

A large, decorative graphic consisting of several concentric, overlapping circular bands in shades of purple and lavender, centered on the page and partially overlapping the text.

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE
sur l'accident entre
un camion malaxeur
et un véhicule léger
survenu le 13 août 2019
sur la RD13
à Bazoches-sur-Guyonne (78)**

Septembre 2021

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Glossaire

- **BTA** : brigade territoriale autonome
- **CD78** : conseil départemental des Yvelines
- **Cerema** : centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
- **CORG** : centre d'opérations et de renseignement de la gendarmerie
- **ESC/ESP** : système électronique de contrôle de la stabilité
- **FCO** : formation continue obligatoire
- **FIMO** : formation initiale minimum obligatoire
- **INRS** : institut national de recherche et de sécurité
- **NF** : norme française
- **PTAC** : poids total autorisé en charge
- **RD** : route départementale
- **SNBPE** : syndicat national du béton prêt à l'emploi
- **TMJA** : trafic moyen journalier annuel
- **VL** : véhicule léger

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la collision entre un camion malaxeur et un véhicule léger survenu le 13 août 2019 sur la RD13 à Bazoches-sur-Guyonne (78)

Affaire n° BEATT-2019-05

N° ISRN : EQ-BEAT--21-8--FR

Proposition de mots-clés : camion malaxeur, virage, renversement, vitesse, signalisation

Résumé

Le mardi 13 août 2019, un camion malaxeur transportant du béton s'est renversé dans un virage à droite sur la route départementale n° 13 sur la commune de Bazoches-sur-Guyonne.

Dans le basculement sur son côté gauche, le camion malaxeur a écrasé un véhicule léger circulant sur la voie opposée, dans lequel se trouvaient une mère de famille et ses deux enfants. Celui assis sur la banquette arrière est décédé sur place. La mère qui conduisait et sa fille qui se trouvait sur le siège passager avant ont été gravement blessées. Le conducteur du camion a été légèrement blessé.

La cause directe et immédiate de l'accident est le retournement du camion malaxeur dans le virage dû à un braquage à droite violent, manœuvre d'évitement de la part du conducteur du camion surpris par l'arrivée du véhicule léger en sens inverse, eu égard à la configuration des lieux et à une vitesse inadaptée.

L'accident a causé des dommages modérés à l'infrastructure routière.

Cet accident repose la problématique du risque de renversement des camions malaxeurs transportant du béton qui ont, quand ils sont en charge, un centre de gravité haut et décalé du côté du conducteur. Cette caractéristique découle du malaxage du béton provoqué par la rotation continue dans le sens horaire de la toupie, accentuant fortement l'instabilité du camion en particulier dans les virages à droite.

L'analyse de cet accident amène le BEA-TT à formuler des recommandations relatives :

- au système d'aide à la conduite pour prévenir le risque de renversement des camions malaxeurs ;
- à la formation des conducteurs de camions malaxeurs vis-à-vis de ce risque de renversement ;
- à l'amélioration de la sécurité du virage lieu de l'accident.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	1
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	3
1.1 - Les circonstances de l'accident.....	3
1.2 - Le bilan humain et matériel.....	3
1.3 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	3
1.4 - Les mesures prises après l'accident.....	3
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	4
2.1 - Les conditions météorologiques.....	4
2.2 - La zone de l'accident.....	4
2.2.1 - La localisation et l'environnement.....	4
2.2.2 - Les caractéristiques techniques et la visibilité.....	5
2.2.3 - Le trafic et l'accidentalité.....	11
3 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	12
3.1 - L'état des lieux après l'accident.....	12
3.2 - Les résumés des témoignages.....	13
3.2.1 - Le témoignage du conducteur du camion.....	13
3.2.2 - Le témoignage de la fille passagère du véhicule léger accidenté.....	13
3.2.3 - Le témoignage de la conductrice du VL accidenté.....	14
3.3 - Le camion accidenté.....	14
3.3.1 - Le transporteur.....	14
3.3.2 - Le camion accidenté.....	14
3.3.3 - Le conducteur du camion.....	22
3.3.4 - Le véhicule léger accidenté.....	22
3.4 - L'analyse des traces et des enregistrements.....	23
3.4.1 - L'analyse des traces sur la route.....	23
3.4.2 - L'analyse des données enregistrées par le chronotachygraphe.....	24
4 - ANALYSE DU DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....	27
4.1 - Le déroulement de l'accident.....	27
4.2 - L'organisation des secours.....	28
5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	29
5.1 - Les systèmes d'aide à la conduite sur le risque de renversement.....	30
5.2 - La formation des conducteurs de camions malaxeurs.....	32
5.3 - La configuration dangereuse du virage.....	34
6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	40
ANNEXE : Décision d'ouverture d'enquête.....	41

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de l'accident

Le mardi 13 août 2019, vers 10 h 24, un camion malaxeur circulant sur la RD13 se renverse dans un virage à droite au niveau de la commune de Bazoches-sur-Guyonne (78) et, dans le basculement sur son côté gauche, écrase un véhicule léger circulant sur la voie opposée.

1.2 - Le bilan humain et matériel

Cet accident a causé le décès d'un enfant assis à l'arrière du véhicule léger. La mère qui conduisait et la sœur assise sur le siège passager ont été blessées.

Le conducteur du camion a été légèrement blessé.

La voiture a été détruite, le camion malaxeur endommagé.

1.3 - L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances de cet accident, le directeur du bureau d'enquête sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 9 octobre 2019 une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 du Code des transports.

Les enquêteurs du BEA-TT se sont rendus sur les lieux où ils ont pu rencontrer les gendarmes chargés de l'enquête puis parcourir les lieux de l'accident et examiner tous les éléments qu'ils souhaitaient.

Le BEA-TT a obtenu communication du dossier de l'enquête préliminaire diligentée par la Procureure de la République de Versailles et établi par la compagnie de gendarmerie départementale de Rambouillet, et du rapport de l'expert judiciaire (version du 15 avril 2021) relatif aux circonstances de l'accident.

1.4 - Les mesures prises après l'accident

Après l'accident, la RD13 a été fermée à la circulation le temps de la prise en charge des victimes par les services de secours, de la réalisation des constats par les différents services officiels et de l'évacuation des véhicules.

2 - Contexte de l'accident

2.1 - Les conditions météorologiques

Le matin du mardi 13 août 2019 vers 10 heures, selon les relevés de la station météorologique de Trappes la plus proche du lieu de l'accident, la température était d'environ 15 °C, la vitesse du vent faible (moins de 10 km/h) et la visibilité bonne.

Au moment de l'accident, les conditions météorologiques étaient donc correctes et la chaussée était sèche.

2.2 - La zone de l'accident

2.2.1 - La localisation et l'environnement

L'accident a eu lieu sur la route départementale n° 13 au niveau de la commune de Bazoches-sur-Guyonne dans le département des Yvelines (78) au sud-ouest de Paris, dans une courbe à proximité du carrefour entre la RD13 et la RD191 au lieu-dit du « Cheval mort ».

La RD13 relie d'est en ouest la commune de Maurepas à celle de Montfort-l'Amaury et est exploitée par le conseil départemental des Yvelines.

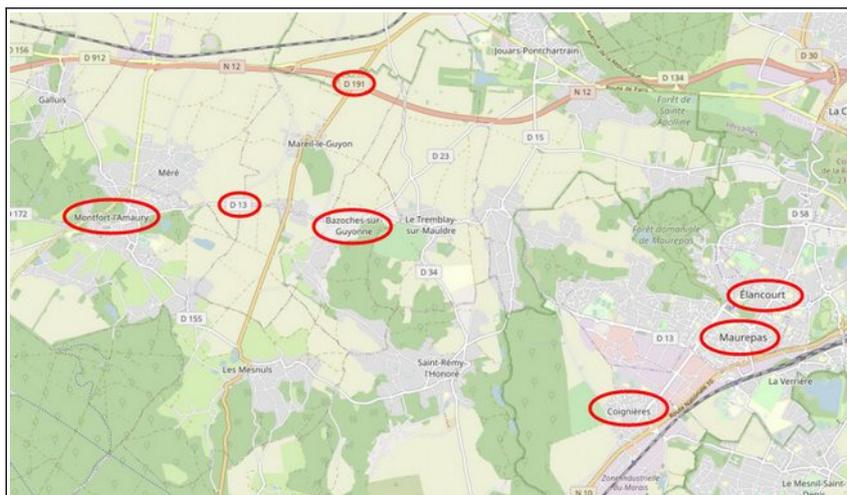


Figure 1 : localisation à l'échelle départementale

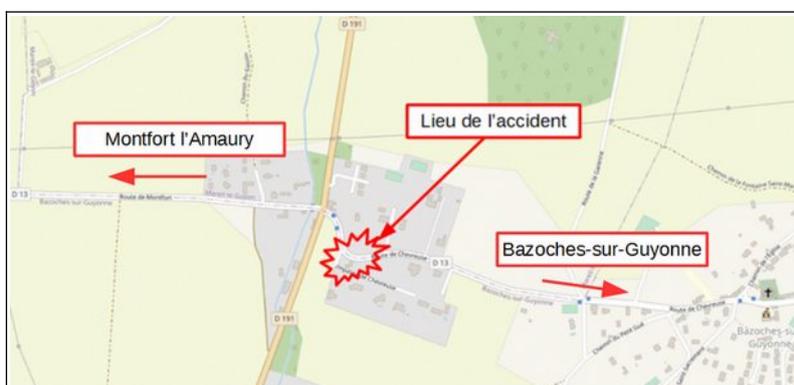


Figure 2 : localisation de l'accident sur la RD13

2.2.2 - Les caractéristiques techniques et la visibilité

La RD13 est une route bidirectionnelle à deux voies de circulation.

Dans le sens de déplacement du camion, deux virages se succèdent dont le premier est à gauche et le second, lieu de l'accident, est à droite.

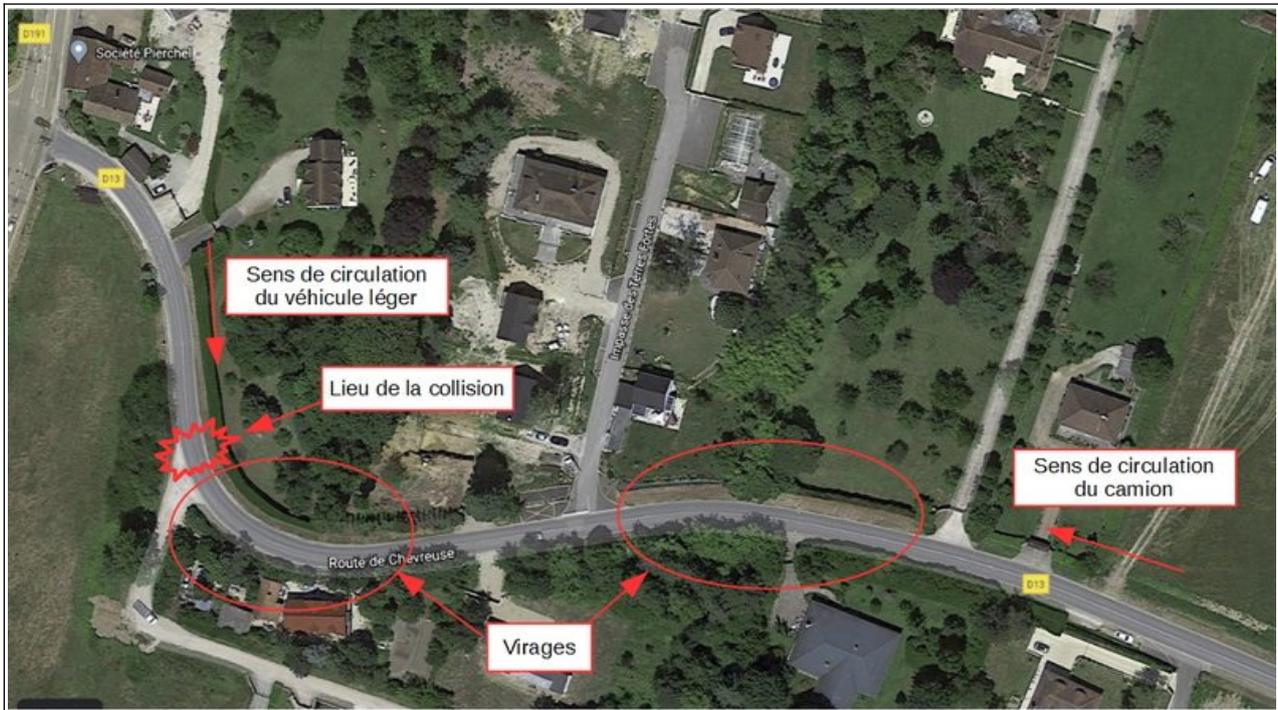


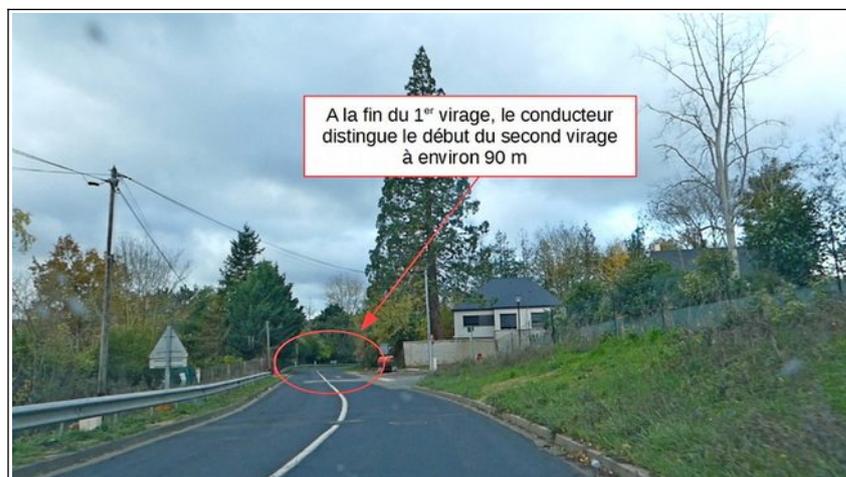
Figure 3 : tracé de la RD13 en amont du lieu de l'accident (dans le sens de circulation du camion)
(image Google Earth légendée BEA-TT)

Le premier virage à gauche est précédé d'une ligne droite d'une longueur d'environ 170 m et de pente négative d'environ 1 %.



