de non-respect du feu rouge, beaucoup plus faible par rapport aux études sus-citées (12,4 % des usagers de VAE transportaient un passager par exemple, 4,8 % franchissaient un feu rouge, 3,4 % roulaient en contresens) [39]. Le contexte est toutefois bien différent de celui des pays européens.

Les infractions routières semblent donc largement développées au sein des usagers de VAE, ce qui concorde avec les connaissances acquises pour les usagers de vélos traditionnels. Les travaux de Carré conduits en France à la fin des années 90 montrent en effet qu'en ville, dans plus de la moitié des situations où un cycliste rencontre un feu tricolore, le cycliste franchit le feu tricolore au rouge (29 %) ou anticipe le passage au vert (25 % des situations) [47]. Cette étude souligne également que près de la moitié des cyclistes observés empruntent au moins une fois sur leur trajet une voie à contresens. ([47], pages 35 et 40).

Plusieurs publications s'intéressent aux vitesses pratiquées par les usagers de VAE. Elles mettent en évidence que les usagers de VAE roulent à une vitesse plus élevée que les usagers de vélo traditionnel, mais que cela peut dépendre du type d'infrastructure utilisée, des conditions de circulation et du type de VAE utilisé : Langford et *al.* montrent par exemple, que sur les voies vertes aux États-Unis, la vitesse moyenne des VAE est significativement plus faible que celle des vélos traditionnels (11 km/h contre 12,6 km/h) alors que le

contraire est constaté sur la route (13,3 km/h contre 10,5 km/h) [44]. L'étude de Schleinitz et *al.* rapporte que les VAE pouvant rouler jusqu'à 45 km/h ont une vitesse moyenne de 24,5 km/h en Allemagne, contre 17,4 km/h pour les VAE limités à 25 km/h et 15,3 km/h pour les vélos traditionnels, avec une plus grande proportion de la distance parcourue à haute vitesse en vélo électrique [48].

Néanmoins, la différence de vitesse entre les vélos traditionnels et les VAE de type pedelec (bridés à 25 km/h) reste assez faible : entre 1 et 4 km/h [16, 44, 48, 49, 50], ce qui suggère que les usagers de VAE utilisent surtout l'assistance électrique pour atteindre une vitesse comparable à celle pratiquée en vélo traditionnel, mais en fournissant moins d'effort. Schleinitz et *al.* ne remarquent pas non plus de différence significative d'accélération depuis l'arrêt entre les VAE de type pedelec et les vélos traditionnels (alors qu'une différence est remarquée entre les VAE pouvant rouler jusqu'à 45 km/h et les deux autres types de vélos) [48]. Là encore, l'assistance électrique serait davantage utilisée par les usagers de VAE pour atteindre la vitesse souhaitée plus facilement plutôt que plus rapidement. En revanche, des décélérations plus fortes sont constatées avec un VAE de type pedelec qu'avec un vélo traditionnel. En effet, selon Huertas-Leyva et *al.*, le risque d'être confronté à un freinage brutal augmente pour les VAE par rapport aux vélos traditionnels (OR de 1,72), dans une étude réalisée en Suède [50].

Néanmoins, la vitesse pratiquée en VAE peut varier selon l'âge et le sexe de l'utilisateur. Schleinitz et *al.* [48] ; et Petzoldt et *al.* [41] mettent par exemple en évidence un effet significatif de l'âge sur la vitesse. Les usagers de VAE plus âgés rouleraient en effet moins vite que les plus jeunes, ce qui est confirmé par Vlakveld et *al.* dans leur étude naturaliste qui mesure la vitesse et la charge mentale d'usagers de VAE, appartenant à deux catégories d'âge distinctes au Pays-Bas [51]. Ils montrent ainsi que les personnes de plus de 65 ans roulent à une vitesse environ 2,5 km/h en-dessous de celle des personnes âgées entre 30 et 45 ans, pour le VAE comme pour le vélo traditionnel et dans tout type de situation de trafic et que les usagers âgés de VAE rouleraient approximativement à la même vitesse que les usagers du vélo traditionnel, âgés entre 30 et 45 ans.

Vlakveld et *al.* montrent également que la charge mentale est plus importante chez les personnes âgées que chez les plus jeunes, ce qui, ajouté à la vitesse plus élevée pratiquée en VAE peut rendre les situations de trafic complexes plus risquées pour les usagers âgés [51]. Quant à l'incidence du genre sur la vitesse, Schleinitz et *al.* [48] et Petzoldt et *al.* [41] trouvent un effet significatif du genre sur la vitesse : les femmes en VAE circulent moins vite (entre 2 et 3 km/h moins vite) que les hommes en VAE. Mais c'est la même tendance observée entre hommes et femmes sur des vélos traditionnels.

Plusieurs études s'intéressent également à la manière dont les usagers de VAE perçoivent le risque d'utiliser un VAE plutôt qu'un vélo traditionnel, notamment parmi les usagers les plus âgés. La perception du risque par les usagers du VAE est évaluée par le biais d'un questionnaire qui cherche à mesurer leur ressenti face aux accidents ou situations critiques rencontrées. Les répondants sont invités à indiquer qualitativement ou quantitativement, grâce à une note, les facteurs ayant joué un rôle selon eux dans ces incidents.

