



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

DOCUMENT DE TRAVAIL

Poids lourds autonomes : étude socio-économique prospective

*Scénarios de déploiement en
circulation interurbaine
à l'horizon 2030*

Février 2022

Remerciements

Ce travail est issu du stage de Mme Claudia Judith réalisé de mars à août 2018 au CGDD. Ce stage a été co-encadré par Zéhir Kolli (CGDD) et Olivier Raymond (Comité national routier). Il a bénéficié des conseils avisés de Pierre Bender (CGDD) lors de la réalisation de l'étude.

Nous remercions l'ensemble des experts qui ont contribué à l'étude, en particulier Pierre Brender (CGDD), Alexis Giret (directeur du CNR), Emeric Fortin (École des Ponts ParisTech), François Combes (Iffsttar), David Meunier (CGDD), ainsi que les autres membres du comité ayant permis de définir les hypothèses liées aux scénarios: Arantxa Julien (CGDD), Halvard Hervieu (CGDD), Louis Fernique (DGITM), Rémi Pochez (DGITM), François Combes (Iffsttar), Guillaume Travers (DGITM), Philippe Gache (Renault Trucks), Maude Premilieu (DGEC), Éric Ollinger (DGITM), Victor Dolcemascolo (DGITM), Jean-Marc Moulinier (CGDD).

Nous remercions Tomas Hidalgo (CGDD), Vincent Marcus (CGDD) et Laurianne Courtier (CGDD) pour leur relecture attentive et leurs suggestions.

Ces résultats ont également été repris dans une note de l'Observatoire économique du transport de marchandises du Comité national routier.

Auteurs

Claudia JUDITH – stagiaire (lors de la réalisation de cette étude)

Zéhir KOLLI – chargé d'études économiques - SEVS

Résumé

Cette étude porte sur les perspectives de développement du véhicule autonome dans le secteur du transport routier de marchandises (TRM) français en zone interurbaine, sous l'hypothèse d'un début de déploiement à l'horizon 2030. Elle présente quatre grands scénarios d'avenirs possibles pour les modalités d'aménagement d'infrastructures et d'usage du véhicule.

Ces scénarios s'inspirent des expérimentations réalisées en Europe et dans le monde, sur le *platooning* ou sur l'utilisation de technologies de communication entre véhicules et infrastructures. Pour chacun d'eux, l'étude propose un bilan socio-économique pour la collectivité ainsi qu'un bilan financier pour le secteur du TRM.

Ce travail d'identification des situations de rentabilité socio-économique et de leurs limites apporte un éclairage sur les bénéfices potentiels de la rupture étudiée tout en élaborant un cadre propice à la réflexion sur les risques, les opportunités ainsi que sur les modalités de développement du poids lourd autonome.

Mots clés : poids lourd autonome, TRM interurbain, prospective, *platooning*, évaluation socio-économique

Abstract

This study focuses on the development prospects of the autonomous trucks in the French long-haul carriers, under the assumption of a deployment by 2030. It presents four possible scenarios for the development modalities, the required investments on infrastructures and the use of the vehicle. These scenarios are inspired by experiments conducted in Europe and around the world, on platooning or on the use of communication technologies between vehicles and infrastructures. For each of them, the study proposes a socio-economic assessment as well as a financial balance for long haul carriers' sector. By identifying situations of socio-economic profitability and their limits, this report sheds light on the potential benefits of the studied break while at the same time developing a framework conducive to reflection on the development modalities of the autonomous heavyweight.

Keywords: autonomous trucks, long haul carriers, prospective, platooning, socio-economic evaluation

Les jugements et opinions exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs, et non les institutions auxquelles ils appartiennent, ni a fortiori le ministère de la Transition écologique.

SOMMAIRE

PARTIE 1 MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES DE RÉFÉRENCE	9
I. L'analyse socio-économique	10
II. Situation de référence	12
PARTIE 2 SCÉNARIOS	15
I. Scénario 1 : <i>platooning</i> sur autoroute.....	16
II. Scénario 2 : déploiement d'infrastructures de communication	18
III. Scénario 3 : création de voies	19
IV. Scénario 4 : véhicule totalement autonome.....	20
PARTIE 3 RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE	21
I. Scénario 1a : <i>platooning</i> sur autoroute.....	22
II. Scénario 1b : <i>platooning</i> avec un seul conducteur placé dans le camion de tête	22
III. Scénario 2 : déploiement d'infrastructures de communication	24
IV. Scénario 3a : création de voies sur routes nationales et départementales.....	25
V. Scénario 3b : création de kilomètres d'autoroutes	26
VI. Scénario 4a : véhicule tout autonome	27
VII. Scénario 4b : véhicule tout autonome avec taux d'utilisation des PL porté à 20 heures par jour	28
PARTIE 4 QUELS IMPACTS SUR L'EMPLOI ?	29
I. La situation actuelle.....	30
01) <i>Des effectifs en croissance mais des tensions sur le recrutement</i>	30
02) <i>Le ressenti du secteur</i>	32
II. Quel avenir pour le métier de conducteur?.....	33
01) <i>De la supervision la fin de la longue distance</i>	33
02) <i>Le contrôleur à distance</i>	33
PARTIE 5 LIMITES DE L'ÉTUDE	35
I. Tests de sensibilité.....	36
01) <i>Sécurité</i>	36
02) <i>Matériel roulant</i>	37
03) <i>Taille du parc</i>	37
04) <i>Ratio contrôleurs/véhicules</i>	37
05) <i>Part de trafic réalisé sur autoroute</i>	37
II. La congestion : des impacts indéterminés	37
PARTIE 6 EXEMPLES D'APPLICATION	39
I. Usage du <i>platooning</i>	40
II. Véhicules sans conducteur sur autoroutes avec STI-C.....	41
CONCLUSIONS	42
BIBLIOGRAPHIE	43
ANNEXES	45
01) <i>Référentiel de l'enquête CNR longue distance 2017</i>	46
02) <i>Courbes de déploiement par scénario</i>	47
03) <i>Résultats des tests de sensibilité</i>	48
04) <i>Planning détaillé des conducteurs</i>	50

Synthèse

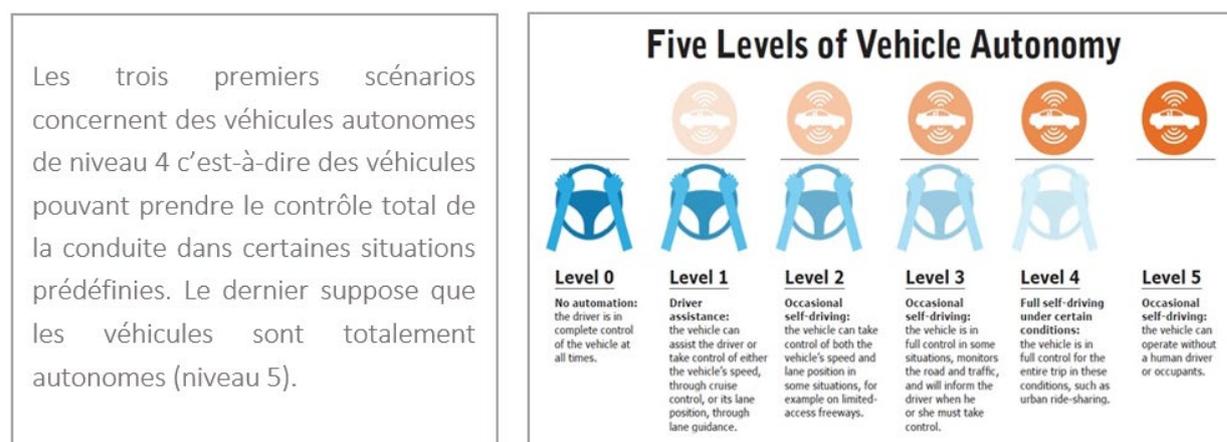
Lors du Comité ministériel du développement et de l'innovation des transports (CMDIT) du 15 décembre 2020, la stratégie de développement de la mobilité routière automatisée a été rendue publique : elle vise à faire de la France le lieu privilégié en Europe de déploiement de services de mobilité routière automatisés. Depuis juillet 2021, la France est de fait devenue le premier pays européen à avoir un cadre réglementaire complet avec une adaptation des codes de la route, des transports et de la procédure pénale qui devrait permettre aux véhicules autonomes de rouler dès septembre 2022 sur des zones prédéfinies¹.

En matière de transports de marchandise, le déploiement des poids lourds autonomes (PLA) constitue aujourd'hui un défi technologique en passe d'être relevé. Ainsi l'incertitude réside moins aujourd'hui sur la maturité technologique des PLA que sur leurs effets sur l'économie, l'environnement, l'emploi et la sécurité. Pour certains, cette technologie est pleine de promesses, en termes de gains de productivité pour les entreprises, de réduction de l'accidentologie, de bénéfices environnementaux, ou comme réponse à la pénurie tendancielle de conducteurs routiers. Selon ces derniers, un accompagnement de la part des pouvoirs publics en faveur de cette transition vers le tout autonome est même souhaitable. Pour d'autres, cette technologie émergente doit d'abord démontrer sa pertinence économique, sociale, sécuritaire et environnementale, et devra de toute manière être, plus ou moins fortement, régulée par les pouvoirs publics.

L'objectif de ce travail est d'interroger le bénéfice de l'introduction des poids lourds autonomes en menant une analyse socio-économique pour différents types de scénarios de déploiement et d'usage du poids lourd autonome. L'autonomie peut recouvrir en effet plusieurs degrés, de niveau 3 (capacité de gérer les vitesses et les distances intervéhiculaires de manière automatique), 4 (le système est complètement autonome mais il peut nécessiter l'intervention humaine dans certaines situations spécifiques) ou 5 (le système est parfaitement autonome en toutes situations). Il s'agit également d'anticiper sur le mode de déploiement et les investissements nécessaires du point de vue de la collectivité ou des entreprises.

Une analyse socio-économique a été menée pour différents scénarios de déploiement et d'usage du poids lourd autonome. Ce bilan a été réalisé tant du point de vue de la collectivité (en tenant compte notamment des impacts environnementaux) que de celui des transporteurs évoluant dans le secteur du TRM interurbain. Le début de la diffusion est fixé à 2030.

Figure 1 : les cinq niveaux d'autonomie des véhicules



Source : SAE's Five Levels of Vehicle Autonomy

¹ [Soutien à l'innovation dans le domaine du véhicule automatisé : remise du rapport du député Damien Pichereau au Gouvernement](#)

Scénarios

Les scénarios proposés permettent d'évaluer de manière indépendante l'impact de quatre grandes orientations dans le déploiement :

- *automatisation de niveau 4 (level 4)*
 - l'autorisation de *platooning* (circulation en pelotons) sur autoroute pour les véhicules autonomes, avec un conducteur dans chaque véhicule (scénario 1a) ou un conducteur en tête de peloton (scénario 1b) ;
 - la mise en place sur autoroute de technologies de communication entre véhicules et infrastructures (scénario 2) ;
 - la création de voies dédiées aux véhicules autonomes sur route nationale ou départementale (scénario 3a) ou sur autoroute (scénario 3b).
- *automatisation de niveau 5 (level 5)*
 - à titre comparatif, un scénario de rupture maximal avec une autorisation de circuler sur tout type de route avec les mêmes conditions d'exploitation (scénario 4a) ou avec une augmentation du taux d'utilisation du véhicule (scénario 4b).

Bilan des résultats

- La comparaison des scénarios 1a et 1b montre que la diffusion du platooning est logiquement plus efficace d'un point de vue socio-économique si le ratio du nombre de conducteurs est réduit.
- Le scénario 2 montre qu'il est possible d'obtenir une rentabilité socio-économique tout en équipant l'ensemble du réseau autoroutier avec les systèmes de communication.
- Le scénario 3a fait ressortir une nette différence entre les bilans pour la collectivité et pour le transporteur en raison des investissements sur autoroutes non concédées qui ne sont pas répercutés en coûts de péage.
- Les scénarios 3a et 3b montrent que les investissements réalisés dans les infrastructures lourdes pèsent fortement sur les bilans. La taille du réseau autoroutier que l'on peut développer tout en assurant un ratio bénéfice/coût (B/C) supérieur à 1 reste marginale. En effet, cela représente près de 240 km pour les entreprises du TRM et moins de 500 km pour la collectivité à l'horizon 50 ans, et moins de 120 km pour le secteur TRM et la collectivité à l'horizon 30 ans. Elle ne permet pas l'émergence d'un maillage réseau minimal pour le déploiement du poids lourd autonome.
- Le scénario 4a présente un bilan nettement positif que ce soit pour la collectivité ou bien pour le transporteur et donne un ordre de grandeur des gains possibles si la technologie permet le déploiement d'un véhicule autonome de niveau 5 sans coût supplémentaire pour l'adaptation du réseau routier.
- Le bilan est amélioré si on augmente le taux d'utilisation (scénario 4b). Toutefois, ce dernier calcul ne tient pas compte des incidences liées à la hausse des coûts d'entretien associée à l'accélération de la dynamique de renouvellement du parc. Le ratio B/C (sensiblement proche de 15) associé à ce scénario illustre l'ordre de grandeur attendu pour une rupture qualifiée assez souvent de « disruption majeure ».
- De manière générale, les gains en termes d'externalités restent relativement faibles comparés à ceux liés aux baisses des coûts de personnel et aux investissements requis en infrastructures et en matériel roulant, dans le cadre des hypothèses retenues (*voir limites infra*).

Figure 2 : synthèse des bilans socio-économiques pour les scénarios 1a, 1b, 2, 4a et 4b

Scénario 1a			Scénario 1b		Scénario 2	
Bilan	Collectivité	Secteur TRM	Collectivité	Secteur TRM	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0)	0 M€	-	169 M€	-	1 007 M€	-
Σ coûts annuels différés	212 M€	65 M€	994 M€	345 M€	1 962 M€	646 M€
Σ bénéfiques totaux actualisés	212 M€	59 M€	5 117 M€	1 579 M€	7 142 M€	2 243 M€
Ratio B/C						
Valeur à 30 ans	0,85	0,78	2,93	2,88	1,32	1,67
Valeur à 40 ans	0,91	0,83	4,41	4,04	2,72	2,85
Valeur à 50 ans	1,00	0,90	5,15	4,58	3,64	3,47

Scénario 4a			Scénario 4b	
Bilan	Collectivité	Secteur TRM	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0)	0 M€	-	0 M€	-
Σ coûts annuels différés	4 006 M€	1 494 M€	4 006 M€	1 494 M€
Σ bénéfiques totaux actualisés	46 718 M€	16 016 M€	58 360 M€	20 998 M€
Ratio B/C				
Valeur à 30 ans	8,98	8,62	13,30	13,02
Valeur à 40 ans	10,87	10,15	14,23	13,80
Valeur à 50 ans	11,66	10,72	14,57	14,06

Limites de l'étude

Les résultats n'intègrent pas de gains en matière de sécurité. S'ils sont avérés, ils pourraient améliorer les ratios et la part des externalités dans les gains. Il en va de même pour les impacts sur la congestion qui pourraient faire évoluer les bilans dans un sens ou dans l'autre.