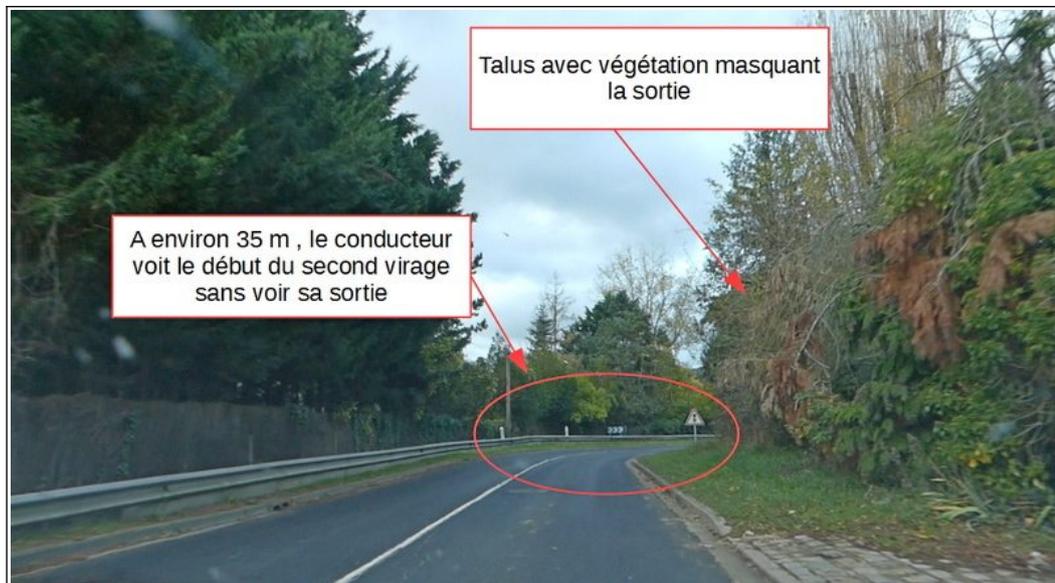
En amont du premier virage à gauche, la signalisation verticale impose une vitesse maximale de 70 km/h.

Quelques mètres en aval, un panneau de type A1d annonce une succession de virages dont le premier est à gauche. Il est implanté à environ 110 m de la zone d'accident.



Dans le sens de circulation du camion, le premier virage à gauche d'un rayon d'environ 170 m est suivi d'une ligne droite d'une longueur d'environ 90 m. Cette section qui précède le lieu de l'accident est en pente descendante d'environ 3 %.

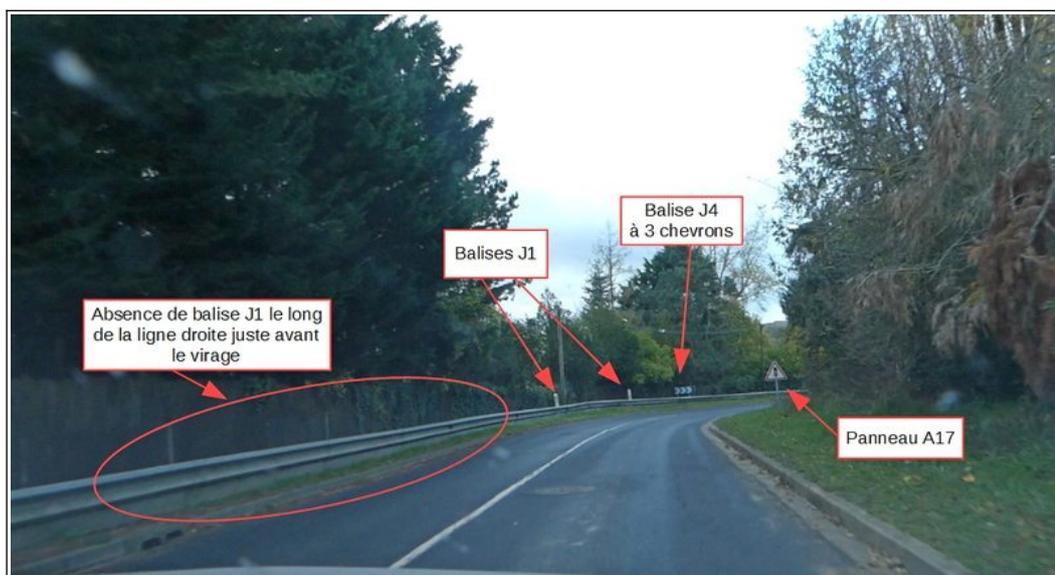
En fin de ligne droite, on distingue le début du virage à droite, lieu de l'accident, mais sans visibilité sur sa sortie. Une balise J4 à 3 chevrons est implantée dans l'axe de la voie de circulation pour alerter les usagers de la dangerosité du virage.



Elle est encadrée de chaque côté par 2 balises J1 dont l'objet est de matérialiser le tracé extérieur du virage lorsque celui-ci n'apparaît pas clairement aux usagers de la route.

Ces balises précédant la balise J4, dont la plus proche est à une distance d'environ 7 m, sont espacées de 9 m et sont disposées dans la courbe. Aucune n'est implantée sur le bord extérieur de la portion de chaussée rectiligne en amont du virage.

Au début de la courbe, sur le bord intérieur droit de la chaussée, un panneau A17 présignale un feu tricolore à 150 m.



Environ au milieu du virage, la balise J4 à 3 chevrons est complétée par une autre balise J4 monochevron quelques mètres en amont d'une entrée riveraine signalée de part et d'autre par une balise J1.



Les balises J4 et J1 ont pour objet de favoriser le guidage des véhicules. Prévues notamment par l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (IISR) et la circulaire du 23 août 1978 relative aux recommandations sur la signalisation des virages, elles permettent aux usagers d'adapter leur vitesse et leur positionnement sur la chaussée.

Quand un virage difficile est précédé d'une ligne droite, les balises J1 doivent couvrir l'ensemble du bord extérieur du virage. Des balises sont disposées en plus sur chacune des lignes droites de part et d'autre du virage.

Une balise J1 est alors implantée dans l'axe de la voie de droite. La balise J4 est implantée dans l'axe de la voie adjacente à la voie de droite pour un virage à droite. Une balise J4 unique est possible.

Au niveau de la zone de l'accident, l'implantation des balises J4 et J1 délimite correctement l'ensemble du bord extérieur du virage même si, dans le sens de circulation du camion, une balise J1 aurait éventuellement pu être rajoutée dans la ligne droite, et une autre dans le virage.

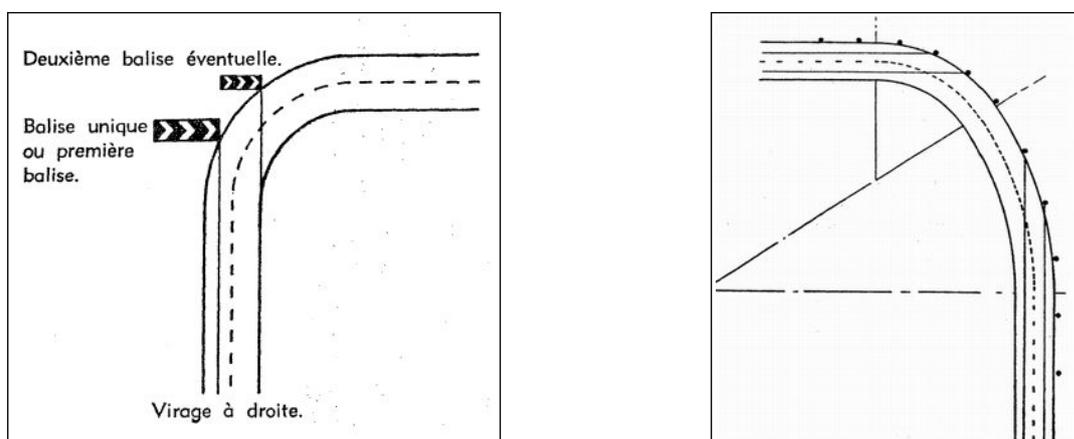


Figure 4 : exemples d'implantations réglementaires des balises J4 à trois chevrons (à gauche pour un virage à droite) et de balises J1 (à droite pour un virage à gauche avec deux rayons de courbure différents)
(schémas issus de la circulaire n° 78-110 du 23 août 1978 relative aux recommandations sur la signalisation des virages)

Le lieu de l'accident correspond à la fin de la sortie de ce virage à droite, qui comporte un dévers intérieur d'environ 4 % correctement orienté. Ainsi, la chaussée est inclinée transversalement vers l'intérieur de la courbe.

Les largeurs des voies de circulation empruntées par le camion et le véhicule léger sont respectivement d'environ 2,90 m et 2,80 m au milieu du virage lieu de l'accident, d'après les données transmises par le conseil départemental des Yvelines (CD78).

Les côtés droits de chaque voie de circulation sont limités par une bordure béton d'une dizaine de centimètres de haut, empêchant le déplacement des véhicules vers l'extérieur de la chaussée. Le talus et la végétation à droite limite la visibilité sur les véhicules arrivant en sens opposé jusqu'à la fin de la giration.

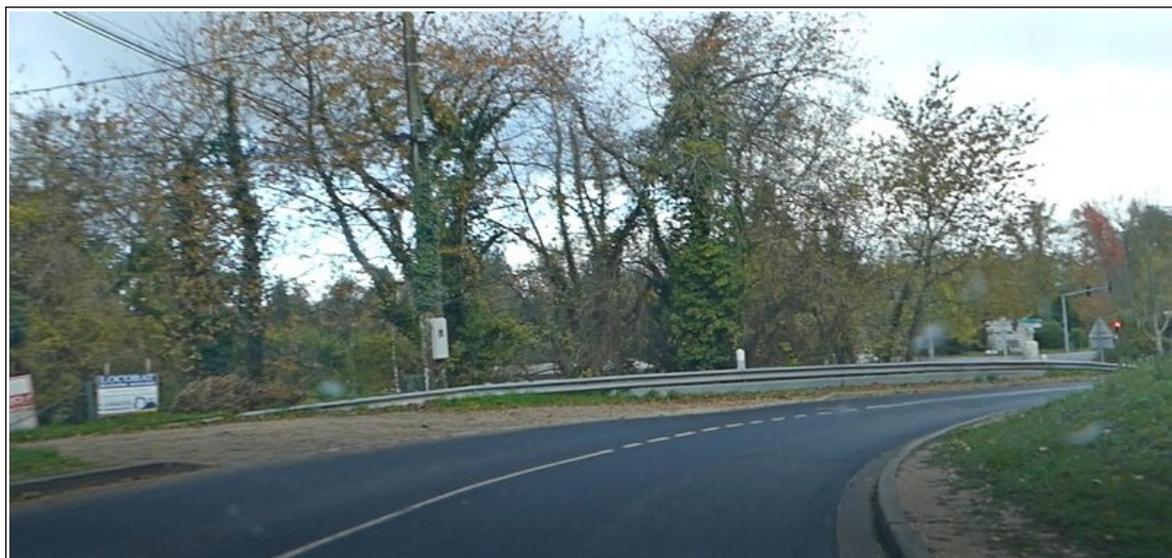


Figure 5 : zone de l'accident

Le virage, lieu de l'accident, présente deux courbes successives dont les rayons estimés par les enquêteurs du BEA-TT sont respectivement de 54 m et de 32 m (intérieur du virage au niveau de la bordure béton). Les services du conseil départemental ont confirmé que la géométrie de ce virage, datant des années 1950 voire antérieurement, ne comporte pas d'arc de clothoïde. Cette forme géométrique est utilisée dans la conception des voies routières pour raccorder une portion rectiligne à un cercle. Elle permet à tout conducteur d'emprunter un virage à une vitesse constante tout en tournant le volant

également à vitesse constante. Sans ce raccordement, la droite est suivie directement par un cercle, nécessitant un braquage rapide du conducteur.

La conduite dans ce virage nécessite donc de grandes précautions et impose à tout conducteur de véhicule de braquer plus fort à droite en plein virage.

Cette géométrie est à risque d'autant que la visibilité est réduite.



Figure 6 : rayons de courbure du virage lieu de l'accident
(image Google Earth légendée BEA-TT)

Dans le sens de circulation du véhicule léger, opposé à celui du camion, un panneau de type A1d annonce lui aussi une succession de virages dont le premier est à gauche.

L'entrée de ce premier virage à gauche est visible à une distance d'environ 60 m, juste avant l'implantation du panneau A1d.

Hors agglomération, le panneau A1d de signalisation de danger devrait être réglementairement placé à 150 m du début de la zone et en tout état de cause entre 100 et 200 m.

Ici, cette distance n'est pas respectée du fait de la présence à proximité d'un carrefour en amont. Un panneau de distance type M1 pourrait être ajouté pour signaler la proximité du début de virage.