Johnson et Rose mettent ainsi en évidence, dans leur questionnaire adressé aux usagers de VAE de plus de 65 ans, une différence significative entre les usagers de VAE qui utilisent aussi un vélo traditionnel et ceux qui n'en utilisent pas [37]. Ces derniers ont alors le sentiment d'être plus en sécurité sur un VAE que sur vélo traditionnel. D'ailleurs, presque un tiers des usagers du VAE trouvent que l'usage d'un VAE permet d'éviter des accidents, en permettant, grâce à la puissance motrice, de s'éloigner d'une zone de danger (61,9 %) ou d'avoir une meilleure stabilité qu'un vélo traditionnel (28,6 %) et de disposer de meilleures capacités cognitives en raison de l'effort musculaire à fournir moins important.

Chez les personnes de plus de 60 ans, Hausteijn et Møller montrent toutefois que le poids du VAE et l'équilibre sur un VAE semblent problématiques dans les situations critiques [43]. Cela rejoint les résultats obtenus par Twisk et *al.*, qui à partir de données enregistrées auprès de 59 participants réalisant une tâche de démarrage sur deux types de vélo (VAE et vélo traditionnel), montrent que le VAE est moins stable que le vélo traditionnel à l'arrêt et à basse vitesse (jusqu'à 6 km/h) mais qu'il apparaît en revanche plus stable au-delà de 10 km/h [36].

Cependant, parmi les usagers du VAE ayant rencontré un accident ou un incident critique, assez peu mettent finalement en cause le VAE. Dix-huit pour cent considèrent leur VAE comme un facteur qui a contribué à l'accident, selon le questionnaire passé en Suisse par Hertach et *al.* [35] et 29 % selon l'enquête de Hausteijn et Møller conduite au Danemark [43].

Les usagers du VAE sembleraient donc se sentir plus en sécurité sur un VAE que sur un vélo traditionnel, mais ce ressenti concernerait moins les usagers âgés, qui relatent des problèmes de maniement du VAE et d'équilibre lié au poids du VAE. Néanmoins, peu d'usagers ayant rencontré un accident ou une situation critique mettent en cause le VAE lui-même, l'incident aurait donc pu arriver avec un vélo traditionnel.

Enfin, certaines études traitent du port d'équipements de sécurité par les usagers du VAE, comme celle de Du et *al.* (2013). D'après ces auteurs, en Chine, seulement 9 % des usagers de VAE portent un casque. En Europe, et plus

particulièrement en Allemagne, les observations conduites par Schleinitz et *al.* (2014) grâce à une caméra fixée sur le guidon qui filme l'utilisateur, montrent que le casque est porté plus souvent pour les longs trajets : 74 % d'usagers de VAE⁹ portent le casque pour les trajets de plus de 3 km contre 59 % pour les trajets de moins de 3 km [46]. La même tendance est observée pour les usagers du vélo traditionnel mais les proportions observées sont plus faibles (59 % pour les trajets de plus de 3 km contre 33 % pour les trajets de moins de 3 km). Néanmoins, les proportions observées, pour les deux types de vélo sont particulièrement élevées par rapport aux autres études réalisées, ce qui suggère la présence d'un biais lié au fait que les participants sont volontaires et donc certainement davantage sensibles aux aspects de sécurité.

2.3. Tentative de synthèse des connaissances actuelles sur la sécurité des usagers de VAE

Que peut-on principalement retenir de cette revue de littérature ? En premier lieu, malgré un enjeu croissant, la question de la sécurité des usagers de VAE a été peu traitée dans la littérature scientifique. Les connaissances sont pour l'instant embryonnaires. Une trentaine de publications scientifiques sont, à ce jour, disponibles dans la littérature internationale. Une première série de recherches, conduites au début des années 2010, a tout d'abord suggéré que les usagers de VAE auraient un risque d'accident supérieur et des accidents plus graves par rapport aux utilisateurs de vélos traditionnels. Mais une seconde série de publications, plus récentes et plus robustes sur le plan méthodologique, ont montré qu'en réalité, ces disparités tiendraient en grande partie à des disparités entre usagers et entre pratiques. En effet les usagers de VAE seraient en moyenne plus âgés et parcourraient de plus grandes distances, ce qui pourrait expliquer leur sur-implication dans les accidents et la gravité plus importante de leurs accidents. Le VAE serait également utilisé davantage pour des trajets utilitaires dans les espaces urbains ce qui expliquerait pourquoi on observerait plus de collisions avec des tiers, notamment des automobilistes. Il ressort également des publications que les hommes en VAE auraient, comme cela est observé pour les vélos traditionnels, un sur-risque d'accident par rapport aux femmes. Le sur-risque observé chez les femmes en VAE par rapport aux femmes en vélo traditionnel, toutes choses égales par ailleurs, reste en revanche inexpliqué. Enfin, il n'y aurait aucune incidence sur la sécurité de la position du moteur électrique (dans la roue avant ou dans la roue arrière). Aucune publication n'a encore examiné l'incidence de la position centrale du moteur (dans le pédalier).

Ces résultats sont globalement en cohérence avec les travaux conduits dans le domaine des études en conduite naturelle. Ces travaux montrent en effet que les usagers de VAE circulent à des vitesses assez proches de celles

9. Une proportion similaire est observée en France d'après la récente enquête conduite par la FUB [52].

observées chez les usagers de vélos traditionnels, du moins pour les VAE bridés à 25 km/h. Ils ne commettraient pas non plus, plus d'infractions au Code de la route. Finalement, le VAE serait utilisé comme un vélo classique mais en fournissant moins d'effort. Il permettrait ainsi de faire des déplacements plus grands. On notera que deux aspects mériteraient de faire l'objet de davantage d'investigations. Il s'agit d'une part des problèmes d'équilibre à basse vitesse pour les usagers de VAE, en particulier les plus âgés ; d'autre part, de l'incidence de la fréquence de pédalage sur les attentes des automobilistes et des piétons. Celle-ci semble en effet induire en erreur les autres usagers dans l'estimation de la vitesse d'approche du VAE.