- Les résultats ne tiennent pas compte d'éventuels reports modaux en faveur du PLA provenant des modes ferrés (incluant les autoroutes ferroviaires), issus des gains de compétitivité liés à la baisse des coûts du mode routier. Ces reports modaux seraient de nature à accentuer les effets de congestion routière et à dégrader les bilans économiques et financier du mode ferré et des autoroutes ferroviaires.
- Les contraintes logistiques peuvent s'avérer plus importantes. Elles ne sont modélisées ici que par un surcoût de temps d'attente, mais l'on pourrait s'attendre dans ce domaine à une rupture des pratiques (notamment l'automatisation) difficiles à conceptualiser.
- Il faudrait aussi s'interroger sur la capacité de financement des entreprises qui pourrait amener à revoir le volume d'immatriculations de véhicules autonomes, au moins pour les premières années. Cela serait alors le facteur principal d'une tendance à la concentration des acteurs du TRM ou à l'entrée d'un nouvel acteur assez puissant pour créer sa flotte.
- Se pose également la question de l'hétérogénéité de l'activité. En pratique, les camions n'ont pas nécessairement une activité différenciée entre les missions à l'interurbain et celles dites de proximité. Or, le manque de connaissances sur les missions ne permet pas de cerner avec précision la part de véhicules qui fait majoritairement du transport de proximité et qui serait moins concernée par un remplacement par des véhicules autonomes de niveau 4. Cette remarque perd évidemment tout sens pour le scénario 4 pour lequel nous envisageons l'émergence d'une flotte autonome de niveau 5 capable d'opérer la longue distance comme la courte distance.
- Enfin, le manque d'information sur les flux de personnel et sur les besoins des entreprises limite les possibilités d'évaluation et de modélisation de l'évolution du nombre de conducteurs.

Partie 1

Méthodologie et hypothèses de référence

L'étude propose un bilan socio-économique du déploiement du poids -lourd autonome pour la collectivité ainsi qu'un bilan financier pour le secteur TRM. Quatre grands scénarios et des sous variantes sont analysés suivant les modalités d'usages ainsi que les coûts associés à la mise en place des infrastructures et à l'exploitation des poids lourds autonomes.

I. L'analyse socio-économique

Le point central de ce travail est la production des résultats de l'analyse socio-économique. Elle s'appuie d'une part sur le choix des scénarios et des hypothèses de coût obtenues dans le cadre du travail bibliographique réalisé en amont et d'autre part sur les discussions et entretiens réalisés auprès d'experts² qui ont permis de conforter les informations obtenues dans le cadre des recherches, d'obtenir des pistes de réflexion ou des éléments de réponse sur les informations manquantes et de mettre à l'épreuve ou renforcer les hypothèses et les scénarios envisagés.

L'analyse socio-économique

L'analyse socio-économique est un outil d'aide à la décision permettant d'apporter un éclairage sur le bien-fondé d'un choix de projet. Il s'agit d'une obligation réglementaire encadrée par le Code des transports (articles L.1511-1 à L.1511-6 et R.1511-1) et par la loi n°2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012-2017 pour tout grand projet d'infrastructure de transport devant être financé au moins en partie par des fonds publics. Le recours à l'évaluation tend d'ailleurs à être harmonisé entre les secteurs et de plus en plus systématique pour les choix d'investissement (loi n°2018 du 22 janvier 2018 de programmation des finances publiques pour les années 2018 à 2022, annexe 5b sur la gouvernance des investissements).

L'analyse socio-économique permet, suivant les différentes variantes et options de projets (choix techniques, dimensionnement, tracés), d'évaluer les coûts sur l'ensemble de la durée de vie de l'infrastructure et de les mettre en balance avec les gains potentiels pour la collectivité et les effets économiques, sociaux ou environnementaux. Afin de réaliser l'étude, on définit tout d'abord un scénario de référence. Il permet de fixer précisément le point de comparaison par rapport auquel on peut évaluer les coûts, les effets, les avantages d'un projet. Il tient compte de l'évolution du contexte économique, social et environnemental sur la période de projection de l'étude. Il intègre le scénario le plus probable en cas de non-réalisation du projet. On définit ensuite les hypothèses de gains et de coûts liés aux différentes options de projets.

Dans le cadre de notre étude, l'analyse sera réalisée en se plaçant du point de vue de la collectivité puis du point de vue de l'ensemble des transporteurs. Le calcul se fait en euros constants. Il tient compte d'un coût d'opportunité des fonds publics (COFP) de 20 %³. De plus, un taux d'actualisation est appliqué aux dépenses et aux gains annuels. Il est fixé à 4,5 % dans le rapport Quinet (2013). L'actualisation permet l'évaluation d'un même bien ou des services qu'il rend à différents moments dans le temps. On retiendra un taux d'actualisation de 8 % afin de tenir compte d'une prime de risque pour les transporteurs. On suppose également que, contrairement au réseau non concédé, les investissements réalisés par le gestionnaire de réseau (dans le cas d'un contrat de concession ou d'un partenariat avec l'État) sur le réseau concédé sont récupérés sur une période de 20 ans sous la forme de coûts de péages pour les transporteurs usagers de l'infrastructure dédiée au véhicule autonome. En conséquence, un surcoût de 20 % sur le coût d'investissement de l'infrastructure est appliqué (fondé sur les pratiques observées tirées des bilans financiers annuels des gestionnaires d'infrastructures).

Deux indicateurs sont utilisés afin de mesurer les impacts des différents projets : la valeur actualisée nette (VAN) et le ratio bénéfices/coûts (B/C).

² Emeric Fortin (ENPC) ; Arantxa Julien (CGDD) ; Halvard Hervieu (CGDD) ; Louis Fernique (DGITM/MTI) ; Rémi Pochez (DGITM) ; François Combes (IFSTTAR) ; Guillaume Travers (DGITM) ; Philippe Gache (Renault Trucks) ; Maude Premilieu (DGEC) ; Éric Ollinger (DGITM) ; Victor Dolcemascoco (DGITM).

³ Le coût d'opportunité des fonds publics (COFP) caractérise dans le calcul les effets distorsifs liés au recours à des fonds publics pour un financement (coût du renoncement à un autre investissement, par exemple). Le rapport Quinet du CGSP (2013) recommande un COFP de 20 %.

La VAN correspond à la somme, sans doubles comptes, des variations de coût entre le scénario de référence et l'option de projet étudiée.

Le calcul de la VAN peut être résumé par la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - C_t}{(1 + \tau)^t} - C_0$$

où :

- T : période d'observation ;
- t : année en cours ;
- τ : taux d'actualisation ;
- C_0 : coût initial ;
- C_t : coûts pour l'année en cours ;
- R_t : recettes pour l'année en cours.

Le ratio B/C correspond au rapport entre la somme des bénéfices et la sommes des coûts actualisés observés sur une période T.

Les éléments pris en compte pour le calcul des VAN et des ratio B/C sont les suivants :

Figure 3 : liste des postes de coûts retenus pour les calculs de VAN pour la collectivité et pour le secteur TRM

Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux d'infrastructures	Coûts du matériel roulant
Externalités <ul style="list-style-type: none"> • gaz à effet de serre • polluants 	Coûts kilométriques <ul style="list-style-type: none"> • consommation d'énergie • entretien et réparations • péages
Bilan du secteur TRM	Coûts horaires <ul style="list-style-type: none"> • rémunération des conducteurs

Sources : CGDD ; CNR

Il s'agit des postes de coût pour lesquels nous disposons d'estimations chiffrées de l'impact de l'introduction du véhicule autonome. D'autres paramètres seront évalués en test de sensibilité, notamment l'amélioration (ou la dégradation) des conditions de sécurité⁴.

⁴ La promesse d'une amélioration de la sécurité constitue sans nul doute une condition nécessaire au déploiement technologique du PLA. Néanmoins et encore à présent, l'hypothèse de gains de sécurité continue de faire polémique principalement car les usages resteront mixtes sur route (usagers, conducteurs VP + PL autonomes par exemple). C'est pourquoi nous avons préféré intégrer l'analyse de l'amélioration de la sécurité routière sous forme de test de sensibilité.

II. Situation de référence

Cette partie décrit les hypothèses retenues concernant les coûts et les conditions d'exploitation des véhicules pour le secteur du transport routier de marchandises à l'horizon 2030 et en l'absence de déploiement du véhicule autonome.

Motorisation et consommation énergétique

La ventilation du parc proposée dans le tableau suivant correspond à une trajectoire qui pourrait permettre d'atteindre les objectifs de neutralité carbone fixés par le gouvernement. L'évolution est étendue de manière linéaire en calculant un taux de croissance annuel moyen entre les différents objectifs.

Figure 4 : hypothèses retenues dans l'étude sur la répartition du parc de poids lourds selon la motorisation

	2015	2020	2030	2050
Diesel	100 %	97 %	77 %	33 %
GNV	0 %	3 %	14 %	42 %
Électrique	0 %	0 %	9 %	25 %

Source : CGDD, Ventilation du parc possible pour un scénario de neutralité carbone

Concernant la consommation des véhicules, nous retiendrons le scénario proposé dans le cadre de la stratégie nationale bas carbone. Pour les véhicules électriques, les consommations sont celles utilisées dans le cadre d'une étude du CGDD sur les autoroutes électriques. Elles sont estimées à partir des consommations du camion Renault Midlum électrique.

Figure 5 : hypothèses retenues dans l'étude sur les consommations de carburant des poids lourds

	2020	2030	2050
Diesel (en l/100 km)	31,4	27,9	20,9
Électrique (en kWh/100 km)	153	150	150
Gaz (en kg/100km)	29,3	25,5	16,5

Sources : projections de la demande de transports - scénario SNBC, juillet 2016 ; évaluation socio-économique du concept d'autoroute électrique, CGDD

Les coûts du diesel dépendent de l'évolution des coûts pétroliers, de la taxe intérieure sur la consommation de produits énergétiques (TICPE), des remboursements partiels associés, et de la composante carbone. Les coûts du pétrole sont supposés évoluer suivant un taux de croissance annuel moyen de 7 % entre 2015 et 2030 puis de 1 % jusqu'en 2050 (scénario Current Policies de l'Agence internationale de l'énergie).

On suppose que le montant de la TICPE est maintenu à 0,43 €/l jusqu'en 2030 et atteindra ensuite 0,57 €/l en 2050.

La composante carbone suit la trajectoire recommandée dans le rapport sur la valeur tutélaire du carbone de 2019⁵, soit un coût de la tonne CO₂ fixé à 56 € en 2020, 246 € en 2030 et autour de 763 € en 2050 (491 € en 2040 et 1184 € en 2060 et au-delà).

Pour l'électricité, on suppose que les coûts hors taxe évoluent de 1 % par an. La taxe CSPE devrait atteindre 50 €/MWh en 2025 et se stabiliser. Les coûts du gaz GNV (taxe carbone et TICPE incluses) évoluent suivant un taux de croissance de 3,2 % dès 2015. La part de biogaz est fixée à 20 % en 2030 et à 100 % en 2050.

Figure 6 : hypothèses retenues concernant l'évolution des prix des énergies

Coût final	2020	2030	2040
Diesel (en €/l)	1,20	1,77	2,06
Électrique (en €/MWh)	107,2	129,9	-
Gaz (en c€/kg)	87,1	104,2	229,8

Source : ministère de la Transition écologique

Externalités

L'évaluation des coûts liés aux externalités se fait essentiellement à partir des valeurs tutélaire tirées du rapport Quinet de 2013. Pour les gaz à effet de serre, on utilise un facteur d'émission. Il est de 2,49 kgCO₂/l pour le diesel et passe pour l'électricité de 62 gCO₂/KWh en 2018, à 22,5 gCO₂/KWh au-delà de 2030. Les résultats varient selon la consommation et le coût du CO₂ vu précédemment.

Figure 7 : hypothèses retenues concernant l'évolution des coûts de la tonne de CO₂

	2020	2030	2050
Coût de la tonne de CO ₂ (en €)	56	246	763

Source : rapport « Quinet 2 », 2019

Concernant les polluants, on s'intéresse aux émissions de particules et de gaz du transport routier (NO_x, SO₂, particules fines et composé organique volatil non méthanique). On retiendra pour le véhicule diesel les valeurs issues du « *Handbook on external costs 2014* »⁶ qui sont de 0,36 c€/PL.km en 2020, de 0,40 en 2030 et de 0,47 en 2040. Les émissions sont supposées nulles lors du fonctionnement d'un véhicule électrique, et réduites de 95 % pour un véhicule roulant au gaz.

⁵ France Stratégie (2019), La valeur de l'action pour le climat, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, 190p, février 2019.

⁶ Version 2014 du « *Handbook on external cost* ».

Figure 8 : hypothèses retenues dans l'étude sur l'évolution des coûts des polluants

	2020	2030	2050
Coût de polluants (en c€/PL.km)	0,36	0,4	0,47

Source : rapport E.Quinet (2013)

Les valeurs permettant d'intégrer la sécurité évoluent suivant le taux de croissance du PIB, soit une augmentation de 1,3 % par an. Elles sont fournies dans le tableau suivant :

Figure 9 : hypothèses retenues dans l'étude sur l'évolution des valeurs de la vie statistique

Valeurs de la vie statistique		
Tués	3 000 000	€ ₂₀₁₀
Blessés hospitalisés	375 000	€ ₂₀₁₀
Blessés légers	15 000	€ ₂₀₁₀

Source : rapport E.Quinet (2013)

Conditions d'exploitations et autres coûts

On suppose qu'il n'y a pas de variation significative des conditions d'exploitation des véhicules à l'horizon 2030 (kilométrage annuel, nombre d'heures d'exploitation, temps de service). Les coûts liés à la rémunération des conducteurs augmentent suivant un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 1,5 %. Pour les charges fixes, le TCAM est de 0,2 %. Pour les coûts kilométriques autres que ceux liés à la consommation de carburant et aux péages il est de -0,2 %. Les valeurs de départ retenues pour ces variables sont celles du référentiel de l'enquête longue distance 2017 du comité national routier (voir l'annexe 1 Référentiel de l'enquête CNR longue distance 2017).

Notons que ces valeurs sont actuellement calculées pour des véhicules diesel. Certaines composantes, comme le kilométrage annuel moyen, pourraient être différentes pour des véhicules électriques ou des véhicules roulant au gaz. On pourrait supposer néanmoins que le déploiement de véhicules équipés de ces motorisations alternatives serait conditionné par des progrès technologiques permettant de retrouver des conditions d'exploitation comparables à celles d'un véhicule thermique.