Une balise J4 à 3 chevrons annonçant la dangerosité du virage est présente. Dans le sens de circulation du véhicule léger, la deuxième balise J1 est masquée par ce panneau à chevrons.



De même que dans le sens du PL, la sortie de la courbe n'est pas visible à l'intérieur de celle-ci.



2.2.3 - Le trafic et l'accidentalité

Le trafic moyen journalier annuel (TMJA) de la RD13 en 2016, sur la section comprenant la zone de l'accident, était d'environ 3000 véhicules par jour, avec une proportion faible de poids lourds d'environ 4 % (source CD78). Aucun accident récent n'a été recensé sur cette portion de route.

3 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

3.1 - L'état des lieux après l'accident

Le camion malaxeur est immobilisé sur son côté gauche à la sortie du virage à droite. Il est couché sur la voie opposée.

Le véhicule léger se trouve au même niveau un peu plus à l'intérieur du virage et toujours sur sa voie. La partie arrière du camion malaxeur repose en partie sur le porte-à-faux arrière du véhicule léger.



Figure 7 : position des véhicules près l'accident
(image Google Earth légendée BEA-TT)

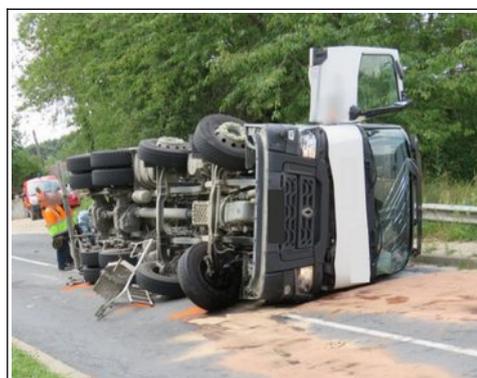


Figure 8 : camion malaxeur couché sur son côté gauche



Figure 9 : arrière du camion malaxeur écrasant le porte-à-faux arrière du véhicule léger

3.2 - Les résumés des témoignages

Les résumés des témoignages présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations, orales ou écrites, dont ils ont eu connaissance dans le dossier d'enquête judiciaire.

Ils ne retiennent que les éléments qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre les différents témoignages recueillis ou entre ceux-ci et des constats ou analyses présentés par ailleurs.

3.2.1 - *Le témoignage du conducteur du camion*

Le conducteur du camion travaille depuis un an dans la société de transport. Il a une expérience d'environ 15 ans dans les travaux publics.

Le jour de l'accident, il a débuté sa journée à 7 h puis s'est rendu à la centrale à béton de Coignières pour un premier chargement à 7 h 20. Il en est reparti à 7 h 35 en direction d'un chantier à Houdan où il est arrivé vers 8 h 10.

Moins d'une heure après, il quitte ce chantier pour un deuxième chargement à la centrale à béton de Coignières cette fois-ci pour un chantier situé à Montfort-l'Amaury.

Dans le virage lieu de l'accident, en route vers le nouveau chantier, il a vu le véhicule léger positionné en partie dans sa voie et a essayé de l'éviter en braquant à droite. Ce faisant, il a touché la bordure en limite de chaussée et comme le camion était chargé, le béton a fait basculer le camion sur son côté gauche.

Il pense qu'il roulait peut-être un peu trop vite mais qu'il était en train de freiner car il connaissait cette route, qu'il emprunte souvent, et la dangerosité du virage.

3.2.2 - *Le témoignage de la fille passagère du véhicule léger accidenté*

Âgée de 13 ans, elle était assise côté passager, sa mère conduisait et son frère était assis au milieu de la banquette arrière sur un siège rehausseur. Tous portaient la ceinture de sécurité.

Elle a vu le camion arriver sur eux à toute vitesse, vraiment très vite. Il roulait dans sa voie. En le voyant, sa mère a dit que ce camion roulait vite. Au moment où le conducteur les a vus, ce dernier a braqué brusquement sur sa droite, le camion a alors basculé et la partie arrière de ce véhicule s'est déplacé dans leur direction.

Elle a alors fermé les yeux et a entendu le verre exploser et des bruits qu'elle traduit comme quelque chose qui glisse, dérape et se casse.

Après le choc, sa mère et elle étaient bloquées par la carrosserie défoncée et ne pouvaient pas se retourner.

Sa mère a appuyé sur le bouton « SOS »* de la voiture qui a fonctionné. La femme avec laquelle elles sont entrées en communication leur a indiqué que les secours arrivaient.

* Le bouton « SOS » évoqué est le bouton « e-call », système d'appel d'urgence embarqué et automatique pouvant être activé soit manuellement soit automatiquement conjointement avec le déclenchement des airbags. L'appel est passé à une plateforme d'appel qui communique avec les conducteur et/ou les passagers et on peut si besoin envoyer des secours grâce à la localisation GPS du véhicule. Ce système est obligatoire sur les véhicules neufs depuis 2018.

Elle affirme qu'ils ne roulaient pas vite, qu'ils venaient de passer un feu tricolore, et que sa mère conduisait dans sa voie.

3.2.3 - Le témoignage de la conductrice du VL accidenté

Elle est partie vers 10 h de Saint-Léger-en-Yvelines pour se rendre à Maurepas pour un déplacement privé.

Dans le virage lieu de l'accident, elle a vu le camion arriver rapidement et lui semblait sortir du virage.

Elle a croisé le regard du conducteur du camion qui paraissait surpris comme s'il venait de l'apercevoir.

Elle a vu les roues droites du camion décoller de la route et, d'après ses dires, croit avoir vu le conducteur mettre un léger coup de volant à droite comme s'il réajustait sa trajectoire.

Après le choc, son bouton « SOS » s'est déclenché, elle est entrée en communication avec une personne d'une centrale téléphonique.

3.3 - Le camion accidenté

3.3.1 - Le transporteur

Le transporteur est spécialisé dans le secteur d'activité des transports routiers de fret de proximité et notamment de transport de béton.

Son chiffre d'affaires en 2017 était d'environ 18 M€.

La société comprenait une soixantaine de salariés en 2019, dont 80 % étaient des conducteurs de camions malaxeurs et de camions pompes.

3.3.2 - Le camion accidenté

Le camion est de marque Renault de poids total autorisé en charge (PTAC) de 32 t et de poids à vide 13,1 t dont la date de 1^{re} immatriculation est le 23 octobre 2017.

Il comporte 2 places assises. Sa longueur est de 9,16 m et sa largeur de 2,55 m. Il dispose de 4 essieux dont les deux avant sont directeurs et les deux arrière moteurs (véhicule type 8x4). Son rayon de braquage hors tout est de 9,70 m.

Le véhicule a fait l'objet d'un contrôle technique périodique favorable le 23 novembre 2018, valide jusqu'au 22 novembre 2019. Ce contrôle a été réalisé alors que le véhicule avait un kilométrage de 23 104 km.

L'efficacité globale du frein de service relevé lors de ce contrôle était de 64 %, pour une valeur minimale réglementaire pour ce camion de 50 %.

Les pneumatiques sont de dimensions 295/80 R22.5 sur tous les essieux.

Sur le châssis-cabine a été installée une bétonnière de marque Schwing-Stetter modèle AM9 ULTRA ECO 835 et type AM 9/8 FH C3 LL 835.

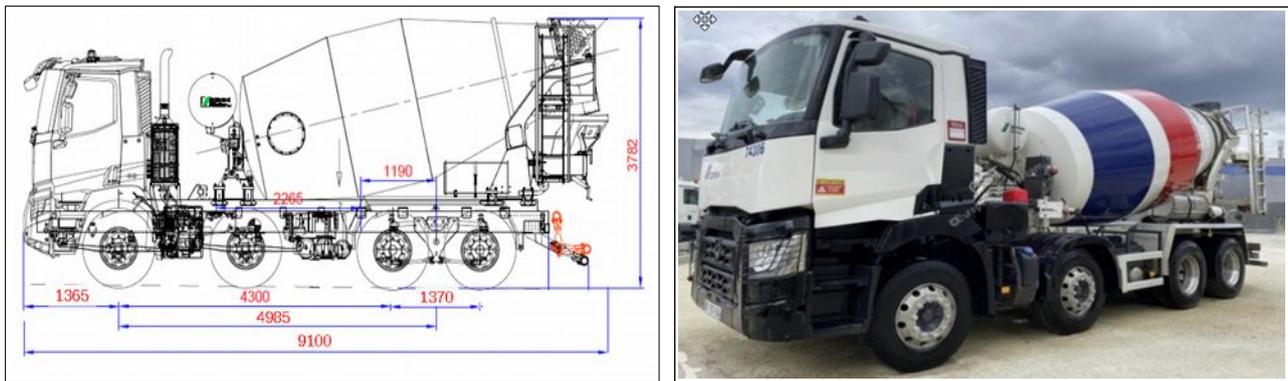


Figure 10 : dimensions du camion malaxeur et véhicule similaire

Cette opération a été réalisée par la société Schwing-Stetter carrossier qualifié au sens de l'article R. 323-25 du Code de la route et a fait l'objet d'un procès-verbal de contrôle de conformité initial le 19 octobre 2017.

La bétonnière est considérée comme une « machine » au sens de la directive 2006/42/CE relative aux machines à laquelle elle est conforme (déclaration de conformité du 19 octobre 2017 au sens de l'annexe II A de la directive). La directive 2006/42/CE a été transposée en droit français par le décret n° 2008-1156 du 7 novembre 2008 et les articles R. 4311-4 et suivants du Code du travail, avec une date d'application au 29 décembre 2009.

Le remplissage nominal de la toupie est de 9000 l, équivalent à 60 % du volume géométrique total de 15 000 l. Au niveau de la ligne d'eau, le volume est de 10 200 l.

La capacité nominale est le volume de remplissage maximal.

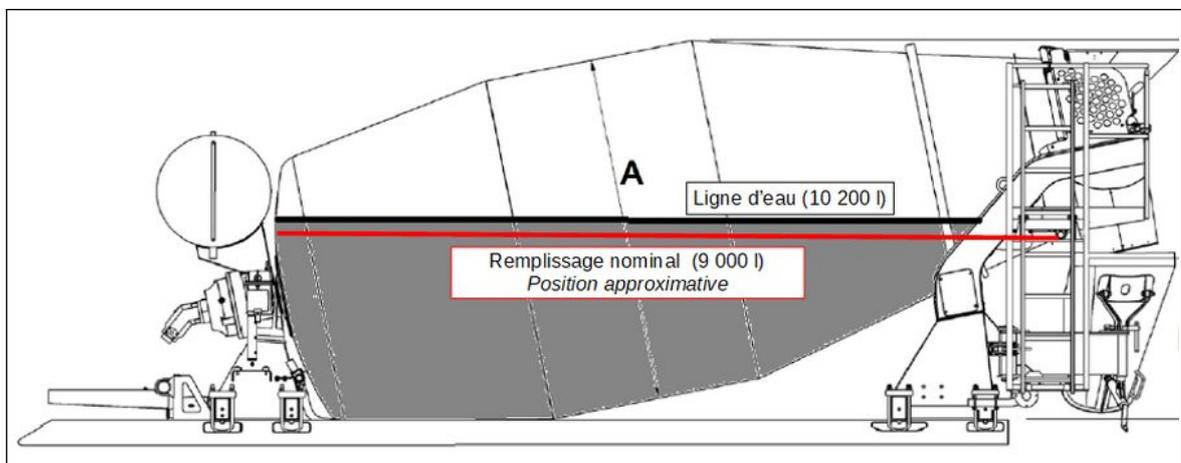


Figure 11 : représentation des niveaux de « ligne d'eau » et de remplissage nominal

La toupie n'est pas horizontale mais inclinée d'un angle de 12,45° par rapport à l'horizontale. Le diamètre du tambour, dans sa partie la plus large, est de 2,3 m.

L'énergie nécessaire à la rotation de la toupie est produite par le moteur du camion et transmise via une pompe et un réducteur-malaxeur (moteur hydraulique faisant tourner la toupie).

Le sens et la vitesse de rotation de la toupie peuvent être réglés par le conducteur depuis l'intérieur de la cabine de conduite ou depuis l'extérieur via une télécommande (voir figure 12) et par l'intermédiaire d'un levier appelé « commande de Bowden » situé à l'arrière gauche du camion.

Deux modes de commande de la toupie sont possibles, la sélection de l'un ou de l'autre se faisant sur le boîtier en cabine (voir figure 12). Ces deux modes, manuel ou radio, sont disponibles lorsque le frein de parking est serré et le moteur du camion en fonctionnement.

En mode manuel, le conducteur règle directement sur le boîtier en cabine le niveau du régime moteur du camion et le sens de rotation de la toupie. Il peut ensuite moduler si besoin la vitesse de rotation grâce au levier situé à l'arrière gauche (« commande de Bowden »). Avec ce levier en position maximale vers l'avant, la toupie tourne dans le sens horaire à la vitesse maximale d'environ 14 tr/min. Une fois la position de ce levier choisie, elle peut être bloquée en actionnant un autre levier plus petit dit « levier de blocage » (voir figure 13).

En mode radio, le boîtier mobile (voir figure 12) est utilisé. Cette radiocommande permet les mêmes fonctions que la commande manuelle par appuis successifs sur les boutons PETITE VITESSE (réduction du régime moteur) ou GRANDE VITESSE (augmentation du régime moteur). L'appui sur le bouton RALENTI fait revenir le régime moteur au ralenti.

Le sens de rotation est défini par appui sur le bouton MALAXAGE (sens horaire) et VIDANGE (anti-horaire). Le sens horaire est destiné au remplissage et au malaxage du béton avant utilisation, et le sens inverse à la vidange de la toupie.