Enfin, cette revue de littérature soulève un manque de connaissance sur les mécanismes des accidents touchant les usagers de VAE et leurs éventuelles spécificités par rapport aux vélos traditionnels. En effet, au-delà des travaux épidémiologiques qui montrent que l'accident le plus fréquent chez les VAE correspond à une chute, sans l'implication d'un tiers (comme cela est observée pour les accidents de vélos traditionnels), peu de travaux ont examiné cette question. L'objet du travail que nous présentons dans les pages qui suivent est de contribuer à combler cette lacune, en s'appuyant sur l'étude d'un échantillon de procès-verbaux d'accidents.

3. Données et méthode

Les investigations conduites ont porté sur les départements du Rhône, des Bouches du Rhône et de Paris et sur la période 2015-2017. Un préalable a consisté à recenser parmi les procès-verbaux d'accidents impliquant un cycliste, ceux impliquant un vélo à assistance électrique. L'absence de modalité dans le fichier national des accidents (fichier BAAC) permettant d'identifier les vélos à assistance électrique, nous a conduits à examiner manuellement chacun des 3 362¹⁰ procès-verbaux d'accidents de cyclistes pour repérer ceux impliquant un VAE. L'implication d'un VAE a été déterminée lorsque les termes « Vélo à assistance électrique » ou « vélo électrique » et/ou la marque et le modèle du vélo étaient mentionnés dans le procès-verbal.

Chacun des cas d'accident impliquant un VAE a fait l'objet d'une analyse en phases consignée sur une fiche d'une à deux pages [53]. Cette analyse repose sur une segmentation du déroulement factuel de l'accident en plusieurs phases : la situation de conduite, la situation d'accident, la situation d'urgence et la situation de choc. Pour chaque phase, les faits, les événements et leur enchaînement sont décrits. Initialement élaborée pour les investigations en profondeur sur des accidents, cette méthode a été adaptée à l'étude des procès-verbaux d'accidents (Ibid). L'utilisation du concept de scénario

type d'accident a ensuite permis de décrire les principales régularités observées dans ces accidents, sous forme de scénarios types [54]. Nous ne reviendrons pas ici en détail sur la méthode employée pour la description de scénarios types d'accidents (pour plus de détails, voir les références [54, 55]). Rappelons simplement que la démarche consiste dans un premier temps à regrouper les cas similaires. Ce regroupement est effectué de façon qualitative sur la base d'une comparaison entre cas et d'un jugement global de similarité. Une fois le regroupement des cas effectué, la démarche consiste à expliciter le scénario type. Le scénario type se présente sous la forme d'un déroulement prototypique en quatre séquences qui résume au mieux les déroulements des accidents du groupe.

Un échantillon témoin de procès-verbaux d'accidents impliquant des vélos traditionnels a également été constitué. Chacun des cas impliquant un VAE a été apparié à un témoin sur les critères de sexe, d'âge, d'environnement (en agglomération ou non) et de motif de déplacement (déplacement domicile-travail, déplacement professionnel, déplacement loisir). Nous avons vu dans la section précédente qu'il s'agit en effet des principaux facteurs pouvant expliquer les différences de risque observées entre usagers de VAE et usagers de vélo traditionnels.

Chacun des cas du groupe témoin a également fait l'objet d'une analyse en phases et son apparentement éventuel avec l'un des scénarios types d'accidents de VAE a été examiné. L'analyse statistique des différences de proportion de chaque scénario type entre les deux groupes a été effectuée en utilisant un test de Mc Nemar (équivalent à un Chi2 apparié, basé sur une table de contingence 2x2 appariée) [56].

4. Résultats

Entre 2015 et 2017, dans les trois départements étudiés, 103 accidents impliquant un VAE ont été recensés par les forces de l'ordre. La quasi-totalité implique des VAE de type pedelec c'est-à-dire limité à 25 km/h. Un seul cas implique un speedelec (VAE bridé à 45 km/h).

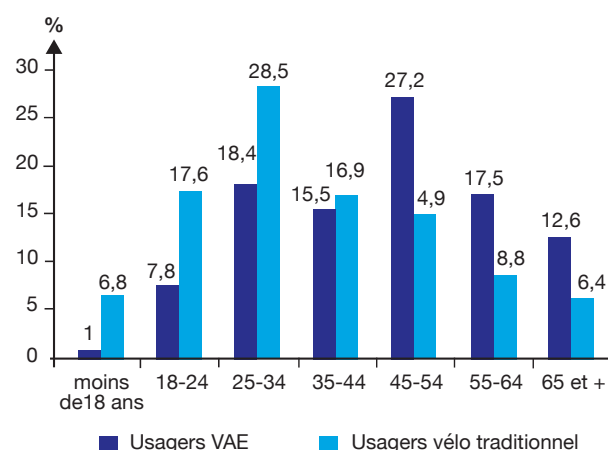
Les accidents impliquant un usager de VAE représentent ainsi 3,1 % des accidents de cyclistes. Cette proportion est nettement inférieure à celle observée en Allemagne et en Suisse où les usagers VAE représentent respectivement 6,4 et 16 % des victimes d'accidents (voir supra). Cela provient probablement d'une pratique du VAE beaucoup plus développée dans ces pays par rapport à la France [58].

10. Ce dernier chiffre sous-estime sans doute la réalité, car les accidents de bicyclettes, n'impliquant pas souvent des tiers, sont moins bien recensés que d'autres types d'accident par les services de police [57].