Modélisation du parc

En partant des hypothèses de surcoût présentées dans chaque scénario, un calcul de TCO (i.e. : coût total de possession) a été réalisé pour un poids lourd autonome qui serait acheté en 2030 dans chacun des cas. Sur la base d'un modèle de type loi logistique donnant le nombre d'immatriculations en fonction du temps, on a pu déterminer des courbes de déploiement variant suivant le TCO calculé, le déploiement et sa vitesse augmentant lorsque ce dernier s'améliore. Une hypothèse de taux de pénétration maximum a été fixée à 60 %. En l'absence d'hypothèse plus précise, elle permet de tenir compte des différents freins pouvant dissuader les entreprises (capacité de financement, faible taille de parc, activité non adaptée, etc.) (voir l'annexe 2 Courbes de déploiement par scénario).

Partie 2

Scénarios

Cette partie définit les quatre grands scénarios d'usages inspirés des expérimentations actuelles et retenus dans le cadre de l'étude, ainsi que les coûts de déploiement et d'exploitation associés. Ils seront comparés à la situation de référence afin de déterminer le bilan socio-économique associé à chacun d'entre eux. Bien qu'ils soient traités de manière indépendante, les scénarios ne sont pas incompatibles.

Il s'agit ici de décrire les quatre scénarios retenus pour l'étude à la fois en termes d'organisation et de coûts. En se basant sur les tests existants, les hypothèses tirées de la bibliographie et les réunions d'échanges régulières avec des experts⁷, les scénarios retenus sont les suivants :

- Scénario 1 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler. La conduite peut être déléguée sur autoroute
- Scénario 2 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler sur des routes équipées de STI – C⁸
- Scénario 3 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler sur une voie dédiée
- Scénario 4 : véhicules ayant un niveau 5 d'automatisation sont autorisés à rouler sans autre restriction

Pour les scénarios 1 à 3, on retiendra l'hypothèse de 10 000 € de surcoût à l'achat pour un véhicule autonome à partir de 2030 avec une baisse de 2 000 € sur sept ans⁹. Pour le scénario 4 qui implique une autonomie complète de niveau 5 sans aucun besoin d'adaptation des infrastructures, les surcoûts d'équipements des poids lourds autonomes sont estimés à 30 000 € avec des courbes d'apprentissage de baisse des coûts estimés de l'ordre de 5 000 € sur sept ans à dire d'experts.

⁷ Voir la partie 1 pour la liste d'experts.

⁸ Les systèmes de transport intelligents coopératifs (STI-C) sont des technologies de communication entre les véhicules et les infrastructures et/ou entre les véhicules. Elles sont détaillées dans le scénario 2.

⁹ Source : étude TNO, *Truck platooning driving the future of transportation*, 2015.

I. Scénario 1 : *platooning* sur autoroute

On suppose dans ce premier scénario que la réglementation autoriserait des véhicules ayant une autonomie de niveau 4 à circuler sur le réseau autoroutier. Il s'agit donc d'un véhicule pouvant prendre le contrôle total de la conduite dans certaines situations prédéfinies avec un niveau de sécurité garanti. Dans le cas présent, le véhicule serait autorisé à prendre le contrôle lors de la conduite sur autoroute. Il s'agit de l'un des usages les plus probables actuellement, car les situations de conduite associées sont plus simples à gérer pour la machine.

Le cas d'usage retenu serait celui du *platooning* (circulation en peloton). Il s'agit d'une succession de poids lourds interconnectés pouvant évoluer en circulation de manière très rapprochée, la technologie leur permettant de synchroniser leur vitesse, de maintenir les écarts intervéhiculaires et de réagir de manière quasi instantanée à toute variation à l'intérieur du peloton ou liée à l'environnement. Le *platooning* permet de réaliser des gains en termes de consommation de carburant. On affectera ces gains d'efficacité énergétique proportionnellement au temps passé en conduite autonome sur le tronçon autoroutier par rapport au trajet complet.

On se limitera ici à une taille maximale de trois poids lourds par convoi, soit environ 50 mètres de long auxquels il faut ajouter les distances de sécurité qui seraient abaissées entre chaque camion du peloton. Le *platooning* pourra s'effectuer uniquement sur la voie la plus à droite de l'autoroute. Les camions ne seront pas autorisés à effectuer des manœuvres de dépassement.

Deux sous-scénarios de *platooning* (scénario 1a et scénario 1b) sont envisagés.

- a. Dans le premier, on conserverait un conducteur dans chaque véhicule. Cette décision pourrait être motivée du côté des pouvoirs publics par une volonté de protection des emplois, ou du côté des transporteurs par le souhait d'éviter d'investir dans une réorganisation logistique.
- b. Dans le second, on a un conducteur en tête de peloton et deux camions asservis au premier. L'arrimage du peloton se fait à l'arrêt, depuis une aire de stationnement à l'entrée de l'autoroute. De même, la reprise en main a lieu une fois que les véhicules ont quitté l'autoroute et rejoint une aire de stationnement à proximité du lieu de livraison final. D'un point de vue logistique, il serait possible, suivant les caractéristiques de l'activité des transporteurs, de réaliser le trajet autoroutier avec une flotte propre ou de s'arrimer à d'autres véhicules ayant une destination similaire ou un trajet autoroutier commun. Ce dernier point suppose que les entreprises puissent disposer de suffisamment d'informations pour pouvoir faire un arbitrage entre le départ immédiat qui minimise la perte de temps et l'attente d'un appariement pour former un convoi afin de profiter des gains liés au *platooning*. Ce deuxième cas d'usage exige également une prise en main des véhicules suiveurs à la sortie de l'autoroute. Elle pourrait être effectuée par des chauffeurs routiers salariés de l'entreprise ou par un service mutualisé organisé afin de répondre à cette nouvelle demande. On peut imaginer un conducteur chargé de l'acheminement du peloton d'un point d'entrée d'autoroute à un point de sortie, et des conducteurs localisés dans ces zones de transition et dont la tâche serait d'effectuer les derniers kilomètres vers les zones logistiques de déchargement et le réacheminement sur une zone d'arrimage.

Figure 10 : liste des hypothèses de coûts du scénario 1

Poste de coût	Description de l'évolution	Source
Infrastructures	On suppose un réaménagement d'une partie des aires de service autoroutières afin de faciliter la gestion de la rupture en début et fin de <i>platooning</i> pour le scénario b. Coût : 550 000 € à 1 M€ par aire d'autoroute.	Bureau d'études en maîtrise d'œuvre SPMO
Ratio conducteur/véhicule	Le ratio reste inchangé par rapport au scénario de référence et fixé à 1,055 (scénario 1a). Dans le scénario 1b, il est fixé à 1/3 sur le trajet parcouru sur autoroute.	
Coûts additionnels par véhicule	10 000 € (baisse de 2 000 € sur 7 ans)	Étude TNO, <i>Truck platooning driving the future of transportation</i>
Coût de formation	On retient un surcoût de 75 € par chauffeur et par an pour le <i>platooning</i> .	Étude TNO, <i>Truck platooning driving the future of transportation</i>
Consommation d'énergie	On considère une économie de carburant de 10 % en moyenne par camion.	
Entretien et réparations	On prévoit un surcoût de 150 € par an pour la maintenance et l'entretien.	Étude TNO, <i>Truck platooning driving the future of transportation</i>

Note : 10 % d'économies de carburant sont proposés pour un peloton de deux camions dans le scénario de l'étude TNO.

Sources : CGDD ; CNR

II. Scénario 2 : déploiement d'infrastructures de communication

Dans ce deuxième scénario, on suppose que l'État impose le déploiement de STI-C (systèmes de transport intelligents coopératifs) qui pourraient aider au maintien d'un niveau de sécurité jugé acceptable et s'avérer intéressants pour leur apport dans la gestion du trafic. Le déploiement et de fait les autorisations de circulation sont restreints au réseau autoroutier.

Les STI-C sont des technologies de communication impliquant généralement la communication entre véhicules (V2V), entre véhicules et infrastructure (V2I) et/ou entre les infrastructures elles-mêmes (I2I). Des bénéfices sont envisagés dans plusieurs domaines notamment la sécurité routière et la congestion. Le matériel nécessaire comprend¹⁰ :

- Les sous-systèmes intégrés aux infrastructures routières, tels que les balises sur les portiques, les poteaux, les feux de circulation, qui permettent les communications V2I le long de certaines routes. Ils sont de deux types :
 - les nouveaux sous-systèmes STI de bord de route, à déployer sur toutes les routes interurbaines à un kilomètre d'intervalle ;
 - les dispositifs tels que les unités de branchement situées au-dessus des poteaux/portiques existants et qui seront déployées dans des zones urbaines avec une unité requise par intersection marquée.
- Les sous-systèmes STI embarqués, à intégrer au véhicule et qui doivent permettre à la fois les communications V2V et V2I ;
- Les sous-systèmes centraux permettant de gérer le trafic, les services et les infrastructures routières.

L'autonomie est jugée de niveau 4, car les véhicules autonomes ne seraient pas autorisés à circuler en dehors des autoroutes. On suppose néanmoins que la combinaison entre la technologie du véhicule et les STI-C permettrait de se passer de la présence d'un conducteur à bord sur le trajet autoroutier. On imposerait également un système de contrôle à distance des véhicules pris en charge par le transporteur (emploi de contrôleurs à distance et surcoût de matériel informatique).

Figure 11 : liste des hypothèses de coûts du scénario 2

Poste de coût	Description de l'évolution	Source
Infrastructures	Matériel bord de route : 13 500 €/km (matériel et installation) Plateforme opérationnelle nationale pour la gestion : 2,5 M€ pour la création et 550 000 € pour le fonctionnement et l'entretien.	Rapport final « CITS in Europe »
Ratio conducteur/véhicule	Le ratio conducteur/véhicule est nul sur le tronçon autoroutier.	
Coûts additionnels par véhicule	10 000 € (baisse de 2 000 € sur 7 ans)	Étude TNO, <i>Truck platooning driving the future of transportation</i>
Contrôleur à distance	Le ratio est de un contrôleur pour 20 véhicules	

Sources : CGDD ; CNR

¹⁰ Source : rapport final « CITS in Europe »

Dans l'étude, on considère qu'il n'y a pas d'amélioration ni de dégradation de la sécurité. Un test de sensibilité sera réalisé par la suite.

III. Scénario 3 : création de voies

Dans ce scénario, la puissance publique autoriserait les véhicules autonomes de niveau 4 à circuler sur le réseau sur des voies et des tronçons qui leur sont imposés.

Il peut s'agir d'une voie de circulation non exclusive, à laquelle les autres usagers pourraient également avoir accès. Cependant les autorités pourraient également souhaiter, pour des raisons de sécurité liées aux incertitudes sur les usages en mixité de trafic (autonomes et non autonomes ou fret et voyageurs par exemple), que les véhicules autonomes dédiés au transport de fret soient affectés sur des voies exclusives. Deux cas de figures pourraient alors être envisagés. Dans le premier cas, il serait question de réserver une voie de circulation existante aux poids lourds autonomes, mais cela pourrait engendrer une augmentation des problèmes de congestion pour les autres véhicules ainsi que des problèmes de sécurité. Dans le second cas, il s'agirait de réaliser de nouvelles voies de circulation dédiées aux poids lourds autonomes. Il pourrait alors être question d'un élargissement du réseau (lorsque la situation le permettrait et examinée au cas par cas à l'occasion de l'évaluation de travaux d'aménagements routiers programmés) ou de la création de nouvelles infrastructures comme des tronçons d'autoroutes 2X2 voies conçus spécifiquement pour accueillir la circulation de véhicules poids lourds autonomes.

L'ambition de l'élaboration d'un tel scénario à caractère volontariste dans les investissements d'infrastructures routières lourdes est d'estimer l'ordre de grandeur de ces investissements dans l'adaptation ou la réalisation des infrastructures au-delà duquel la rentabilité socio-économique ne serait plus garantie pour la collectivité en intégrant également le bilan pour les transporteurs. Cela implique d'évaluer la taille de réseau pouvant être réalisé et déployé tout en conservant un bilan favorable pour la collectivité¹¹.

Figure 12 : liste des hypothèses de coûts du scénario 3

Poste de coût	Description de l'évolution	Source
Infrastructures	Création d'une voie 400 000 €/km (3 400 €/km pour l'entretien) Création d'une autoroute 6,2 M€/km (7 100 €/km pour l'entretien)	Cerema
Ratio conducteur/véhicule	Le ratio conducteur//véhicule est nul sur le tronçon autoroutier.	
Coûts additionnels par véhicule	10 000 € (baisse de 2 000 € sur 7 ans)	Étude TNO, <i>Truck platooning driving the future of transportation</i>
Contrôleur à distance	On considère un ratio de un contrôleur pour 20 véhicules	

Sources : CGDD ; CNR

¹¹ Une autre manière de réaliser l'évaluation de la pertinence des investissements en infrastructures routières serait de quantifier le prix fictif de rareté des fonds publics au-delà duquel un investissement public dans les infrastructures lourdes dédiées aux poids lourds autonomes ne serait pas souhaitable.

IV. Scénario 4 : véhicule totalement autonome

Dans ce scénario, la réglementation autoriserait la circulation de véhicules ayant une autonomie de niveau 5. Il s'agit donc d'un véhicule pouvant rouler sans conducteur, sur tout le réseau et dans toutes circonstances. On suppose qu'aucune restriction réglementaire n'est imposée par l'État. Le camion devra être pris en charge pour le chargement et le déchargement. L'entreprise devra gérer (de manière informatisée ou non) la planification et l'organisation des trajets de sa flotte.

Deux sous-scénarios sont évalués ici. Dans le premier, les conditions d'exploitation sont inchangées par rapport à un véhicule classique. Dans le second, on suppose que le taux d'utilisation journalier du véhicule autonome est multiplié par deux.

L'hypothèse d'un véhicule autonome de niveau 5 est peu probable à l'horizon 2030 mais il semble toutefois intéressant d'envisager le cas le plus extrême afin d'évaluer le potentiel de bénéfices.

Figure 13 : liste des hypothèses de coûts du scénario 4

Poste de coût	Description de l'évolution	Source
Ratio conducteur/véhicule	Le ratio conducteur/véhicule est nul	
Contrôleur à distance	On considère un ratio de un contrôleur pour 20 véhicules	
Coûts additionnels par véhicule	30 000 € dès 2030 (avec baisse de 5 000 € sur 7 ans)	À dire d'experts
Surcoût d'abonnement à un réseau de géolocalisation fine par cartographie de très haute résolution	100 €/mois	

Sources : CGDD ; CNR

Compte tenu de leur importance et de leur influence sur l'adoption plus ou moins rapide du PLA, les postes de coût suivants feront l'objet d'un test de sensibilité pour les différents scénarios (sécurité, taux de pénétration du poids lourd autonome, coûts du matériel, ratio contrôleurs/véhicules).