Plusieurs appuis sur le bouton MALAXAGE ou VIDANGE augmentent la vitesse de la rotation de la toupie.



Figure 12 : boîtier de commande de la toupie en cabine (entre les deux sièges) avec sa radiocommande

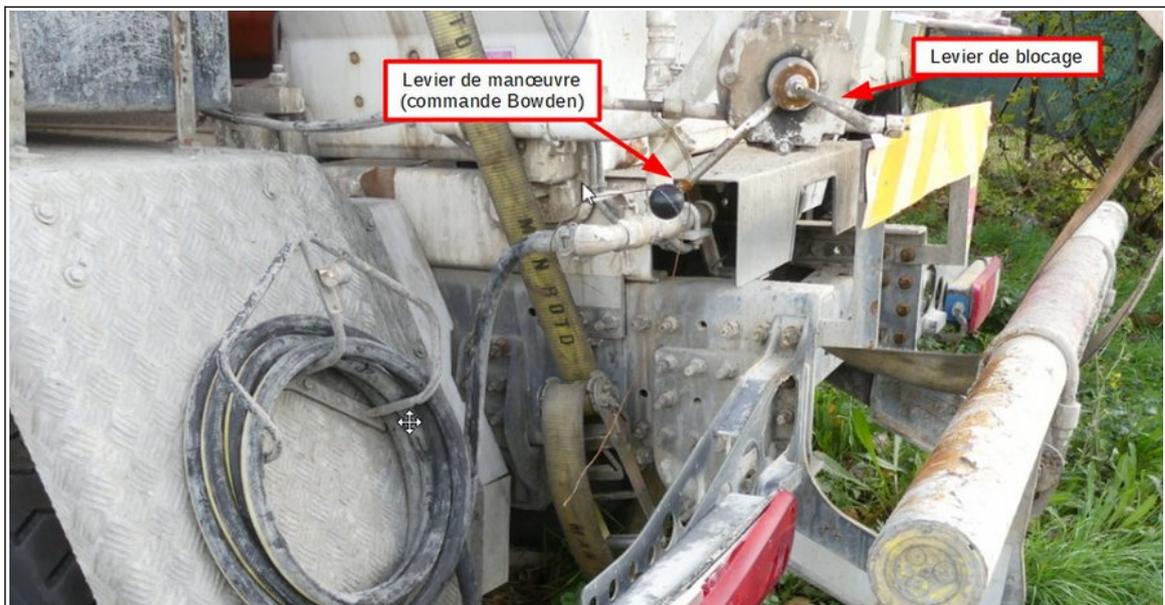


Figure 13 : descriptif de la commande « Bowden »

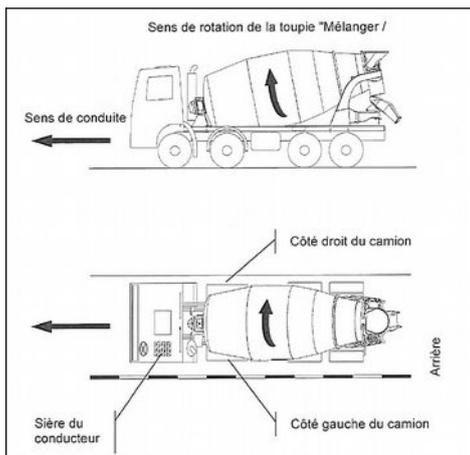


Figure 14 : sens de rotation de la toupie en circulation sur la voie publique, et intérieur d'une toupie avec double hélice hélicoïdale permettant le brassage et le déchargement du béton

Après l'accident, le bouton de sélection du boîtier en cabine était sur RADIO, laissant supposer que c'était le dernier mode utilisé.

Ce mode est asservi au frein de parc. Aucune commande n'est possible quand le frein de parc est enlevé. La vitesse de rotation de la toupie ne peut donc être modifiée quand le camion est en circulation.

Toutefois la vitesse de rotation de la toupie ne faisant l'objet d'aucun enregistrement, celle-ci ne peut être connue au moment de l'accident.



Figure 15 : toupie remplie avec du béton séché au-dessus de la ligne d'eau (photo du camion accidenté – le béton visible a dû se déplacer au-dessus de la ligne d'eau durant l'accident et à la suite du dépannage du camion



Figure 16 : dégâts sur le camion malaxeur

Consignes de sécurité lors de la circulation sur route

En circulation, la toupie tourne dans le sens horaire pour un observateur placé à l'arrière du véhicule, et la vitesse de rotation doit être faible, de l'ordre de 3 tr/min.

Les consignes de sécurité de Schwing-Stetter interdisent en effet une vitesse de rotation plus élevée car elle risquerait de nuire à la stabilité de conduite. Le respect de cette vitesse incombe au conducteur car ce camion n'est pas équipé de système automatique de réduction de la vitesse de rotation de la toupie lorsque celui-ci circule avec un chargement.

Les instructions de service relatives à l'utilisation de la toupie précisent que, lors de la conduite avec un chargement, le conducteur doit toujours tenir compte du décalage du centre de gravité des matériaux, notamment lors de la conduite sur des versants, lors de montées ou de pentes et dans les virages. Des forces transversales dynamiques supérieures surviennent selon la vitesse, qui influencent la stabilité dans les virages. Le mode de conduite doit être adapté à l'état de chargement.

Toutefois, ces instructions n'indiquent pas le sens de décalage du centre de gravité suivant le sens de rotation, ni le risque de renversement associé.

La norme NF 033 (décembre 2016), référentiel de certification à la norme « NF – Béton prêt à l'emploi » élaboré par le SNBPE, précise qu'il faut au minimum deux vitesses de rotation, une pour l'agitation, inférieure ou égale à 5 tr/min, et une pour le brassage, supérieure ou égale à 12 tr/min, utilisée notamment lors du chargement dans les centrales à béton.

Concernant l'incidence de la vitesse de rotation de la toupie, une étude sur le comportement des camions malaxeurs publiée en avril 2020 par la Society of Automotive Engineers SAE International¹ souligne que la mise en rotation de la toupie entraîne un déplacement du centre de gravité sur la gauche et vers le haut.

Au moment de la mise en rotation de la toupie, simulée avec un volume de 7,8 m³, d'inclinaison 15°, chargée à 60 %, à la vitesse de 12 tr/min, le centre de gravité se décale à gauche d'environ 4,5 cm puis se stabilise aux alentours de 4 cm en oscillant en permanence autour de cette valeur.

Parallèlement, suivant l'axe vertical, le centre de gravité s'élève de plus de 15 cm et suivant l'axe de symétrie du véhicule recule de la même valeur.

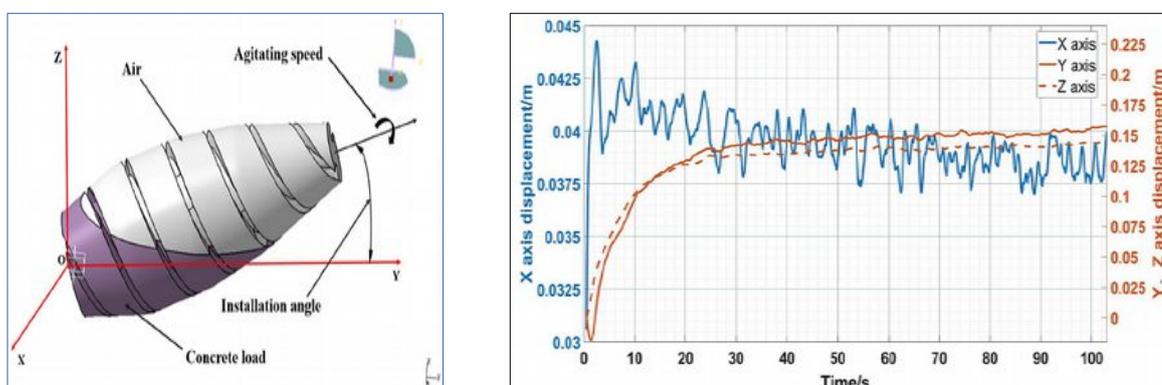


Figure 17 : relevés de la position du centre de gravité
(schémas issus de l'étude publiée par SAE International)

L'étude schématise également le déplacement simulé du centre de gravité pour différentes valeurs de la charge de la toupie et de sa vitesse de rotation.

¹ « A pre-warning method for cornering speed of concrete mixer truck » publié le 14 avril 2021 par SAE International

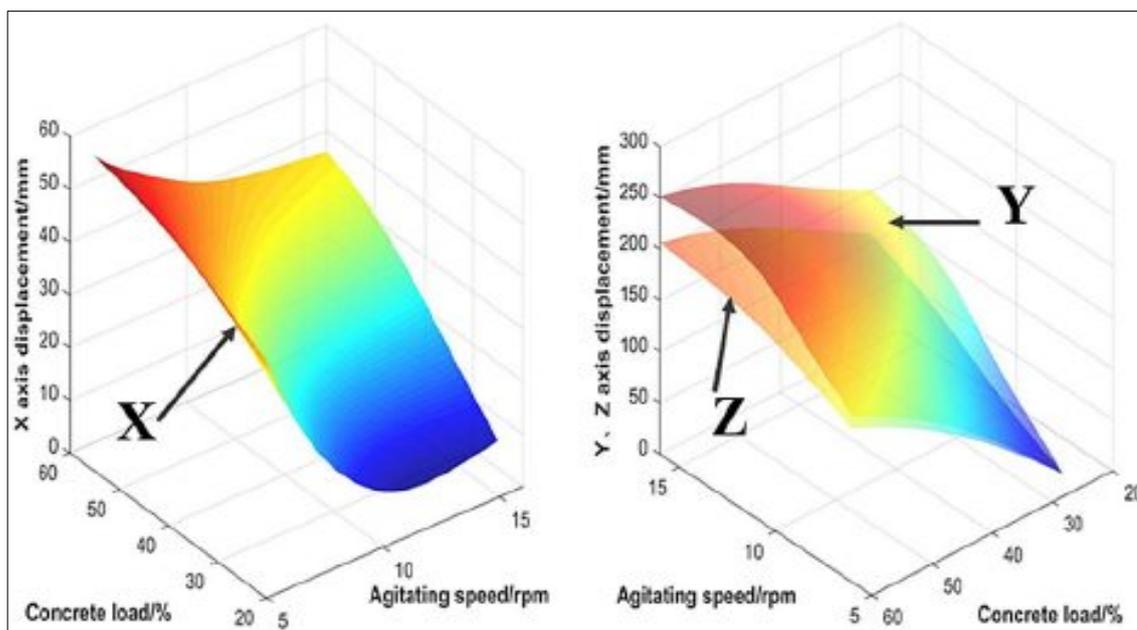


Figure 18 : déplacement du centre de gravité en fonction de la charge et de la vitesse de rotation de la toupie (avec un angle d'inclinaison de la toupie de 15°)
(schémas issus de l'étude publiée par SAE International)

On peut constater qu'à une vitesse de rotation faible de la toupie, le déplacement latéral du centre de gravité atteint sa valeur maximale en pleine charge, de l'ordre de 5,5 cm. En revanche, les déplacements en hauteur et vers l'arrière aux mêmes conditions sont minimaux et légèrement inférieurs à 20 cm.

Sans apporter de précision sur le calcul, le document indique que le décalage maximal à gauche du centre de gravité peut atteindre une valeur de 206 mm.

Dans un document² du constructeur SCANIA relatif aux informations générales sur les camions à malaxeur à béton, les recommandations en lien avec la tenue au renversement précisent que le sens de rotation du tambour déplace le centre de gravité d'environ 200 mm sur le côté.

La circulation à droite ou à gauche affecte le sens de rotation que doit avoir la toupie pour que le véhicule puisse conduire dans les ronds-points.

Ainsi suivant les conditions, le centre de gravité du camion en circulation sur route, chargé de béton avec la toupie en rotation, peut se déplacer d'une valeur maximale de 20 cm du côté conducteur et d'autant vers le haut. Pour rappel, les études présentées succinctement ci-avant concernent une toupie d'un volume inférieur à celle qui se trouvait sur le camion accidenté, dont le volume de béton était de 8 m³, correspondant à un pourcentage de charge d'environ 53 %. Nonobstant ces différences, le phénomène de déplacement du centre de gravité existe et peut atteindre des valeurs importantes.

On comprend aisément les risques de renversement associés à la conduite de ce type de véhicule, en particulier dans un virage à droite. Un parallèle peut être fait avec le cas des camions-citernes dont une représentation sur la figure suivante schématise le déplacement du liquide dans un virage à droite et les forces ou accélérations associées.

