



HAL
open science

Fret connecté: les leçons du projet Ensemble

Pierre Hornych, Odile Arbeit de Chalendar, Franziska Schmidt, François Combes, Nour-Eddin El Faouzi, Christophe Jallais, Paulina Leiva-Padilla, Christophe Mundutéguy

► **To cite this version:**

Pierre Hornych, Odile Arbeit de Chalendar, Franziska Schmidt, François Combes, Nour-Eddin El Faouzi, et al.. Fret connecté: les leçons du projet Ensemble. *Revue Générale des Routes et de l'Aménagement*, 2022, 995, pp.58-62. hal-04372337

HAL Id: hal-04372337

<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04372337v1>

Submitted on 11 Jul 2024

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.

Fret connecté : les leçons du projet ENSEMBLE

Auteurs : Franziska Schmidt, Odile Arbeit de Chalendar, François Combes, Nour-Eddin El Faouzi, Pierre Hornych, Christophe Jallais, Paulina Leiva Padilla, Christophe Munduteguy.

De 2018 à 2022, le projet H2020 ENSEMBLE (<https://platooningensemble.eu/>) a défini les spécifications du « *truck platooning* » en mode assisté et en mode complètement automatisé, a implémenté le premier mode et a évalué les impacts de ce nouveau type de fret.

En effet, le *truck platooning* peut se définir comme la conduite en convoi de plusieurs poids lourds, avec des interdistances faibles, et une communication en temps réel entre les poids lourds. Lors du lancement du projet, en 2016, les avantages attendus étaient une baisse de consommation de carburant, une meilleure fluidité du trafic et une sécurité de la route accrue.

Dans le cadre du projet ENSEMBLE, l'Université Gustave Eiffel a été chargée de l'évaluation des impacts sur le *truck platooning*, et les résultats, parfois partiels, qui ont pu en être tirés montrent une situation plus complexe.



ENSEMBLE

Figure 1: Logo du projet H2020 ENSEMBLE

Consommation de carburant et émission peu réduites

La consommation de carburant, et en particulier la baisse de consommation de carburant, avait été identifiée comme l'un des principaux bénéfices du *truck platooning*. Néanmoins, une revue bibliographique a montré rapidement que l'économie espérée ne serait pas supérieure à 5%, selon



les conditions de conduite. En particulier, l'état de l'art nous a permis de montrer que les conditions de test, et donc de mesure des chiffres de consommation de carburant, sont très importantes, et doivent être détaillées précisément. Ceux pouvant être retrouvés dans la littérature sont souvent peu explicites.

Des essais de conduite en *platoon* sur le site test de Idiada (circuit fermé près de Barcelone) ont montré qu'il n'y avait pas de modification en termes de consommation et émissions pour le premier véhicule du *platoon*. Pour les véhicules suiveurs, la consommation de carburant a baissé de 1,4l/100 k, et les émissions de CO₂ de -7% par rapport à la conduite sans *platoon*.

Les essais sur route ouverte ont été assez difficiles à examiner, puisqu'il a été nécessaire d'identifier les situations de *platoon*, avec des conditions stables (vitesse constante par exemple). La consommation en carburant et les émissions ont baissé, mais cela ne peut être imputé complètement/entièrement à la conduite en *platoon* : en effet, d'autres facteurs ont pu intervenir, telles que la baisse de la vitesse, la différence en ratio puissance/masse, la pente longitudinale de la route, l'existence de zones de péage.

Un choix nécessitant réflexion pour les entreprises de fret

L'évaluation du *platooning* sous l'angle économique soulève des questions intéressantes, car il s'agit d'une technologie à la limite de ce que les méthodes classiques d'analyse coût-bénéfice permettent de traiter. Du point de vue économique, le *platooning* a en effet plusieurs caractéristiques spécifiques, qu'il faut traiter de façon explicite. Citons les principales : tout d'abord, le *platooning* est une technologie qui nécessite d'abord d'acquérir des véhicules équipés en conséquence ; ensuite, la formation de *platoons* nécessite une coordination entre véhicules et même entre transporteurs (coordination qui peut être organisée à l'avance ou bien gérée au fil de l'eau) ; enfin les décisions d'un transporteur dépendent des choix réalisés par les autres transporteurs, et même de ses propres anticipations concernant ces choix.