Lorsqu'on compare, en s'appuyant sur le fichier BAAC, les caractéristiques des 103 cas d'accidents de VAE aux caractéristiques des 3 259 accidents de vélos traditionnels recensés par la police sur la même période, il apparaît que les usagers de VAE sont significativement plus âgés (âge médian de 48 ans contre 33 ans pour les usagers de vélos classiques, voir Figure 1), sont plus souvent des femmes (36 % des cas contre 26% ; $\chi^2=5$, $p=0,02$)¹¹. Ils sont victimes d'accidents plus souvent à l'heure de pointe du matin, entre 7h00 et 9h00 (22 % des cas contre 9 % ; $\chi^2=17,5$ avec $p<0,01$) et lors de trajets domicile travail (57 % contre 30 % ; $\chi^2=25,7$ avec $p<0,01$). Ces résultats sont concordants avec les enseignements issus de la littérature internationale présentés dans la section précédente. Ils sont probablement le reflet de différences dans l'exposition au risque (usagers de VAE en moyenne plus âgés, proportion de femmes plus importante, usages plus utilitaires du VAE, notamment).

Lorsqu'on compare cette fois les cas d'accidents impliquant un VAE aux cas témoins, il n'apparaît pas de différence dans les types d'accident (entre accidents sans tiers et accidents avec tiers). Dans 4 cas sur 103, le VAE est le seul usager impliqué. Chez les usagers de vélo traditionnel, 6 cas sur 103 prennent la forme d'une chute. Ce résultat est discordant avec les résultats obtenus en Suisse par Weber et *al.* sur la base de données policières [33]. Les auteurs observent en agglomération une sur-implication des VAE dans les accidents seuls par rapport aux vélos traditionnels (36 % des cas contre 20 %). Leurs investigations s'appuient toutefois sur des échantillons nettement plus petits et non appariés. En outre, cette proportion serait sans doute plus importante si on s'appuyait sur des données de source médicale puisqu'il est admis que les services de police omettent une partie importante des accidents de vélos sans tiers [28].

Figure 1. Âge des usagers de VAE (n=103) et de vélos traditionnels (n=3 259) dans les accidents. Départements du Rhône, des Bouches du Rhône et de Paris. Années 2015-2017 (en pourcentage).



En ce qui concerne la localisation de l'accident, 97 % des cas se sont produits en agglomération (proportion similaire à celle observée dans l'échantillon d'accidents de vélos traditionnels). Lorsqu'on examine la distance euclidienne entre l'adresse du domicile du cycliste et le lieu d'accident, on n'observe pas de différence significative entre les deux groupes. Les usagers de VAE ont leur accident en moyenne à 3,4 km de leur domicile contre 3 km pour les usagers de vélos traditionnels.

En ce qui concerne les scénarios types d'accidents, le tableau 1 présente les intitulés des scénarios types et leur poids respectif dans chaque échantillon.

On observe tout d'abord que la plupart des scénarios types d'accidents impliquant un VAE sont également représentés chez les usagers de vélos traditionnels puisque seuls 3 scénarios types (les scénarios types 7, 11 et 14) ne sont pas représentés chez les vélos traditionnels. Il s'agit toutefois de scénarios types assez minoritaires chez les usagers de VAE.

On n'observe aucune différence significative parmi l'ensemble des scénarios types entre usagers de VAE et usagers de vélos traditionnels.

Quelques tendances peuvent toutefois être soulevées. On observe une légère tendance à la surreprésentation des scénarios types 2, 3 et 7, et plus généralement les accidents mettant en jeu une manœuvre de remontée de file de véhicules, parmi les usagers de VAE. Cela pourrait s'expliquer par l'assistance électrique elle-même qui permettrait aux cyclistes de plus facilement dépasser et remonter des files de véhicules qu'en vélo traditionnel (Pitoiset, 2019). La différence entre les deux groupes n'est toutefois pas significative sur le plan statistique ($\chi^2=3,67$; $p=0,06$).

À l'inverse, les scénarios types 1 et 4 qui décrivent des accidents liés à une ouverture de portière lors du passage d'un cycliste et des accidents en carrefour entre un automobiliste tournant à gauche et un cycliste circulant en face et non détecté, semblent plus représentés chez les usagers de vélos traditionnels, même si là encore la différence n'est pas significative ($\chi^2=0,7$; $p=0,4$). Cela pourrait tenir à un positionnement plus proche du bord de la chaussée par les utilisateurs de vélos classiques, plus lents que les usagers de VAE. Ces derniers hésiteraient moins à se positionner au centre de la voie. Ils seraient de fait moins vulnérables aux ouvertures de portières des automobilistes et plus facilement détectables.

11. Un test du chi-2 a été utilisé pour examiner si les différences observées sont significatives au seuil de 0,05.

Tableau 1. Intitulés des scénarios types d'accidents et enjeux correspondants parmi les accidents de VAE et de vélos traditionnels