2 « Bodybuilding Information : camions à malaxeur de béton », référence bwm_0000473_04.pdf

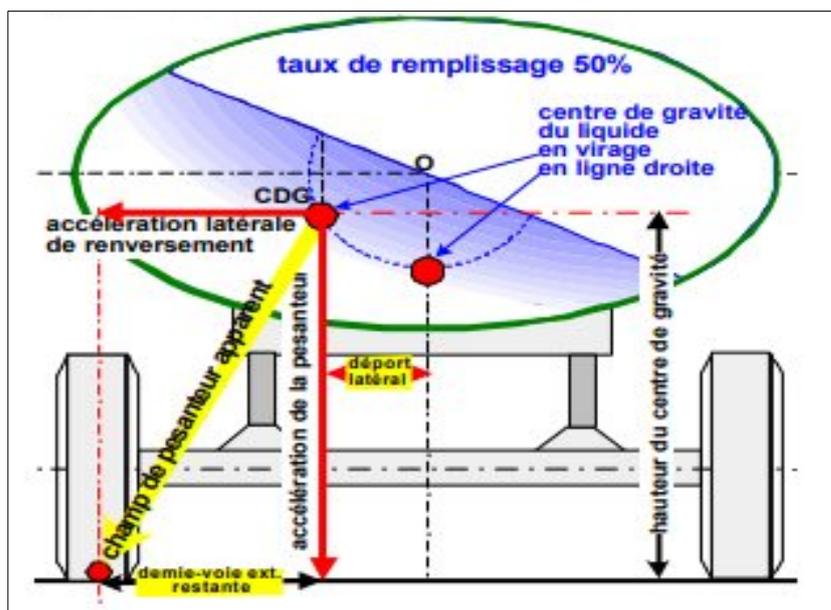


Figure 19 : représentation schématique de la limite d'équilibre

Le document sur le transport de matières dangereuses de l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS)³ décrit les risques associés lors de la conduite en virage avec ces véhicules. Du point de vue de la modélisation physique, la force se décompose en une composante verticale et une composante horizontale. Le risque de basculement du camion citerne est fonction de l'intensité de la composante horizontale et de la position du centre de gravité par rapport au sol. Plus le centre de gravité est élevé et décalé sur la gauche, plus la composante horizontale doit être faible pour éviter le renversement. Cette situation est analogue au phénomène de bras de levier.

La composante horizontale s'apparente à la force centrifuge qui est proportionnelle au carré de la vitesse et inversement proportionnelle au rayon de giration du véhicule.

Un risque de renversement existe dès que la résultante est extérieure à la surface de contact du véhicule, délimitée par les points de contact des roues avec le sol (cf. fig. 19). Le système devient alors mécaniquement instable.

De manière simplifiée, le renversement est possible si le moment de la force centrifuge (de formule mv^2h/R)⁴, est supérieur au moment du poids (de formule mgd)⁵.

La chaussée étant inclinée transversalement vers l'intérieur de la courbe (cf. page 9), le dévers ainsi créé de 4 % a pour effet de diminuer le moment de la force centrifuge et inversement d'augmenter celui du poids. Un risque de renversement existe mais nécessitera une vitesse de circulation plus importante.

Pour éviter un renversement au moment d'un changement brusque du rayon de giration consécutif à un braquage et d'après les moments des forces, il est nécessaire que la vitesse soit réduite en proportion et de manière anticipée.

3 Note documentaire : Transport sur route : comment les conducteurs intègrent-ils le phénomène de « ballant » ? (septembre 2008).

4 Produit de la masse m du véhicule, de sa vitesse v au carré, de la hauteur h du centre de gravité par rapport à la route divisé par le rayon de giration.

5 Produit de la masse du véhicule, de l'accélération de la pesanteur terrestre et de la demi-voie extérieure restante (cf. figure 19).

Or d'une part il est impossible de connaître la diminution du rayon de giration, et d'autre part le temps de réaction d'un conducteur n'est pas immédiat. Les guides de conception des infrastructures routières⁶ considèrent ce temps de réaction égal à une voire à deux secondes.

Parmi les équipements installés sur les véhicules qui peuvent aider le conducteur dans une telle manœuvre, les systèmes électroniques de stabilité de type ESC ou ESP⁷ disposent d'une fonction antirenversement. Par une mesure quasi instantanée des différents paramètres cinématiques du véhicule, répétée à haute fréquence, cette fonction réagit à un renversement imminent pour stabiliser le véhicule en actionnant un freinage appliqué de manière indépendante sur chaque roue si nécessaire. À noter que ce système n'est qu'une aide à la conduite et ne peut parer à toutes les situations.

Le camion malaxeur accidenté n'était pas équipé d'un tel système ESC/ESP.

3.3.3 - *Le conducteur du camion*

Le conducteur de nationalité portugaise était âgé de 36 ans. Il disposait des permis et qualifications nécessaires à la conduite de camions et était employé en CDI depuis août 2018.

Les dépistages de l'alcoolémie et de la consommation de stupéfiant auxquels il a été procédé après l'accident se sont révélés négatifs.

Selon les investigations menées par la Gendarmerie, le conducteur ne téléphonait pas au moment de l'accident.

3.3.4 - *Le véhicule léger accidenté*

Le véhicule léger accidenté était de marque Citroën C4 modèle Picasso.

Les dépistages de l'alcoolémie et de la consommation de stupéfiant auxquels il a été procédé sur la conductrice après l'accident se sont révélés négatifs.



Figure 20 : véhicule léger similaire (à gauche) et celui accidenté (à droite)

6 Cerema : Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes

7 ESC/ESP: Electronic stability control/program

3.4 - L'analyse des traces et des enregistrements

3.4.1 - L'analyse des traces sur la route

Au moment du renversement du camion malaxeur, celui-ci a écrasé le véhicule léger dont le bas de caisse, en contact à ce moment-là avec la chaussée, a laissé des traces sur quelques mètres, localisées au milieu de la voie de circulation du véhicule léger et parallèles à la ligne médiane de la chaussée.

Ce constat et la position des véhicules après l'accident permettent d'émettre l'hypothèse que la voiture Citroën accidentée circulait dans sa voie et sans empiéter sur la voie opposée empruntée par le camion.

D'autres traces ont été identifiées en amont de la collision et en fin de virage, correspondant très probablement à des traces de ripage du pneumatique avant gauche du camion, conséquence d'un braquage à droite du conducteur.

Le début de ces traces tangente la ligne médiane séparant les deux voies de circulation. La voie du véhicule, soit l'écartement entre roues extérieures d'un même essieu, étant de 2 m et sa largeur hors tout de 2,55 m, la partie gauche de la carrosserie devait empiéter d'une vingtaine de centimètres à cet endroit sur la voie opposée.

Des traces de frottement de pneumatiques ont également été repérées par les forces de gendarmerie, à l'intérieur du virage sur la bordure béton, compatibles avec un frottement des roues arrière droites du camion malaxeur.

En conclusion et au vu des différentes traces repérées, il est probable que le camion malaxeur en milieu de virage heurtant le bord de chaussée se soit légèrement décalé sur la gauche, venant tangenter la ligne médiane avec les roues avant jusqu'à la fin de la giration.

À la vue du véhicule léger non visible jusqu'alors, il a braqué violemment à droite pour l'éviter. Cette manœuvre a provoqué le renversement du camion.



Figure 21 : traces de frottement du véhicule léger sur la chaussée (à gauche) et traces de ripage du camion et de frottement du véhicule léger (à droite)

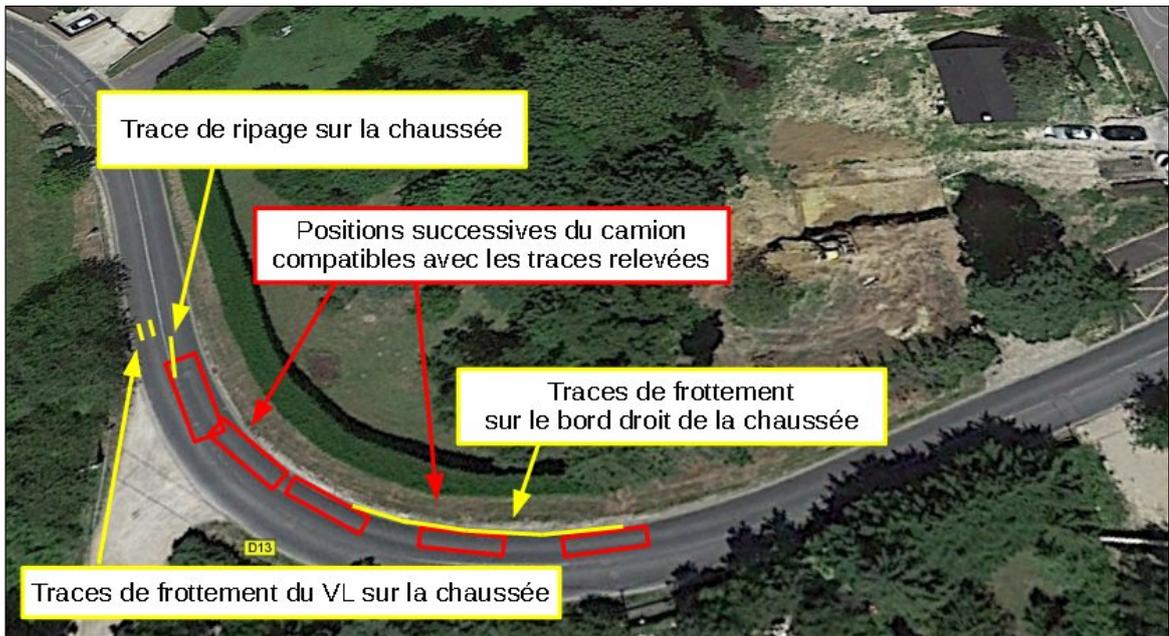


Figure 22 : positions successives du camion compatibles avec les zones présentant des traces de frottement
(image Google Earth légendée BEA-TT)

3.4.2 - L'analyse des données enregistrées par le chronotachygraphe

Le camion disposait d'un chronotachygraphe numérique homologué et vérifié qui enregistre l'activité du conducteur, la vitesse du véhicule dans le temps et la distance parcourue.

Sur la base de ces données fournies par la gendarmerie des Yvelines au BEA-TT, le camion a circulé à une vitesse maximale de 69 km/h dans la ligne droite en amont du premier virage à gauche, puis à une vitesse de 59 km/h au début de la courbe et en est sorti à environ 55 km/h, sans avoir freiné.

Il a accéléré ensuite très légèrement pour décélérer sur l'erre. Sa vitesse diminue de 56 km/h à 44 km/h en environ 4 secondes (décélération moyenne de 0,8 m/s²) sur environ 60 mètres.

Il a débuté le 2^e virage lieu de l'accident à une vitesse d'environ 44 km/h.

Juste après l'endroit où le virage change de rayon de courbure et devient soudainement plus serré, le conducteur freine légèrement avec une décélération d'environ 1,4 m/s² alors que sa vitesse avant freinage était de 43 km/h. Ce freinage ne dure qu'une seconde.

Les secondes suivantes jusqu'au choc, soit 4 secondes, le conducteur ne freine plus.

Sans doute braque-t-il à la fin de la giration, faisant décoller les roues droites du camion du sol et celui-ci, emporté par sa charge, se renverse et écrase le véhicule léger.

La courbe figure 23 présente une légère cassure pour une vitesse de 29 km/h. Il s'agit certainement du moment du choc du poids lourd sur le véhicule léger.

Une fois couché sur son côté gauche, les roues motrices arrière sont en contact avec le sol, la vitesse chute alors rapidement, comme représentée par la dernière portion de courbe.