Partie 3

Résultats de l'évaluation socio-économique

Les bilans proposés pour la collectivité et pour le secteur TRM sont étudiés sur une période de 50 ans en supposant un début de déploiement à l'horizon 2030. Ils permettent de déterminer les situations de rentabilité socio-économique, de dimensionner les gains et les coûts mais aussi d'identifier les principaux déterminants de cette rentabilité.

Les résultats sont produits pour les 7 scénarios ou sous-scénarios envisagés.

- Scénario 1 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler. La conduite peut être déléguée sur autoroute :
 - scénario 1a : *platooning* sur autoroute ;
 - scénario 1b : *platooning* avec un seul conducteur placé dans le camion de tête.
- Scénario 2 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler sur des routes équipées de STI – C.
- Scénario 3 : les véhicules ayant un niveau 4 d'automatisation sont autorisés à rouler sur une voie dédiée :
 - scénario 3a : création de voies sur routes nationales et départementales ;
 - scénario 3b : création de voies d'autoroutes.
- Scénario 4 : les véhicules ayant un niveau 5 d'automatisation sont autorisés à rouler sans autre restriction :
 - scénario 4a : véhicule tout autonome (niveau 5) ;
 - scénario 4b : véhicule tout autonome (niveau 5) avec taux d'utilisation des PL porté à 20 heures par jour.

I. Scénario 1a : *platooning* sur autoroute

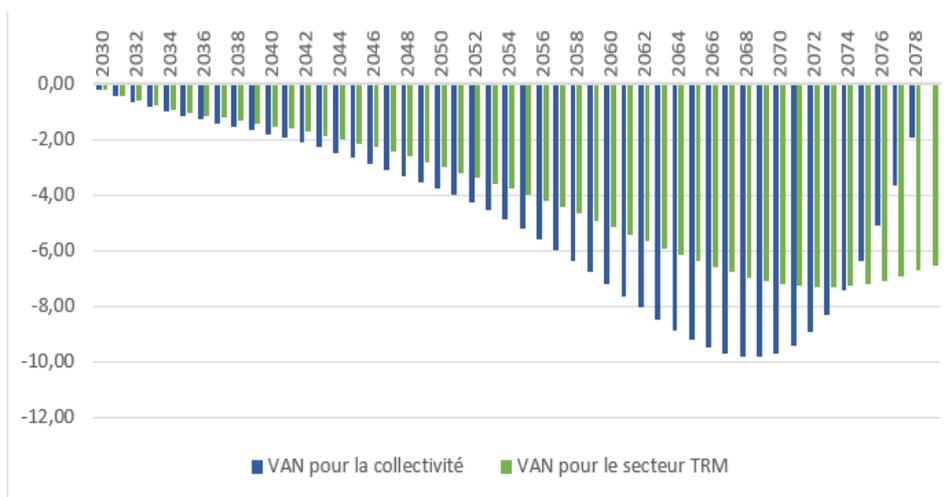
Figure 14 : bilan socio-économique du scénario 1a

Bilan	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0) en Mio€	0	0
Σ coûts annuels différés Mio€	212	65
Σ bénéfices totaux actualisés Mio€	212	59
Ratio B/C		
Valeur à 30 ans	0,85	0,78
Valeur à 40 ans	0,91	0,83
Valeur à 50 ans	1,00	0,90

Sources : CGDD ; CNR

Le bilan serait défavorable à court terme pour la collectivité pour le scénario 1a et ne dépasserait légèrement le point d'équilibre qu'à la fin de la période d'observation. Les gains observés ne s'expliquent que par la baisse des émissions de CO₂ et de polluants pour la collectivité ainsi que de la baisse des consommations de carburants pour le transporteur ce qui semble insuffisant eu égard aux niveaux des coûts d'investissements consentis pour la mise en œuvre de la transition. Le ratio B/C est inférieur à 1 pour le secteur TRM et la VAN est négative et décroissante sur l'essentiel de la durée de l'étude. Les bénéfices pour les transporteurs sont ceux liés aux économies de carburant. Ils ne suffiraient pas à compenser les surcoûts de matériel roulant.

Figure 15 : évolution des VAN pour le scénario 1a



Sources : CGDD ; CNR

II. Scénario 1b : *platooning* avec un seul conducteur placé dans le camion de tête

Contrairement au scénario 1a, la mise en œuvre du scénario 1b démontrerait un bilan positif dans les deux cas, y compris sur la plus petite période d'observation. Les bénéfices reposeraient essentiellement sur les économies de coûts de personnel. En effet, aux gains environnementaux (qui sont les mêmes que pour le scénario précédent) s'ajoute les économies liées à la baisse du

ratio de conducteurs par véhicule. Les économies réalisées sur les coûts de personnels représenteraient près de 90 % des bénéfices dans le bilan socio-économique.

Le bilan socio-économique pour la collectivité serait plus avantageux que celui du secteur TRM. Cet écart entre la VAN pour la collectivité et celle pour les transporteurs repose principalement sur la différence du niveau du taux d'actualisation. Cette différence est liée à l'intégration d'une prime de risque pour les investissements pour les entreprises de transporteurs. Cette prime de risque traduit le comportement économique des acteurs du secteur privé face l'aléa lié à l'incertitude du niveau de rentabilité des investissements consentis. Il traduit également, la différence de consentement à différer les bénéfices dans le temps entre les acteurs privés (transporteurs) et la puissance publique.

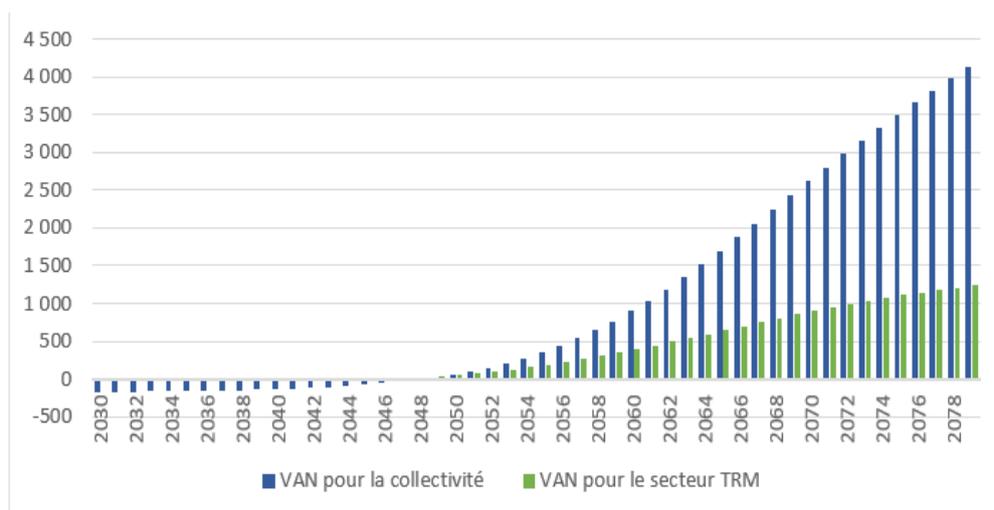
Il faut rappeler que le bilan socio-économique calculé ici n'intègre pas le coût social éventuel résultant des destructions d'emplois induit par la mutation technologique du secteur TRM. Ce coût social peut se traduire par des indemnités chômage, des coûts de formation et/ou de réinsertion professionnelle, en particulier pour les chauffeurs routiers. Ce point reste toutefois à apprécier dans un contexte de pénurie croissante de chauffeurs routiers et de difficultés de recrutement (voir la partie 4 infra).

Figure 16 : bilan socio-économique du scénario 1b

Bilan	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0) en Mio€	169	0
Σ coûts annuels différés Mio€	994	345
Σ bénéfices totaux actualisés Mio€	5 117	1 579
Ratio B/C		
Valeur à 30 ans	2,93	2,88
Valeur à 40 ans	4,41	4,04
Valeur à 50 ans	5,15	4,58

Sources : CGDD ; CNR

Figure 17 : évolution des VAN pour le scénario 1b



Sources : CGDD ; CNR

III. Scénario 2 : déploiement d'infrastructures de communication

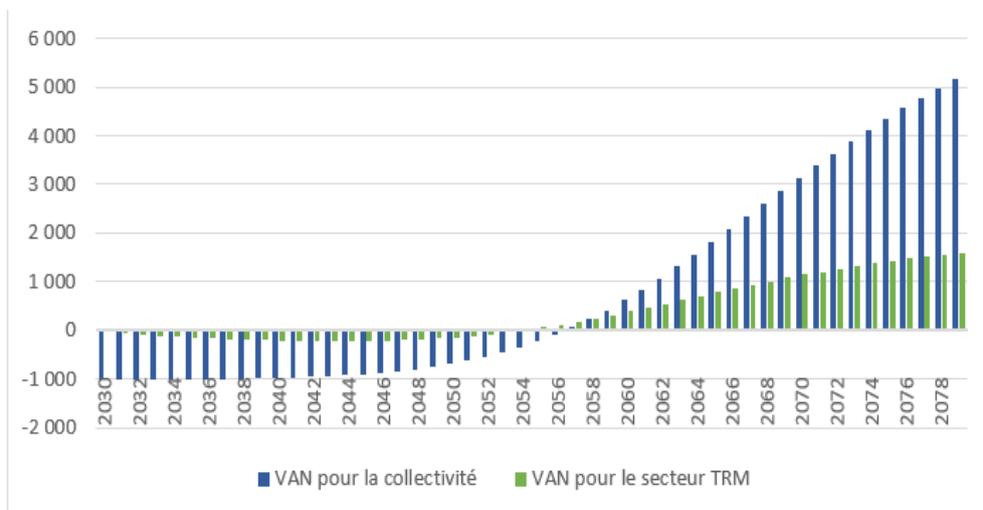
Figure 18 : bilan socio-économique du scénario 2

Bilan	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (CO) en Mio€	1 007	0
Σ coûts annuels différés Mio€	1 962	646
Σ bénéfiques totaux actualisés Mio€	7 142	2 243
Ratio B/C		
Valeur à 30 ans	1,32	1,67
Valeur à 40 ans	2,72	2,85
Valeur à 50 ans	3,64	3,47

Sources : CGDD ; CNR

Les résultats du scénario 2 montrent qu'il serait possible d'obtenir un bilan positif tout en équipant l'ensemble du réseau autoroutier de STI-C. En l'absence de recours au *platooning*, les gains environnementaux seraient inférieurs à ceux du scénario 1. Au contraire, les économies réalisées en matière de coûts de personnel augmentent en raison d'un ratio conducteur par véhicule nul sur autoroute et de l'introduction de contrôleurs à distance à raison d'un contrôleur pour 20 poids lourds autonomes. Ils représenteraient dans ce cas près 96 % des bénéfices dans le bilan socio-économique¹².

Figure 19 : évolution des VAN pour le scénario 2

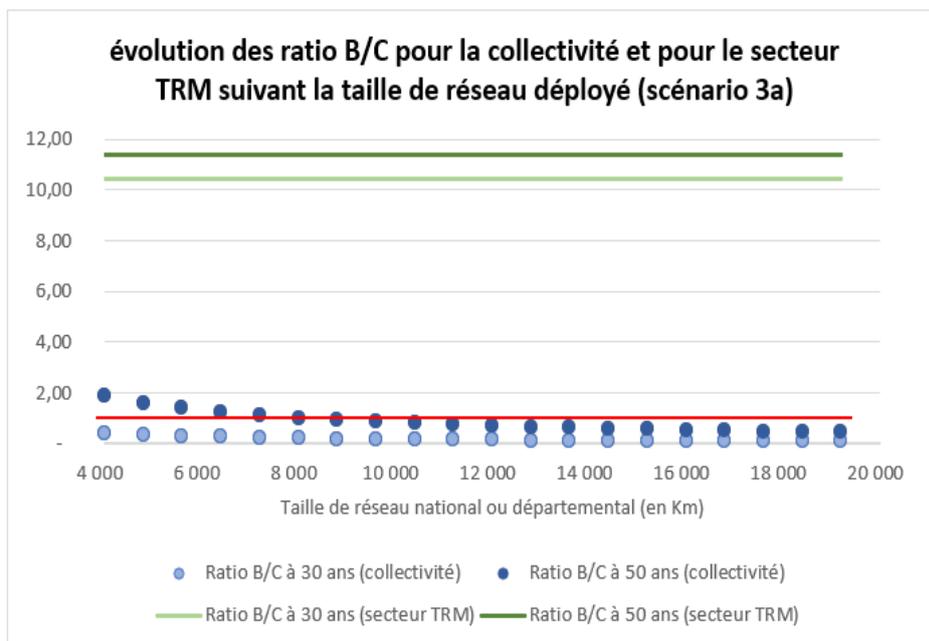


Sources : CGDD ; CNR

¹² Comme pour le scénario 1b précédent, ce bilan n'intègre pas le coût social éventuel résultant des destructions d'emplois induit par la mutation technologique du secteur TRM (indemnités chômage, coûts de formation et/ou de réinsertion professionnelle...).