Intitulés	VAE (% des cas)	Vélos traditionnels (% des cas)	p-value ¹
<i>Scénario type 1.</i> Vélo circulant le long d'une file de véhicules stationnés ou arrêtés (ou parfois dépassant un seul véhicule arrêté sur la chaussée) et choc contre une portière qui s'ouvre	11,8 %	16,3 %	0,404
<i>Scénario type 2.</i> Circulation dense, vélo remontant une file de véhicules arrêtés (souvent dans un couloir bus) et collision avec un véhicule/piéton franchissant la file et initialement masqué	10,6 %	5,4 %	0,182
<i>Scénario type 3.</i> Vélo circulant dans une voie réservée (couloir bus, bande cyclable), souvent en train de dépasser plusieurs véhicules arrêtés par la droite et collision avec un véhicule tournant à droite en intersection	9,4 %	3,3 %	0,131
<i>Scénario type 4.</i> Véhicule tournant à gauche en intersection et collision avec un vélo circulant en face et non détecté	5,9 %	10,9 %	0,267
<i>Scénario type 5.</i> Piéton détecté engage une traversée sans prendre d'information surprenant un cycliste	5,9 %	6,5 %	1,00
<i>Scénario type 6.</i> Vélo surpris par le ralentissement du véhicule qui le précède	5,9 %	3,3 %	0,723
<i>Scénario type 7.</i> Vélo remontant une file de véhicule arrêtés et collision avec l'un des véhicules de la file tournant à gauche	4,7 %	0,0 %	0,134
<i>Scénario type 8.</i> Vélo franchissant volontairement un feu rouge et collision avec un véhicule passant au feu vert	4,7 %	4,3 %	1,00
<i>Scénario type 9.</i> Vélo traversant sur un passage piéton et collision avec un véhicule non détecté	4,7 %	4,3 %	1,00
<i>Scénario type 10.</i> Véhicule s'engageant sur un axe prioritaire et collision avec un vélo initialement masqué (souvent par véhicules en stationnement)	3,5 %	1,1 %	0,617
<i>Scénario type 11.</i> VAE circulant en sens interdit et collision en intersection avec un véhicule	3,5 %	0,0 %	0,248
<i>Scénario type 12.</i> Vélo tournant à gauche en intersection et collision avec un véhicule en train de le dépasser	2,4 %	3,3 %	1,00
<i>Scénario type 13.</i> Piéton traversant, initialement masqué (souvent par véhicules en stationnement) surprenant un cycliste	2,4 %	4,3 %	0,617
<i>Scénario type 14.</i> Vélo démarrant à un feu vert et collision avec un véhicule passant au feu rouge	2,4 %	0,0 %	0,480
Autres cas	22,4 %	37,0 %	-
Total	100,0 %	100,0 %	-

¹ Test de McNemar

Notons enfin que parmi les cas non regroupés en scénarios types, 4 cas parmi les accidents de VAE et 9 cas parmi les accidents impliquant des vélos traditionnels, ont été jugés similaires et pourraient constitués ensemble de petits scénarios types complémentaires.

Au final, 73 % des accidents de vélos traditionnels ont donc un déroulement s'apparentent à un ou plusieurs cas d'accident de VAE. Les autres cas (27 %) sont des accidents au déroulement si particulier qu'il ne permet pas de les regrouper en scénario type. Cette proportion de cas dits isolés s'élève à 18 % parmi les accidents de VAE.

Globalement, il n'apparaît donc pas de différence significative dans la répartition des cas parmi les

différents scénarios types entre les accidents de VAE et les accidents impliquant des vélos traditionnels. Notons également qu'il n'est pas non plus apparu de scénario d'accident propre aux vélos à assistance électrique que nous n'aurions jamais rencontré dans d'autres études.

5. Discussion et conclusions

Les travaux que nous venons de présenter suggèrent que les accidents impliquant les usagers de vélos à assistance électrique ne se différencient pas, en particulier du point de vue de leurs mécanismes, des accidents impliquant des utilisateurs de vélos traditionnels. Ce résultat mériterait d'être consolidé en s'appuyant sur des échantillons d'accidents plus grands. Ce résultat, peut,

en première analyse, paraître surprenant dans la mesure où l'assistance électrique peut conduire les usagers à circuler à des vitesses plus élevées et donc augmenter le risque d'implication dans un accident.

Nous avons toutefois vu que plusieurs publications suggèrent que l'assistance électrique est surtout utilisée par les usagers pour effectuer des déplacements de plus grande portée et pas nécessairement pour circuler plus vite. La portée des déplacements en VAE apparaît en effet double à celle des déplacements en vélo traditionnel [60] alors que la vitesse moyenne serait augmentée de « seulement » 1 à 4 km/h [49, 44]. Otte et Facius n'observent d'ailleurs pas de différences dans les vitesses des cyclistes impliqués dans un accident entre VAE et vélos traditionnels, même si ce résultat doit être considéré avec prudence compte tenu des faibles effectifs d'accidents pris en compte et de la difficulté de reconstruire cinématiquement les accidents de vélos [27].

Les accélérations ne seraient *a priori* pas non plus plus importantes en VAE [48]. Il n'est pas non plus complètement à exclure qu'une vitesse légèrement supérieure pourrait être favorable à la sécurité, en permettant au cycliste de mieux s'insérer dans le flux de trafic.

Il semblerait donc que les usagers de VAE utilisent ce type de vélo comme un vélo traditionnel mais en fournissant moins d'effort. Cela se traduirait par un risque d'accident, une gravité des blessures en cas d'accident, et des mécanismes d'accidents, globalement proches entre VAE et vélos classiques.

Ces éléments suggèrent que le VAE n'est pas, toutes choses égales par ailleurs, plus dangereux qu'un vélo traditionnel. De fait, « promouvoir l'usage du VAE ne serait pas plus dangereux que toute autre politique publique cherchant à inciter les usagers à se déplacer en vélo, à la seule différence que le VAE, lui, parvient à atteindre cet objectif » (traduit de Fyhri et *al.*, 2019, page 7, [21]). En effet, au-delà des anciens cyclistes qui remplacent leur vélo par un VAE, le VAE attire également vers le vélo de nouvelles catégories d'usagers, comme d'anciens automobilistes, d'anciens usagers des transports en commun [61]. On observe également plus de femmes et plus de personnes âgées, parmi les usagers de VAE par rapport aux cyclistes utilisant des vélos traditionnels. Il semble également induire de nouveaux déplacements d'après Fyhri et Sundfør [6]. Du fait du risque d'accident, inhérent à ce mode de déplacement, bien supérieur au risque encouru en transport en commun ou en voiture [62], il est probable que le bilan en termes de sécurité routière du développement des VAE ne soit pas positif, même si globalement ce développement pourrait avoir des effets bénéfiques du point de vue de la santé publique [11].

Certaines limites des travaux rapportés dans cet article doivent être soulignées. Tout d'abord, les investigations ont porté sur des échantillons d'accidents de taille relativement limitée et sur trois départements seulement. Le nombre d'accidents de VAE recensés annuellement dans ces trois départements reste heureusement encore assez limité. La plupart des scénarios types décrits sont de fait représentés par un nombre limité de cas, rendant fragile toute démarche comparative. Il n'est pas à exclure que l'absence de différence significative entre les échantillons provienne d'un manque d'effectifs. De ce point de vue, la réplication de cette étude en s'appuyant sur des effectifs d'accidents plus importants, en intégrant d'autres départements et d'autres années, pourrait être riche d'enseignements. Elle pourrait permettre de confirmer ou d'infirmer certaines hypothèses qui ont émergé au fil des analyses, comme par exemple la sur-implication des usagers de VAE dans les accidents de remontée de files ou au contraire leur sous-représentation dans les accidents liés à une ouverture de portière. Les investigations suggèrent également que certains accidents comme par exemple les accidents entre un poids-lourd redémarrant et tournant à droite et un cycliste situé à droite dans l'angle mort, pourraient être moins représentés chez les usagers de VAE. Deux cas d'accidents de ce type ont été recensés parmi les accidents de vélos traditionnels alors qu'aucun n'a été recensé parmi les accidents de VAE. Dans ces accidents, la lenteur au redémarrage du cycliste joue souvent un rôle déterminant [63]. L'assistance électrique pourrait permettre de s'extraire plus facilement de ces situations. C'est d'ailleurs l'un des avantages de l'assistance évoqués par les usagers de VAE lors d'enquêtes ou d'entretiens semi-directifs [37, 59].

À l'inverse, certains accidents liés à un démarrage rapide en intersection, pourraient être plus fréquents chez les usagers de VAE. Notons également que la très grande majorité des cas étudiés impliquent des vélos à vocation utilitaire utilisés en ville lors de trajets domicile-travail. D'autres investigations traitant d'accidents survenant lors de trajets effectués pour le loisir hors agglomération ou impliquant des professionnels de la route (livreurs) sur d'autres types de vélo (VTT, VAE bridés à 45 km/h) ou ceux liés à une perte d'équilibre à faible vitesse, mériteraient d'être entreprises. Le sur-risque des femmes utilisatrices de VAE mériteraient également de donner lieu à des analyses approfondies de cas pour mieux comprendre l'origine de ce sur-risque.

Du point de vue de l'aménagement, si les résultats présentés venaient à être confirmés, cela signifierait que le développement du VAE ne devrait *a priori* pas donner lieu à un changement substantiel de perspective en matière de prise en compte de la sécurité des cyclistes dans l'aménagement des espaces urbains.

Références

- Ravalet, E., & Bussière, Y. (2012). Les systèmes de vélos en libre-service expliquent-ils le retour du vélo en ville ? *Recherche Transports Sécurité*, 28(1), 15-24
- Courel, J., & Riou, D. (2014). 40 ans d'évolution du vélo. Le vélo retrouve sa place parmi les transports du quotidien en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France, club des mobilités douces, 11p
- Richer, C., & Rabaud, M. (2019). L'évolution des mobilités actives dans la Métropole Européenne de Lille depuis dix ans : Changement de modèle ou prolongement de tendance ? *Belgeo. Revue belge de géographie*, 4. <https://doi.org/10.4000/belgeo.35298>
- CONEBI. (2020). 2020 European bicycle industry and market profile. 2020 Edition (2019 Statistics). Confederation of the European Bicycle Industry (CONEBI)
- Cairns, S., Behrendt, F., Raffo, D., Beaumont, C., & Kiefer, C. (2017). Electrically-assisted bikes : Potential impacts on travel behaviour. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 327-342. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.03.007>
- Fyhri, A., Sundfør, H. (2020). Do people who buy e-bikes cycle more? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102422>
- Cherry, C. R., Weinert, J. X., & Xinmiao, Y. (2009). Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(5), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.003>
- Orfeuill, J.-P. (2014). Pourquoi faut-il des petits véhicules urbains à forte urbanité ? Comment les développer. In Keller-Baupin (Eds.), *Les nouvelles mobilités sereines et durables. Concevoir et utiliser des véhicules écologiques*, rapport n°1713 Opecst, Assemblée nationale et Sénat
- Rérat, P., Giacomel, G., & Martin, A. (2019). Au travail à vélo... La pratique utilitaire de la bicyclette en Suisse (1^{re} éd.). Éditions Alphil, Presses universitaires suisses. <https://doi.org/10.33055/ALPHIL.03111>
- Simons, M., Van Es, E., & Hendriksen, I. (2009). Electrically assisted cycling : A new mode for meeting physical activity guidelines? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2097-2102. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a6aaa4>
- Gojanovic, B., Welker, J., Iglesias, K., Daucourt, C., & Gremion, G. (2011). Electric bicycles as a new active transportation modality to promote health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2204-2210. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821cbdc8>
- Sundfør, H. B., & Fyhri, A. (2017). A push for public health : The effect of e-bikes on physical activity levels. *BMC Public Health*, 17(1), 809. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4817-3>
- Siman-Tov, M., Radomislensky, I., Peleg, K., Bahouth, H., Becker, A., Jeroukhimov, I., Karawani, I., Kessel, B., Klein, Y., Lin, G., Merin, O., Bala, M., Mnouskin, Y., Rivkind, A., Shaked, G., Sivak, G., Soffer, D., Stein, M., & Weiss, M. (2018). A look at electric bike casualties : Do they differ from the mechanical bicycle? *Journal of Transport & Health*, 11, 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.10.013>
- ORFOU. (2017). *Statistique des accidents de la route*. Office fédéral des routes/Confédération suisse, Rapport ORFOU, 35p
- Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. (2018). Germany: accidents on German roads in 2017. Number of cyclists killed drops by 2.8 percent <https://nationaler-radverkehrsplan.de>. Accès le 30 juin 2020
- Twisk, D., Stelling, A., Van Gent, P., De Groot, J., & Vlakveld, W. (2021). Speed characteristics of speed pedelecs, pedelecs and conventional bicycles in naturalistic urban and rural traffic conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105940. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105940>
- Van Boggelen, O., Van Oijen, J., Lankhuijzen, R., (2013). *Feiten Over de Elektrische Fiets (Facts About the Electrically Assisted Bicycle)*. Fietsberaad, Utrecht
- Schepers, J. P., Fishman, E., den Hertog, P., Wolt, K. K., & Schwab, A. L. (2014). The safety of electrically assisted bicycles compared to classic bicycles. *Accident Analysis and Prevention*, 73, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.010>
- Schepers, P., Wolt, K. K., & Fishman, E. (2018). The Safety of E-Bikes in The Netherlands. Documents de travail du Forum international des transports, n° 2018/02, Éditions OCDE, Paris, 19. <https://doi.org/10.1787/21de1ffa-en>
- Schepers, P., Wolt, K. K., Helbich, M., & Fishman, E. (2020). Safety of e-bikes compared to conventional bicycles : What role does cyclists' health condition play? *Journal of Transport & Health*, 19, 100961. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100961>
- Fyhri, A., Johansson, O., Bjørnskau, T. (2019). Gender differences in accident risk with e-bikes—Survey data from Norway. *Accident Analysis & Prevention*, 132, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.024>
- Gehlert, T., Kröling, S., Schreiber, M., Schleinitz, K., (2017). *Accident Analysis and Comparison of Bicycles and Pedelecs: Research Paper*. Mannheim (Allemagne): International Cycling Conference 2017
- Hu, F., Lv, D., Zhu, J., & Fang, J. (2014). Related Risk Factors for Injury Severity of E-bike and Bicycle Crashes in Hefei. *Traffic Injury Prevention*, 15(3), 319-323. <https://doi.org/10.1080/15389588.2013.817669>
- Gross, I., Weiss, D. J., Eliasi, E., Bala, M., & Hashavya, S. (2018). E-Bike-Related Trauma in Children and Adults. *The Journal of Emergency Medicine*, 54(6), 793-798. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.12.012>
- Weber, T., Scaramuzza, G., & Schmitt, K.-U. (2014). Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accident Analysis and Prevention*, 73, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.020>
- Blaizot, S., Amoros, E., Papon, F., & Haddak, M. (2012). *Accidentalité à Vélo et Exposition au risque (AVER)*. Rapport IFSTTAR/DSCR. IFSTTAR/Université Claude Bernard Lyon 1, 174p
- Otte, D., & Facius, T. (2019). Accident Typology Comparisons between Pedelecs and Conventional Bicycles. *Journal of Transportation Safety & Security*, 12(1), 116-135. <https://trid.trb.org/view/1678110>

28. Amoros, E., (2007). Les blessés par accidents de la route : Estimation de leur nombre et de leur gravité lésionnelle, France, 1996-2004. Modélisation à partir d'un registre médical (Rhône) et des données policières (France). Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, 157p
29. Demetriades, D., Murray, J., Martin, M., Velmahos, G., Salim, A., Alo, K., & Rhee, P. (2004). Pedestrians injured by automobiles : Relationship of age to injury type and severity. *Journal of the American College of Surgeons*, 199(3), 382-387. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2004.03.027>
30. Kim, J.-K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., & Kim, S. (2008). Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes : A heteroskedastic logit analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1695-1702. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.06.005>
31. Papoutsis, S., Martinolli, L., Braun, C. T., & Exadaktylos, K. (2014). E-Bike Injuries : Experience from an Urban Emergency Department—A Retrospective Study from Switzerland. *Emergency Medicine International*, vol.2014, 5p. <https://doi.org/10.1155/2014/850236>
32. Tenenbaum, S., Weltsch, D., Bariteau, J. T., Givon, A., Peleg, K., & Thein, R. (2017). Orthopaedic injuries among electric bicycle users. *Injury*, 48(10), 2140-2144. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.08.020>
33. Weber, T., Scaramuzza, G., & Schmitt, K.-U. (2014). Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accident Analysis and Prevention*, 73, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.020>
34. Siman-Tov, M., Radomislensky, I., Israel Trauma Group, Peleg, K. (2017). The casualties from electric bike and motorized scooter road accidents. *Traffic Injury Prevention*, 18(3), 318-323. <http://dx.doi.org/10.1080/15389588.2016.1246723>
35. Hertach, P., Uhr, A., Niemann, S., & Cavegn, M. (2018). Characteristics of single-vehicle crashes with e-bikes in Switzerland. *Accident Analysis and Prevention*, 117, 232-238. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.04.021>
36. Twisk, D. A. M., Platteel, S., & Lovegrove, G. R. (2017). An experiment on rider stability while mounting : Comparing middle-aged and elderly cyclists on pedelecs and conventional bicycles. *Accident Analysis and Prevention*, 105, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.01.004>
37. Johnson, M., & Rose, G. (2015). Extending life on the bike : Electric bike use by older Australians. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 276-283. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2015.03.001>
38. Otte, D., Facius, T., Müller, C. (2014). Pedelecs im Unfallgeschehen und Vergleich zu konventionellen nicht motorisierten Zweirädern Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (2014), pp. 48-60, VKU 2/2014
39. Du, W., Yang, J., Powis, B., Zheng, X., Ozanne-Smith, J., Bilston, L., & Wu, M. (2013). Understanding on-road practices of electric bike riders : An observational study in a developed city of China. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.011>
40. Dozza, M., Bianchi Piccinini, G. F., & Werneke, J. (2016). Using naturalistic data to assess e-cyclist behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.003>
41. Petzoldt, Tibor, Schleinitz, K., Heilmann, S., & Gehlert, T. (2017). Traffic conflicts and their contextual factors when riding conventional vs. Electric bicycles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 477-490. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.010>
42. Petzoldt, T., Schleinitz, K., Krems, J. F., & Gehlert, T. (2017). Drivers' gap acceptance in front of approaching bicycles – Effects of bicycle speed and bicycle type. *Safety Science*, 92, 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.021>
43. Hausteiner, S., & Möller, M. (2016). E-bike safety : Individual-level factors and incident characteristics. *Journal of Transport & Health*, 3(3), 386-394. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.07.001>
44. Langford, B. C., Chen, J., & Cherry, C. R. (2015). Risky riding : Naturalistic methods comparing safety behavior from conventional bicycle riders and electric bike riders. *Accident Analysis and Prevention*, 82, 220-226. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.05.016>
45. Schleinitz, K., Petzoldt, T., Kröling, S., Gehlert, T., & Mach, S. (2019). (E-)Cyclists running the red light – The influence of bicycle type and infrastructure characteristics on red light violations. *Accident Analysis and Prevention*, 122, 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.10.002>
46. Schleinitz, K., Franke-Bartholdt, L., Petzoldt, T., Schwanitz, S., Gehlert, S., Kühn, M. (2014). Pedelec Naturalistic Cycling Study. *German Insurers Accident Research*, 2014, n° 27
47. Carré, J.-R. (2001). RESBI - Recherche et expérimentation sur les stratégies des cyclistes au cours de leurs déplacements urbains. Institut National de recherche sur les Transports et leur sécurité (INRETS), rapport INRETS n° 235, 2001. 85p
48. Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J., & Gehlert, T. (2017). The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety Science*, 92, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.027>
49. Scaramuzza G., Uhr, A., Niemann, S. (2015). E-Bikes im Strassenverkehr– Sicherheitsanalyse. Beratungsstelle für Unfallverhütung-report, 2015, n° 72, 128p
50. Huertas-Leyva, P., Dozza, M., & Baldanzini, N. (2018). Investigating cycling kinematics and braking maneuvers in the real world : E-bikes make cyclists move faster, brake harder, and experience new conflicts. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 54, 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.02.008>
51. Vlakveld, W. P., Twisk, D., Christoph, M., Boele, M., Sikkema, R., Remy, R., & Schwab, A. L. (2015). Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations : A field experiment. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.018>
52. F.U.B (Fédérations des Usagers de la Bicyclette). Vélo à Assistance électrique. État des lieux et enjeux de sécurité routière. Mieux sécuriser la mobilité des seniors. Rapport de convention FUB/Direction de la Sécurité Routière, mai 2020, 112p
53. Brenac, T., (1997). L'analyse séquentielle de l'accident de la route (méthode INRETS). Comment la mettre en pratique dans les diagnostics de sécurité routière ? Rapport INRETS Outils et Méthodes, n°3. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, 79p

54. Fleury, D., & Brenac, T. (2001). Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnostic studies. *Accident; Analysis and Prevention*, 33(2), 267-276. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(00\)00041-5](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(00)00041-5)
55. Brenac, T., Fleury D., (1999). Le concept de scénario type d'accident de la circulation et ses applications. *Recherche Transports Sécurité*, 63, 63-76
56. Siegel S, Castellan Jr. NJ. (1988) *Non-parametric statistic for the behavioral sciences* (2nd edition). 1988 (75–80)
57. Amoros, E., Martin, J.-L., & Laumon, B. (2006). Under-reporting of road crash casualties in France. *Accident Analysis and Prevention*, 38(4), 627-635. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.11.006>
58. Fishman, E., & Cherry, C. (2016). E-bikes in the Mainstream : Reviewing a Decade of Research. *Transport Reviews*, 36(1), 72-91. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069907>
59. Pitoiset, A. (2019). Sécurité des usagers de vélos à assistance électrique. Université de Lyon - ENTPE - l'École de l'aménagement durable des territoires/IFSTTAR, 106p
60. Fyhri, A., Fearnley, N. (2015). Effects of e-bikes on bicycle use and mode share. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.005>
61. Sun, Q., Feng, T., Kemperman, A., & Spahn, A. (2020). Modal shift implications of e-bike use in the Netherlands : Moving towards sustainability? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102202. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102202>
62. Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*. Second edition. Emerald Group Publishing Limited, 1124p
63. De Ceunynck, T., Sloomans F., Temmerman, P., Daniels S. (2019). Blind spot crashes between vulnerable road users and heavy goods vehicles in crashes. 28th EVU conference, Barcelona, pp41-51