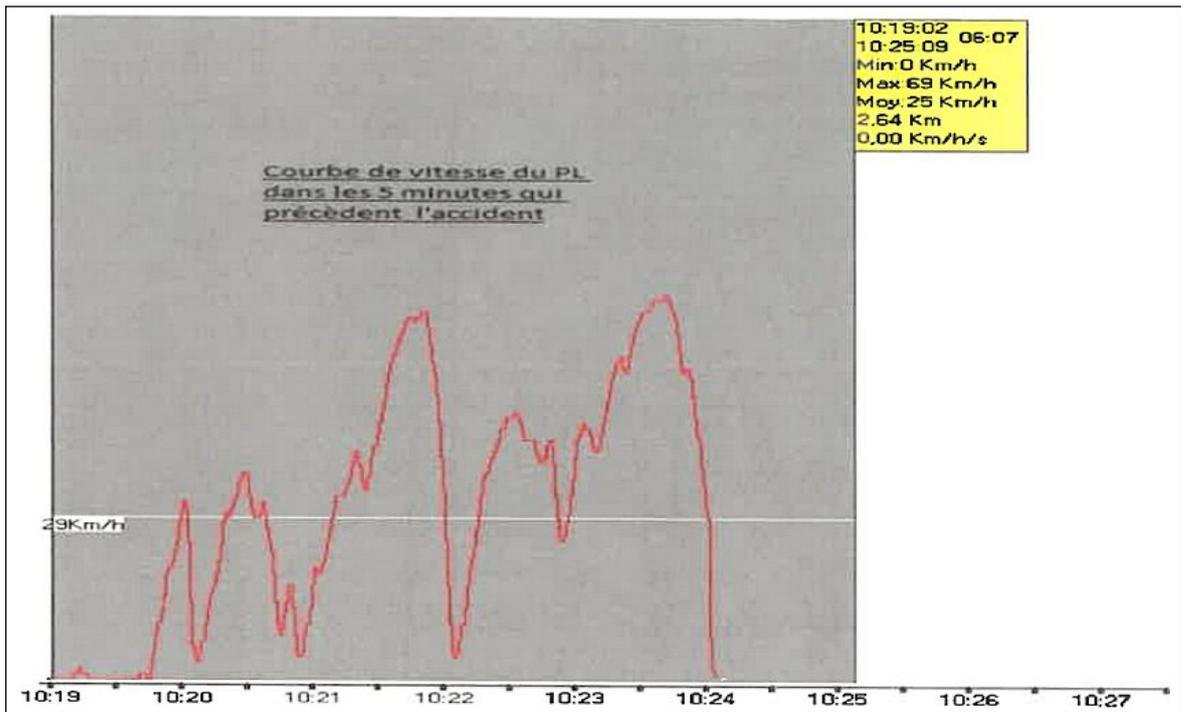


Figure 23 : vitesses du camion durant les minutes précédant la collision

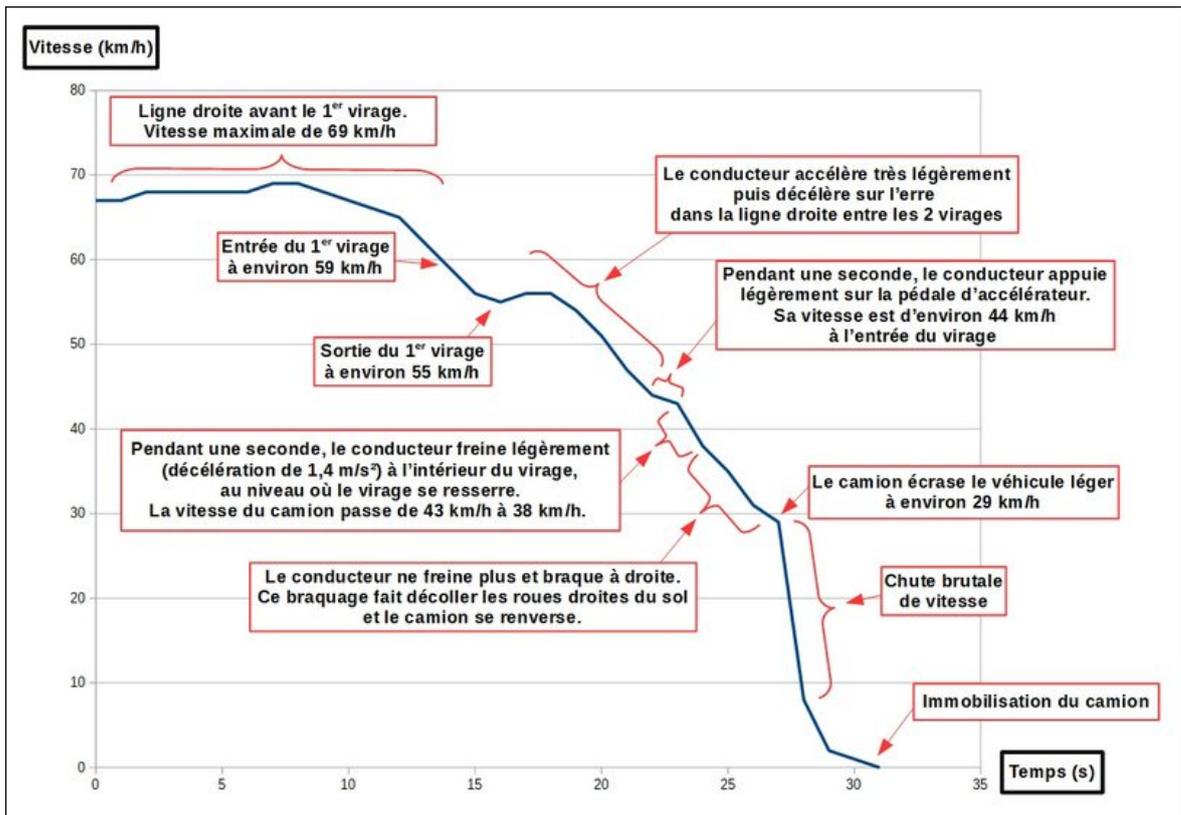


Figure 24 : courbe de vitesse du camion durant les dernières secondes précédant l'accident (source : BEA-TT d'après les données extraites du chronotachygraphe par la gendarmerie)

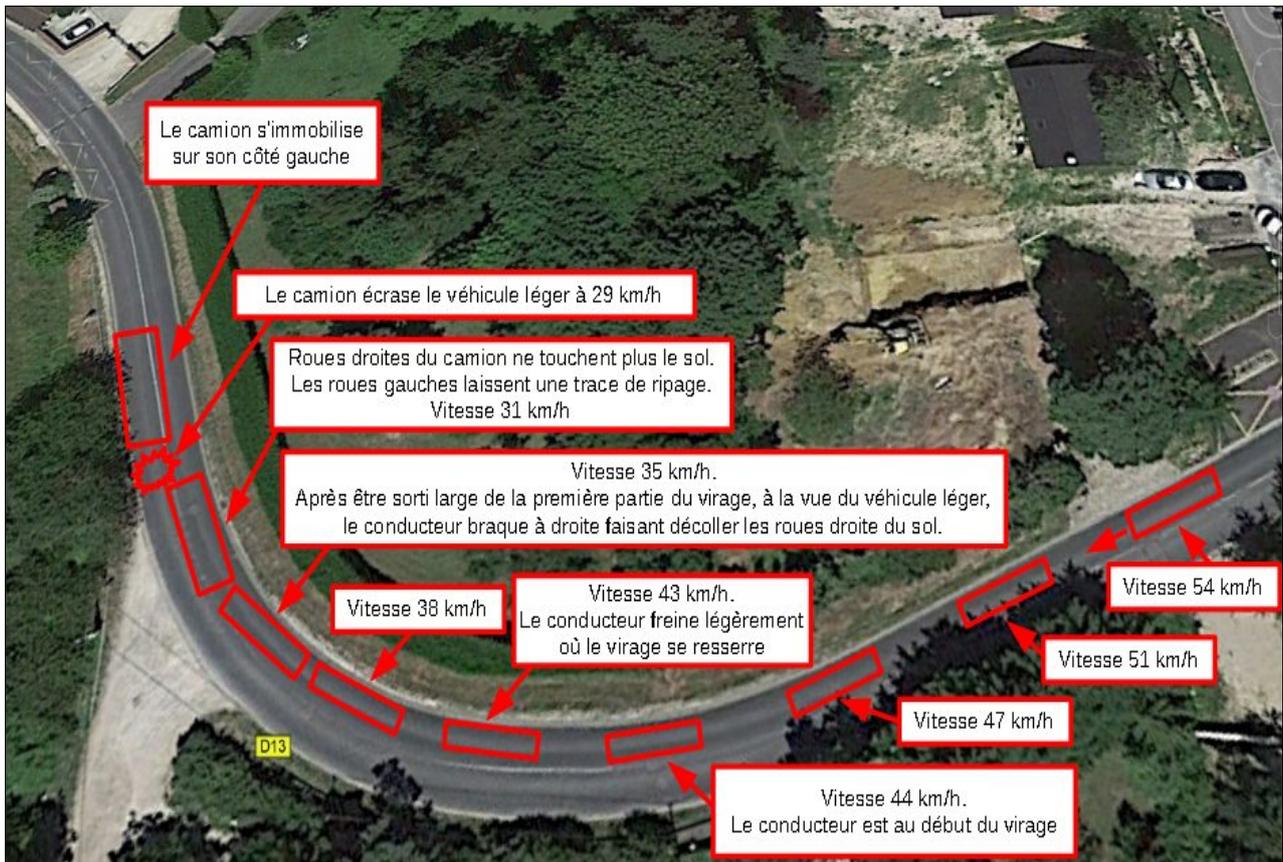


Figure 25 : positions du camion avant le choc contre le véhicule léger et son immobilisation (positions données seconde par seconde)
 (image Google Earth légendée BEA-TT)

4 - Analyse du déroulement de l'accident et des secours

4.1 - Le déroulement de l'accident

Un peu avant 10 heures le jour de l'accident, le conducteur a chargé la toupie à la centrale à béton de Coignièrès de 8m³ de béton en vue de le livrer sur un chantier à Montfort-l'Amaury à environ une demi-heure de route.

La toupie était en rotation dans le sens horaire à une vitesse probable de 3 tr/min, vitesse prescrite par le constructeur pour la circulation sur la voie publique afin d'éviter toute instabilité de conduite lors de transport de béton.

Sur la base du bon de chargement de 8 m³ et de la masse volumique approximative du béton, le poids du camion était proche de son PTAC de 32 t.

Quelques centaines de mètres avant le lieu de l'accident, le poids lourd circulait à une vitesse maximale de 69 km/h dans la route en légère descente.

Il est entré dans le premier virage à gauche à une vitesse de 59 km/h et en est sorti à environ 55 km/h, sans que le système de freinage ait été actionné.

Il a accéléré ensuite très légèrement pour décélérer sur l'erre. Sa vitesse diminue jusqu'à débiter le 2^e virage lieu de l'accident à une vitesse d'environ 44 km/h.

À l'endroit où le virage change de rayon de courbure et devient plus serré, le conducteur a freiné légèrement pendant une seconde.

À la fin de la giration, les roues gauches ont tangenté la ligne continue axiale séparant les deux voies de circulation. Le conducteur a alors aperçu le véhicule léger et pour l'éviter a braqué brusquement à droite, sans freiner.

On peut constater que l'équilibre des forces n'a pas été rompu dans le virage où la vitesse était plus élevée que celle en fin de virage. Ce n'est qu'au moment du braquage, à la fin de la courbe et à la vue de l'obstacle constitué par le véhicule léger arrivant en sens inverse, que la réduction du rayon de giration a eu pour effet d'intensifier la composante horizontale au-delà de l'équilibre, rendant le système mécaniquement instable.

Conscient de la dangerosité du virage, le conducteur du PL n'a probablement pas correctement apprécié le risque de renversement dû à un braquage brusque.

Au vu des conditions de charge du camion et de la position de son centre de gravité, on peut émettre l'hypothèse que la vitesse en fin de courbe était trop élevée pour le braquage pratiqué.

Cette manœuvre a fait décoller les roues droites du sol et celui-ci, emporté par sa charge, s'est renversé, et a défoncé le toit du véhicule léger en écrasant la partie arrière où était assis le plus jeune des enfants.

Au moment du choc, la vitesse du camion était de 29 km/h.

Les deux personnes à l'avant du véhicule léger, la conductrice et sa fille, ont été blessées et incarcerated dans la carrosserie mais sont restées conscientes. Le bouton « SOS » du véhicule (ou « e-call ») a été activé.

Les secours sont arrivés moins de 10 minutes après l'accident.

4.2 - L'organisation des secours

À 10 h 32, le centre d'opérations et de renseignement de la gendarmerie (CORG) de Versailles a sollicité l'intervention de plusieurs brigades du département.

La conductrice et la passagère avant, en urgence absolue, ainsi que le conducteur du camion, en urgence relative, ont été prises en charge sur place par le SMUR et le SAMU 78. Elles ont ensuite été transférées dans différents hôpitaux, la conductrice par hélicoptère.

Le passager arrière était décédé à l'arrivée des secours.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

Les investigations menées permettent de conclure que la cause directe de cet accident est le renversement du camion malaxeur.

Ce renversement a été provoqué par un braquage violent à droite réalisé quelques fractions de secondes avant l'accident, en fin de virage à droite, créant, au vu des conditions de charge et de vitesse, une force centrifuge supérieure à celle qui a préexisté dans le virage et qui a rompu l'équilibre des forces.

Pour rappel, le manuel de service de la toupie souligne que lors de la conduite d'un véhicule chargé, le conducteur doit toujours tenir compte du décalage du centre de gravité des matériaux. Ceci est particulièrement valable dans des virages. Le mode de conduite doit être adapté à l'état de chargement.

D'après l'étude INRS, plus le centre de gravité est élevé et décalé, plus la composante horizontale, et donc la vitesse, doit être faible pour éviter le renversement. Dans le cadre de cet accident, le centre de gravité étant décalé du côté du conducteur par rapport à l'axe de la toupie, le risque de perte d'équilibre est donc accentué dans les courbes à droite. Le camion malaxeur n'était pas équipé de système d'aide, et bien que la dangerosité du virage était connue du conducteur, il a probablement mal apprécié les risques associés liés à la spécificité de ces camions.

La vitesse à l'approche et dans un virage est un paramètre également essentiel. Le conducteur du camion décide seul de cette vitesse sur la base de sa perception du virage et de sa dangerosité. Cette perception dépend de nombreux paramètres comme la signalisation amont, la lisibilité du virage et la visibilité à l'intérieur de celui-ci.

Les mesures de prévention de renversement de camions malaxeurs peuvent donc concerner des systèmes embarqués d'information et d'alerte, ainsi que des mesures particulières de formation des conducteurs sur ce risque spécifique, et la signalisation et la géométrie routière.