IV. Scénario 3a : création de voies sur routes nationales et départementales

Figure 20 : évolution des ratios B/C en fonction du dimensionnement de la taille du réseau routier exprimé en kilomètres aux horizons de 30 et 50 ans pour le scénario 3a

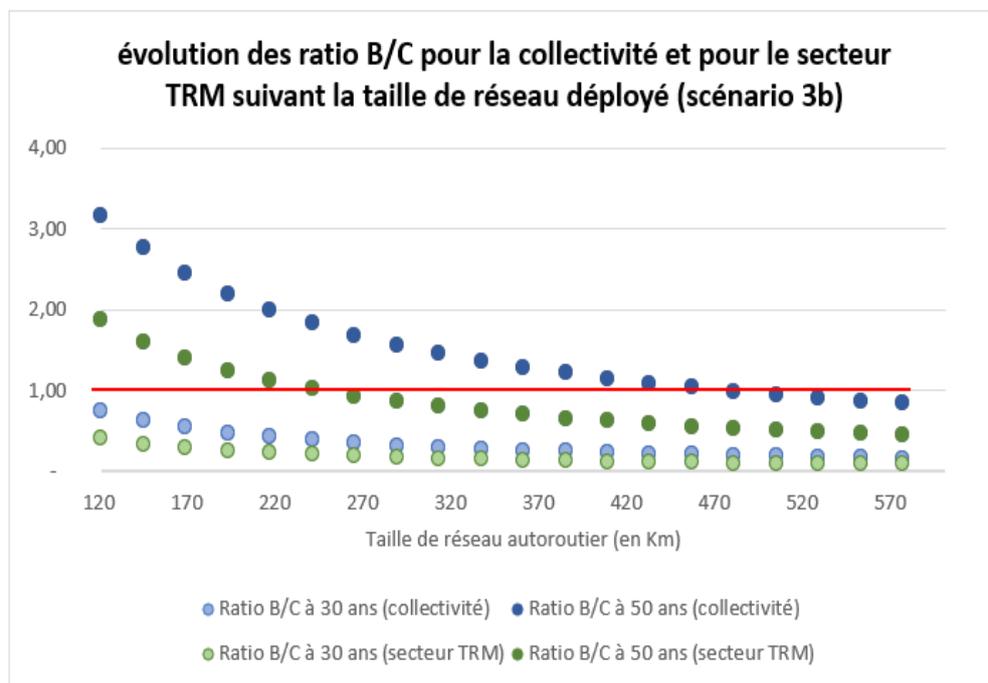


Sources : CGDD ; CNR

Au-delà de 8 000 km (2 % du réseau national et départemental) le ratio B/C à 50 ans devient défavorable pour la collectivité. Nous sommes ici dans une configuration où les aménagements en termes de création de réseau routier ne sont pas rentables pour la collectivité bien qu'ils le soient pour le secteur du transport, notamment en raison de l'impossibilité de récupérer (sous forme de péages) les coûts investis par la collectivité sur les routes du réseau secondaire (nationales et départementales). Pour rétablir un bilan socio-économique favorable, compatible avec ces modalités de circulation autonome, il faudrait mettre en place des mécanismes de récupération totale ou partielle des coûts investis.

V. Scénario 3b : création de kilomètres d'autoroutes

Figure 21 : évolution des ratios B/C en fonction du dimensionnement de la taille du réseau autoroutier exprimé en kilomètres aux horizons de 30 et 50 ans pour le scénario 3b



Sources : CGDD ; CNR

Si on réalise des investissements sur plus de 2 % du réseau autoroutier (environ 240 km), le ratio B/C devient défavorable pour le secteur TRM. Les investissements en infrastructures sur le réseau d'autoroutes concédés sont ici récupérés en coûts de péages, ce qui n'était pas le cas dans le scénario précédent (3a).

Dans les deux cas, les investissements ne pourraient être effectués que sur une taille de réseau marginale. Par ailleurs, les gains sont surestimés dans la mesure où le calcul réalisé suppose de travailler sur le cas fictif où l'ensemble du parc autonome serait amené à emprunter les portions de routes considérées.

Les calculs proposés ne permettent cependant pas d'exclure l'impact positif sur la VAN du projet lié à un accroissement de la taille du parc des poids lourds autonomes au-delà de la limite considérée (40 %) induite par un investissement massif dans l'adaptation des autoroutes à péages.

VI. Scénario 4a : véhicule tout autonome

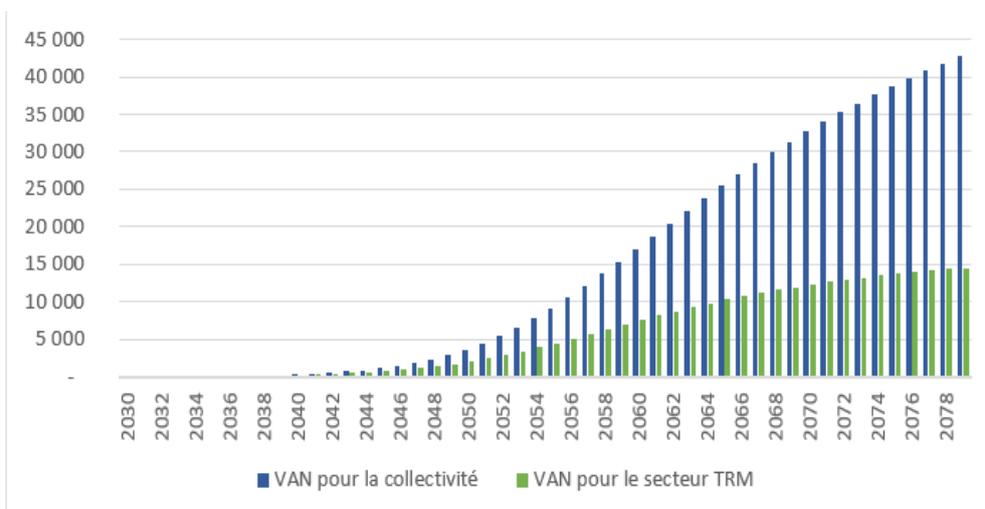
Figure 22 : bilan socio-économique du scénario 4a

Bilan	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0) en Mio€	0	0
Σ coûts annuels différés Mio€	4 006	1 494
Σ bénéfices totaux actualisés Mio€	46 718	16 016
Ratio B/C		
Valeur à 30 ans	8,98	8,62
Valeur à 40 ans	10,87	10,15
Valeur à 50 ans	11,66	10,72

Sources : CGDD ; CNR

Le scénario 4a présente un bilan très positif que ce soit pour la collectivité ou bien pour le transporteur et donne un ordre de grandeur des gains possibles si la technologie permet un déploiement des poids lourds autonomes sur tout le réseau et sans besoin d'infrastructures routières supplémentaires. Il s'agirait ainsi d'une rupture qui aurait un impact majeur dans l'accroissement de la productivité du secteur. Cela bien que l'on ne tienne pas compte ici des possibilités maximales qu'offrirait le véhicule autonome en termes de réorganisation du secteur, et qui pourraient encore améliorer le bilan. En particulier, avec la possibilité qui est offerte de rouler plus longtemps (voir le scénario 4b), ou de rouler plus souvent de nuit par exemple.

Figure 23 : évolution des VAN pour le scénario 4a



Sources : CGDD ; CNR

VII. Scénario 4b : véhicule tout autonome avec taux d'utilisation des PL porté à 20 heures par jour

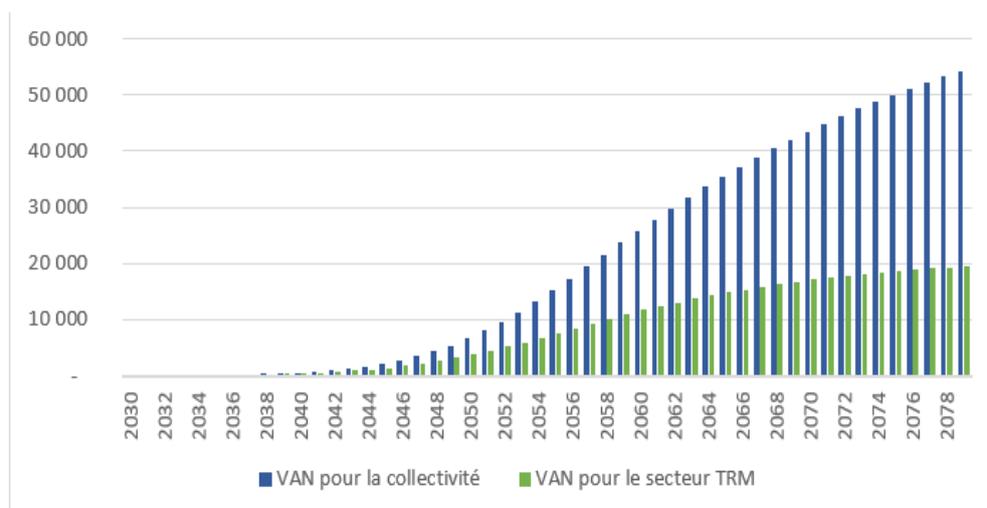
Le scénario 4b, qui suppose une augmentation du taux d'utilisation journalier des véhicules, présente un bilan légèrement plus favorable que le scénario 4a. Le calcul présente toutefois un certain nombre de limites en raison du manque d'informations sur l'évolution des coûts d'entretien en cas d'augmentation du taux d'utilisation, ainsi que sur la nouvelle dynamique de renouvellement du parc associée.

Figure 24 : bilan socio-économique du scénario 4b

Bilan	Collectivité	Secteur TRM
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0) en Mio€	0	0
Σ coûts annuels différés Mio€	4 006	1 494
Σ bénéfices totaux actualisés Mio€	58 360	20 998
Ratio B/C		
Valeur à 30 ans	13,30	13,02
Valeur à 40 ans	14,23	13,80
Valeur à 50 ans	14,57	14,06

Sources : CGDD ; CNR

Figure 25 : évolution des VAN pour le scénario 4b



Sources : CGDD ; CNR

Partie 4

Quels impacts sur l'emploi ?

Si le calcul socio-économique permet de restituer le bilan coûts/bénéfices d'un projet pour la collectivité sous la forme d'indicateurs monétaires agrégés, il ne permet pas toujours d'intégrer l'ensemble des impacts potentiels.

Des effets importants n'entrent pas dans ce calcul, à l'instar de la perte de biodiversité, l'atteinte aux paysages, la réduction d'inégalités sociales, le renforcement du dynamisme économique d'un territoire, etc. Ils peuvent néanmoins faire l'objet d'une évaluation présentée en parallèle sous forme d'étude qualitative et/ou quantitative.

Dans cette partie, il s'agit de présenter les impacts potentiels sur le métier de conducteur d'une arrivée du poids lourd autonome à horizon 2030, compte tenu du contexte du marché du travail pour cette profession.

I. La situation actuelle

01) DES EFFECTIFS EN CROISSANCE MAIS DES TENSIONS SUR LE RECRUTEMENT

Le volet emploi du bilan social annuel du transport de marchandises pour l'année 2020 permet d'appréhender les dynamiques d'évolution du secteur du transport routier de fret élargi (TRF), notamment en ce qui concerne les postes de conducteur. Le fret élargi regroupe les transports routiers de fret interurbain et de fret de proximité, la location de camion avec chauffeur, ainsi que la messagerie et le fret express.

En 2018, on observe une augmentation de 3,7 % du nombre d'emplois salariés (soit près de 15 000 salariés supplémentaires) pour le transport routier de fret élargi, après trois années de hausses successives supérieures à 3 %, portant ainsi l'effectif à 419 000 salariés. Pour ce qui est du transport interurbain, on enregistre un taux de croissance sensiblement égal (+2,9 %), l'augmentation la plus soutenue étant celle du nombre de salariés du transport de fret de proximité (+6 % et +5,7 % en 2017).

Figure 26 : effectifs salariés du transport routier de fret (TRF) élargi au 31 décembre

Niveau en milliers, données brutes, structure et évolutions en % (évolution sur 5 ans en moyenne annuelle)

Secteur d'activité	Niveaux						Part 2018	Évolutions annuelles			
	2013	2014	2015	2016	2017	2018		2016	2017	2018	2018/2013
Transports et entreposage	1 367,0	1 362,6	1 361,5	1 375,4	1 382,9	1 399,8	-	1,0	0,5	1,2	0,5
Transport routier de fret élargi	374,5	372,1	378,7	390,4	404,2	419,1	100	3,1	3,5	3,7	2,3
Transports routiers de fret interurbains	177,6	174,7	178,5	184,4	190,0	195,5	47	3,3	3,0	2,9	1,9
Transports routiers de fret de proximité	141,5	143,1	144,5	149,8	158,4	167,8	40	3,7	5,7	6,0	3,5
Location de camions avec chauffeur	18,4	17,5	17,2	17,9	18,2	18,9	5	4,1	1,6	3,7	0,5
Messagerie, fret express	37,0	36,8	38,5	38,3	37,6	36,8	9	-0,5	-1,8	-2,1	-0,1
Ensemble du secteur privé	18 125	18 104	18 146	18 281	18 487	18 674	-	0,7	1,1	1,0	0,6

Champ : France hors Mayotte, hors intérim.

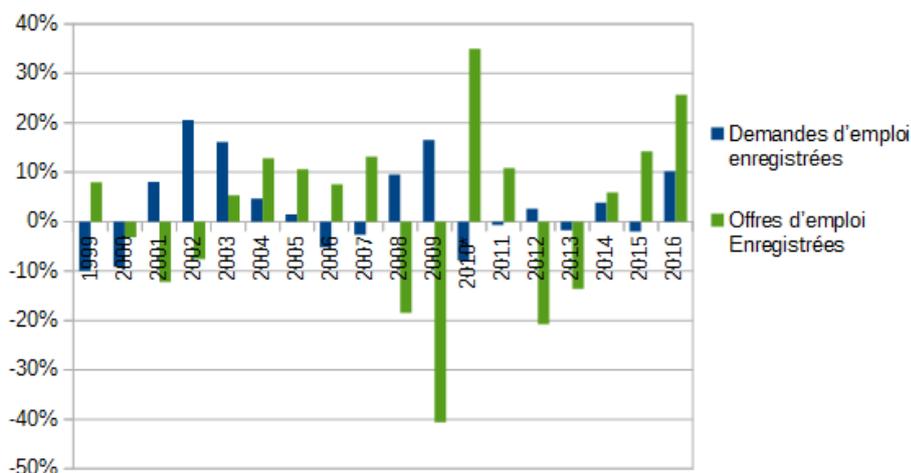
Sources : SDES à partir de Insee, estimations d'emploi ; Acoess ; SNCF – Données arrêtées au 12 mars 2019

Source : bilan social du TRM, SDES, 2020

L'effectif salarié reste majoritairement composé de conducteurs. Leur part continue de croître pour le transport routier de fret élargi (elle atteint 71,2 % en 2016 avec un taux de croissance annuel moyen de 0,44 % sur les 10 dernières années). Elle atteint 75,5 % pour le transport interurbain. Par ailleurs, le nombre de titres professionnels délivrés pour le poste de conducteur routier a connu une forte croissance en 2016, notamment en raison du plan gouvernemental « 500 000 formations supplémentaires » ayant permis d'en financer un plus grand nombre.

Toutefois, le nombre de demandes d'emploi nouvellement enregistrées a eu une croissance nettement inférieure à celle du nombre d'offres. On enregistre une hausse de 10,2 % de demandes pour le poste de conducteur en longue distance pour l'année 2016 contre 25,6 % d'offres supplémentaires.