Le bénéfice à former des *platoons* peut venir d'une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, ou bien d'autres sources (comme une réduction des coûts de ressources humaines, dans un scénario hypothétique où le *platooning* permettrait de n'avoir un conducteur que dans le véhicule leader – scénario qui soulève de nombreuses questions d'organisation pour les transporteurs, et qui n'a pas été étudié en détail/en théorie mais non en pratique/ dans le cadre du projet.) Par contre, la formation de *platoons* engendre un coût de coordination : des véhicules avec des itinéraires et horaires initialement distincts doivent s'adapter l'un à l'autre. Cela peut notamment entraîner des délais – et donc des coûts - supplémentaires. La probabilité que des *platoons* se forment est donc fonction du trafic sur les axes concernés, et de la part du parc roulant équipé avec la technologie du *platooning*. Il est donc possible de n'avoir que peu voire pas de *platoons*, même dans le cas où la technologie ne coûte rien, du fait de ce coût de coordination.

La décision, pour un transporteur, d'investir dans l'achat de véhicules capables de former des *platoons* consiste à apprécier les bénéfices d'un tel choix sur le long terme, et de déterminer s'ils sont supérieurs au coût de la technologie. Cela dépend des parcours que fera le véhicule pendant toute sa durée de vie, et des décisions des autres transporteurs. De ce point de vue, le problème économique du *platooning* est caractérisé par la présence d'externalités de réseau, un point particulièrement important et relativement délicat à prendre en compte. Dans le cadre du projet ENSEMBLE, deux scénarios ont été testés : l'un correspond à des hypothèses conservatrices sur le coût de la technologie et sur les gains de consommation de carburant ; l'autre est plus optimiste sur ces différentes hypothèses. Dans le premier scénario, il n'a pas été possible d'identifier de conditions dans lesquelles le business model du *platooning* serait viable. Dans le second scénario, le *platooning* devient viable économiquement, et ce d'autant plus que les coûts de carburant augmentent dans le temps. Une analyse des risques complète a été menée ; la conclusion principale est que la transition énergétique peut remettre en question substantiellement la pertinence économique du *platooning*, si les gains que celui-ci apporte ne s'étendent pas à d'autres postes de coût que celui du vecteur énergétique.

Le travail réalisé dans le cadre du projet ENSEMBLE a permis de clarifier le positionnement des différents acteurs concernant les coûts et bénéfices du *platooning*, ainsi que leurs interdépendances économiques. Il a également permis de mettre en lumière les adaptations de méthodes nécessaires à l'évaluation de systèmes de transport intelligents, et d'identifier les limites en termes de données : la principale étant la méconnaissance des parcours réalisés par les véhicules tout au long de leur cycle de vie économique (les bases de données classiques mesurent les trajets, mais pas leurs enchaînements dans la durée). Cette lacune statistique constitue l'un des principaux verrous actuels au développement de méthodes d'évaluation économique pleinement maîtrisées.

Impact sur la fluidité du trafic divers, selon le volume de trafic et la distance entre camions du *platoon*

Un plan d'expériences numériques basé sur la micro-simulation du trafic a été réalisé pour analyser l'impact des *platoons* sur les opérations de flux de trafic, en particulier sur les autoroutes. Afin d'effectuer cette évaluation, un cadre de simulation a été développé sur la base des spécifications des couches de truck *platooning* en marque blanche (« white label », définition minimale des caractéristiques des camions pour permettre le *platooning*). Le cadre de simulation intègre les exigences, le cadre et les interfaces du *platooning* multimarque, de sorte qu'il peut servir de modèle pour la formation, le maintien et la dissolution des *platoons*, en tenant compte des exigences en matière de trafic et d'infrastructure des sections de route où le *platooning* est autorisé. Il comprend les modules des couches tactique et opérationnelle ainsi que les modules de communication V2V et V2I. Il offre également la possibilité d'être intégré à deux plateformes de microsimulation du trafic différentes, VISSIM (une plate-forme commerciale largement utilisée) et Symuvia (plate-forme open-source développée l'Université Eiffel).

Les résultats de la simulation suggèrent que les pelotons de camions, dans le cadre d'un trafic mixte, sont potentiellement capables d'augmenter la capacité des routes, et de retarder l'apparition et atténuer l'amplitude des embouteillages. Ce résultat dépend de la proportion de *platoons* de camions par rapport au trafic total, et de leur emplacement dans le réseau. Il a été observé qu'il est plus



avantageux (en termes de flux de trafic) d'utiliser le système de pelotons de camions dans les situations où les camions représentent une part importante du trafic.

En termes de stabilité du flux et de sécurité (forts freinages), les pelotons de camions ont eu un impact positif plus important sur les voitures circulant sur les voies de gauche à grande vitesse que sur les camions circulant sur les voies de droite à faible vitesse. L'impact des pelotons de camions, notamment sur la capacité routière, est différent selon qu'il s'agit d'une fonction d'assistance ou d'une fonction autonome, en raison de la différence de distance entre les camions. Dans les goulets d'étranglement, les pelotons de camions dont l'espacement entre les camions est plus faible améliorent moins la capacité routière que les pelotons dont l'espacement entre les camions est plus important. Les exploitants routiers peuvent tirer parti de la formation de pelotons de camions pour augmenter la capacité de leurs routes en appliquant des écarts de suivi temporairement importants à proximité des goulets d'étranglement.

La possibilité de communication V2I des pelotons peut également être utilisée pour annoncer la présence d'un *platoon* aux installations de mesure de la rampe d'accès, de sorte que ces installations puissent ajuster le trafic qui s'insère sur l'autoroute.

Acceptabilité par les autres usagers de la route : une certaine appréhension devant les *platoons* longs

Les interactions entre le peloton de camions et les autres usagers de la route (spécifiquement les véhicules légers) donnent lieu à différents comportements et sentiments de la part des conducteurs de véhicules légers. Une étude sur simulateur de conduite (véhicule léger) a été menée dans le cadre du projet ENSEMBLE. En effet la rencontre avec le *platoon* de camions influence le comportement et le ressenti psychologique des autres usagers de la route.



Figure 2: Simulateur de conduite, utilisé dans le cadre de ces travaux. Extrait de Jallais, C., Vincent, F., Hoarau, A., Moreau, F., Ndiaye, D., Mascalchi, E., Tattegrain, H. Simulator study on platooning and other road users (2022) D4.7 of H2020 project ENSEMBLE.

Les pelotons de camions devraient être développés particulièrement sur autoroute, infrastructures autorisant des vitesses élevées et à forte demande cognitive du fait de la prise de décision rapide. Par exemple, lors d'un dépassement ou d'une sortie d'autoroute, il semble que la plupart des conducteurs de véhicules légers adoptent un comportement sécuritaire en respectant la limite de vitesse et/ou en attendant derrière le peloton. Ce comportement sécuritaire pourrait tout de même avoir un impact sur la fluidité du trafic. En revanche, lors de l'entrée sur l'autoroute, les résultats indiquent que les conducteurs n'attendent pas que le peloton soit passé, surtout lorsque le peloton est relativement long (7 camions), et s'insèrent au sein du *platoon*, obligeant celui-ci à se dissoudre. Dans cette situation, il a été observé que les conducteurs s'intercalent entre les camions en évitant de trop réduire leur vitesse, mais avec une vitesse d'insertion inférieure à celle du peloton. A noter que les systèmes de sécurité (e.g., Adaptive Cruise Control, détection obstacle) devraient être en mesure de détecter un véhicule qui s'intercale et ainsi éviter les situations dangereuses.

Toutefois, avec un *platoon* moins long (3 camions), notre étude a montré que la majorité des participants s'inséraient derrière les camions. Les comportements observés indiqueraient que plus le nombre de camions impliqués dans le *platoon* est important, plus les usagers auraient tendance à s'insérer entre les camions. Ces comportements pourraient forcer la dissolution du *platoon* aux voies d'insertion d'autoroute.

Il est important de noter que cette étude sur simulateur a été réalisée dans des conditions spécifiques et contrôlées. De plus, nous n'avons l'interaction du *platoon* avec plusieurs usagers en même temps. Il pourrait être intéressant de tester les mêmes situations de conduite avec plus de participants et de



vérifier les effets observés en ce qui concerne la fluidité du trafic, la consommation de carburant et bien sûr les questions de sécurité inhérentes.

Impact sur les infrastructures accru, mais une possibilité de le maîtriser

Du fait de l'espacement longitudinal réduit entre poids lourds et d'une position latérale dans la voie uniforme, l'agressivité d'un trafic avec *platoon* sur les chaussées et les ouvrages d'art est supérieure à celle d'un trafic actuel, avec l'hypothèse que celui-ci respecte les stipulations du code de la Route en termes d'interdistance et de limitation de charge.

Dans le projet, une expérimentation a été réalisée sur une chaussée bitumineuse instrumentée, située sur les pistes d'essai d'IDIADA, en Espagne, pour étudier la réponse mécanique de la chaussée sous passages de *platoons*, pour différentes configurations d'essai (vitesses, interdistances, positions latérales, températures de la chaussée). A partir de ces essais, un modèle viscoélastique permettant de simuler la réponse des chaussées sous le chargement des *platoons* a été proposé. Ce modèle a ensuite été utilisé pour la réalisation d'études paramétriques, afin de mieux comprendre l'influence de différentes caractéristiques du *platoon* sur la chaussée.

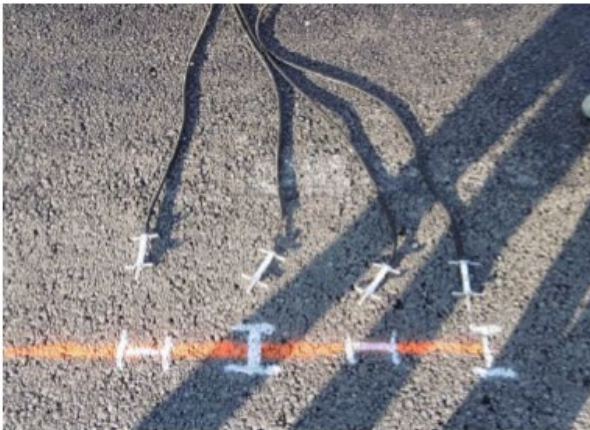


Figure 3: Préparation de la chaussée du circuit test à IDIADA. Extrait de Leiva-Padilla, P., Schmidt, F. (2022). Assessment of platoon axle loads on road infrastructure. D4.1 of H2020 project ENSEMBLE.

En ce qui concerne les chaussées, l'étude a montré que sans mesures particulières, les *platoons* peuvent entraîner une diminution de la durée de vie de la structure de chaussée étudiée pouvant aller jusqu'à 37%, pour des camions roulant à 80 km/h. L'impact des *platoons* s'avère plus important pour des températures élevées (supérieures à 20 °C), pour lesquelles la rigidité des matériaux bitumineux diminue. Néanmoins, on a également mis en évidence qu'il est possible d'adapter les caractéristiques du *platoon*, telles que le nombre de poids lourds, la charge, la position latérale, afin d'optimiser l'endommagement induit, en fonction du tonnage de marchandises transportées. Imposer une variation des positions latérales des véhicules, en particulier, permet d'éviter l'effet d'un trafic trop canalisé, et de réduire l'endommagement des chaussées.

L'ouverture des données véhicules vers l'infrastructures (V2I) et l'information de l'infrastructure vers le véhicule (I2V) permettraient d'assurer une collaboration entre ces deux entités, avec une utilisation optimale, en temps réel, des capacités de l'infrastructure. Cela est le cas pour les chaussées et les ouvrages d'art, mais également pour les tunnels qui pourraient ainsi détecter certains risques plus rapidement, tout en améliorant les conditions de passage des poids lourds.

Acceptabilité pour les conducteurs de poids lourds

Afin d'estimer le nombre de véhicules susceptibles d'intégrer des *platoons*, et d'évaluer indirectement l'acceptabilité potentielle des *platoons* par les conducteurs de poids lourd, nous avons mené une recherche sur les comportements observés sur des autoroutes. Cette recherche consistait à identifier et dénombrer les comportements limites, voire transgressifs, adoptant un temps inter-véhicule inférieur ou égal à 2 secondes (soit une distance de 50 m ou moins à 90 km/h) et isoler les variables situationnelles susceptibles d'expliquer une partie de ces comportements. Considérant la proximité de ces comportements avec ceux qui seraient observés en *platoon*, l'hypothèse, qui sous-tend ce travail, pose que les conducteurs de poids lourd qui décident, ou sont juste contraints, de caler leur conduite sur celle du véhicule qui les précède avec une interdistance courte pendant un temps prolongé seront plus susceptibles d'accepter d'intégrer des *platoons*.

A la différence du peloton pour lequel on considère que les conducteurs l'ont intentionnellement intégré, les comportements observés ne le sont pas nécessairement. Nous avons donc redéfini la situation de regroupement de poids lourds comme étant toute situation présentant un groupe de poids lourds se suivant sur la même voie, avec un temps inter-véhicule inférieur ou égal à 2 s et une différence de vitesse nulle ou plus ou moins égale à la marge d'erreur des systèmes de mesure, pendant un temps prolongé.

Ce phénomène de regroupement de poids lourds a été estimé à partir de l'analyse de données issues de bases provenant de trois stations de pesage en mouvement (WIM). Deux d'entre elles se situent sur les autoroutes A9 (Fabrègues) et A20 (Massay) et une sur la RN4 (Maulan). Suite à une première analyse, seule la première station a été retenue faute de situations de regroupement suffisantes dans les deux autres. Sur les 1 882 156 véhicules enregistrés, 14,51% des poids lourds se trouvent potentiellement en situation de regroupement. Dans un cas sur cinq, ces regroupements ne comprennent que deux véhicules. Si on ne retient que les regroupements avec des différences de vitesse nulle afin de supprimer les situations de dépassement, la part de véhicules concernés n'est plus que de 2,71% avec un temps inter-véhicule de 2 secondes, 4,12% à 3 s, 5,15% à 4 s et 5,95% à 5s. Indépendant du niveau de trafic global, le phénomène est corrélé au niveau de trafic de poids lourd. Aucune variable situationnelle ne permet de l'expliquer.

Ces résultats nécessiteraient de nouvelles recherches combinant observations en situation, réalisation d'entretien avec des conducteurs de poids lourds et recueil de données dynamiques. Il semble toutefois qu'à la différence d'autres contextes internationaux et en dehors des principaux axes routiers européens (A1, A4, A6 pour la France), le regroupement de poids lourds est un phénomène peu important en France. Cela pourrait-il laisser présager d'un spectre d'adoption restreint du *platoon* par les conducteurs sur le territoire français ?



De nouveaux services apparaissent, donc certains seront obligatoires alors que d'autres seront facultatifs (good-to-have). Ainsi, les services obligatoires concernent la communication autour de la possibilité d'un camion ou d'un groupe de camions de rejoindre ou de créer un *platoon* (*platoon matching*), et les critères de conduite de *platoons* sur le réseau routier.

Les services facultatifs sont plus nombreux, et touchent divers sujets tels le parking des poids lourds, l'incitation des conducteurs à rejoindre un *platoon*, le suivi des *platoons* au cours du temps, la communication entre les conducteurs...

Ces deux types de service nécessitent une structure numérique adaptée, avec des échanges d'information adaptés. Une couche numérique pour les services (surface layer) permettrait les échanges d'information entre les constructeurs de poids lourds (*OEMs*), les fournisseurs de services et les autorités routières. Les informations échangées ne sont pas toujours les mêmes, et impliquent des technologies de communication différentes.

Des impacts variés et contrastés

Le projet ENSEMBLE a permis d'étudier les impacts du *truck platooning*, en permettant des mesures expérimentales et des évaluations sur la base de modélisations numériques dans certains cas. Il a été montré que certains bénéfices prévus, telle la réduction de consommation de carburant, étaient faibles. D'autres bénéfices ont été détectés, tel l'amélioration de la sécurité du trafic environnant les poids lourds.

Un certain nombre de rapports/livrables a été produit, et des publications scientifiques ont été publiées –ou sont en cours de publication-. Néanmoins, la conduite autonome de *truck platoons* pose encore beaucoup de questions en termes d'impacts.