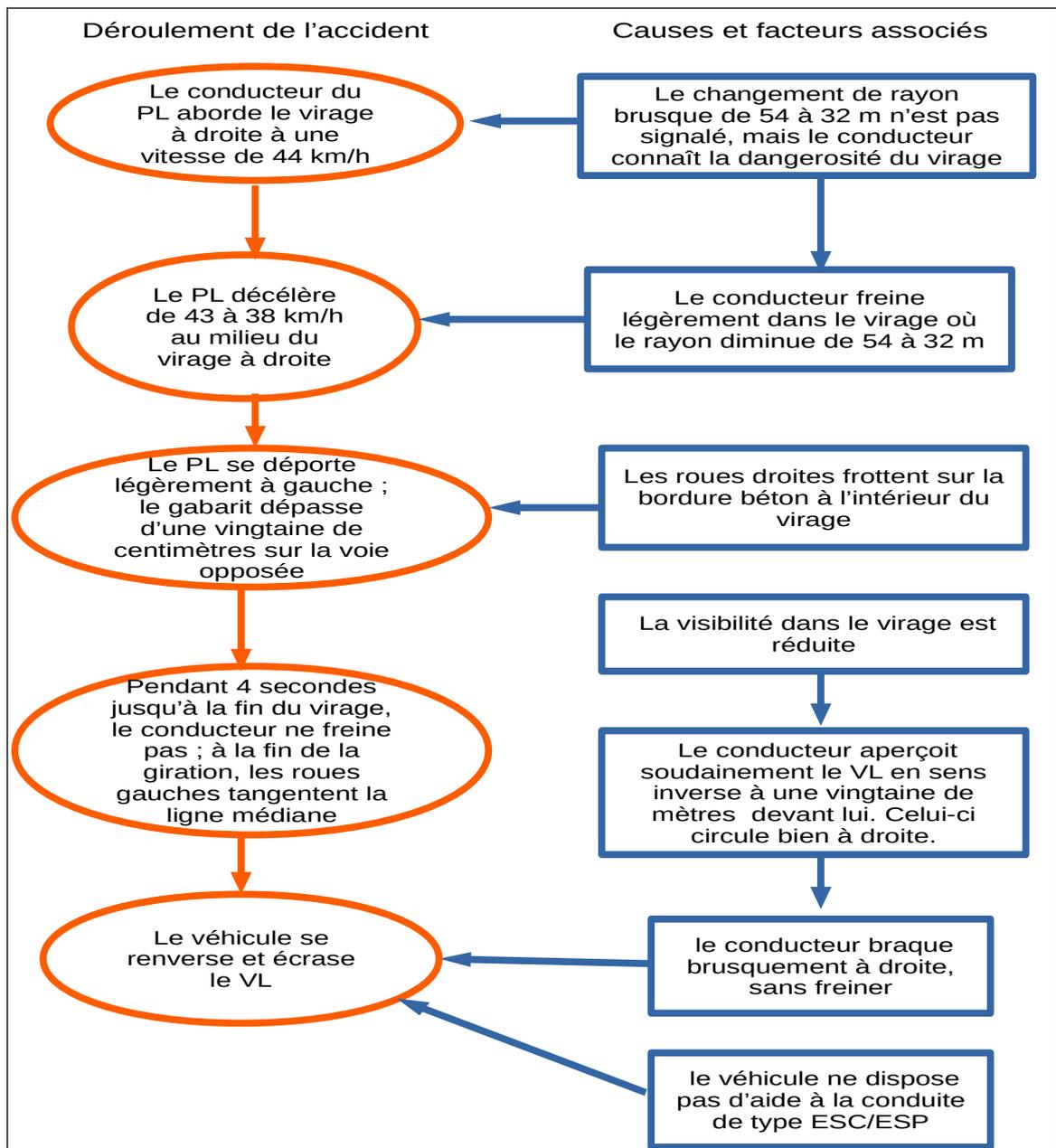


Figure 26 : schéma des causes et facteurs associés

5.1 - Les systèmes d'aide à la conduite sur le risque de renversement

Les informations recueillies soulignent l'importance du risque associé à ce type de camion dont le centre de gravité, une fois la toupie en rotation, est en permanence décalé et d'autant plus élevé que la charge transportée est importante. Un conducteur peut ainsi être confronté à des conditions de stabilité différentes à plusieurs reprises sur une journée, suivant qu'il se dirige ou qu'il quitte la centrale à béton.

Pour aider le conducteur et prévenir le risque de renversement des camions malaxeurs, la société Renault Trucks avait développé une application spécifique dénommée « Mixer Rollover Alert ». Cependant sa commercialisation s'est arrêtée en juin 2018.

Cette application, intégrée au GPS, avait pour objectif de limiter les risques de renversement en se basant sur la position et le profil d'utilisation du véhicule (type de béton, volume chargé, état de la route) et en anticipant la géométrie de la voie empruntée par le véhicule.

Les informations du profil du véhicule devaient être paramétrées par le conducteur avant le transport ; le choix du type de béton devait être précisé entre un matériau liquide, mix ou extrudé, et le taux de charge devait être indiqué entre 0 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 %.

Si les paramètres changeaient, le conducteur devait adapter les réglages du logiciel à l'occasion d'un arrêt.

Deux types d'alertes étaient prévues :

- une orange dite « alerte de sécurité » signifiant « Danger, ralentir ». Cette alerte indiquait que la vitesse d'approche était trop élevée et qu'il existait un risque de renversement au virage suivant. Le conducteur devait alors ralentir pour revenir à une vitesse adaptée.
- une rouge dite « alerte d'urgence » signifiant « Urgent, ralentir ». Cette alerte indiquait que la vitesse d'approche était beaucoup trop élevée et qu'il existait un risque élevé de renversement au virage suivant si le conducteur ne ralentissait pas.

Depuis la fin de la commercialisation du système Renault Trucks, le BEA-TT n'a pas eu connaissance de système d'alerte similaire.

Concernant les systèmes de type ESC ou ESP, le règlement n° 13 de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) relatif au freinage n'impose la fonction contrôle de stabilité que pour les véhicules de catégorie N3 (masse maximale supérieure à 12 t) n'ayant pas plus de 3 essieux et pour les véhicules de catégorie N3 à 4 essieux dont la masse maximale ne dépasse pas 25 t et de diamètre de jante maximum de 19,5 pouces.

Le camion impliqué dans l'accident était de catégorie N3 avec une masse maximale de 32 t et des roues de 22,5 pouces. Au vu de ces caractéristiques, la fonction de contrôle de la stabilité n'était donc pas obligatoire.

Cette disposition réglementaire paraît surprenante compte tenu du risque spécifique de renversement des camions malaxeurs et de l'utilité de la fonction de contrôle de la stabilité pour couvrir une partie de ce risque.

En effet, le rôle d'un tel système est d'aider le véhicule à rester dans la trajectoire voulue par le conducteur, malgré les aléas de la route, tels un changement d'adhérence ou des virages trop prononcés, et le comportement du véhicule influencé par la vitesse.

Ce système intervient de manière automatique et sans action du conducteur, dans la dynamique du véhicule en utilisant individuellement le système de freinage de chaque roue.

Le constructeur SCANIA interrogé a indiqué aux enquêteurs du BEA-TT que les camions toupies malaxeurs à 4 essieux, équivalents à celui accidenté, disposaient de série d'un système ESC/ESP.

D'autres véhicules présentent ce risque de renversement comme les autocars à étage ou les semi-remorques de transport de matières dangereuses (catégorie O4).

Pour ces véhicules, la réglementation rend obligatoire l'installation d'un système de contrôle de la stabilité depuis 2011 pour les nouveaux types de véhicules.

On peut noter que l'ensemble de ces véhicules ont 3 essieux dont 2 moteurs et un directeur pour les autocars à étage et 3 pour les semi-remorques, alors que le poids lourd accidenté comptait 4 essieux dont 2 directeurs et 2 moteurs.

Concernant les autocars, le règlement n° 13 prescrit, dans son article 5.2.1.32, que la fonction de contrôle de stabilité du véhicule doit comprendre la fonction antirenversement et la fonction de contrôle de trajectoire.

Il conviendrait dès lors de prendre les mêmes dispositions pour les camions malaxeurs.

En conséquence, le BEA-TT formule la recommandation suivante :

Recommandation R1 adressée à la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) :

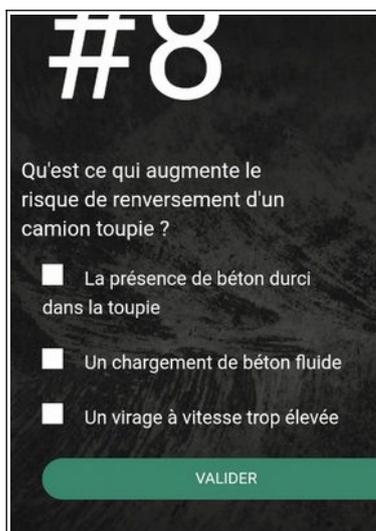
Dans le cadre de la révision du règlement n° 13 relatif au freinage des véhicules, proposer de rendre obligatoire l'équipement des camions malaxeurs à plus de 3 essieux avec un système électronique de contrôle de la stabilité comprenant la fonction antirenversement et la fonction de contrôle de la trajectoire.

5.2 - La formation des conducteurs de camions malaxeurs

Pour pouvoir charger du béton dans les centrales, les conducteurs de camions malaxeurs doivent obligatoirement disposer d'un passeport sécurité à leur nom.

Ce passeport, valable 3 ans, leur est délivré après avoir suivi une formation professionnelle spécifique à ce métier. Cette formation est principalement axée sur les risques professionnels liés aux opérations de chargement/déchargement de béton ainsi qu'à la circulation au sein des centrales.

Le risque lié au basculement/retournement du camion sur la voie publique y est évoqué mais brièvement. Ci-dessous la figure 27 présente un extrait de l'examen du passeport sécurité relatif au risque de renversement.



#8

Qu'est ce qui augmente le risque de renversement d'un camion toupie ?

- La présence de béton durci dans la toupie
- Un chargement de béton fluide
- Un virage à vitesse trop élevée

VALIDER

Figure 27 : questions à choix multiples de l'examen du passeport sécurité

Ce risque est également succinctement abordé dans le code pour la conduite des poids lourds et lors des formations professionnelles initiale minimum et continue obligatoires (FIMO, FCO) des conducteurs. Cependant la spécificité de ces camions malaxeurs n'est pas soulignée.



Figure 28 : extrait du code poids lourds (à gauche) et de la FCO (à droite)

Dans le rapport INRS⁸, il est précisé que la tâche de conduite est complexe et implique de la part du conducteur une prise de connaissance active, essentiellement visuelle, de l'environnement. Conduire un véhicule de transport implique de prendre en considération une donnée supplémentaire : « le mouvement incessant de la matière transportée » au cours du déplacement. Or ce qui se passe à l'intérieur du véhicule, les conducteurs n'ont aucun moyen de le visualiser. Pourtant cela a une incidence sur le comportement du véhicule. Le contrôle visuel, qui joue un rôle important dans la modulation et la correction du suivi de trajectoire, est presque inexistant dans ce cas. Les conducteurs sont donc amenés à imaginer ou à se représenter, en fonction de leurs connaissances, le comportement du matériau qu'ils transportent.

Il conviendrait ainsi de compléter la formation en renforçant la sensibilisation des conducteurs de camions malaxeurs au risque de renversement. Il devrait être précisé que le déplacement à gauche du centre de gravité accroît le risque de renversement dans les virages à droite plutôt que dans ceux à gauche pour les mêmes conditions de circulation.

Il pourrait être envisagé un module de formation pratique permettant à un conducteur de ressentir réellement la sensibilité au renversement d'un camion malaxeur.

En matière de prévention, il conviendrait d'insister auprès des conducteurs sur l'importance d'éviter les braquages violents et de réduire fortement leur vitesse dans les configurations dangereuses, telles que les virages à mauvaise visibilité.

En conséquence, le BEA-TT formule la recommandation suivante :

Recommandation R2 adressée aux organismes de formation de conducteurs de poids lourds et de formation professionnelle des conducteurs de camions malaxeurs AFTRAL – SNBPE – OPPBTP :

Renforcer la sensibilisation ainsi que les formations théorique et pratique des conducteurs poids lourds et plus spécifiquement des conducteurs de camions malaxeurs sur le risque de renversement de ces véhicules.

8 Transport sur route : comment les conducteurs intègrent-ils le phénomène de « ballant » ?

5.3 - La configuration dangereuse du virage

Le virage, lieu de l'accident, fait partie d'une succession de virages signalée par le panneau A1d (cf. page 6), dont le premier est à gauche de rayon d'environ 170 m et situé 90 m en amont.

La vitesse maximale autorisée est de 70 km/h signalée en début de ces virages successifs.

Le guide de conception des infrastructures routières⁹ permet d'estimer la vitesse habituellement pratiquée par les usagers routiers, appelée V_{85} , en dessous de laquelle roulent 85 % des usagers en condition de circulation fluide.

À noter que cette vitesse est calculée pour les véhicules légers ; la particularité des poids lourds et notamment des camions malaxeurs n'est pas prise en compte.

D'après ce document, la vitesse dans le virage, pour une portion de route à une voie par sens, dont la largeur est de 6 ou 7 m de large, est égale à la vitesse V_d (V_{85}) donnée par la formule :

$$V_d = \frac{102}{\left(1 + \frac{346}{R^{1,5}}\right)}$$

avec R étant le rayon du virage.

Ainsi, pour la courbe du virage avec un rayon estimé de 54 m, la V_{85} est de 54 km/h, et pour la partie suivante de rayon estimé de 32 m, elle est de 35 km/h.

Pour des chaussées dont la largeur totale est inférieure, de l'ordre de 5 m, la formule est la même avec un numérateur plus faible et égal à 92 au lieu de 102. Les vitesses V_{85} sont alors respectivement de 49 km/h et de 31 km/h.

On peut souligner que la visibilité à l'intérieur du virage est réduite par la présence d'une végétation en bord droit de chaussée, située entre deux et trois mètres du bord intérieur de la chaussée. Ces conditions peuvent amener les conducteurs, dans ce virage serré, à rouler prudemment, et donc à des vitesses inférieures à celles estimées par calcul et présentées ci-dessus.

La figure 25 représentant les vitesses et positions du camion avant le choc extraites du chronotachygraphe indique que le PL a abordé le virage à une vitesse de 50 km/h, mais que celle au début de la deuxième portion de courbe, enregistrée à 43 km/h, était légèrement supérieure à celle calculée par le guide suivant les caractéristiques géométriques du virage. Ce n'est qu'à la fin de la giration, au moment où le conducteur a aperçu soudainement le VL, que la vitesse du PL était identique à celles habituellement constatées.

On peut se référer également au guide de conception de la signalisation des virages¹⁰ du Cerema, qui précise la signalisation verticale à mettre en place en fonction de la dangerosité des virages, estimée par la différence entre la vitesse d'approche et la vitesse dans le virage.