Figure 27 : évolution des offres et demandes d'emploi par année pour le poste de conducteur en longue distance



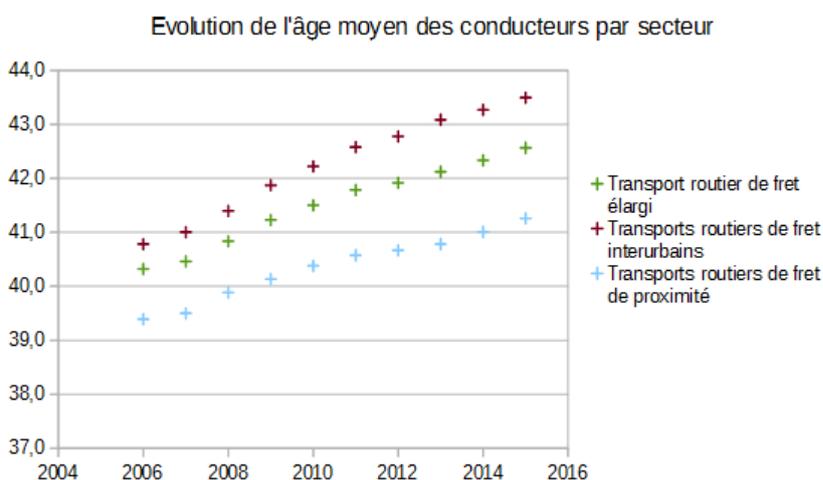
Source : bilan social du TRM 2018, SDES

Plus généralement, le bilan social de 2020 fait état d'un net recul du nombre de demandeurs d'emploi de catégorie A au poste de conducteur, cœur de métier dans le secteur du transport de marchandise : en moyenne annuelle sur cinq ans (2018/2013), le métier de conducteur de poids lourds sur longue distance connaît une baisse durable des demandeurs d'emploi (-1,3 %/an).

L'indicateur de tension de recrutement pour les métiers de conduite de transports de marchandise sur longue distance est également resté nettement au-dessus de sa moyenne historique depuis début 2017 (jusqu'à la crise de 2020) (*voir Stat info transports n°401, SDES, septembre 2021*).

Parmi les autres éléments caractéristiques des difficultés actuelles, on assiste à un recul de l'âge moyen et à un vieillissement progressif de l'effectif.

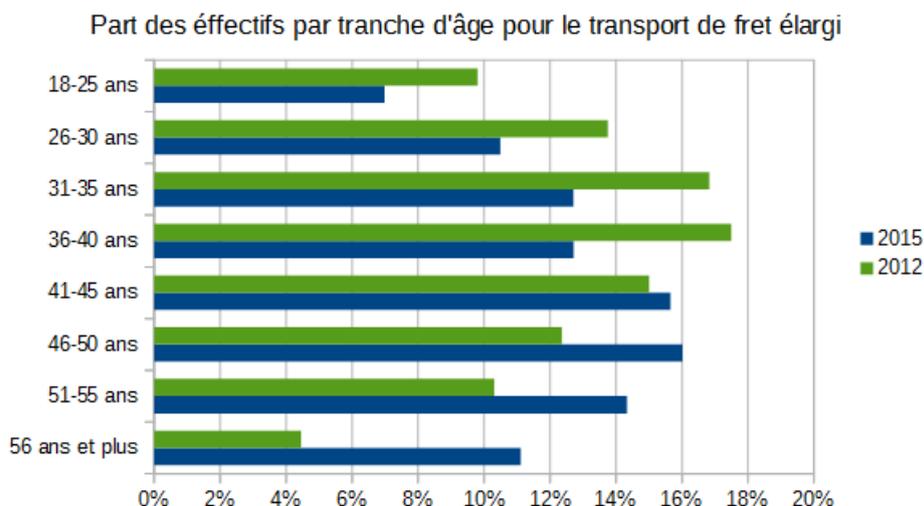
Figure 28 : évolution de l'âge moyen des conducteurs par secteur



Source : bilan social du TRM 2018, SDES

Au 31 décembre 2016, l'âge moyen de l'ensemble des salariés du secteur privé est de 41,04 ans alors que celui des conducteurs du TRF élargi s'élève en moyenne à 42,4 ans. Il a progressé de 27 mois entre 2006 et 2015. Le vieillissement est un peu plus important pour les conducteurs en interurbain dont l'âge moyen a augmenté de 32 mois, passant de 40,8 ans à 43,5 ans entre 2006 et 2016.

Figure 29 : pyramide des âges pour le fret élargi



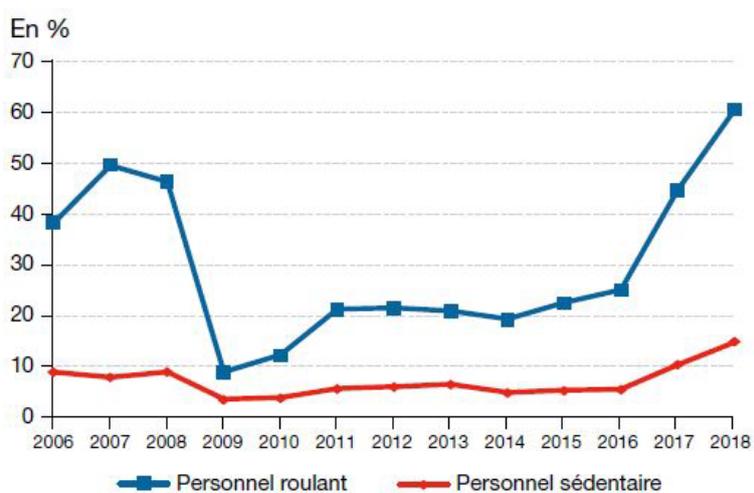
Source : bilan social du TRM 2018, SDES

Entre 2012 et 2015, la part des plus de 40 ans est passé de 42 % à 57 %. Les plus de 50 ans représentent un quart de l'effectif en 2015 contre 15 % en 2012. Parallèlement, la part des moins de 30 ans, proche de 25 % en 2012, est passé à 17 % en 2015.

02) LE RESSENTI DU SECTEUR

Les tensions sur le marché du travail observé à partir des données de Pôle Emploi sont en adéquation avec l'enquête trimestrielle de conjoncture menée par l'Insee auprès des chefs d'entreprises du transport de fret élargi (hors activités postales). En 2017, 45 % des entreprises interrogées déclarent avoir des difficultés de recrutement pour le personnel de conduite. Et cette part atteint même 60 % ou plus en 2018 et 2019 (contre 17 % pour le personnel sédentaire). Ces difficultés de recrutement s'accroissent depuis 2016 beaucoup plus vivement pour les conducteurs du TRM que dans l'ensemble du secteur des services.

Figure 30 : part des chefs d'entreprises considérant difficile le recrutement de salariés dans le TRF élargi



Champ : France métropolitaine, TRF élargi et activités de courriers (hors poste).
Source : Insee, enquête de conjoncture dans les services

Source : bilan social du TRM 2020, SDES

Compte tenu des conditions actuelles d'emplois pour le métier de conducteur et des tendances à la hausse pour les besoins de personnel, l'émergence du poids lourd autonome suscite à la fois des craintes et des espoirs.

II. Quel avenir pour le métier de conducteur?

L'arrivée du poids lourd autonome et de fait, ses conséquences sur l'emploi et le métier de conducteur pourrait se faire de manière progressive, avec une évolution du métier pouvant aller d'un rôle de superviseur partiellement en charge de la conduite à celui d'un sédentaire en charge du contrôle à distance des véhicules.

01) DE LA SUPERVISION À LA FIN DE LA LONGUE DISTANCE

Compte tenu des expérimentations actuelles, des situations telles que celles illustrées dans le scénario 1, où le conducteur est délesté de la tâche de conduite sur une partie du trajet, semblent vraisemblables. Il peut profiter de cette période pour réaliser d'autres tâches (remplissage de documents administratifs ou de planification par exemple), mais il reste indispensable sur le reste du parcours et doit reprendre le contrôle de la conduite en dehors des situations prédéfinies (conduite en zone urbaine notamment). Il s'agit du modèle mis en avant par Uber lors de son premier test.

D'un point de vue global, une telle configuration ne devrait *a priori* pas avoir d'impact majeur sur les effectifs. On observerait en revanche un réajustement des ratios entre le nombre de conducteurs employés en longue distance et en zone courte.

On imagine que suivant l'activité, un transporteur peut difficilement disposer d'un chauffeur dans chacune de ses zones de livraison pour l'acheminement terminal. Une réorganisation de l'activité s'imposerait avec des conducteurs pour le fret de proximité travaillant par secteur géographique de livraison plutôt que pour une entreprise particulière. À terme, il faudrait probablement un niveau de coopération et de mutualisation élevé pour optimiser le système avec le développement d'une plateforme de gestion permettant de coordonner les départs depuis les zones relais entre des transporteurs différents. De nouveaux emplois pourraient apparaître dans ce contexte. Cette mutualisation des moyens pourrait être également externalisée par les nouvelles technologies de plateformes servicielles qui mettraient en relation l'offre et la demande de manière efficiente avec des conducteurs routiers payés à la course.

Il n'est cependant pas impossible d'imaginer pour les transporteurs ayant choisi d'effectuer des opérations de *platooning* de les voir opérer un arbitrage entre deux situations. Celle qui engendre un coût de personnel employé en zone courte plus important contre celle qui engendre un temps d'attente supplémentaire en zone relais couplé à un effectif plus faible.

Dans le cas le plus extrême, et au degré supérieur de maturité technologique, on pourrait à l'avenir envisager une conduite totalement autonome sur une partie du trajet, éventuellement avec un recours à des infrastructures supplémentaires comme présenté dans les scénarios 2. Dans le cas d'une autorisation de circuler sur autoroute, on pourrait voir disparaître le métier de conducteur en zone longue et se développer la demande en zone urbaine. Viendraient s'ajouter des postes de contrôleurs à distance suivant le niveau de sécurité et de fiabilité souhaité par le gouvernement.

02) LE CONTRÔLEUR À DISTANCE

À terme, le camion autonome serait en mesure de gérer toutes les situations de conduite. Aucun conducteur ne serait nécessaire à bord. Toutefois, afin de garantir un certain niveau de prévention et de sécurité, le métier pourrait évoluer vers des postes de contrôleur à distance

dans chaque entreprise. Il serait alors sédentaire et se verrait attribuer la supervision de plusieurs camions en circulation.

Si l'on considère que le véhicule autonome est suffisamment rentable pour représenter 100 % des nouvelles immatriculations annuelles, même fixant un ratio d'un conducteur pour 20 véhicules le nombre de contrôleurs devrait tout de même être plus élevé que ce qui est calculé théoriquement en raison du nombre élevé d'entreprises disposant de moins de 20 véhicules et pour lesquelles il faudrait tout de même un contrôleur.

Il reste difficile de quantifier l'évolution future du nombre de conducteurs routiers et l'impact du développement du poids lourd autonome. Dans certains cas, l'automatisation viendrait pallier les difficultés de recrutement observées ; elle pourrait même être accélérée si un regain économique favorisant un accroissement de la demande de transport de fret s'ajoutait à la pénurie de chauffeurs. Pour faire converger l'efficacité socio-économique et les enjeux sociaux des transitions, les politiques publiques devront faire en sorte que :

- l'autonomisation puisse être une réponse adaptée à la pénurie de conducteurs routiers, en évitant ou en réduisant les déséquilibres liés à une pénétration technologique brutale à travers une gestion de l'équilibre entre demande et offre d'emplois ;
- des schémas de reconversion vers les nouveaux métiers du TRM (superviseurs à distance, contrôleurs, mécaniciens et informaticiens, data superviseurs, etc..) soient opérationnels au préalable de l'introduction de la technologie.

Partie 5

Limites de l'étude

Compte tenu de la méthodologie de l'analyse socio-économique, de l'absence d'informations sur certains effets pour l'analyse ou encore de la complexité des liens existants entre des effets combinés, certaines externalités n'ont pas été prises en compte dans l'étude. Leurs impacts sont présentés ici au travers de tests de sensibilité, d'analyses qualitatives ou encore sous la forme d'exemples d'application.

I. Tests de sensibilité

Les tests de sensibilité portent sur les variables qui pèsent le plus sur le bilan ou celles pour lesquelles il y a un manque d'hypothèses.

01) SÉCURITÉ

En l'absence d'hypothèses chiffrées disponibles, les différents résultats ne tiennent pas compte de l'impact de l'émergence du poids lourd autonome sur la sécurité. Notre hypothèse de base dans la formalisation des scénarios est que les poids lourds autonomes devront faire au moins aussi bien qu'un être humain en matière de sécurité pour être adoptés.

Scénario 1b (platooning avec un seul conducteur placé dans le camion de tête)

Les tests de sensibilité pour le scénario 1b montrent qu'il faudrait augmenter de plus de 10 % les coûts de la sécurité pour que le ratio devienne défavorable à horizon de 30 ans pour la collectivité et de plus de 25 % pour le ratio à horizon de 50 ans. Si au contraire on réalisait des gains de l'ordre 10 %, le ratio B/C serait proche de 6 à l'horizon de 30 ans.

Figure 31 : ratios B/C à 30 ans et à 50 ans suivant les gains de sécurité pour le scénario 1b

Gain de sécurité	Ratio B/C à 30 ans	Ratio B/C à 50 ans
10%	5,76	6,61
5%	4,34	5,88
0%	2,93	5,15
-5%	1,21	2,97
-10%	0,76	2,09
-15%	0,56	1,61
-20%	0,44	1,31
-25%	0,36	1,10
-30%	0,31	0,95

Sources : CGDD ; CNR

Scénario 2 (déploiement d'infrastructures de communication)

Pour le scénario 2, le ratio à 30 ans devient défavorable si on dégrade la sécurité de 5 %.

Figure 32 : ratios B/C à 30 ans et à 50 ans suivant les gains de sécurité pour le scénario 2

Gain de sécurité	Ratio B/C à 30 ans	Ratio B/C à 50 ans
10%	2,17	4,38
5%	1,74	4,01
0%	1,32	3,64
-5%	0,92	2,65
-10%	0,71	2,09
-15%	0,58	1,72
-20%	0,49	1,46
-25%	0,42	1,27
-30%	0,37	1,13

Sources : CGDD ; CNR

02) MATÉRIEL ROULANT

L'absence de baisse de coûts de matériel n'entraîne pas de dégradation significative du bilan. Dans le scénario 1b, les ratios B/C restent nettement supérieurs à 2 à un horizon 30 ans, (2,67 pour le bilan socio-économique, et 2,63 pour le secteur TRM) et s'améliorent par la suite. Les ratios du scénario 2 varient eux aussi légèrement (voir l'annexe 2 *Courbes de déploiement de scénarios*).

03) TAILLE DU PARC

En faisant varier la taille du parc pouvant être converti en véhicules autonomes (50, 60 ou 70 %), on observe très peu d'impact sur les bilans des scénarios 1b et 2 qui restent favorables et présentent dans tous les cas un ratio B/C supérieur à 2 au-delà de 40 ans (voir l'annexe 2 *Courbes de déploiement de scénarios*).

04) RATIO CONTRÔLEURS/VÉHICULES

En multipliant le nombre de contrôleur à distance dans le scénario 2, et en passant à un ratio de 1 pour trois véhicules, les deux bilans deviennent défavorables à l'horizon 30 ans (0,73 pour la collectivité et 0,92 pour le secteur TRM). Ils sont supérieurs à 1,5 après 40 ans (voir l'annexe 3 *Résultats des tests de sensibilité*).

05) PART DE TRAFIC RÉALISÉ SUR AUTOROUTE

L'augmentation de la part de kilométrage moyen effectué sur autoroute améliore logiquement les gains sur la consommation d'énergie et les externalités associées et accroît les ratios B/C des différents scénarios. Dans le scénario 1b, en l'absence de coûts importants d'infrastructure, une hausse de 10 points de la part moyenne de kilométrage sur autoroute suffit pour que les deux bilans soient positifs. Pour le scénario 2, il faut dépasser 30 % pour que les ratios B/C soient favorables dès 30 ans. (voir l'annexe 3 *Résultats des tests de sensibilité*).

II. La congestion : des impacts indéterminés

Dans les différents scénarios, la congestion n'est pas prise en compte dans les externalités, en raison de la complexité des effets possibles de l'introduction du poids lourd autonome sur cette dernière. En effet, différents facteurs pourraient jouer dans les deux sens et permettre d'améliorer ou au contraire d'aggraver le coût lié à la congestion.

Le *platooning* pourrait être la source de deux effets opposés. D'un côté la réduction des distances de sécurité permettrait de réduire l'espace occupé par les poids lourds sur le réseau. De plus, en autorisant les conducteurs à réaliser d'autres tâches durant les phases de conduite gérées par le véhicule, on pourrait envisager une réduction de la valeur du temps. D'un autre côté, les pelotons de camions pourraient, en raison de leur longueur, s'avérer plus difficiles à dépasser et créer des difficultés et des ralentissements du trafic en particulier pour les sorties d'autoroutes.

L'introduction du poids lourd autonome pourrait permettre de faciliter le report d'une partie du transport de marchandises vers des tranches horaires de plus faible trafic (de nuit par exemple) et améliorer les conditions de circulation pour le reste des usagers. Ces gains dépendraient du nombre de véhicules autonomes introduits dans le trafic, de la taille de réseau qu'ils seraient autorisés à emprunter et ne concernerait qu'une part de véhicules n'effectuant pas déjà de transport de nuit.

Si le véhicule autonome venait à se développer en tant que solution permettant de résoudre le problème de pénurie de conducteurs observés dans le secteur, il pourrait être à l'origine d'une augmentation du nombre de poids lourds sur les routes et d'une possible dégradation des conditions de circulation en raison notamment du report modal opéré depuis le rail ou les autoroutes ferroviaires. Elles seraient modulées par la croissance de la demande de transport.

Enfin, le déploiement des technologies de communication entre le véhicule et l'infrastructure pourrait permettre de diffuser auprès des usagers des informations leur permettant d'adapter au mieux leur trajet et d'optimiser l'usage du réseau.

Partie 6

Exemples d'application

I. Usage du *platooning* (scénario 1b : platooning avec un seul conducteur placé dans le camion de tête)

Afin d'illustrer les cas d'usages possibles de l'autonomisation sur un cas d'études, on s'intéresse dans le cadre du scénario 1b à trois chauffeurs d'une entreprise « A » située dans la région toulousaine. On suppose ici qu'il n'y a pas encore de réorganisation à l'échelle nationale de la logistique dans le secteur TRM. Il revient à chaque entreprise de trouver des modalités lui permettant de réaliser un usage du *platooning*.

- Le premier conducteur doit réaliser une opération de chargement avec le camion n°1 avant d'acheminer un peloton de deux camions vers l'Île-de-France.
- Le deuxième conducteur doit réaliser une opération de chargement avec le camion n°2 qu'il acheminera jusqu'à une aire d'autoroute et qui sera le deuxième camion du peloton.
- Le troisième conducteur devra ramener le conducteur n°2 de l'aire d'autoroute jusqu'à l'entreprise avant qu'ils ne démarrent tous les deux une tournée régionale (camions n°3 et 4).

On suppose que l'entreprise dispose (dans le cadre d'un groupement par exemple) d'un partenariat avec une autre entreprise pouvant prendre en charge son véhicule sans conducteur à la fin du *platooning* et inversement.

Afin de réaliser une comparaison avec le scénario de référence, on introduit un quatrième chauffeur qui aurait été chargé d'acheminer le camion n°2 jusqu'en Île-de-France en l'absence de véhicule autonome. (voir l'annexe 4 *Planning détaillé des conducteurs*)

Figure 33 : différences entre les coûts journaliers avec ou sans véhicule autonome (scénario 1b)

Coût journalier pour l'ensemble des 4 camions	Autonomie	Classique
	3 089 €	3 199 €
	Différence	gains %
	110 €	3,44 %

Camion	Conducteur	Autonomie	Classique	Gains %
Camion 1 (platooning)	1	815 €	888 €	8,26%
Camion 2 (platooning)	2	811 €	884 €	8,30%
Camion 3	2	806 €	794 €	-1,43%
Camion 4	3	658 €	633 €	-3,98%

Sources : CGDD ; CNR

Les gains observés sont moins importants que ce qu'on pourrait imaginer. Plusieurs éléments d'explication peuvent être évoqués. Le nombre limité de véhicules utilisés en *platooning* (parce que l'activité de l'entreprise ne permettrait pas d'en avoir plus, par exemple), réduit les gains liés à la consommation d'énergie. De plus, on observe des coûts supplémentaires liés au manque d'optimisation de la logistique et à la mobilisation notamment d'un conducteur supplémentaire (le conducteur n°3) pour pouvoir permettre le départ du peloton de camion.

II. Véhicules sans conducteur sur autoroutes avec STI-C (scénario 2 : déploiement d'infrastructures de communication)

On étudie dans le cadre du scénario 2 le cas d'une entreprise disposant de deux camions automatisés. On s'intéresse à deux conducteurs de l'entreprise devant chacun :

- réaliser un chargement dans la région ;
- acheminer la remorque jusqu'à une zone relais à l'entrée d'une autoroute ;
- attacher la remorque à un tracteur autonome qui reviendrait d'un trajet longue distance et serait localisé dans la zone relais ;
- récupérer la remorque du tracteur autonome pour démarrer une tournée régionale.

Un contrôleur à distance est chargé de la surveillance des véhicules autonomes durant leurs trajets sur autoroute. On considère toujours que l'entreprise dispose d'un partenaire prenant en charge son véhicule sans conducteur à l'autre bout de la chaîne logistique.

Afin de réaliser une comparaison avec le scénario de référence, on introduit deux autres chauffeurs qui auraient été chargés d'acheminer les deux camions sur le trajet autoroutier en l'absence de véhicule autonome. (voir l'annexe 4 *Planning détaillé des conducteurs*).

Figure 34 : différences entre les coûts journaliers avec ou sans véhicule autonome (scénario 2)

Coût journalier pour l'ensemble des 4 camions	Autonomie	Classique
	2 937 €	3 280 €
	Différence	gains %
	343 €	-10,45 %

Camion	Conducteur	Autonomie	Classique	Gains %
Camion 1 (platooning)	1	787 €	977 €	19,41%
Camion 2 (platooning)	2	787 €	958 €	17,93%
Camion 3	2	866 €	852 €	-1,63%
Camion 4	3	498 €	493 €	-1,01%

Sources : CGDD ; CNR

Les gains observés sont ici plus importants que prévu. Dans le cas d'une entreprise ayant une faible activité longue distance, le ratio contrôleurs/véhicules est fortement réduit (ici 1 pour 2). Les amplitudes horaires pour le conducteur en longue distance sont toutefois plus importantes que pour le contrôleur dans cet exemple, ce qui limite la réduction de gains sur les coûts de personnels. De plus, des coûts supplémentaires peuvent toujours être observés par manque d'optimisation de la logistique (retards et décalages dans les horaires d'arrivée des différents camions).

Ces deux exemples illustrent quelques-unes des limites liées à la réorganisation logistique et à l'activité des entreprises qui pourraient être rencontrées et constituer un facteur de réduction des gains potentiels du bilan socio-économique ; mais aussi des éléments non pris en compte dans le calcul et qui pourraient améliorer ou détériorer le ratio B/C.

Conclusions

Compte tenu du cadre retenu pour l'étude du déploiement du véhicule autonome, des choix de scénarios qui en découlent, du jeu d'hypothèses tirées de la bibliographie et de la méthodologie du calcul socio-économique, **l'analyse tend à montrer que** :

- le platooning n'est rentable d'un point de vue socio-économique que dans le cas où on aurait des véhicules suiveurs sans conducteur ;
- il est possible d'obtenir une rentabilité socio-économique tout en équipant l'ensemble du réseau autoroutier de systèmes de communication entre véhicules et infrastructures ;
- les investissements en termes de réalisation d'infrastructures routières lourdes pèsent fortement sur le bilan pour la collectivité, ainsi que pour le secteur TRM lorsqu'il contribue au financement (péages). La taille du réseau que l'on pourrait développer reste limitée (2 % tout au plus) si l'on souhaite être à l'équilibre ;
- en règle générale, les gains en termes d'externalités sont relativement faibles (moins de 10 % par rapport à ceux liés aux coûts de personnel et aux dépenses en infrastructures et en matériel roulant. Mais les bilans réalisés n'intègrent pas les effets en matière de sécurité ou de congestion, qui pourraient peser fortement sur les résultats s'ils sont avérés ;
- un certain nombre d'éléments de coûts d'externalités et de paramètres liés à l'écosystème du transport et de la logistique pourraient jouer fortement sur les rentabilités socio-économiques évaluées.

Par ailleurs, **un certain nombre de recommandations et points d'attention** peuvent émaner de ce travail en matière de mise en œuvre :

1. Bien que la maturité technologique du PLA rend crédible l'hypothèse émise d'un déploiement à l'horizon 2030, deux facteurs principaux pourraient remettre en question la proximité de cet horizon :
 - les PLA devront être confrontés à des usages mixtes sur route ouverte (poids lourds avec conducteurs et véhicules particuliers avec conducteurs), qui constituent les situations de circulations les plus complexes à gérer en matière d'intelligence artificielle ;
 - les PLA devront apporter des garanties solides en matière de sécurité routière, et ce dès leur introduction, afin de générer une acceptabilité de la part de la société civile et des usagers. D'autant plus que les PLA possèdent un indice de gravité en accidentologie supérieur à celui du véhicule particulier pour des raisons cinétiques évidentes.
2. Afin de garantir l'acceptation sociale et sociétale de l'introduction du poids lourd autonome, les autorités publiques devront être en mesure de déployer un encadrement réglementaire afin que l'autonomisation vienne autant que possible pallier la baisse de l'offre d'emplois et la pénurie de conducteurs routiers, et parvienne à garantir une transition douce sur le marché de l'emploi. Le cas échéant, les bénéfices pour la collectivité seraient érodés (d'une magnitude incertaine), au moins à court terme, par les destructions d'emplois.
3. Enfin, l'encadrement réglementaire devra également concerner la protection contre une éventuelle dérégulation économique du marché du transport de fret. L'autonomisation pourrait en effet générer des pratiques anti-concurrentielles avec l'arrivée de nouveaux acteurs monopoleurs ayant la capacité de générer d'importantes levées de fonds leur permettant de s'imposer comme leaders sur le marché du transport de fret.

Bibliographie

- Commissariat général à la stratégie et à la prospective, Evaluation socio-économique des investissements publics - Rapport de la commission Quinet, Rapport, septembre 2013
- France Stratégie (2019), La valeur de l'action pour le climat, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, 190p., février 2019
- European Commission (2016), *Study on the Deployment of C-ITS in Europe : Final Report*, Rapport, février 2016
- IAU-îDF (2018), mission Predim Robomobilité et logistique : vers une supplychain 100 % autonome, Rapport, février 2018, (p.14-19)
- Ministère de la transition écologique et solidaire, Développement des véhicules - Orientations stratégiques pour l'action publique, Rapport complet, mai 2018
- Ministère de la transition écologique et solidaire, Fiches outils du référentiel d'évaluation des projets de transport, octobre 2014
- CGDD/SEEID, Projection de la demande de transport sur le long terme, Rapport, juillet 2016
- CGDD/SEEID, Fragnol L., Concept d'autoroute électrique, évaluation socio-économique, janvier 2017, (p14-22)
- Rapport « Pichereau » (2021), Rapport parlementaire, Le déploiement européen du véhicule autonome, pour un renforcement des projets européens. Pichereau, D. juillet 2021
- Sénat (2017), Rapport d'information n°117 fait au nom de la commission des affaires européennes sur la stratégie de l'Union européenne pour le véhicule autonome, novembre 2017
- TNO (2015), *Innovation for life, Truck platooning driving the future of transportation*, Rapport, février 2015

Annexes

01) RÉFÉRENTIEL DE L'ENQUÊTE CNR LONGUE DISTANCE 2017

(Échantillon 2017- mise à jour au conditions économiques de juillet 2018)

CONDITIONS D'EXPLOITATION DU VÉHICULE

Kilométrage annuel par véhicule	114 100,0 km/an
Nombre de jours d'exploitation par an	229,6 jours
Vitesse moyenne	66,9 km/h
Taux de parcours en charge	87,3 %
Capacité de chargement	26,0 tonnes
Taux de chargement sur parcours en charge	89,1 %
Temps d'attente 1 chargement + 1 déchargement	3,02 h
Ratio véhicule tracté / véhicule moteur	1,4
Durée de conservation du véhicule moteur	6,2 ans
Durée de conservation du véhicule tracté	11,6 ans

CONDITIONS D'EMPLOI DU PERSONNEL DE CONDUITE

Nombre d'heures de temps de service par jour d'exploitation d'un véhicule	9,8 h
Pour un conducteur à temps plein - Temps de service effectué lors d'un mois de pleine activité	203,7 h
Pour un conducteur à temps plein - % de temps de conduite dans le temps de service	74,9 %
Pour un conducteur à temps plein - Nombre de jours d'activité par an	217,3 j
Pour un conducteur à temps plein - Temps de service annuel	2109 h
Pour un conducteur à temps plein - Nombre de conducteurs rapportés au véhicule	1,055
Pour un conducteur à temps partiel - Temps de service effectué lors d'un mois de pleine activité	171,8 h
Pour un conducteur à temps partiel - % de temps de conduite dans le temps de service	73,8 %
Pour un conducteur à temps partiel - Nombre de jours d'activité par an	116,3 j
Pour un conducteur à temps partiel - Temps de service annuel	1138 h
Pour un conducteur à temps partiel - Nombre de conducteurs rapportés au véhicule	0,019

COMPOSANTES DE COÛTS KILOMÉTRIQUES DE VÉHICULE

Consommation moyenne aux 100 km	31,5 litres
Prix du gazole hors T.V.A. par litre en cuve après remboursement partiel de TIPP	0,9841 €
Part de l'approvisionnement en cuve	66,4 %
Prix du gazole hors T.V.A. par litre à la pompe après remboursement partiel de TIPP	1,0268 €
Part de l'approvisionnement à la pompe	33,6 %
Pneumatiques, coûts annuels	3 187,0 €
Entretien-réparations, coûts annuels	8 924,0 €
Péages, coûts annuels	9 788,0 €

COMPOSANTES DE COÛTS FIXES DE VÉHICULE

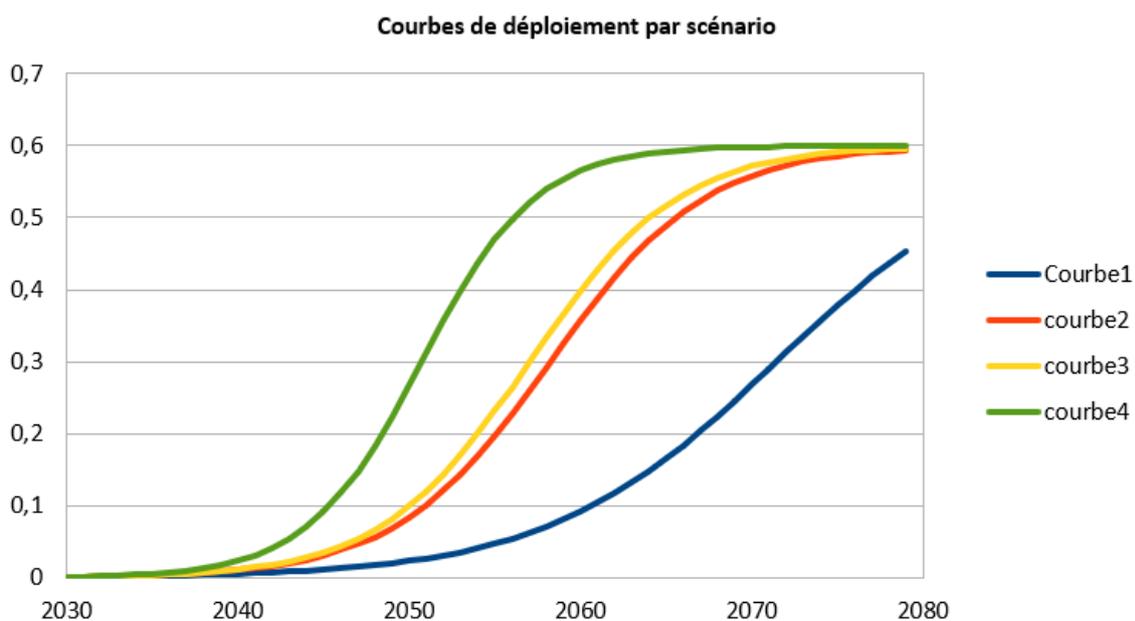
Véhicule moteur - Valeur à neuf du véhicule	87 705,0 €
Véhicule moteur - Modes de financement : % emprunt	42 %
Véhicule moteur - Modes de financement : % crédit-bail	44 %
Véhicule moteur - Modes de financement : % location	14 %
Véhicule moteur - Financement et détention, coûts annuels	11 953,0 €

Source : CNR

02) COURBES DE DÉPLOIEMENT PAR SCÉNARIO

Résultats du calcul de TCO et courbes retenues pour le déploiement par scénario.

TCO	Référence	1a	1b	2	4
Gains par rapport au scénario de référence	-	0,25 %	7,71 %	8,29 %	24,37 %



Source : calculs auteurs (CGDD ; CNR)

03) RÉSULTATS DES TESTS DE SENSIBILITÉ

Matériel roulant

Scénario 1b (platooning avec un seul conducteur placé dans le camion de tête)

Bilan	Bilan Socio-économique			Bilan secteur TRM		
Évolution du coût du matériel	-2 000 €	-5 000 €	0 €	-2 000 €	-5 000 €	0 €
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0 Mio€)	169	169	169	0	0	0
Σ coûts annuels différés (Mio€)	986	808	1 108	343	282	384
Σ bénéfices totaux actualisés (Mio€)	5 128	5 128	5 128	1 543	1 543	1 543
	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C
Valeur à 30 ans	2,97	3,46	2,71	2,84	3,32	2,59
Valeur à 40 ans	4,45	5,42	3,98	3,97	4,79	3,56
Valeur à 50 ans	5,20	6,38	4,63	4,49	5,46	4,02

Scénario 2 (déploiement d'infrastructures de communication)

Bilan	Bilan Socio-économique			Bilan secteur TRM		
Évolution du coût du matériel	-2 000 €	-5 000 €	0 €	-2 000 €	-5 000 €	0 €
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0 Mio€)	1 007	1 007	1 007	0	0	0
Σ coûts annuels différés (Mio€)	1 919	1 721	2 052	644	578	689
Σ bénéfices totaux actualisés (Mio€)	7 136	7 136	7 136	2 220	2 220	2 220
	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C
Valeur à 30 ans	1,36	1,43	1,31	1,66	1,78	1,59
Valeur à 40 ans	2,79	3,05	2,64	2,83	3,13	2,67
Valeur à 50 ans	3,72	4,15	3,48	3,44	3,84	3,22

Taille du parc

Scénario 1b (platooning avec un seul conducteur placé dans le camion de tête)

Bilan	Bilan Socio-économique			Bilan secteur TRM		
Part du parc	60%	70%	50%	60%	70%	50%
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0 Mio€)	169	169	169	0	0	0
Σ coûts annuels différés (Mio€)	986	659	1 314	343	241	445
Σ bénéfices totaux actualisés (Mio€)	5 128	5 128	5 128	1 543	1 543	1 543
	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C
Valeur à 30 ans	2,97	3,66	2,50	2,84	3,50	2,39
Valeur à 40 ans	4,45	6,22	3,47	3,97	5,37	3,14
Valeur à 50 ans	5,20	7,79	3,90	4,49	6,39	3,46

Scénario 2 (déploiement d'infrastructures de communication)

Bilan	Bilan Socio-économique			Bilan secteur TRM		
Part du parc	60%	70%	50%	60%	70%	50%
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0 Mio€)	1 007	1 007	1 007	0	0	0
Σ coûts annuels différés (Mio€)	1 919	2 069	1 770	644	694	595
Σ bénéfices totaux actualisés (Mio€)	7 136	8 325	5 946	2 220	2 590	1 850
	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C
Valeur à 30 ans	1,36	1,53	1,17	1,66	1,86	1,45
Valeur à 40 ans	2,79	3,06	2,48	2,83	3,10	2,53
Valeur à 50 ans	3,72	4,02	3,36	3,44	3,73	3,11

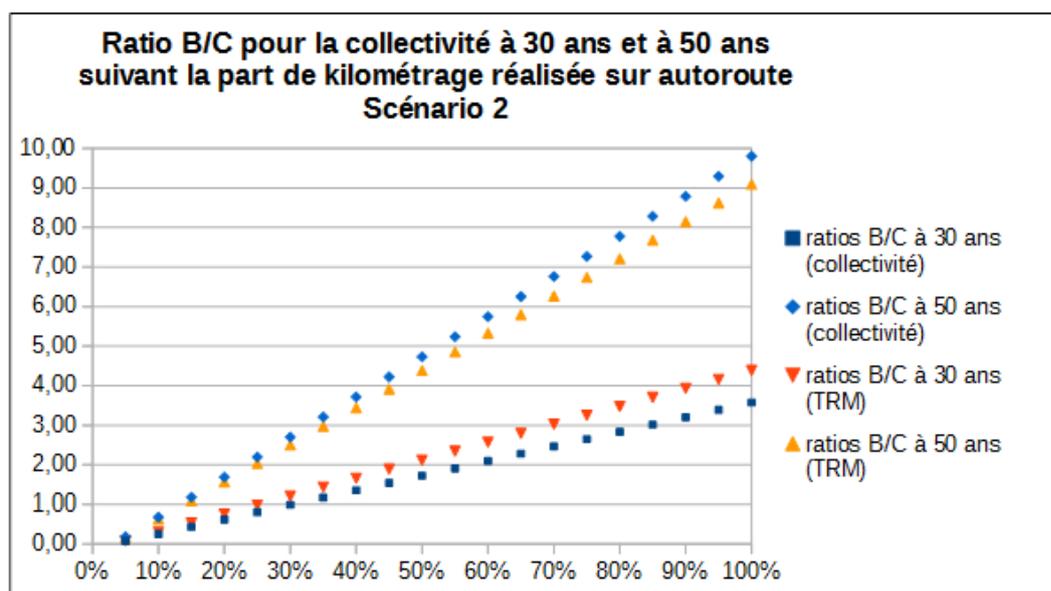
Ratio contrôleurs/véhicules

Scénario 2 (déploiement d'infrastructures de communication)

Bilan	Bilan Socio-économique			Bilan secteur TRM		
	1 / 20	1 / 50	1 / 3	1 / 20	1 / 50	1 / 3
Ratio contrôleur / véhicule						
Coûts initiaux du projet pour l'état (C0 Mio€)	1 007	1 007	1 007	0	0	0
Σ coûts annuels différés (Mio€)	1 919	1 919	1 919	644	644	644
Σ bénéfices totaux actualisés (Mio€)	7 136	7 472	3 959	2 220	2 326	1 218
	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C	Ratio B/C
Valeur à 30 ans	1,36	1,42	0,75	1,66	1,74	0,91
Valeur à 40 ans	2,79	2,92	1,55	2,83	2,97	1,56
Valeur à 50 ans	3,72	3,89	2,06	3,44	3,61	1,89

Part de trafic réalisé sur autoroute

Scénario 2 (déploiement d'infrastructures de communication)



Source : calculs auteurs (CGDD ; CNR)

04) PLANNING DÉTAILLÉ DES CONDUCTEURS

Exemple 1 :

Chauffeur 1 Conduite déléguée Préparation platooning

Départ	Arrivée	Temps de conduite	Cumulé (h)	Temps d'attente	Cumulé (h)	Type d'attente	Total (h)
Entreprise	Toulouse	20 min	0,3	35 min	0,6	Chargement	0,9
Toulouse	AR1	15 min	0,6	-	0,6	Synchronisation	1,2
AR1	AR2	6 h	6,6	30 min	1,1	Pause	7,7
AR2	AR2	-	6,6	45 min	1,8	Synchronisation, pause	8,4
AR2	Livraison	25 min	7,0	50 min	2,7	Déchargement	9,7
Livraison	Repos LD	20 min	7,3	-			10,0
Conduite			7,3 h	Attente	2,7 h	Total	10 h

Chauffeur 2

Départ	Arrivée	Temps de conduite	Cumulé (h)	Temps d'attente	Cumulé (h)	Type d'attente	Total (h)
Entreprise	Toulouse	15 min	0,3	40 min	0,7	Chargement	0,9
Toulouse	AR1	15 min	0,5	-	0,7	Synchronisation	1,2
AR1	Entreprise	15 min	0,8	-	0,7		1,4
Entreprise	Montauban	1 h	1,8	35 min	1,3	Chargement	3,0
Montauban	Auch	1 h 45 min	3,5	1 h 15 min	2,5	Déchargement, pause	6,0
Auch	Tarbes	1 h 20 min	4,8	50 min	3,3	Chargement, pause	8,2
Tarbes	Toulouse	1 h 30 min	6,5	45 min	4,1	Déchargement	10,6
Toulouse	Entreprise	20 min	6,8	-			10,9
Conduite			6,8 h	Attente	4,1 h	Total	10,9 h

Chauffeur 3

Départ	Arrivée	Temps de conduite	Cumulé (h)	Temps d'attente	Cumulé (h)	Type d'attente	Total (h)
Entreprise	Toulouse	15 min	0,3	30 min	0,5	Chargement	0,8
Toulouse	AR1	10 min	0,4	15 min	0,8	Synchronisation	1,2
AR1	Entreprise	15 min	0,7	-	0,8		1,4
Toulouse	Montpellier	2 h 20 min	3,0	50 min	1,6	Déchargement, pause	4,6
Montpellier	Nîmes	45 min	3,8	1 h	2,6	Chargement	6,3
Nîmes	Narbonne	1 h 25 min	5,2	1 h	3,6	Déchargement, pause	8,8
Narbonne	Toulouse	1 h 35 min	6,8	20 min	3,9	Déchargement	10,7
Toulouse	Entreprise	10 min	6,9	-			10,8
Conduite			6,9 h	Attente	3,9 h	Total	10,8 h

Exemple 2 :

Chauffeur 1

Conduite déléguée

Chargement pour véhicule autonome

Départ	Arrivée	Temps de conduite	Cumulé (h)	Temps d'attente	Cumulé (h)	Type d'attente	Total (h)
Entreprise	Toulouse	15 min	0,3	40 min	0,7	Chargement	0,9
Toulouse	AR1	15 min	0,5	20 min	1,0	Synchronisation	1,5
AR1	Montauban	1 h	1,5	35 min	1,6	Chargement	3,1
Montauban	Auch	1 h 45 min	3,3	1 h 15 min	2,8	Déchargement, pause	6,1
Auch	Tarbes	1 h 20 min	4,6	40 min	3,7	Chargement, pause	8,1
Tarbes	Toulouse	1 h 30 min	6,3	45 min	4,4	Déchargement	10,5
Toulouse	Entreprise	20 min	6,6	-			10,8
Conduite			6,6 h	Attente	4,4 h	Total	10,8 h

Chauffeur 2

Départ	Arrivée	Temps de conduite	Cumulé (h)	Temps d'attente	Cumulé (h)	Type d'attente	Total (h)
Entreprise	Toulouse	15 min	0,3	30 min	0,5	Chargement	0,8
Toulouse	AR1	10 min	0,4	15 min	0,8	Synchronisation	1,2
AR1	Montpellier	2 h 20 min	2,8	50 min	1,6	Déchargement, pause	4,3
Montpellier	Nîmes	45 min	3,5	1 h	2,6	Chargement	6,1
Nîmes	Narbonne	1 h 25 min	4,9	1 h	3,6	Déchargement, pause	8,5
Narbonne	Toulouse	1 h 35 min	6,5	20 min	3,9	Déchargement	10,4
Toulouse	Entreprise	10 min	6,7	-			10,6
Conduite			6,7 h	Attente	3,9 h	Total	10,6 h

Contrôleur à distance

Départ	Arrivée	Distance	Temps de surveillance
AR1	AR2	650 km	9h

Source : calculs auteurs (CGDD ; CNR)



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Commissariat général
au développement durable**

Service de l'économie verte et solidaire

Sous-direction de l'économie et de l'évaluation

Tour Séquoia – 92055 La Défense cedex

Courriel : diffusion.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.ecologie.gouv.fr