D'après ce guide, la vitesse en approche est calculée à partir de la vitesse pratiquée dans le virage précédent suivant la formule :

V_a : Vitesse d'approche (en m/s)

$$V_a = [V_{d-1}^2 + 2 \times (0,8 - g \times Pe / 100) \times (\min [\text{Aldroit, Distaggio}] - 75)]^{1/2}$$

9 Cerema

10 Guide pratique : Comment signaler les virages ? Signalisation verticale (juillet 2002)

- V_{d-1} : Vitesse dans le virage précédent (en m/s)
- g : Accélération de la pesanteur égale à $9,8 \text{ m/s}^2$
- P_e : Pente en amont du virage affectée du signe – si descente et du signe + si montée
- \min : minimum entre les deux valeurs
- *Aldroit* : Longueur de l'alignement droit en amont du virage (m).
Si *Aldroit* ou *Distaglo* ≤ 75 , alors $(\min [\textit{Aldroit}, \textit{Distaglo}] - 75) = 0$, c'est-à-dire $V_a = V_{d-1}$
- *Distaglo* : Distance de l'agglomération en amont du virage (en m).

Avec un rayon de courbure d'environ 170 m, la vitesse dans le virage à gauche précédent est d'environ $V_{d-1} = 88 \text{ km/h}$, vitesse supérieure à 70 km/h, vitesse maximale autorisée (VMA). La valeur associée à V_{d-1} doit être prise à cette dernière valeur.

La pente P_e étant de -3 %, la vitesse d'approche calculée du virage lieu de l'accident est de 73 km/h.

La différence entre vitesse d'approche et vitesse dans le virage lieu de l'accident (première portion) étant de $73-54 \text{ km/h} = 19 \text{ km/h}$, cette courbe est de classe C d'après le tableau de la figure 29 du guide, et devrait donc être signalée par un panneau A1, des balises J1 et une balise J4 trichevrons. Cette signalisation est en place.

Toutefois, en prenant comme vitesse celle pratiquée en deuxième partie de virage, c'est-à-dire celle légèrement supérieure à 30 km/h, le virage lieu de l'accident pourrait être de classe D, soit d'une dangerosité supérieure.

DÉTERMINATION DES CLASSES		
	Différence de vitesses	Signalisation
 <p>Classe A</p>	$V_a - V_d < 8 \text{ km/h}$	Aucune signalisation, ajouter un panneau A1 si la visibilité en approche du virage est mauvaise
 <p>Classe B</p>	$8 \text{ km/h} \leq V_a - V_d < 16 \text{ km/h}$	balises J1 et panneau A1 si la visibilité sur le virage est mauvaise
 <p>Classe C</p>	$16 \text{ km/h} \leq V_a - V_d < 40 \text{ km/h}$	panneau A1 + balises J1 + balise J4 trichevrons
 <p>Classe D</p>	$V_a - V_d \geq 40 \text{ km/h}$	panneau A1 + balises J4 monochevrons dans toute la courbe
 <p>Classe E</p>	Situation exceptionnelle nécessitant une étude de sécurité	

Figure 29 : classes de virages et signalisation verticale à mettre en place

Compte tenu de la configuration du virage, une vitesse maximale de 30 km/h semble appropriée au vu des éléments présentés plus haut, dans la portion la plus dangereuse et dans le sens de circulation du camion, même si le Code de la route (art R413-17) précise que le conducteur doit rester constamment maître de sa vitesse et régler cette dernière

en fonction de l'état de la chaussée, des difficultés de la circulation et des obstacles prévisibles.

Modifications réalisées par le CD78 depuis l'accident

Depuis l'accident, la zone a fait l'objet de travaux d'aménagements réalisés par les services du conseil départemental des Yvelines en vue d'améliorer la sécurité routière.

À l'intérieur du virage, le talus a été partiellement terrassé avec la mise en place de murs de soutènement, et des trottoirs de 1,50 m en béton désactivé ont été aménagés de part et d'autre de la chaussée.

Le CD78 ayant indiqué ne pas avoir réalisé d'étude spécifique à la visibilité, on peut toutefois constater sur les photos ci-après que les aménagements du talus l'ont améliorée dans les deux sens de circulation.

La couche de roulement de la chaussée a été refaite mais compte tenu des propriétés avoisinantes, la géométrie du virage lieu de l'accident n'a pas pu être modifiée.

Dans le sens de circulation du camion accidenté, un plateau surélevé a été implanté en amont. Au droit de celui-ci, la vitesse maximale autorisée est de 30 km/h.

Du fait de passages réguliers de bus, le CD78 indique que les rampants de ce plateau ont été réduits à 6 % (au lieu des 10 % maximum autorisés). L'efficacité de ce plateau en terme de réduction de vitesse des véhicules lourds à l'approche du virage lieu de l'accident n'a pas été mesurée. Néanmoins, cet aménagement aura très probablement un effet notable sur la réduction de vitesse de tous les véhicules.

La signalisation de la dangerosité du virage a été modifiée à l'aide de balises J4 monochevron. Les glissières de sécurité ont été supprimées.

Enfin, cette section de la RD13 a été classée « en agglomération » par les communes de Bazoches-sur-Guyonne et Mareil-le-Guyon. La vitesse maximale autorisée y est donc de 50 Km/h.

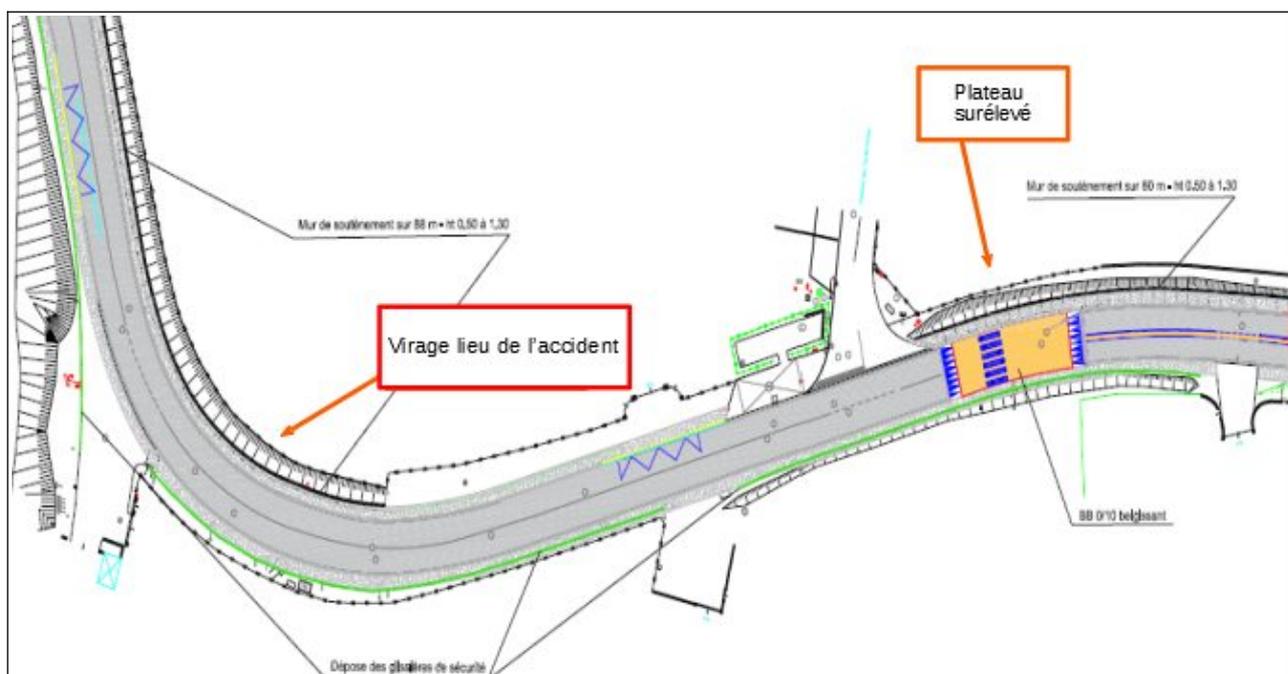
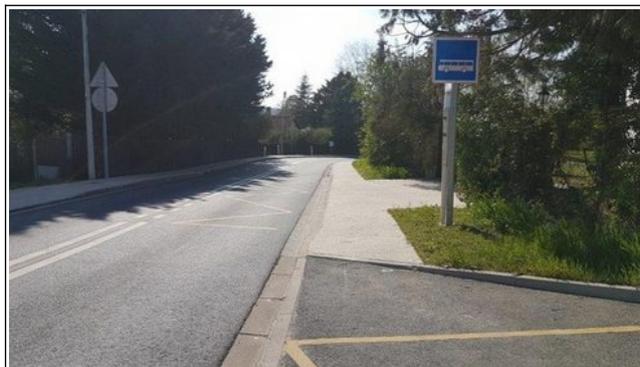


Figure 30 : aménagements de la zone de l'accident

schéma issu du plan d'aménagement de la RD13 du CD78

Les photos de droite ci-après présentent les aménagements réalisés par le CD78 depuis l'accident. Les photos de gauche prises par le BEA-TT représentent la même zone avant les travaux.



***Dans la ligne droite en amont du virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du camion accidenté***



***À l'entrée du virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du camion accidenté***



***À la sortie du virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du camion accidenté***



***En amont du virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du véhicule léger accidenté***

On peut remarquer sur ces deux photos ci-dessus, ainsi que sur le plan d'aménagement présenté supra, que la zone d'arrêt des véhicules de transport en commun a été déplacée. Elle se situe dorénavant légèrement en amont de l'endroit où le camion toupie s'est renversé sur le véhicule léger, dans le sens de déplacement de ce dernier.



***À la sortie du virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du véhicule léger accidenté***



***Ligne droite après le virage lieu de l'accident,
dans le sens de circulation du véhicule léger accidenté***

Bien que ces aménagements conduisent les véhicules à circuler dans le sens du camion accidenté à une vitesse réduite, notamment grâce à la création du plateau surélevé où la

vitesse est limitée à 30 km/h, la dangerosité du virage est toujours présente. Sa géométrie très contrainte est inchangée.

En référence au guide du Cerema « Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes » qui estime une vitesse V_{85} habituellement pratiquée proche de 30 km/h pour des rayons de giration de celui du virage accidenté, et compte tenu du nouveau positionnement de la zone d'arrêt des véhicules de transport de personnes dans le sens de circulation du véhicule léger accidenté, la signalisation verticale pourrait être renforcée.

En conséquence, le BEA-TT formule la recommandation suivante :

Recommandation R3 adressée au conseil départemental des Yvelines (CD78) et aux communes de Bazoches-sur-Guyonne et de Mareil-le-Guyon :

A minima dans le sens de circulation du camion accidenté, modifier la signalisation routière dans l'objectif de limiter à 30 km/h la vitesse maximale autorisée dans le virage lieu de l'accident, et renforcer la signalisation routière verticale afin de mieux alerter les usagers de la route du caractère dangereux de ce virage.

6 - Conclusions et recommandations

La cause directe et immédiate de l'accident est le retournement du camion malaxeur dans le virage dû à un braquage à droite violent, manœuvre d'évitement de la part du conducteur du camion surpris par l'arrivée du véhicule léger en sens inverse, eu égard à la configuration des lieux et à une vitesse inadaptée.

Cet accident repose la problématique du risque de renversement des camions malaxeurs transportant du béton qui ont, quand ils sont en charge, un centre de gravité haut et décalé du côté du conducteur. Cette caractéristique découle du malaxage du béton provoqué par la rotation continue dans le sens horaire de la toupie, accentuant fortement l'instabilité du camion en particulier dans les virages à droite.

Plusieurs facteurs ont pu contribuer à la survenance de cet accident :

- l'absence d'un système d'aide à la conduite pour prévenir le risque de renversement des camions malaxeurs ;
- un centre de gravité haut et décalé spécifique à ce type de camion malaxeur ;
- une visibilité réduite, une vitesse inadaptée et une géométrie routière particulière.

L'analyse de cet accident amène le BEA-TT à formuler les recommandations suivantes :

Recommandation R1 adressée à la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) :

Dans le cadre de la révision du règlement n° 13 relatif au freinage des véhicules, proposer de rendre obligatoire l'équipement des camions malaxeurs à plus de 3 essieux avec un système électronique de contrôle de la stabilité comprenant la fonction antirenversement et la fonction de contrôle de la trajectoire.

Recommandation R2 adressée aux organismes de formation de conducteurs de poids lourds et de formation professionnelle des conducteurs de camions malaxeurs AFTRAL – SNBPE – OPPBTP :

Renforcer la sensibilisation ainsi que les formations théorique et pratique des conducteurs poids lourds et plus spécifiquement des conducteurs de camions malaxeurs sur le risque de renversement de ces véhicules.

Recommandation R3 adressée au conseil départemental des Yvelines (CD78) et aux communes de Bazoches-sur-Guyonne et de Mareil-le-Guyon :

A minima dans le sens de circulation du camion accidenté, modifier la signalisation routière dans l'objectif de limiter à 30 km/h la vitesse maximale autorisée dans le virage lieu de l'accident, et renforcer la signalisation routière verticale afin de mieux alerter les usagers de la route du caractère dangereux de ce virage.

ANNEXE : Décision d'ouverture d'enquête

La Défense, le 09 OCT. 2019

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,

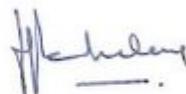
Vu le Code des transports et notamment les articles L. 1621-2 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 relatifs, en particulier, à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de l'accident impliquant un camion malaxeur et un véhicule léger survenue le 13 août 2019 à Bazoches-sur-Guyonne (78) ;

Vu le nombre d'accidents impliquant un camion malaxeur ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-2 et R. 1621-22 du Code des transports concernant l'accident d'un camion malaxeur, circulant sur la route départementale n° 13, qui s'est renversé sur un véhicule léger, dans les Yvelines sur la commune de Bazoches-sur-Guyonne.



Jean PANHALEUX



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 83

Télécopie : 01 40 81 21 50

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité