

Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar du 15 janvier 2005 sur la RN 7 à Saint Martin d'Estréaux (42)

Mai 2005



Conseil Général des Ponts et Chaussées

24 mai 2005

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transport Terrestre**

Rapport n°BEATT-2005-001

**Rapport d'enquête technique
sur l'accident d'autocar du 15 janvier 2005
sur la RN 7 à Saint Martin d'Estréaux (42)**

Bordereau documentaire

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

Titre et sous-titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar du 15 janvier 2005 sur la RN 7 à Saint Martin d'Estréaux (42)

N°ISRN : EQ-BEATT--05-1--FR

Mots-clés : Autocar, Carrefour giratoire, Limite d'âge, Aménagement routier

Sommaire

Glossaire	7
Résumé	9
1. Constats immédiats et engagement de l'enquête	11
1.1 L'accident.....	11
1.2 L'organisation de l'enquête	11
2. Reconstitution du déroulement de l'accident	13
2.1 Contexte de l'accident.....	13
2.2 Scénario de l'accident	13
2.3 Les secours et le bilan	13
3. Analyse des causes et orientations de prévention	15
3.1 Facteurs liés à la conduite du véhicule.....	15
3.1.1 <i>Vitesse du véhicule</i>	15
3.1.2 <i>Comportement du conducteur</i>	15
3.1.3 <i>Orientations pour la prévention</i>	15
3.2 Facteurs liés au statut d'activité des conducteurs.....	15
3.2.1 <i>Conducteur au volant au moment de l'accident (N°1)</i>	15
3.2.2 <i>Deuxième conducteur (N°2)</i>	16
3.2.3 <i>Conséquences sur la sécurité de la conduite</i>	16
3.2.4 <i>Orientations pour la prévention</i>	16
3.3 Facteurs liés aux temps de conduite	17
3.3.1 <i>Temps de conduite des conducteurs</i>	17
3.3.2 <i>Orientations pour la prévention</i>	18
3.4 Facteurs liés à l'organisation du voyage	18
3.4.1 <i>Déroulement du voyage</i>	18
3.4.2 <i>Orientation pour la prévention</i>	19
3.5 Facteurs liés au véhicule	19
3.5.1 <i>Etat du véhicule</i>	19
3.5.2 <i>Ceintures de sécurité</i>	20
3.5.3 <i>Orientations pour la prévention</i>	20
3.6 Facteurs liés à l'infrastructure et aux conditions de circulation.....	20
3.6.1 <i>Conditions de circulation au moment de l'accident</i>	20
3.6.2 <i>Caractéristiques du lieu de l'accident</i>	20
3.6.3 <i>Caractéristiques de l'itinéraire</i>	21
3.6.4 <i>Orientations pour la prévention</i>	22
4. Conclusions et recommandations	23
ANNEXES	25
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	27
Annexe 2 : Plan de situation.....	28
Annexe 3 : Signalisation d'approche du giratoire au moment de l'accident.....	29
Annexe 4 : Photographies	30

<i>Annexe 4.1 : Signalisation d'approche</i>	30
<i>Annexe 4.2 : Approche du giratoire</i>	31
<i>Annexe 4.3 : L'autocar</i>	32
Annexe 5 : Recommandations à la DDE de la Loire	34
<i>Annexe 5.1 : Recommandations du BEA-TT</i>	34
<i>Annexe 5.2 : Réponse de la DDE de la Loire</i>	36
Annexe 6 : Rapport du CEESAR	39

Glossaire

- **BEA-TT** : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre
- **Cataphote** : Réflecteur
- **CEESAR** : Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyses des Risques
- **CETE** : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
- **CH** : Centre Hospitalier
- **CGPC** : Conseil Général des Ponts et Chaussées
- **CISR** : Comité Interministériel de la Sécurité Routière
- **DDE** : Direction départementale de l'Equipement
- **DGR** : Direction Générale des Routes du ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer
- **DRE** : Direction Régionale de l'Equipement
- **DSCR** : Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière du ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer
- **DGMT** : Direction Générale de la Mer et des Transports du ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer
- **FCOS** : Formation Continue Obligatoire de Sécurité
- **FIMO** : Formation Initiale Minimale Obligatoire
- **IGR** : Ingénieur Général Route
- **IGTT** : Inspection Générale du Travail des Transports
- **PRAS** : Programme Régional d'Aménagements de Sécurité
- **SMUR** : Service Médical d'Urgence Régional
- **SURE** : Démarche « Sécurité des Usagers des Routes Existantes »

Résumé

Le 15 janvier 2005 vers 02 heures, un accident de la circulation routière s'est produit à Saint Martin d'Estréaux (42) à une trentaine de kilomètres au nord de Roanne, à un carrefour giratoire.

Il a impliqué un seul véhicule : un autocar transportant 52 personnes qui roulait dans le sens Roanne – Moulins ; l'accident a fait 7 blessés graves et 45 blessés légers.

Le Ministre de l'Équipement, des Transports de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer a demandé au Bureau Enquêtes Accidents de Transport Terrestres du Conseil Général des Ponts et Chaussées d'effectuer une enquête technique pour déterminer les circonstances de cet accident et établir les recommandations préventives utiles.

Le présent rapport fait le bilan de l'ensemble des informations et expertises complémentaires recueillies qui portent en particulier sur le déroulement de l'accident, le statut d'activité et les temps de repos des conducteurs, l'organisation du voyage et les caractéristiques de l'infrastructure routière.

La cause directe de cet accident s'est révélée être le défaut de perception du carrefour giratoire par le conducteur de l'autocar, malgré la signalisation présente. Plusieurs facteurs peuvent avoir joué un rôle dans ce défaut de perception, tels que l'âge du conducteur (70 ans), sa situation irrégulière sur le plan professionnel, l'hétérogénéité des caractéristiques de la RN7 et la perception d'approche médiocre du carrefour giratoire. En outre, l'enquête a mis en lumière les pratiques irrégulières courantes de l'entreprise de transport et le manque d'encadrement des ses chauffeurs.

Des recommandations sont donc émises concernant notamment l'instauration d'une limite d'âge pour la conduite des autocars au moins pour de longs trajets, le renforcement des contrôles sur les dispositions réglementaires liées à la sécurité des transports par autocar, la transparence des contrats et l'amélioration de la perception du carrefour giratoire.

1. Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 L'accident

Le 15 janvier 2005 à 1h56 du matin, un autocar transportant 52 personnes (45 enfants de retour de classe de neige, 5 accompagnateurs et 2 chauffeurs) roule sur la RN 7 dans le département de la Loire, venant de Roanne en direction de Moulins.

Arrivé au carrefour giratoire qui marque l'entrée sud de la déviation de Saint Martin d'Estréaux, en limite de l'Allier, l'autocar traverse l'anneau, mord sur l'îlot central avec ses roues de gauche, enfonce la glissière de sécurité située à l'extérieur du giratoire et dévale un talus d'une dizaine de mètres de hauteur.

Cet accident a causé 7 blessés graves, dont le conducteur du car, et 45 blessés légers.

1.2 l'organisation de l'enquête

L'enquête demandée par le Ministre de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer a été lancée par le Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre, le 17 janvier (Cf. annexe 1).

Outre les éléments directement obtenus par les enquêteurs, elle s'appuie sur les éléments recueillis par la DRE Rhône-Alpes, par l'Inspection du Travail des Transports, et par les enquêteurs judiciaires.

En outre, le BEA-TT a commandé une étude au Centre Européen d'Études de Sécurité et d'Analyses des Risques (CEESAR), visant notamment à reconstituer sur les 30 dernières minutes l'approche du giratoire lieu de l'accident, le déroulement de l'accident et sa dynamique, et à examiner les mécanismes des lésions qu'il a provoquées sur les victimes. Cette étude est annexée au présent rapport.

Les premières investigations réalisées ont conduit à émettre une note de recommandations à la DDE de la Loire, dès le 16 mars 2005, à laquelle la DDE a répondu le 14 avril 2005 (Voir annexe 5)

2. Reconstitution du déroulement de l'accident

2.1 Contexte de l'accident

L'accident s'est produit sur un carrefour giratoire permettant le raccordement entre la RN 7 existante et la déviation de saint Martin d'Estréaux, mise en service en 2002 (Cf. annexe 2).

Il a eu lieu de nuit, en présence de nappes de brouillard

2.2 Scénario de l'accident

La synthèse de l'analyse du disque du chronotachygraphe et de la reconstitution dynamique de l'accident effectuée par le CEESAR a permis d'établir le scénario suivant :

A 1h56, l'autocar est arrivé à 20 mètres de l'entrée du giratoire, à une vitesse de 74 Km/h, lorsque le chauffeur a pris conscience de l'existence de ce carrefour.

Il a alors effectué un freinage d'urgence, mais n'a pas pu négocier le virage de l'anneau du giratoire ; ses roues gauches ont heurté la bordure de l'îlot central à une vitesse de 69 Km/h, le déséquilibrant ; le chauffeur a alors perdu le contrôle du véhicule.

Les roues gauches de l'autocar ont patiné sur l'îlot central herbeux et il a foncé dans la glissière de sécurité située de l'autre côté du giratoire, qu'il a percutée à 56 Km/h

L'autocar a ensuite dévalé le talus sur une longueur d'environ 17 mètres, pour une dénivelée d'environ 9,50 mètres.

Il a heurté frontalement le sol à la base du talus, à une vitesse estimée à environ 50 Km/h, puis il s'est renversé sur le côté droit.

Les passagers, indemnes ou légèrement blessés, ont pu sortir rapidement par le pare-brise du car, détruit lors de l'accident.

2.3 Les secours et le bilan

L'alerte a rapidement été donnée par téléphone aux pompiers (à 2h03)

Les pompiers du centre de secours de La Pacaudière sont partis sur les lieux de l'accident vers 2h15 et y sont arrivés un peu avant 2h20.

Le plan rouge a été déclenché par la Préfecture à 2h30

Moyens mobilisés : les centres de secours de la périphérie, représentant plus d'une centaine de sapeurs pompiers, le SMUR de Roanne ; une trentaine de gendarmes ont géré un poste médical avancé installé à 300 mètres de l'accident dans des locaux DDE. Une déviation routière a été mise en place sur la RN 7.

L'ensemble des passagers ont été accueillis dans les hôpitaux de Roanne et Vichy, équidistants du lieu de l'accident

Le bilan s'est établi à 7 blessés graves et 45 blessés légers.

Les blessés légers ont pu rejoindre Montrichard, lieu initial de leur destination, le soir même de l'accident, soit dans un autobus affrété par la société de transport, soit, pour certains d'entre eux, par des moyens familiaux.

Eu égard à la vitesse au moment du choc et à la hauteur de la chute, ce bilan aurait pu être plus lourd.

Après la levée du plan rouge à 9 heures, la circulation routière sur la RN 7 a été rétablie à la mi-journée.

3. Analyse des causes et orientations de prévention

3.1 Facteurs liés à la conduite du véhicule

3.1.1 Vitesse du véhicule

L'examen du disque du chronotachygraphe montre que le chauffeur roulait en permanence à la vitesse limite permise par la réglementation ou les conditions de site, et avait même dépassé la vitesse autorisée sur la déviation de Roanne (parcourue à 100 km/h alors que la vitesse autorisée était limitée à 90 km/h pour l'autocar).

Il avait même effectué une pointe à 105 Km/h sur cette déviation, car, il faut noter que le limiteur de vitesse du car était mal réglé, se déclenchant à 104 km/h, au lieu de 100 Km/h, maximum autorisé sur autoroute, pour un autocar.

Les conditions défavorables (nuit, nappes de brouillard et possibilité de rencontrer des plaques de verglas) auraient appelé une prudence particulière.

3.1.2 Comportement du conducteur

La cause immédiate de l'accident est liée au défaut de perception du giratoire par le conducteur de l'autocar, qui l'a abordé à une vitesse trop élevée.

Il résulte des déclarations du chauffeur qu'il conduisait essentiellement à partir de sa mémoire de l'itinéraire qu'il avait parcouru quelques années auparavant ; il ne connaissait pas la déviation de saint Martin d'Estréaux, mise en service en 2002, et s'attendait à traverser encore le village qui est précédé d'une courbe à gauche très prononcée.

N'ayant pas perçu la signalisation réglementaire d'approche du giratoire qui était pourtant présente, il n'a pris conscience d'arriver sur un point singulier qu'à une vingtaine de mètres de l'anneau ; sa vitesse était alors de 74 Km/h et, malgré un freinage d'urgence, il ne pouvait plus garder la maîtrise de son véhicule dans la traversée de ce carrefour.

Ce défaut de perception peut être lié à un début d'hypovigilance ou une inattention ; d'autres facteurs analysés ci-après peuvent également avoir joué un rôle dans l'accident.

3.1.3 Orientations pour la prévention

Il apparaît que le conducteur du car n'a pas adapté sa vitesse aux conditions nocturnes et de brouillard rencontrées et qu'il n'a pas apporté une attention suffisante à la signalisation qui constitue la principale aide à la conduite dans ces conditions

Ceci devrait être rappelé à l'ensemble des conducteurs à l'occasion des formations dispensées ou des campagnes organisées sur la sécurité routière

3.2 Facteurs liés au statut d'activité des conducteurs

Les investigations ont montré que les deux conducteurs faisaient partie de la main d'œuvre d'appoint de l'entreprise :

3.2.1 Conducteur au volant au moment de l'accident (N°1)

Agé de 70 ans, il était titulaire du permis de conduire D et à jour de la visite médicale périodique qui y est associée (périodicité de deux ans pour les personnes de 65 à 75 ans).

Il a été inscrit sur le registre du personnel du transporteur du 1er janvier 1995 au 30 avril 2000. En revanche, depuis cette dernière date, il n'a jamais été inscrit sur les registres du transporteur et se trouvait donc en infraction vis à vis de la réglementation du travail

Il apparaît que, lors de périodes de surcharge, il aidait assez fréquemment, sans être rémunéré régulièrement, cette entreprise dont le directeur est son cousin

3.2.2 Deuxième conducteur (N°2)

Après avoir conduit au début du voyage, il n'était pas au volant lors de l'accident.

Il est inscrit depuis juillet 1989 sur le registre unique du personnel comme salarié à temps partiel. Il occupe, par ailleurs, un emploi à temps complet comme conducteur routier au sein d'une entreprise de distribution de produits pétroliers.

Il était à jour de ses obligations concernant les visites médicales (au titre du permis D et de la réglementation du travail) et la formation professionnelle (FIMO et FCOS).

3.2.3 Conséquences sur la sécurité de la conduite

Ces constats font apparaître deux facteurs susceptibles d'avoir joué un rôle dans l'accident :

- d'une part, la situation professionnelle non déclarée du conducteur N°1

Dans cette situation irrégulière, les obligations réglementaires touchant au suivi médical de la médecine du travail (indépendantes de celles du permis D) n'ont pas été respectées.

Les enquêtes conduites à la suite de cet accident au sein de l'entreprise de transport ont mis en lumière de nombreuses infractions à la législation du travail concernant la situation des personnels, leur formation, leur suivi médical et la gestion de leur temps de travail.

Ces résultats mettent en lumière que l'entreprise de taille moyenne (23 autocars ; 27 employés permanents) et ayant une activité importante et reconnue dans sa région se trouvait en situation d'infraction de manière permanente. Une telle habitude de non-respect de la réglementation ne peut que détériorer le niveau de sécurité des transports effectués.

- d'autre part, l'âge élevé (70 ans) du même conducteur au volant lors de l'accident

L'âge réduit inéluctablement l'aptitude à la conduite (vigilance, réflexes, vision nocturne...). La réglementation actuelle ne prévoit pas de limite d'âge pour la conduite d'autocars, mais resserre en fonction de l'âge la périodicité des examens médicaux liés au permis D. A la suite de l'accident de Saint Martin d'Estréaux, le CISR du 24 janvier 2005 a décidé d'appliquer une périodicité annuelle dès 60 ans (contre 75 ans auparavant).

3.2.4 Orientations pour la prévention

L'âge du conducteur et l'absence de son suivi médical dans un cadre professionnel ont pu jouer un rôle dans l'accident ; le fait qu'il n'a pas perçu les panneaux de signalisation, et que son temps de réaction semble avoir été long, peuvent en effet y être liés.

Le renforcement des contrôles, aussi bien sur route qu'en entreprise, paraît nécessaire pour mieux détecter les comportements infractionnistes dommageables à la sécurité.

Par ailleurs, au-delà du renforcement acquis des contrôles médicaux selon l'âge, il conviendrait de prévoir une limite d'âge pour la validité du permis D comme l'ont fait des pays tels que la Finlande (70 ans), ou une limite d'âge pour les longs parcours, comme en

Italie à 65 ans. On peut d'ailleurs noter que certains groupements français d'autocaristes ont déjà mis en place une limite d'âge pour leurs conducteurs.

3.3 Facteurs liés aux temps de conduite

3.3.1 Temps de conduite des conducteurs

Les témoignages et l'examen des disques du chronotachygraphe ont permis la reconstitution chronologique du parcours de l'autocar pour ce trajet retour entre Saint Pierre d'Allevard, Notre Dame de Bellecombe et le lieu de l'accident quelques heures avant l'arrivée prévue à Montrichard.

Le tableau ci-dessous retrace les temps de conduite et de repos pendant le trajet :

Etapas		Phase N°		Horaire	Distance	Temps d'arrêt	Temps de conduite		Personnes à bord
		mvt	arrêt				Conducteur	Temps	
St P Allevard	Départ	1		19 h 45	125 km		Cond. N°2	01 h 25	1 puis 2
Notre Dame Bellecombe	Arrivée			21 h 10					
	Départ	3	2	21 h 35	191 km		Cond. N°2	01 h 50	52 (45 + 5 + 2)
Aire Isle d'Abeau	Arrivée			23 h 25					
	Départ	5	4	23 h 50	239 km		Cond. N°1	02 h 10	52 (45 + 5 + 2)
St Martin	Arrivée			02 h 00					
Total au moment de l'accident					555 km	00 h 50		05 h 25	
Arrivée prévue à Montrichard				06 h 30	315 km	?	?	04 h 30	Estimation
Total estimé à l'arrivée à Montrichard					870 km	?		09 h 55	

L'examen des disques a montré que ceux-ci avaient été intervertis entre les deux conducteurs, ce qui peut laisser planer un doute sur la répartition des temps de conduite qui auraient suivi. Les temps de travail des deux conducteurs apparaissent comme suit.

Conducteur N°1 : Le conducteur N°1 n'avait pas, au moment de l'accident dépassé les temps de conduite autorisés dans le cadre de ce voyage

Aux dires de ce conducteur, il avait été prévenu du voyage à faire 2 ou 3 jours auparavant ; il avait passé la journée du vendredi chez lui, après s'être levé vers 08h15-08h30 et avait fait une sieste d'environ une heure après le déjeuner ; il se sentait en bonne forme quand il a pris le volant à 23h50.

Conducteur N°2 : Au cours de la semaine qui a précédé l'accident (du 10 au 14 janvier) le conducteur N°2 avait travaillé toute la semaine sauf la journée du jeudi où il était de repos. Le vendredi 14 janvier, sa durée de travail s'est élevée à 10h20 (entre 6h15 et 18h25).

Ce même jour il a ensuite pris l'autocar à 19h45 à Saint Pierre d'Allevard pour aller à Notre de Dame de Bellecombe. Il s'est arrêté de conduire à

23h25. Au moment de ce passage de relais, il accumulait une durée de travail sur 24 heures de 13h45. Au moment de l'accident, le temps passé à côté du conducteur actif étant pris en compte pour 50% de sa durée, cette durée de travail était de 14h50 sans qu'il y ait eu de coupure de repos journalière.

Si le voyage s'était prolongé jusqu'à sa destination, cette durée aurait été portée à 18h sans interruption par le repos quotidien. Ces durées sont bien supérieures aux 12 heures autorisées.

Au moment de l'accident, la durée de travail hebdomadaire (tous employeurs confondus) s'élevait à 46h15 de travail effectif (déduction faite des repos intermédiaires). A l'arrivée prévue à Montrichard, la durée hebdomadaire maximale autorisée de 48h aurait été dépassée.

Au moment des faits, Le conducteur N°2 disposait d'une fausse attestation de repos établie par le Transporteur, faisant état d'une absence de travail pendant toute la semaine précédente, alors qu'il avait travaillé chez son employeur principal.

3.3.2 Orientations pour la prévention

Ces constats relatifs aux infractions sur les temps de travail du conducteur N°2, qui compromettent gravement la sécurité des transports effectués, confirment la nécessité de développer les contrôles effectués tant sur route qu'en entreprise.

3.4 Facteurs liés à l'organisation du voyage

3.4.1 Déroulement du voyage

Le déplacement au cours duquel s'est produit l'accident était le trajet retour d'une classe de neige de 45 enfants de 12 à 14 ans du collège Joachim du Bellay de Montrichard (Loir et Cher) depuis Notre-Dame-de-Bellecombe en Savoie. Le voyage, aller et retour, a été organisé pour le compte du collège par une agence de voyage spécialisée dans ce type d'activités située à Louvres dans le Val d'Oise. Dans le cadre de son rôle d'organisateur, c'est cette agence qui a négocié les conditions de transport et choisi le transporteur.

Lors de ce trajet retour deux conducteurs étaient présents à bord du car. Le groupe transporté comprenait 45 enfants avec leurs 5 accompagnateurs. Au total 52 personnes étaient dans l'autocar.

Ce voyage de retour s'est déroulé en 5 phases :

- Phase 1. trajet de Saint Pierre d'Allevard à Notre Dame de Bellecombe : le conducteur N°2 conduit. Il a pris en charge l'autocar chez le Transporteur et récupéré le conducteur N°1 en chemin.
- Phase 2. embarquement, à Notre Dame de Bellecombe, du groupe de 45 enfants et de leurs cinq accompagnateurs.
- Phase 3. trajet de Notre Dame de Bellecombe à l'aire de repos de l'Isle d'Abeau sur l'autoroute A43 : le conducteur N°2 conduit.
- Phase 4. phase de repos pendant 25 minutes.

Phase 5. trajet de l'aire de repos de l'Isle d'Abeau jusqu'au lieu de l'accident à saint martin d'Estréaux sur la RN 7, le conducteur N°1 est au volant.

L'itinéraire emprunté au retour qui passe par la RN 7, lieu de l'accident, n'était pas le seul possible. Pour le trajet aller, un équipage différent avait choisi un itinéraire plus long (80 kilomètres en plus) mais empruntant les autoroutes (A43 – A46 – A47 – A72 – A71) et offrant donc a priori de meilleures conditions de sécurité.

Il résulte des déclarations du chauffeur, ainsi que de celles d'un témoin, que c'est lui-même qui avait choisi l'itinéraire, les raisons invoquées étant un trajet plus court et sa crainte de rencontrer du verglas sur l'autoroute à la hauteur de Clermont-Ferrand.

Ces constats sur l'organisation du voyage montrent qu'aucune programmation n'avait été faite sur l'itinéraire. Le choix entre un itinéraire par autoroute ou par route nationale avait été laissé, sans instructions particulières, à l'initiative du conducteur qui avait repris ses habitudes antérieures, basées sur une connaissance de la route déjà ancienne.

De ce fait, un élément important pour la sécurité et le confort du voyage n'était connu au départ ni de l'affréteur de l'autocar, ni des passagers transportés.

3.4.2 Orientation pour la prévention

Il apparaît donc que l'organisation du voyage avait été effectuée sans donner une priorité suffisante aux aspects touchant à la sécurité ; or, certains éléments auraient pu attirer l'attention des organisateurs ou des passagers.

Des informations sur l'organisation du voyage et le véhicule proposé, dès lors qu'elles peuvent avoir une incidence sur le niveau de sécurité, devraient donc figurer sur les contrats signés par les donneurs d'ordres et contribueraient à leur transparence. Elles pourraient expliciter des éléments tels que l'itinéraire prévu, et l'utilisation ou non du réseau autoroutier.

3.5 Facteurs liés au véhicule

3.5.1 Etat du véhicule

Le véhicule accidenté est le seul véhicule impliqué dans cet accident. Il s'agit d'un autocar Mercedes Benz de type 350 D2 appartenant à l'entreprise Voyages Anselmino sise à Saint Pierre d'Allevard en Isère. Mis en circulation en août 1998, il était aménagé conformément à la carte grise avec : 53 places assises ; une place conducteur ; une place convoyeur.

L'état général du véhicule et son entretien ont été jugés bons par les enquêteurs. Le kilométrage au moment de l'accident était de 668 948 km.

Il avait satisfait à sa dernière visite technique le 11 août 2004, dont la validité courrait jusqu'au 11 février 2005.

L'autocar a bien résisté au choc. En effet, hormis la face avant, la structure ne semble pas avoir été affectée par l'accident.

Les vitres en double-vitrage de l'autocar ont bien résisté à l'impact puisque seule une vitre avant côté droit et le pare-brise ont cédé (voir annexe 4.3 vues 1 & 2).

Les sièges sont tous restés fixés au plancher (voir annexe 4.3 vue 3).

Les pneus étaient en bon état avec une usure régulière et des dessins marqués (6 mm et 12 mm) restant supérieurs à la limite d'usure. Le réglage du chronotachygraphe était correct et conforme aux diamètres des pneus.

3.5.2 Ceintures de sécurité

Conformément à la réglementation applicable à ce véhicule compte tenu de sa date de mise en service, il n'était pas équipé de ceintures de sécurité sauf aux 7 places sans banquette juste devant les sièges. Cela correspond aux 4 places à l'avant du car, aux 2 places devant la montée de la porte latérale droite et à la place centrale de la dernière rangée du véhicule. Pour ces 7 places équipées de ceintures de sécurité, il a été établi que la plupart n'étaient pas portées, car certaines boucles de ceintures ont été retrouvées sous les sièges ; de plus, celle du siège du milieu de la dernière rangée n'était pas complète, la ceinture mâle étant absente (voir annexe 4.3 vue 4).

Le mécanisme lésionnel a été unique et identique pour l'ensemble des impliqués ; il s'agit d'une projection à l'intérieur de l'habitacle, vers l'avant droit du car qui a été la direction du choc principal au fond du ravin. Cette projection vers l'avant droit se caractérise par la déformation des $\frac{3}{4}$ des dossiers de banquettes projetés vers l'avant et la rupture totale d'une majorité des mécanismes d'inclinaison de ces dossiers. L'usage de la ceinture de sécurité aurait très certainement limité les blessures qui ont résulté de ces projections.

Il apparaît d'ailleurs que dans les conditions de la perte de contrôle et de la configuration des lieux, les lésions auraient pu être beaucoup plus graves. Des facteurs fortuits favorables ont sans doute joué, notamment, une trajectoire de chute qui n'a pas entraîné d'éjection totale ou partielle de voyageur malgré un choc important, et l'absence d'intrusion dans l'habitacle sur les places occupées de l'autocar. Le fait que le siège de l'accompagnateur soit inoccupé lors de l'accident a évité une mort quasi certaine à la personne qui aurait pu se trouver à cette place.

La bonne tenue des fixations des sièges au plancher de la cabine a également joué un rôle protecteur.

3.5.3 Orientations pour la prévention

Cet accident confirme l'intérêt des ceintures de sécurité à toutes les places, et conduit à encourager une évolution rapide du parc des autocars pour généraliser cet équipement et son usage.

Dans cet esprit, la mention de l'équipement du véhicule proposé lors d'une prestation de transport constitue un élément de transparence du contrat, que devrait connaître le donneur d'ordre.

3.6 Facteurs liés à l'infrastructure et aux conditions de circulation

3.6.1 Conditions de circulation au moment de l'accident

L'accident s'est produit de nuit, à deux heures du matin.

Selon divers témoignages et notamment d'après le rapport du patrouilleur de la DDE arrivé à 2h10 sur les lieux (soit 10 minutes après l'accident), il y avait du brouillard, mais la visibilité était d'environ 100 mètres à cet endroit ; la température était de -5° C, mais la chaussée n'était pas glissante.

3.6.2 Caractéristiques du lieu de l'accident

Le lieu de l'accident est le carrefour giratoire qui marque l'entrée sud de la déviation de Saint Martin d'Estréaux, en limite de l'Allier ; cette déviation a été réalisée à 2 voies et mise en service entre juillet et octobre 2002 (voir. annexe 2).

Il est à noter qu'en venant du sud, ce giratoire est le premier rencontré depuis la sortie du contournement de Roanne à 25 kms ; un autre carrefour giratoire marque l'extrémité nord de la déviation de Saint Martin d'Estréaux, juste au-delà de la limite départementale avec l'Allier.

Les caractéristiques géométriques de la RN 7 entre la fin du contournement de Roanne et la déviation de Saint Martin d'Estréaux sont très hétérogènes : sections à 2 voies et à 3 voies, traversées d'agglomérations (La Pacaudière et Changy), déviation à 2 voies (Saint Germain l'Espinasse).

L'approche du giratoire est signalée par les panneaux réglementaires, auxquels ont été ajoutés deux panneaux portant la mention « attention carrefour modifié » (voir. annexe 3).

On rencontre donc, en venant de Roanne :

- à 640 mètres de l'entrée du carrefour giratoire, un panneau d'information portant la mention : « Attention Carrefour Modifié » (voir annexe 6, fig. 2)
- à 400 mètres de l'entrée du carrefour giratoire, un panneau D42b représentant le diagramme du giratoire (voir. annexe 6, fig. 3)
- à 165 mètres de l'entrée du carrefour giratoire, un panneau d'information portant la mention : « Attention Carrefour Modifié » (voir. annexe 6, fig. 6)
- à 125 mètres de l'entrée du carrefour giratoire, un panneau AB 25 « giratoire » (voir. annexe 6, fig. 7)

Les deux derniers de ces panneaux ont été équipés de feux à éclats (flash) ; mais il faut noter que ces feux qui sont alimentée par des batteries solaires se déchargent au cours de la nuit et qu'ils ne fonctionnaient pas au moment de l'accident.

Sur place, il a été constaté que la perception visuelle du giratoire, en faisant abstraction de la signalisation, n'était pas très bonne : l'îlot central et l'anneau ne sont pas clairement identifiables de loin ; il faut attendre de se situer à 176 mètres de l'entrée du giratoire pour bien analyser la route qui se trouve devant.

Dans les conditions de brouillard existantes au moment de l'accident qui réduisaient la visibilité à une centaine de mètres, le chauffeur aurait dû cependant être particulièrement attentif à la signalisation.

Des cataphotes ont été implantés dans la chaussée autour de l'îlot central afin de le souligner en période nocturne ; cependant, les salissures dues au trafic peuvent empêcher de les faire apparaître dans la lumière des phares.

Depuis la mise en service de la Déviation de Saint Martin d'Estréaux, il y a deux ans, de nombreux accidents matériels ont été constatés aux deux carrefours giratoires d'extrémité (véhicules dans l'îlot central, chocs sur les glissières).

Ces accidents n'étant pas corporels, il ne peut y en avoir de relevé exhaustif ; mais, la main courante des interventions de la subdivision territoriale en fait apparaître une cinquantaine au giratoire sud, depuis sa mise en service.

3.6.3 Caractéristiques de l'itinéraire

L'accident a eu lieu sur la RN 7 dans la Loire qui est inscrite comme Grande Liaison d'Aménagement du Territoire au Schéma Directeur Routier National ; elle fait partie de l'axe reliant l'autoroute A 77 à Cosne-sur-Loire à l'autoroute A 89 à Balbigny.

Cet itinéraire est très fortement circulé, notamment par les poids lourds ; c'est pourquoi, il a fait l'objet, le 20 septembre 1995, d'une déclaration d'utilité publique pour son

aménagement à 2 x 2 voies avec classement en autoroute ou route express suivant les sections.

Cet aménagement est actuellement en cours. Certaines déviations d'agglomérations ont été réalisées, parfois à 2 voies en première phase; de nombreuses traversées de village et des sections à 2 ou 3 voies subsistent encore. De ce fait, les caractéristiques géométriques de l'itinéraire sont très hétérogènes tout au long du parcours.

Pour la section comprise entre l'extrémité du contournement de Roanne et la limite de l'Allier, le trafic est d'environ 15000 véhicules/jour, dont 2500 Poids Lourds.

Cette section présente une accidentalité élevée : le taux d'accidents (nombre d'accidents rapporté au trafic) y est 2 à 3 fois plus élevé qu'en moyenne nationale pour les RN du même type.

Une étude de sécurité réalisée en mai 2004 par le Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, dans le cadre de la démarche « Sécurité des Usagers des Routes Existantes » (SURE) conclut à la nécessité de réaliser un certain nombre d'aménagements de sécurité dans l'attente de la mise à 2 x 2 voies de l'ensemble de l'itinéraire.

Pour les axes RN 7 et RN 82 dans le département de la Loire, ces opérations de sécurité sont estimées à 8 M€ environ. En 2004 la DDE a obtenu un financement de 0,334 M€, en 2005 elle prévoit environ 1,4 M€.

3.6.4 Orientations pour la prévention

Bien que la signalisation de ce giratoire soit conforme à la réglementation, l'accidentalité constatée conduit à préconiser un certain nombre de mesures, visant à améliorer sa perception par les véhicules en approche.

Le BEA-TT a d'ores et déjà adressé une recommandation en ce sens à la DDE de la Loire. Cette recommandation porte sur la signalisation qui doit être renforcée ou rendue plus visible de même que l'îlot central du giratoire et l'îlot d'entrée qui doivent être rendus plus perceptibles. (voir. annexe 5.1).

La mise en œuvre de ces recommandations est prévue sur une période allant d'avril à juin 2005 (voir annexe 5.2).

L'aménagement à 2X2 voies de l'itinéraire RN 7 devrait à terme régler les problèmes de sécurité observés. Cependant il sera nécessairement étalé sur plusieurs années.

On ne peut donc que recommander de mettre en œuvre dès maintenant les aménagements préconisés dans le cadre de la démarche SURE, afin d'améliorer la sécurité de cet itinéraire dont l'accidentalité est particulièrement élevée.

Il conviendrait également de sensibiliser les maîtres d'ouvrages et concepteurs routiers sur l'attention particulière à apporter aux raccordements entre les opérations nouvelles et la voirie existante, notamment lorsque les contraintes financières conduisent à réaliser de nombreux phasages de l'aménagement d'un itinéraire.

4. Conclusions et recommandations

La cause directe de cet accident est le défaut de perception d'un carrefour giratoire par le conducteur de l'autocar qui, dans des conditions nocturnes et de brouillard, n'a pas vu la signalisation réglementaire d'approche mise en place. Il est donc arrivé sur l'anneau du giratoire beaucoup trop vite (plus de 70 km/h), a effectué un freinage d'urgence, mais a perdu le contrôle du véhicule et a enfoncé la glissière de sécurité située de l'autre côté de l'anneau avant de dévaler un talus et de percuter le terrain en contrebas.

Plusieurs facteurs peuvent avoir joué un rôle dans ce défaut de perception :

- L'âge du conducteur (70 ans) qui a pu entraîner une diminution de ses aptitudes physiques, en matière de vigilance et de vision nocturne.
- Sa situation irrégulière sur le plan professionnel qui se traduit par un défaut de suivi médical du travail et par un manque d'entraînement sur ce type de parcours difficile (longueur, conditions nocturnes et brouillard) ; de fait, il n'a pas adapté sa conduite et augmenté son attention, comme il aurait fallu.
- L'hétérogénéité des caractéristiques de la RN7 et la perception d'approche médiocre du carrefour giratoire, même si la signalisation réglementaire d'approche était effectivement en place.

En outre, les pratiques irrégulières courantes de l'entreprise de transport et le manque d'encadrement des chauffeurs ont créé un climat de laxisme en matière de règles de sécurité qui constitue un facteur de risque important.

Il convient également de rappeler la nécessité d'adapter sa vitesse de conduite aux conditions rencontrées, selon les caractéristiques de la route, particulièrement la nuit et dans le brouillard. De nombreux conducteurs ne se préoccupent en effet que d'être en règle vis à vis de la vitesse autorisée à l'endroit où ils circulent alors qu'il s'agit d'un maximum par bonnes conditions atmosphériques et que cette vitesse doit être réduite lorsque ces conditions sont dégradées.

Recommandation R1 (DSCR) : Instaurer une limite d'âge pour la validité du permis D, et / ou une restriction d'usage sur les parcours pouvant être effectués au delà d'un certain âge.

Ces limites pourraient être fixées, par exemple, à 70 ans pour la validité du permis D et / ou à 65 ans pour les parcours de plus de 50 kms

Recommandation R2 (DGMT et IGTT) : renforcer les contrôles sur route et en entreprise concernant les dispositions réglementaires liées à la sécurité, en particulier sur les conditions d'emploi et les aptitudes physiques des conducteurs, et les temps de conduite et de repos.

Recommandation R3 (DGMT) : pour les voyages occasionnels, rendre habituel, voire obligatoire, dans un objectif de transparence, le recours à un contrat de transport précisant notamment des éléments liés à la sécurité tels que l'itinéraire prévu, l'utilisation ou non du réseau autoroutier et l'équipement de l'autocar en ceintures de sécurité.

Il s'avère, en effet, que le défaut d'explicitation de certains éléments de la prestation assurée par le transporteur peut conduire à des improvisations préjudiciables à la sécurité.

Recommandation R4 (DDE de la Loire) : mettre en œuvre les recommandations concernant l'amélioration de la perception du giratoire contenues dans l'annexe 5.

Au delà de l'aménagement du giratoire sud de saint Martin d'Estréaux, il conviendrait également de traiter le giratoire nord et de poursuivre les aménagements définis dans le cadre de la démarche SURE, sur les RN7 et 82.

Recommandation R5 (DGR) : sensibiliser les concepteurs routiers sur l'attention particulière à apporter aux raccordements entre les opérations nouvelles et la voirie existante, notamment lorsque les contraintes financières conduisent à réaliser de nombreux phasages de l'aménagement d'un itinéraire.

A cet égard, le raccordement à la voirie existante au moyen de carrefours giratoires étant une solution très fréquemment adoptée, il convient d'examiner soigneusement les parcours d'approche de ces carrefours sur leurs différentes branches et la perception qu'ils présentent par des conditions aussi bien diurnes que nocturnes.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Plan de situation

Annexe 3 : Signalisation d'approche du giratoire au moment de l'accident

Annexe 4 : Photographies

Annexe 4.1 : Signalisation d'approche

Annexe 4.2 : Approche du giratoire

Annexe 4.3 : L'autocar

Annexe 5 : Recommandations à la DDE de la Loire

Annexe 5.1 : Recommandations du BEA-TT

Annexe 5.2 : Réponse de la DDE de la Loire

Annexe 6 : Rapport du CEESAR

Annexe 7 : Rapport de la DRE Rhône-Alpes

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



BEA-TT 2005-001

ministère
de l'Équipement
des Transports
de l'Aménagement
du territoire
du Tourisme et
de la Mer



conseil général
des Ponts
et Chaussées

BEA-TT
Bureau d'enquêtes
sur les accidents de
transport terrestre

Le Directeur

DECISION

Le directeur du Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre ;

Vue la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;

Vu le décret n°2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

Vu l'arrêté du 11 mai 2004 portant délégation de signature au directeur du Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT) .

DECIDE

Article unique : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi 2002-3 du 3 janvier susvisée, est ouverte sur l'accident impliquant un bus transportant 45 enfants, 5 accompagnateurs et 2 chauffeurs, survenu le 15 janvier 2005 sur la RN 7 à SAINT MARTIN D'ESTREAUX (Loire).

Fait à Paris le 17 janvier 2005

Jean Gérard KOENIG

22, rue Monge
75005 Paris
téléphone :
01 40 81 23 27
télécopie :
01 40 81 21 50
mél : jean-gerard.koenig
@equipement.gouv.fr

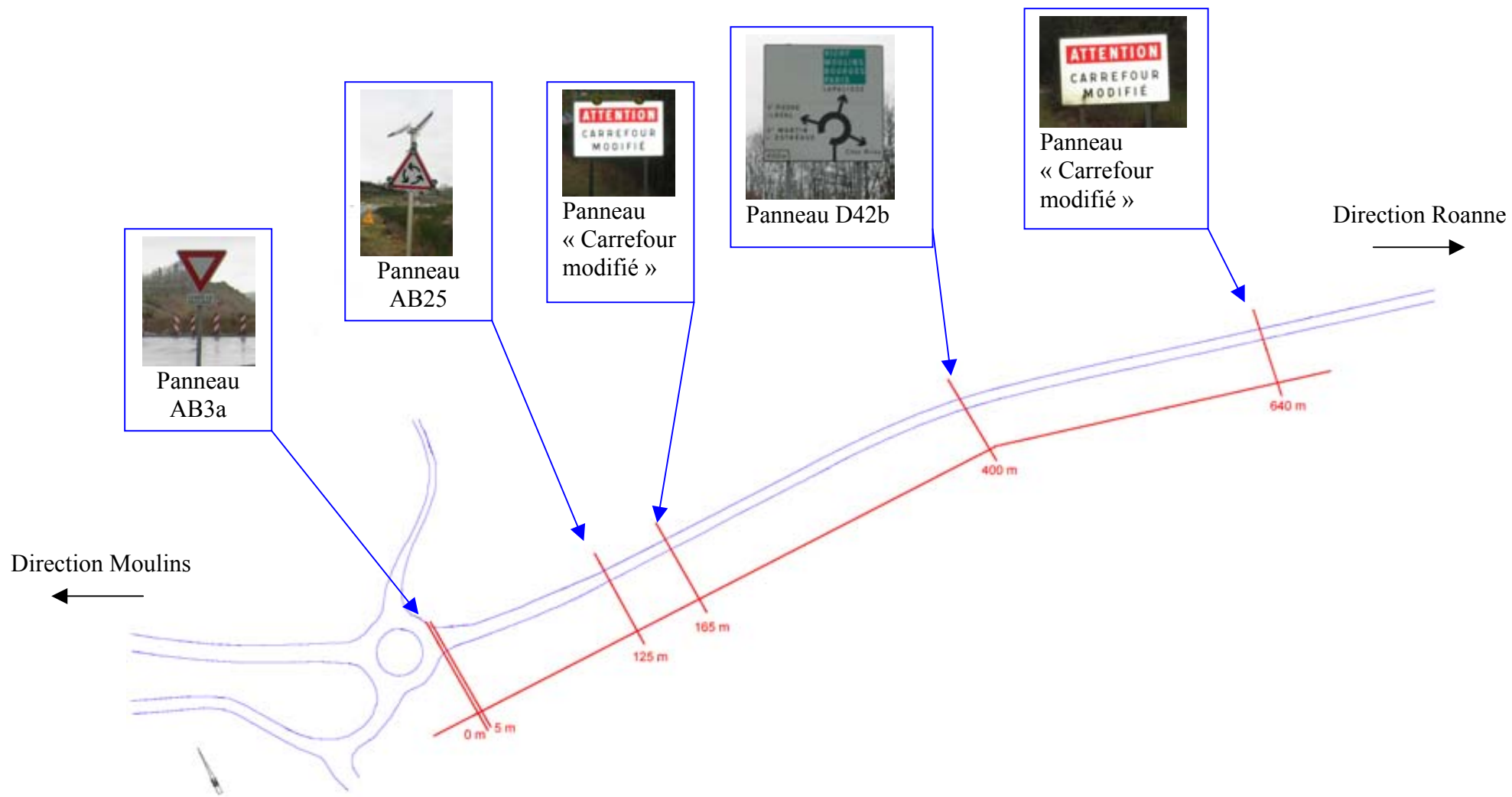
Annexe 2 : Plan de situation

Lieu de l'accident



carte IGN R14

Annexe 3 : Signalisation d'approche du giratoire au moment de l'accident



Annexe 4 : Photographies

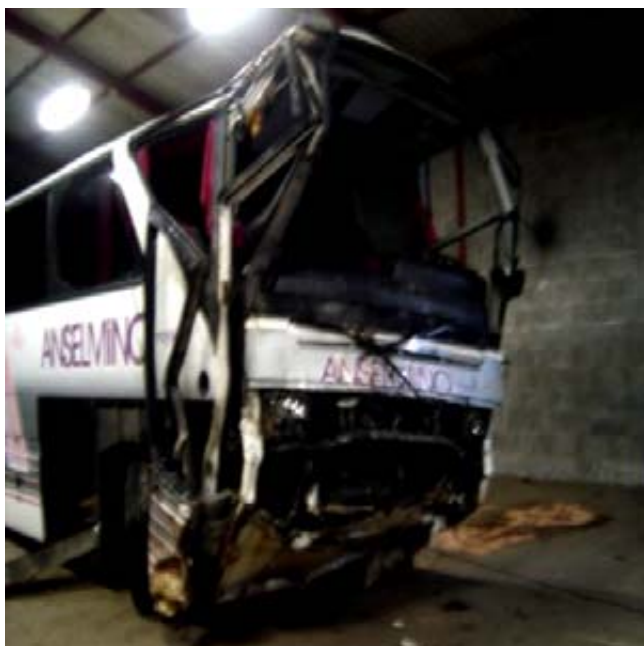
Annexe 4.1 : Signalisation d'approche



Annexe 4.2 : Approche du giratoire



Annexe 4.3 : L'autocar
(photographies DRE Rhône-Alpes)



Vue n°1 : vue avant droit



Vue n°2 : vue de face et côté droit



Vue n°3 : vue générale de l'intérieur



Vue n°4 : siège central de la dernière rangée

A gauche, on distingue nettement la fixation femelle (rouge) et à droite l'absence de la ceinture ou d'autre dispositif de retenue

Annexe 5 : Recommandations à la DDE de la Loire

Annexe 5.1 : Recommandations du BEA-TT



note à l'attention de

Monsieur Olivier FREROT
Directeur départemental de l'équipement
43 avenue de la Libération
BP 509
42007 SAINT-ETIENNE cédex 01

ministère
de l'Équipement
des Transports
de l'Aménagement
du territoire
du Tourisme et
de la Mer



conseil général
des Ponts
et Chaussées

BEA-TT
Bureau d'enquêtes
sur les accidents
de transport terrestre

Le Directeur

Paris, le 16 mars 2005

Objet : giratoire de Saint Martin d'Estréaux sur la RN7

Dans le cadre de l'enquête technique engagée sur l'accident d'autocar survenu le 15 janvier 2005 sur la RN7 au giratoire sud de la déviation de saint Martin d'Estréaux, plusieurs visites sur les lieux ont été effectuées tant par les enquêteurs du BEA-TT que par l'IGR et le CETE ; ces visites ont inclus une reconnaissance nocturne.

Il apparaît que, même si toute la signalisation réglementaire est en place, il conviendrait, par précaution, de renforcer la perception d'approche de ce giratoire compte tenu de l'accident du 15 janvier et des nombreux accidents matériels qui ont été constatés.

Le BEA-TT est donc amené à vous adresser une recommandation d'aménagement de ce giratoire, selon les orientations indiquées dans la note ci-jointe. Les dispositions détaillées sont à définir et à mettre en œuvre par la DDE en liaison avec l'IGR et le CETE.

Les orientations proposées ne concernent que l'approche du giratoire par le sud, mais il conviendrait d'étudier également l'autre sens de circulation, et de veiller à l'homogénéité de perception de l'itinéraire dans son ensemble en effectuant notamment une analyse similaire sur le giratoire nord de la déviation de Saint Martin d'Estréaux.

Comme le prévoit le décret du 26 janvier 2004 instituant le BEA-TT, il vous appartient de me faire connaître dans un délai de 90 jours les suites que vous prévoyez de donner à cette recommandation.

Jean-Gérard KOENIG

Tour Pascal B
92055 La Défense cédex
téléphone :
01 40 81 23 27
télécopie :
07 40 81 21 50
mél : Jean-gerard.koenig
@equipement.gouv.fr

RN7 – Giratoire sud de la déviation de Saint Martin d'Estréaux Recommandations pour renforcer la perception d'approche

Les recommandations portent sur les points suivants :

1 – Signalisation

1a - Position du panneau D42

Le panneau est à repositionner de manière à lui assurer une bonne visibilité de nuit avec des feux de croisement.

1b - Flash

Il convient d'assurer le fonctionnement permanent des flash mis en place (24H/24).

1c - Panneau J5 sur l'îlot d'entrée

La balise J5 doit être rehaussée, la deuxième doit être supprimée

1d - Panneau AB3a d'entrée sur le giratoire

Ce panneau sera dédoublé à gauche sur l'îlot d'entrée.

2 – Ilot central du giratoire

2a - Renforcement de la perception visuelle

Des dispositifs légers visibles (aménagement paysager, piquets blancs, ou éléments de décor) seront implantés sur le terre-plein pour aider à l'identification du giratoire en approche.

2b - Cataphotes

Les cataphotes sur chaussée entourant l'îlot sont à remplacer par des plots sur ou derrière la bordure.

3 – Ilot d'entrée du giratoire

Cet îlot devrait être allongé de 50 à 100m, pour rendre visible le panneau J5 dans l'axe d'approche de la RN7 ; à court terme, une première phase d'aménagement pourrait consister à prolonger l'îlot existant par des balises J11 placées sur la ligne continue.

4 – Bandes rugueuses

Il convient d'étudier la possibilité d'implanter des bandes rugueuses sur la chaussée.

5 – Conditions de mise en œuvre

5a - Mise au point du dispositif

Ces dispositions sont à définir de manière précise en liaison avec le CETE et l'IGR compétents.

5b - Contrôle a posteriori

Après réalisation, un contrôle de la bonne perception du giratoire (de jour et de nuit) sera effectué.

Annexe 5.2 : Réponse de la DDE de la Loire



direction
départementale
de l'Équipement
de la Loire



Direction

Saint Etienne, le 14 AVR. 2005

Le Directeur Départemental de l'Équipement
à
Monsieur Jean-Gérard KOENIG
Conseil Général des Ponts et Chaussées
BEA-TT
Tour Pascal B
92055 LA DEFENSE CEDEX

objet : Giratoire de St Martin d'Estreaux sur la RN 7

référence : Votre note en date du 6 mars 2005

affaire suivie par : Jean-Louis LAZZARESCHI – Subdivision Roanne St Haon
tél. 04.77.67.45.33, fax 04.77.23.92.01
mél. jean.louis.lazzareschi@equipement.gouv.fr

Dans le cadre de l'enquête technique engagée sur l'accident d'autocar de St Martin d'Estreaux, vous nous avez transmis les recommandations éditées par le BEA-TT pour améliorer la perception de ce giratoire.

Après examen par mes services de cette note, en collaboration avec le CETE de Lyon, je peux vous apporter les réponses suivantes :

1 - Signalisation :

1.a : Position du panneau D.42

Une optimisation du positionnement du D.42 sera recherchée sur le terrain de façon à dégager la plus longue distance de visibilité possible surtout de nuit.

Il sera notamment abaissé.

Le CETE recommande de protéger le pied du panneau par des glissières de sécurité, l'emplacement définitif devra tenir compte de la présence du débouché du chemin rural et des longueurs minimales de glissières requises.

43, avenue de la Libération
BP 509
42007 Saint Etienne Cedex 1
téléphone :
04 77 43 80 00
télécopie :
04 77 43 80 06
Direction.DDE-
Loire@equipement.gouv.fr

1.b : Flash

Un système d'alimentation par piles a été mis en place depuis l'accident, il permet d'assurer le fonctionnement permanent de nuit du dispositif.

Nous proposons de conserver les 3 feux sur le triangle même si la réglementation n'en prévoit qu'un jusqu'au remplacement de ces panneaux par des caissons à diodes.

1.c : Panneau J5 sur l'îlot d'entrée

La balise J5 vient d'être remplacée par un dispositif auto-relevable sur pied escamotable et dont la face vue est en aluminium et non plus plastique.

Elle a été remise à l'emplacement de l'existante et surélevée ; son bord inférieur se situe à 80 cm au dessus de la chaussée.

1.d : Panneau AB3a d'entrée sur le giratoire

Ce panneau sera dédoublé à gauche sur l'îlot d'entrée.

2 - Ilot central du giratoire**2.a : Renforcement de la perception visuelle**

Il sera assuré par la mise en place de piquets de bois peints de couleurs vives fluo ou rétro-réfléchissantes posés en retrait du giratoire (environ 2 m) et de façon aléatoire.

2.b - Cataphotes

De nouveaux cataphotes seront posés sur les bordures de l'îlot central, qui seront également peintes en blanc rétro-réfléchissant selon la suggestion du CETE.

Les anciens cataphotes seront laissés en place.

3 - Ilot d'entrée du giratoire

Un prolongement de l'îlot par bordures accolées conduisant à une réduction de la largeur de chaussée, nous proposons d'adopter la solution préconisée par le CETE de Lyon qui consiste à introduire le nez de l'îlot par une file de balises J11 implantées sur la ligne continue centrale et donc la longueur sera appréciée sur le terrain pour être visible de loin (minimum 50 m pour sortir de la courbe).

4 - Bandes rugueuses

Compte tenu de la présence d'une habitation à proximité, la solution des bandes rugueuses sera éventuellement envisagée après évaluation du dispositif décrit ci-dessus.

5 – Conditions de mise en œuvre

Ces propositions ont été élaborées en liaison avec le CETE de Lyon, elles seront soumises à l'I.G.R., la question de l'enlèvement des panneaux « attention carrefour modifié » sera évoquée avec lui.

*

Ces dispositions figurées sur le plan ci-joint seront répétées (avec des adaptations éventuelles) sur les 4 entrées des deux giratoires de la déviation de St Martin d'Estreaux.

Le Directeur Départemental de l'Équipement,


Pour le Directeur
Le Directeur Adjoint
Patrick BOURVEN

**Enquête technique et dynamique
de l'accident d'autocar de
Saint Martin d'Estreaux**

Avril 2005

Antenne de Picardie du CEESAR

Enquête technique et dynamique de l'accident d'autocar de Saint Martin d'Estreaux

SOMMAIRE

1	Introduction	41
2	Etude sur la visibilité et sur la lisibilité du carrefour giratoire, de nuit et à partir de la position d'un chauffeur d'autocar. Analyse de la perception de ce carrefour et de la sortie de cet ouvrage d'art.	41
3	Analyse des vingt dernières minutes de l'autocar sur le disque chronotachygraphe du car accidenté en fonction du tracé et des dénivelés de la route empruntée durant ce laps de temps.	51
4	Mise en évidence des mécanismes lésionnels à partir du bilan médical des impliqués et de la place de chacun dans l'autocar au moment des faits.	52
5	Examen des déformations de structures de l'autocar accidenté.	55
6	Simulation numérique de l'accident de Saint-Martin d'Estreaux	57
6.1	Description de l'accident :	59
6.2.1	Estimation de la vitesse d'impact à partir des équations :	65
6.2.2	Application	69
6.2.3	Estimation de la vitesse initiale : analyse détaillée de la phase de pré-collision.	75
6.3	Validation du scénario par simulation numérique	79
6.3.1	Simulation numérique du scénario	79
6.4	Discussion	79
7	Conclusion	80
	Bibliographie	82
	ANNEXE 1	83

Enquête technique et dynamique de l'accident d'autocar de Saint Martin d'Estreaux

1 Introduction

Cette étude est l'enquête technique et dynamique de l'accident d'autocar de Saint Martin d'Estreaux réalisée par l'antenne de Picardie du C.E.E.S.A.R. pour Monsieur J.G. KOENIG du B.E.A.T.T.

Cet accident corporel d'autocar est survenu de nuit le samedi 15 janvier 2005 à 2h du matin sur la route national 7 au lieu dit « La Loire » situé près de la commune de Saint Martin d'Estreaux dans le département de la Loire.

L'autocar accidenté est un véhicule de marque MERCEDES-BENZ, de type O 350. C'est un véhicule standard à deux essieux, comportant 55 places assises sur un seul niveau et une longueur de 12 m. Au moment des faits, il y avait 52 impliqués dans le transport en commun de personnes dont 7 adultes et 45 enfants.

L'accident survient de nuit sur un carrefour giratoire. Après avoir mordu le terre-plein central du giratoire, l'autocar percute les glissières de sécurité et tombe en contre bas, pour enfin s'immobiliser sur le côté droit. Le choc principal est un choc frontal au fond du ravin.

2 Etude sur la visibilité et sur la lisibilité du carrefour giratoire, de nuit et à partir de la position d'un chauffeur d'autocar. Analyse de la perception de ce carrefour et de la sortie de cet ouvrage d'art.

Cette étude a été menée en deux temps. Premièrement, une analyse de la lisibilité de ce carrefour giratoire a été réalisée de jour et en adéquation avec le sens de progression du car la nuit de l'accident. Deuxièmement, une seconde analyse de la lisibilité de ce giratoire a été faite de nuit et à bord d'un autocar strictement identique au véhicule accidenté.

L'étude réalisée de jour a été faite à pied en parcourant les 700 mètres avant le point zéro situé à l'entrée du carrefour giratoire. Une série de photographies a été prise à partir de sept points définis par le tracé en plan de l'infrastructure mais aussi en fonction du profil en long de la route. Le point P0 étant juste à l'entrée du carrefour giratoire, le point P7 sera le point le plus éloigné de ce rond point.



Figure n°1 : Première vue à 700 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Sur cette première photo, nous constatons que nous sommes en présence d'une route nationale la RN 7, à deux voies de circulation en sens alternés. Nous sommes dans une montée et nous pouvons apercevoir le haut de côte sur l'horizon de cette photo. A 700 mètres de l'entrée du carrefour giratoire il est tout à fait impossible de voir ce carrefour du fait d'une part du sommet de côte mais aussi du tracé de la route qui tourne à gauche juste après le haut de côte.



Figure n°2 : Seconde vue à 679 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Sur cette seconde photo, nous nous situons au point numéro sept donc à 679 mètres de l'entrée du giratoire. Nous sommes à la hauteur du premier panneau de pré signalisation de cet ouvrage d'art. Ce panneau situé très près de la chaussée signale la présence d'un carrefour modifié et souligne en rouge le danger potentiel. Au point P7 nous sommes toujours en ligne droite et en montée, et il est toujours impossible de voir le carrefour giratoire compte tenu du tracé en plan et du profil en long de cette portion de route.



Figure n° 3 : Troisième vue à 430 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Sur cette troisième photo nous nous situons au point numéro six et à 430 mètres de l'entrée du carrefour giratoire. Nous sommes toujours en montée et en ligne droite, par contre on visualise parfaitement la courbe à gauche et le haut de côte. De ce point et à 430 mètres de l'entrée du carrefour il est toujours impossible de voir cet ouvrage routier. Ce panneau de type D42b, donne l'information sur la présence d'un giratoire à 400 mètres. Cette signalisation est la seconde dans le sens de circulation du car qui informe sur la présence d'un carrefour giratoire.



Figure n°4 : Quatrième vue à 336 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Nous sommes maintenant au point numéro cinq et à 336 mètres de l'entrée du carrefour giratoire. Nous sommes au sommet de côte et en sortie de la courbe à gauche et nous découvrons la ligne droite qui descend vers le carrefour giratoire. Pour la première fois il est possible d'apercevoir le terre plein central du giratoire mais nous ne pouvons pas voir l'entrée de ce giratoire ce qui empêche une bonne compréhension et une juste lecture de l'infrastructure qui nous précède. A ce niveau et si près de cet ouvrage routier il est encore difficile de comprendre que nous allons arriver sur un carrefour giratoire. La raison principale qui empêche de voir correctement ce carrefour est le fait qu'il existe une courbe à droite en bas de cette petite descente permettant le raccordement au carrefour giratoire.



Figure n°5 : Cinquième vue à 286 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Nous sommes dans la descente vers l'entrée du carrefour giratoire à 286 mètres de cet ouvrage routier, et il est encore difficile d'affirmer la présence d'un giratoire dont nous ne pouvons pas voir l'entrée. Par contre il est maintenant possible de voir la partie gauche de l'anneau du carrefour giratoire. A cette très courte distance la lecture de l'infrastructure reste incertaine.



Figure n°6 : Sixième vue à 176 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Nous sommes tout près de l'entrée du carrefour à 176 mètres de l'ouvrage routier et pour la première fois il est enfin possible d'avoir une vue générale sur cette infrastructure. Nous sommes au point numéro trois et à la hauteur du troisième panneau de pré signalisation de ce carrefour. Même si l'entrée et la sortie ne sont toujours pas visibles, il est maintenant possible de jour de comprendre le type d'infrastructure sur laquelle le conducteur va pénétrer.



Figure n°7 : Septième vue à 129 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

A la hauteur du point numéro deux et à 129 mètres de l'entrée du carrefour giratoire, nous sommes en présence du quatrième et dernier panneau de pré signalisation de type ab 25, de ce carrefour.

Il est maintenant possible d'analyser correctement la nature de l'infrastructure immédiate en découvrant la courbe à droite et l'entrée sur le carrefour giratoire. La raison d'être de cette courbe est de réduire les vitesses à l'entrée du carrefour.



Figure n°8 : Huitième vue à 106 mètres de l'entrée du carrefour giratoire.

Nous sommes à la hauteur du point numéro un, à 106 mètres de l'entrée du carrefour giratoire et au début de la courbe à droite qui permet l'insertion sur le giratoire. Concernant l'expérimentation de nuit, et si nous faisons abstraction des quatre panneaux de prés signalisation du carrefour, ce n'est que à cet endroit que l'on peut voir directement la présence d'un carrefour giratoire.

Concernant la lisibilité globale de ce carrefour giratoire et toujours sans prendre en compte les panneaux de signalisation de cet ouvrage routier, il existe une difficulté pour prendre conscience de la présence de ce giratoire. De jour, il faut attendre d'être à 176 mètres pour pouvoir voir correctement et comprendre la nature exacte de cette infrastructure. De nuit la difficulté est encore plus grande car il faut attendre d'être à 106 mètres de l'entrée du carrefour giratoire pour analyser correctement l'infrastructure, ce qui laisse environ 4,5 secondes au chauffeur de l'autocar pour réagir si il circule à une vitesse de 70 km / h.

Reste les quatre panneaux de prés signalisation de ce giratoire. Même avec un peu de brouillard, il semble incompréhensible de ne voir aucun de ces panneaux implantés près de la limite de la chaussée.

La difficulté de lisibilité de ce carrefour giratoire est liée à un ensemble de facteurs que nous listons maintenant :

- Ce giratoire est implanté à proximité d'une courbe à gauche située à 336 mètres de l'entrée de cet ouvrage routier, interdisant la vision directe sur ce giratoire en amont de ce point.
- Cette courbe à gauche est située elle-même sur un sommet de cote qui est de fait une seconde raison qui empêche la vision directe sur ce carrefour.
- L'implantation de ce carrefour est réalisé en bas d'une descente en ligne droite, mais il existe une courbe à droite juste avant l'entrée du giratoire qui permet la connexion sur cet ouvrage routier mais interdit une lecture directe de l'infrastructure.
- De ce fait, l'entrée du carrefour giratoire est invisible de loin et ne permet pas une bonne compréhension de cette infrastructure. De jour il faut attendre de se situer à 176 mètres de l'entrée du giratoire pour bien analyser la route qui nous précède.
- Seul le terre-plein central est visible de loin, alors que l'anneau constitué par la route sur ce giratoire n'est visible que de très près.

Compte tenu de l'ensemble de ces facteurs, la bonne analyse de cette portion de route est complexe et difficile. La découverte de la présence d'un carrefour giratoire se fait beaucoup trop tard ce qui explique la présence de quatre panneaux de prés signalisation de cet ouvrage routier. A cette difficulté de lecture de l'infrastructure vient s'ajouter deux autres facteurs lors de la survenue de l'accident : la nuit et la présence de brouillard.

Concernant l'approche de ce carrefour giratoire effectué de nuit à bord d'un autocar strictement identique au véhicule accidenté nous avons remarqué deux informations principales :

- De nuit et alors que l'autocar circulait avec ses codes allumés, les quatre panneaux de prés signalisation du carrefour giratoire étaient bien visibles et il était facile de lire ces différents panneaux.
- De nuit nous n'avons pu percevoir correctement ce carrefour giratoire que lorsque nous étions à 106 mètres de l'entrée de ce carrefour.

3 Analyse des vingt dernières minutes de l'autocar sur le disque chronotachygraphe du car accidenté en fonction du tracé et des dénivelés de la route empruntée durant ce laps de temps.

L'analyse du disque chronotachygraphe sur les vingt dernières minutes a été réalisée dans le but unique d'évaluer l'état de vigilance du chauffeur de l'autocar au moment de la survenue de l'accident. Compte tenu de l'heure à laquelle s'est déroulé cet accident, 02 heures du matin, nous sommes en droit de penser à une éventuelle hypovigilance de la part du chauffeur du transport en commun de personnes. Pour rechercher l'état de vigilance du chauffeur nous avons choisi de comparer l'enregistrement des vingt dernières minutes sur le disque du car accidenté avec un autre enregistrement réalisé de nuit, en notre présence, sur exactement le même trajet et à bord d'un autocar strictement identique au véhicule accidenté.

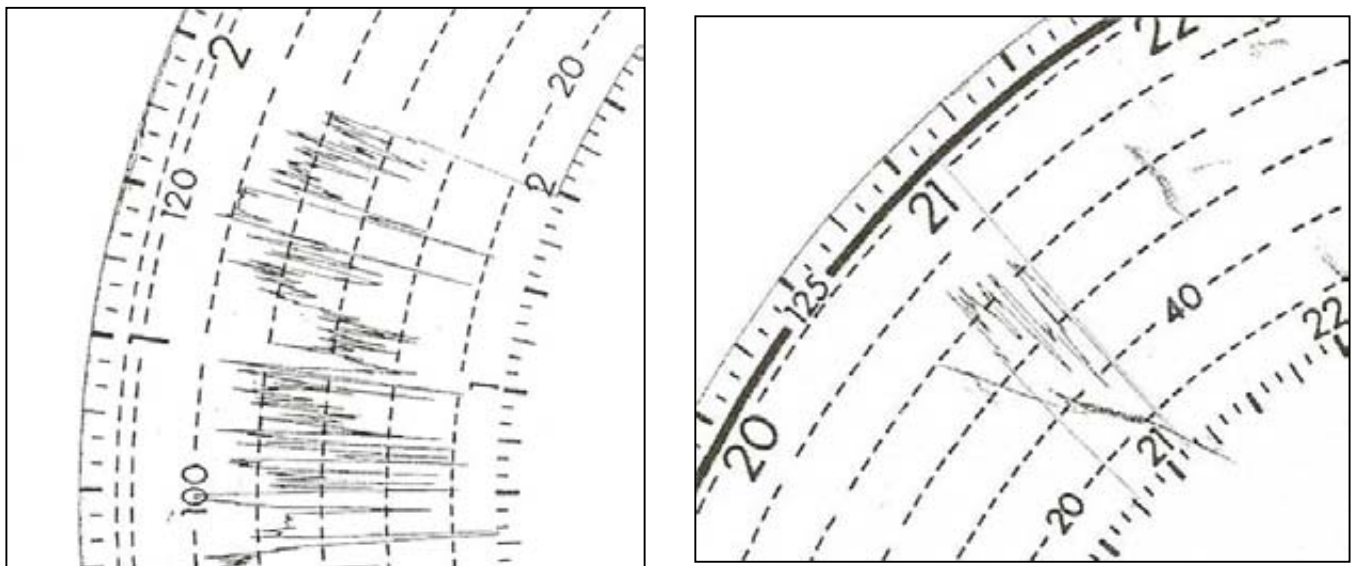


Figure n° 9 : Disque du car accidenté (à gauche) et du car témoin (à droite)

L'analyse comparative des deux enregistrements sur les vingt dernières minutes avant l'accident ne fait pas apparaître de différence significative sur les deux disques. De fait les deux enregistrements sont tout à fait superposables et cela pour l'ensemble du temps imparti.

Nous savons que le disque témoin a été enregistré par une personne ne présentant aucun trouble de la vigilance, le tracé du disque du car accidenté étant identique à celui du témoin, nous pouvons en conclure que la conduite du chauffeur de l'autocar accidenté sur

le parcours précédent immédiatement le site de cet accident ne révèle aucun signe apparent d'hypovigilance.

4 Mise en évidence des mécanismes lésionnels à partir du bilan médical des impliqués et de la place de chacun dans l'autocar au moment des faits.

Au moment de la survenue de cet accident, il y avait 52 occupants dans l'autocar. La population transportée était composée d'enfants de 11 à 14 ans, encadrés par des adultes. Ces 52 impliqués se répartissent en :

- 2 chauffeurs
- 5 adultes accompagnateurs
- 45 enfants

Nous avons retrouvé la place exacte occupée dans l'autocar lors de l'accident pour 47 des 52 impliqués. Il faut rappeler que ce car n'était pas équipé de ceintures de sécurité sauf aux 7 places sans banquette juste devant ces sièges. Cela correspond aux 4 places à l'avant du car, aux 2 places devant la montée de la porte latérale droite et à la place centrale de la dernière rangée du véhicule. Pour ces 7 places équipées de ceintures de sécurité, il est certain que la plus part n'étaient pas portées.

Le bilan médical pour ces 52 impliqués a été réalisé sur la base de « THE ABBREVIATED INJURY SCALE » dernière version. Il s'agit d'un système international de codage des lésions utilisé par une grande majorité des laboratoires d'accidentologie dans le monde entier. Ce codage est basé sur une échelle de 0 à 6, et la gravité globale pour un impliqué en accident de la route s'exprime par le sigle M ais plus un chiffre de 0 à 6 (le M pour ais maximum). Nous vous donnons la signification pour chaque degré de cette échelle.

- M ais 1 lésions mineures
- M ais 2 lésions modérées
- M ais 3 lésions sérieuses
- M ais 4 lésions sévères
- M ais 5 lésions critiques
- M ais 6 lésions fatales

Nous présentons maintenant la correspondance entre le degré des lésions et les notions de blessés légers et de blessés graves.

- Indemne M ais 0
- Blessés légers M ais 1 et 2

- Blessés graves M ais 3,4 et 5
- Tués M ais 6
-

Sur la plan d'occupation du car au moment des faits présenté sur la page suivante, nous retrouvons le schéma de l'implantation des banquettes du car accidenté. Ce véhicule présente un ensemble de 55 places y compris le siège conducteur et le siège hôtesse, ce dernier n'étant pas occupé. Nous retrouvons 14 rangées de banquettes à deux places pour le coté gauche de l'autocar et 12 rangées de banquettes à deux places du coté droit de ce transport en commun de personnes. La dernière rangée numéro 14 possédant une place centrale qui n'existe pas pour les 13 autres rangées. Dans deux cas, rangée 1 et 8 du coté gauche, un adulte était allongé sur les deux places de la banquette.

Pour bien comprendre le plan d'occupation de l'autocar vous retrouverez pour chaque impliqué et dans l'ordre :

- Le numéro de la place de chaque occupant
- Le sexe de chacun
- L'âge de chacun
- La gravité globale médicale pour chaque impliqué.

Le bilan médical global et définitif est le suivant :

- 2 indemnes
- 42 blessés légers
- 8 blessés graves

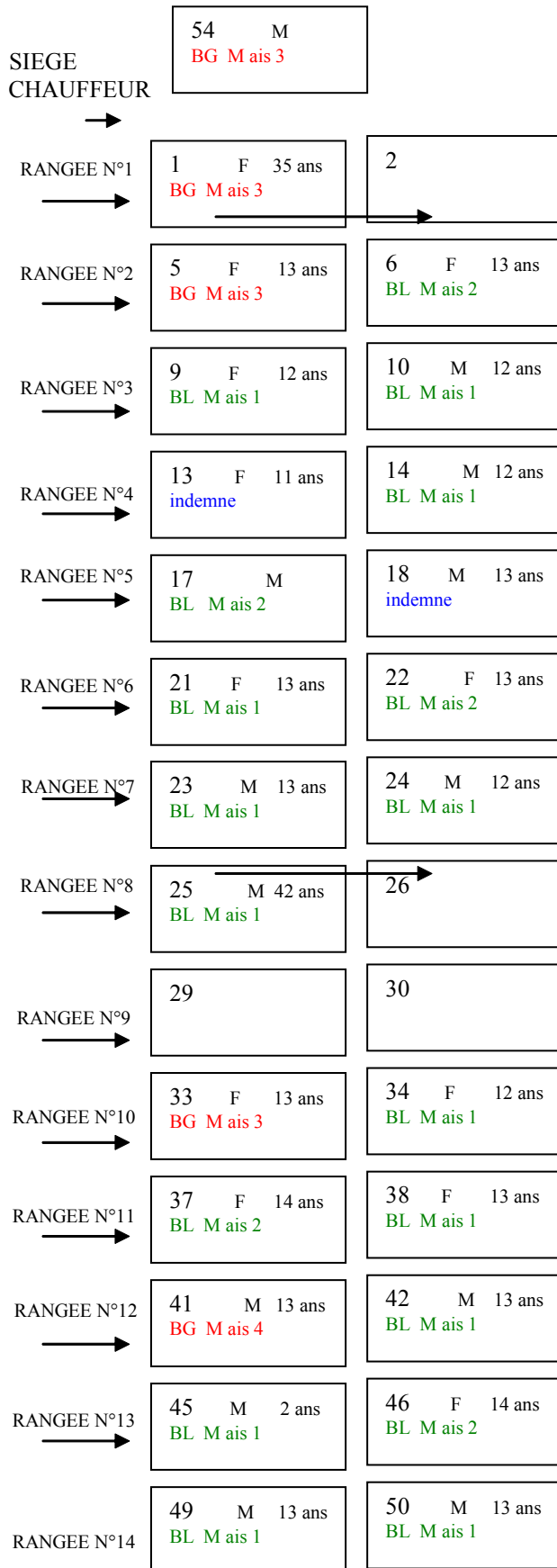
Pour l'ensemble des impliqués la direction de choc lors de l'impact frontal du car au fond du ravin qui est le choc principal pour ce véhicule à l'origine des lésions des occupants, était à 13 heures. Le mécanisme lésionnel dans ce cas est unique et identique pour les 52 impliqués du car, il s'agit de PROJECTION à l'intérieur de l'habitacle de cet autocar. La projection des impliqués vers l'avant droit du car se caractérise par la déformation des $\frac{3}{4}$ des dossiers de banquettes projetés vers l'avant et la rupture totale d'une majorité des mécanismes d'inclinaison des dossiers des banquettes.

Le mécanisme lésionnel principal et unique pour les occupants de ce car accidenté étant la projection à l'intérieur de l'habitacle, le port correct de ceintures de sécurité à toutes les places aurait très certainement réduit considérablement le bilan médical global pour les impliqués de ce cas.

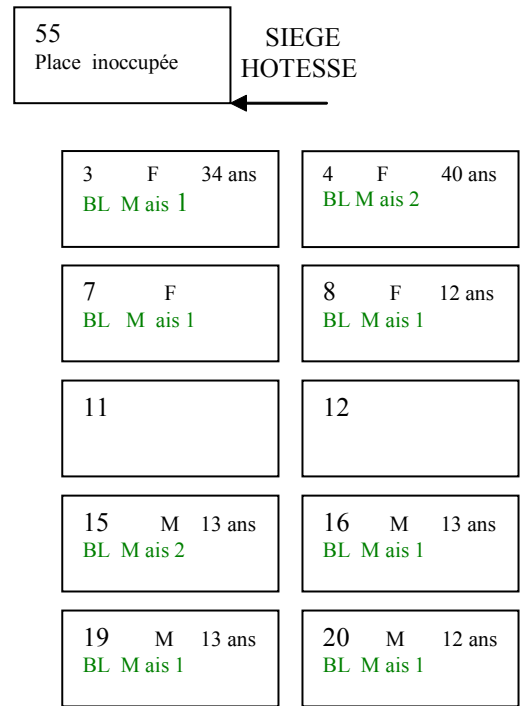
GAUCHE

AVANT

DROITE



PORTE AVANT DROITE

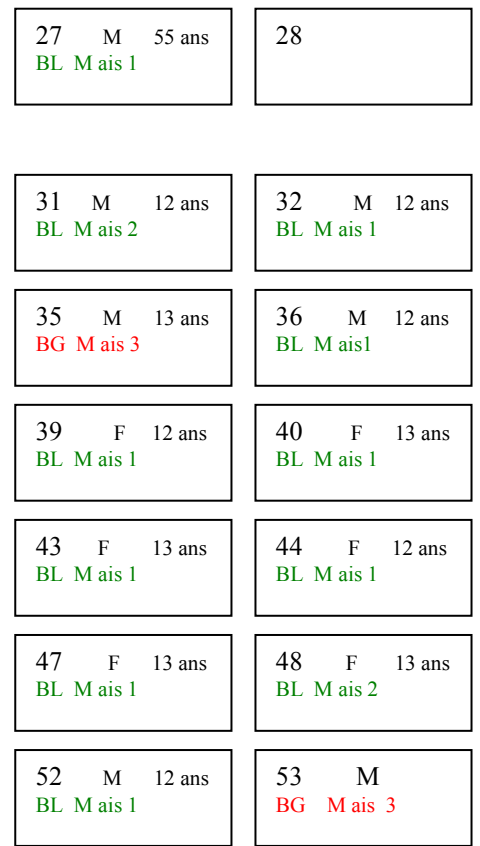


A
L
L
E

C
E
N
T
R
A
L
E

TOILETTE

PORTE LATERALE DROITE



GAUCHE

ARRIERE

DROITE

5 Examen des déformations de structures de l'autocar accidenté.

Les seules déformations de structures que présente cet autocar sont celles qui sont consécutives au choc principal qui est le choc frontal lors de l'impact au fond du ravin. Bien que ce véhicule se soit ensuite renversé sur sa face latérale droite, ce renversement n'a pas engendré de déformations de structures. Nous allons donc décrire et caractériser les déformations de la face avant de cet autocar.



Figure n°10 : Vue de la face avant et du côté droit de l'autocar accidenté.

Sur cette première photo du véhicule, nous pouvons constater qu'il n'existe pas de déformation de structure sur la face latérale droite du car et que les principales déformations se situent sur la face avant du car et en partie basse.

L'autocar est un véhicule de marque Mercedes Benz de type O 350 Turismo immatriculé en France. Son poids à vide est de 13 t 140 et son poids total en charge est de 18 t 000. C'est un véhicule de 12 mètres de long sur 2 m 50 de large et d'une hauteur de 3 m 20.

Le choc principal est un choc frontal avec un recouvrement de toute la face avant mais avec un angle de environ 15° et les déformations les plus importantes se situent en partie basse de l'avant avec un enfoncement plus important du côté droit. Cette déformation de la face avant a entraîné un recul de la structure d'avant vers l'arrière mais aussi une déformation de la partie avant du pavillon vers le haut.



Figure n°11 : Photo de la partie basse de la face avant du car accidenté.

Sur cette seconde photo nous voyons très bien les principales déformations de structures de ce car sur l'ensemble de la face avant. L'enfoncement maximum au niveau du bas de caisse et à l'avant droit est de 115 centimètres.

Il existe aussi un recul important du pied avant droit du car de 85 centimètres. L'intrusion dans le véhicule intéresse uniquement l'espace du siège hôteesse qui heureusement n'était pas occupé lors de la survenue de l'accident. Il n'existe pas d'intrusion ni à l'avant gauche sur la place du chauffeur, ni à l'avant droit sur la première banquette passagers.



Figure n°12 : Photo de profil droit de l'avant du car accidenté.

6 Simulation numérique de l'accident de Saint-Martin d'Estreaux

L'objectif de cette partie de l'étude est de comprendre, analyser, et définir le scénario le plus probable des différents événements survenus dans le déroulement de cet accident par le biais d'une simulation numérique. La tâche à accomplir est de reproduire numériquement la cinématique de l'autocar lors des différents impacts rencontrés. La simulation numérique se fera via le logiciel PC CRASH¹, logiciel particulièrement bien adapté pour la simulation numérique. Ce logiciel est construit sur la base des équations de la mécanique, en particulier celles du principe fondamental de la dynamique et intègre également les outils numériques développés en mathématique permettant le calcul cinématique après impact de chaque véhicule impliqué. Il offre également la possibilité d'estimer les différentes valeurs physiques liées aux phases rencontrées au cours de cet accident. Sa puissance repose dans sa capacité à utiliser simultanément plusieurs modèles de calcul. Largement reconnu comme étant un logiciel fiable et performant dans le monde entier, PC CRASH s'avère être un excellent outil d'analyse d'accident et ce pour tous types d'impliqués (voitures, autocars, camions, 2 roues, ou encore piéton). Son utilisation nécessite de bonnes connaissances dans différents domaines tel que la physique, les mathématiques, le crash et surtout l'accidentologie.

Par ailleurs, le logiciel spécialement conçu pour le traitement des chocs, va également nous permettre de confronter les différentes hypothèses concernant les mouvements du véhicule en approche de l'accident.

Afin d'asseoir la cohérence des résultats obtenus par les différents calculs avec les données réelles de l'accident contenues dans le procès verbal et dans l'analyse technique réalisée par les deux investigateurs du CEESAR, l'utilisation du programme de simulation PC CRASH sera donc ici particulièrement motivée et justifiée. Il faut vérifier que les vitesses avant et après impact estimés par le calcul pour chaque collision correspondent bien aux énergies nécessaires et suffisantes mises en jeu dans cette cinématique.

La cinématique de l'accident est constituée d'événements successifs issus de l'étude approfondie du procès verbal, ainsi que de l'analyse des déformations de l'autocar et de l'infrastructure. Il convient de mentionner ici que chacun de ces événements est entouré d'incertitudes. La cinématique de l'autocar est de ce fait très complexe : elle doit être vérifiée et confirmée par les lois de la mécanique d'une part et par une simulation numérique d'autre part. Dans cet accident, l'autocar doit en l'occurrence rentrer dans le giratoire, traverser celui-ci en montant sur l'anneau, venir percuter la glissière de sécurité et le sol en contrebas de sa face avant puis finalement se coucher sur son flanc droit dans le ravin.

¹ Il s'agit de la version 7.1 du logiciel développé par le docteur Hermann Steffan et Andreas Moser

Si notre ensemble est cohérent, nous pourrions considérer que la vitesse initiale² et la vitesse à l'impact sont validées, chose qui ne pourra se faire qu'à travers une reconstruction numérique de l'accident qui constitue l'objectif de cette simulation par le calcul.

Avant d'aller plus loin dans cette partie, il paraît nécessaire d'expliquer en quoi la simulation numérique permet de représenter physiquement l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans l'accident.

Premièrement, il faut préciser que l'autocar utilisé pour la simulation numérique n'est qu'un objet purement décoratif destiné à produire quelque chose d'esthétiquement « correct » en terme d'illustration, comme on peut le voir parfois dans des présentations ou animations visuelles réalisées par les experts. Notre véhicule sera tout autre, il sera issu de la base de données véhicules PC CRASH, et possédera l'ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques qui lui sont propres. Nous affinerons ensuite ses caractéristiques avec la fiche technique du véhicule, le logiciel permettant, en effet de paramétrer de nombreuses caractéristiques telles que les dimensions et formes géométriques, la taille et le type de pneu, la hauteur et le centre de gravité, la répartition des masses par essieu, mais aussi la présence d'équipement de sécurité active tels que l'ABS³ ou l'ESP⁴. En définitif, le véhicule résultant possédera l'ensemble des caractéristiques dynamiques du « vrai » véhicule, qui sont susceptibles de jouer un rôle dans la cinématique de l'accident.

Dans notre cas présent, le véhicule heurte une glissière de sécurité et vient s'écraser en contrebas, avant de se coucher sur son flanc droit. Il est donc aisé de comprendre que dans ce genre de simulation, le véhicule ne peut pas être un corps inerte standard. Il doit se comporter comme le véhicule qu'il représente. Pour cela, il en a "hérité" les paramètres essentiels qui lui assureront un comportement dynamique correct dans l'ensemble des trajectoires qu'il empruntera au cours de cet accident.

² La vitesse initiale est une approximation de la vitesse de circulation pratiquée par le conducteur avant le déclenchement de la situation d'accident.

³ ABS : Anti Blocking System. Il s'agit d'un système électronique qui a pour fonction d'empêcher les roues de se bloquer lors d'un freinage.

⁴ ESP : Electronic Stability Program. Il s'agit d'un système électronique qui permet de stabiliser le véhicule dans toutes les conditions dynamiques rencontrées.

6.1 Description de l'accident :

Seront pris en compte dans la simulation, les 3 éléments suivants :

- L'autocar MERCEDES
- L'infrastructure (route + giratoire + ravin, avec leurs profils en 3D)
- La glissière de sécurité

Ces 3 éléments jouant un rôle prépondérant dans l'accident, nous allons les présenter et montrer les conditions qu'ils doivent satisfaire.

6.1.1 L'autocar MERCEDES :

Dans la base de données autocars relative au logiciel PC CRASH, nous avons sélectionné le véhicule de marque : Mercedes-Benz et de modèle : O 350 Turismo dont les caractéristiques sont les suivantes :

Caractéristiques	Valeur
Marque	MERCEDES-BENZ
Modèle	O 350 Turismo D2
Longueur	11.98 m
Largeur	2.5 m
Hauteur	3.64 m
Nombre d'essieux	2
Porte à faux avant	2.595 m
Porte à faux arrière	3.135 m
Empattement	6.25 m
Poids à vide	13140 kg
Chargement	2325 kg
Voie n°1	2.055 m
Voie n°2	1.820 m
Hauteur Centre de Gravité (CG)	1.2 m
Distance Essieu n°1-CG	4.16 m
Pneumatiques	295 / 80 R 22.5
Equipement particulier	A.B.R. ⁵

6.1.2 L'infrastructure :

L'infrastructure modélisée ici reprend toutes les caractéristiques géométriques de la route nationale en amont et dans un voisinage de l'accident. Elle comprend 3 parties importantes :

- ❖ La portion de route allant vers le giratoire
- ❖ Le giratoire
- ❖ Et enfin le ravin qui borde le giratoire, jonction d'un remblai et d'un terrain naturel

Nous disposons de fichiers statistiques des services techniques du Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de Mer

⁵ L'A.B.R. désigne le système d'Anti Blocage des Roues, il s'agit d'un A.B.S.

qui fournissent les pentes, les dévers, les rayons de courbures et le coefficient d'adhérence.

L'élément essentiel qu'il faut reproduire en 3 dimensions est le ravin, notamment son profil de façon à pouvoir garantir la justesse de la cinématique de l'autocar après la collision de celui-ci avec la glissière de sécurité bordant le giratoire. Il est constitué d'une pente de 63.5 % sur une longueur de 15 m.

La route en amont du giratoire est modélisée à partir des caractéristiques suivantes :

Élément	Valeur
Largeur de la chaussée	7.6 m
Nombre total de voies	2
Dont circulation	2
Largeur des voies	3.5 m
Sur-largeur à gauche	0.3 m
Sur-largeur à droite	0.3
Dévers	-1.5 % de chaque côté
Profil en long	Descente à 2 %
Tracé en plan	Courbe à droite
Rayon de courbure moyen	224 m sur 85 m
Rayon de courbure mini	44 m

En ce qui concerne le giratoire, voici les caractéristiques utilisées pour le modéliser :

Élément	Valeur	Désignation sur la figure
Rayon de l'anneau	16 m	1
Largeur de la chaussée annulaire	8.5 m	2
Largeur de la voie d'entrée	4 m	3
Largeur trottoir	1.25	4
Dévers de la chaussée annulaire	2 %	
Pente de l'anneau	16 %	

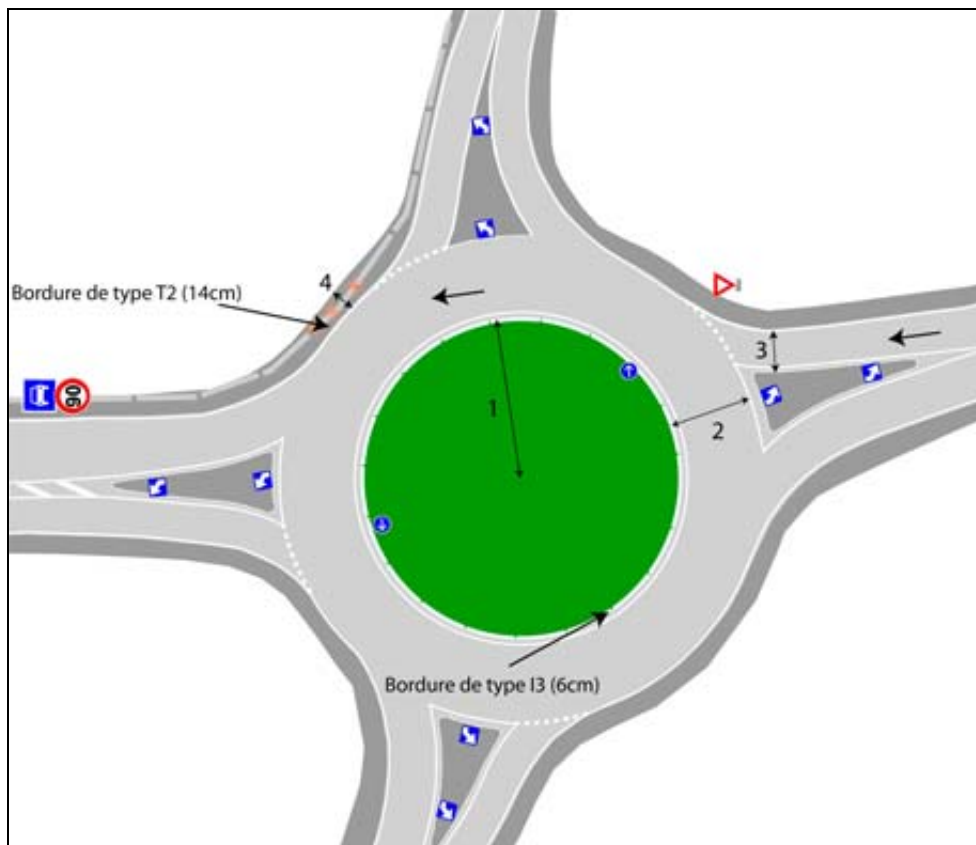


Figure n°13 : Caractéristiques géométriques du giratoire

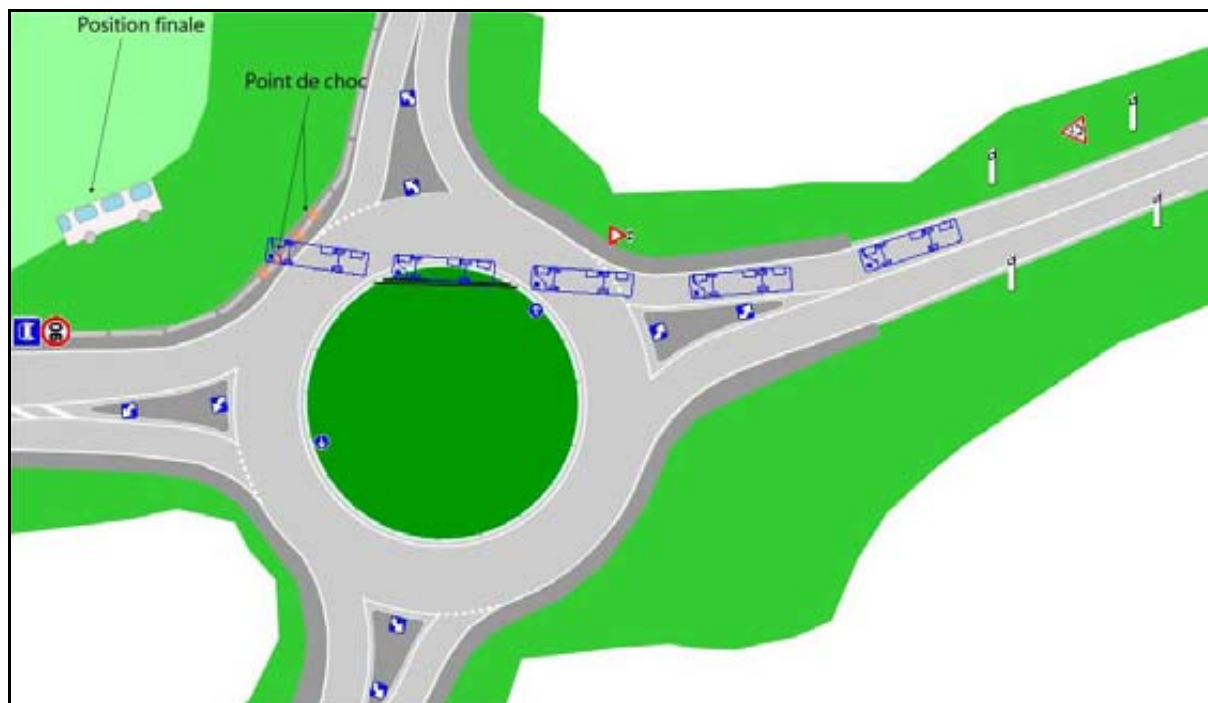


Figure n°14 : Plan de l'accident et localisation du point de choc

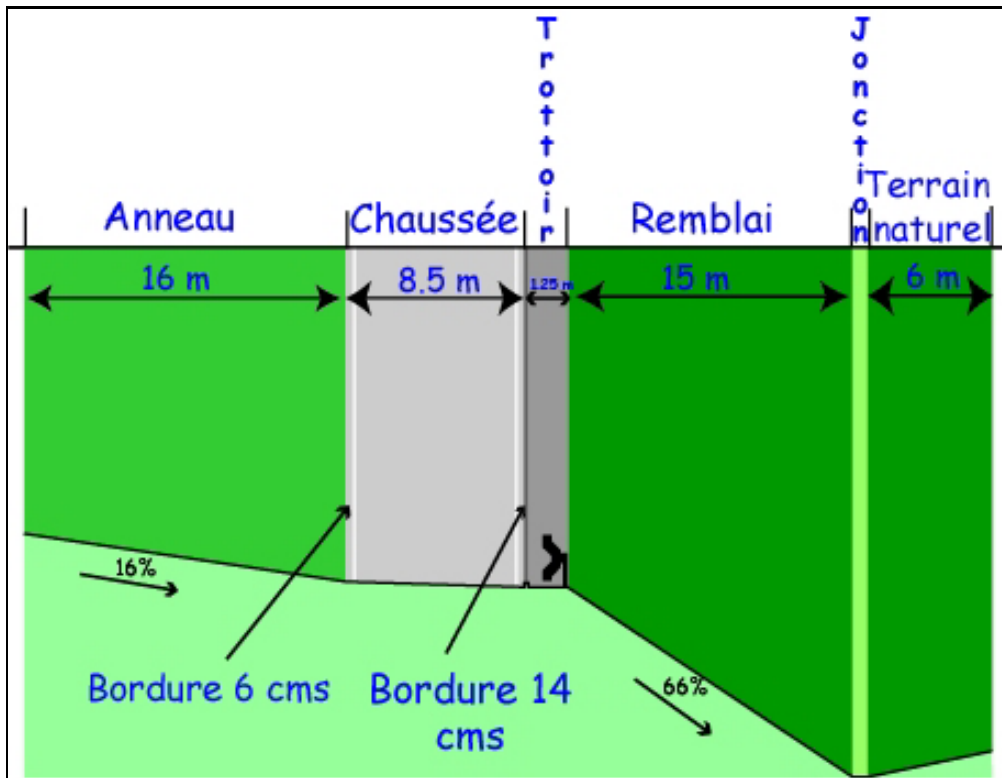


Figure n° 15 : Profil en travers du giratoire et du ravin schématisé

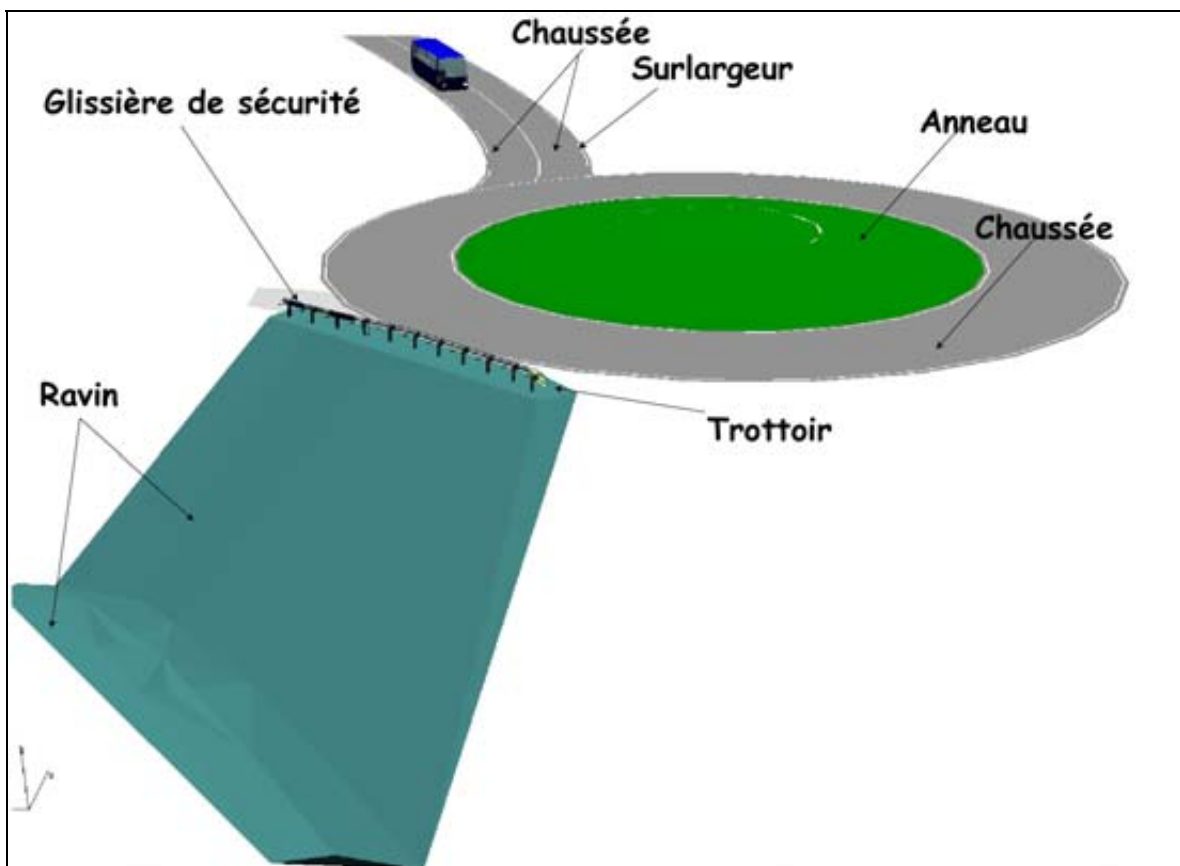


Figure n° 16 : Vue n°1 de l'infrastructure 3D modélisée sous PC Crash

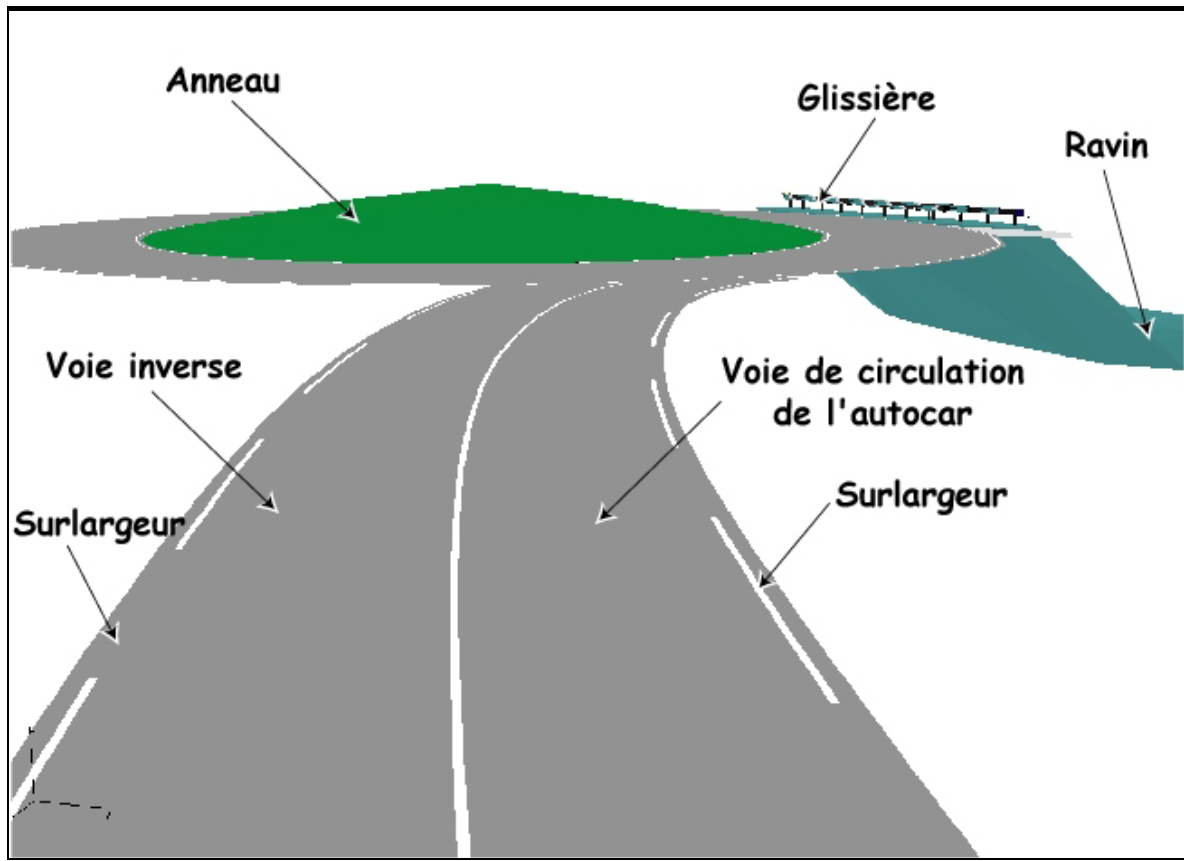


Figure n° 17 : Vue n°2 de l'infrastructure 3D modélisée sous PC-Crash

6.1.3 La glissière de sécurité :

Sur la version 7.1 du logiciel PC CRASH, nous avons la possibilité d'insérer des éléments de sécurité tels que des murets ou encore des glissières métalliques. Comme les véhicules, ces éléments « héritent » des caractéristiques qui leur sont propres et sont considérés dans la simulation, non pas comme des éléments décoratifs, mais au contraire, comme des éléments à part entière. L'insertion de tels éléments permet d'avoir des précisions supplémentaires en terme de traitement de choc et demeure très réaliste.

Cependant, dans certains typologie de chocs, elles n'offrent que peu ou pas du tout d'intérêts, c'est pourquoi il faut donc se garder de bien maîtriser les éléments que l'on souhaite modéliser dans les simulations 3D et ne jamais innover de manière inefficace.

Il reste que l'utilisation de ces éléments est d'autant plus complexe que la portion à insérer est grande. En effet, chaque élément d'une glissière que l'on veut modéliser dans le logiciel a une longueur de 1,9m. Ainsi, la modélisation d'une glissière de longueur 60 m nécessitera l'introduction d'une trentaine d'éléments et le même nombre de liaisons pour les raccorder entre eux.

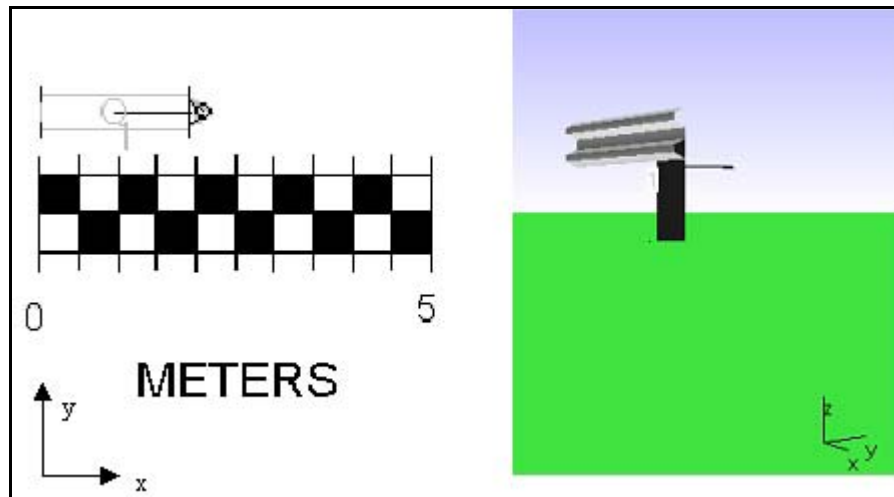


Figure n°18 : Modélisation d'un élément de glissière métallique sous PC CRASH (version 7.1)

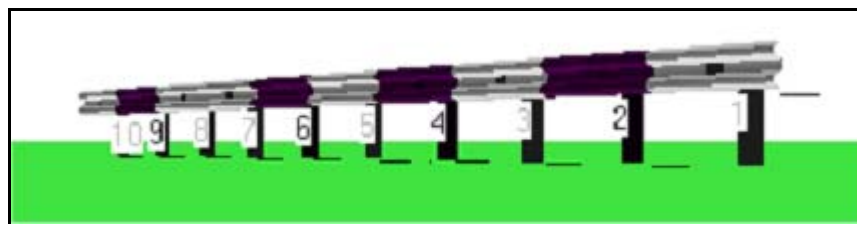


Figure n°19 : Modélisation de 10 éléments composant une glissière métallique sous PC CRASH

6.1.4 Conclusion :

Si la simulation réalisée permet de satisfaire l'ensemble des conditions évoquées précédemment alors elle sera considérée comme la RECONSTRUCTION NUMERIQUE de cet accident (validation technique et scientifique des paramètres retenus).

6.2 Reconstruction numérique :

Comme nous l'avons évoqué au début de cette partie de l'étude, l'objectif de ce travail est de fournir le scénario le plus probable et vraisemblable de cet accident par la réalisation d'une simulation numérique. Afin de mener à bien cette étude, nous allons étudier les différentes trajectoires réalisées par le véhicule, en estimer les vitesses d'impacts lors des collisions survenues mais également la vitesse initiale. Le scénario retenu doit à la fois tenir compte des éléments multiples contenus dans la procédure (entretiens des impliqués, témoignages, traces recueillies sur l'infrastructure, photos, conditions météorologiques) et bien évidemment des lois cinématiques de la physique. Ce scénario sera, en fait, le fruit d'une corrélation entre les divers éléments recueillis.

Avant toute simulation numérique, il est nécessaire de fixer les conditions initiales, c'est-à-dire dans notre cas, d'estimer la vitesse initiale de l'autocar. Nous allons donc réaliser cette estimation qui peut se faire, soit par des calculs simples basé sur les équations de la mécanique, soit par le biais d'éléments indiscutables comme par exemple les données issus des boîtiers électroniques, présents sur les véhicules très récent, et qui constituent de véritables « boîte noire ». Ils permettent d'avoir des données comme la vitesse précise au choc ou encore les courbes de décélération du véhicule

6.2.1 Estimation de la vitesse d'impact à partir des équations :

De manière générale, un accident peut se découper en 4 phases successives :

- La **situation de conduite** : explicative de la nature et des conditions de déplacements en abord du site de l'accident.
- La **phase de pré-collision** : elle décrit la cinématique du véhicule depuis la situation de rupture ou d'accident (créée généralement par un élément nouveau ou imprévu) jusqu'au point d'impact.
- La **phase de collision** : elle comprend les conditions du choc en lui-même et les événements consécutifs à celui-ci.
- La **phase de post-collision** : elle décrit la cinématique du véhicule juste après l'impact jusqu'à sa position résiduelle.

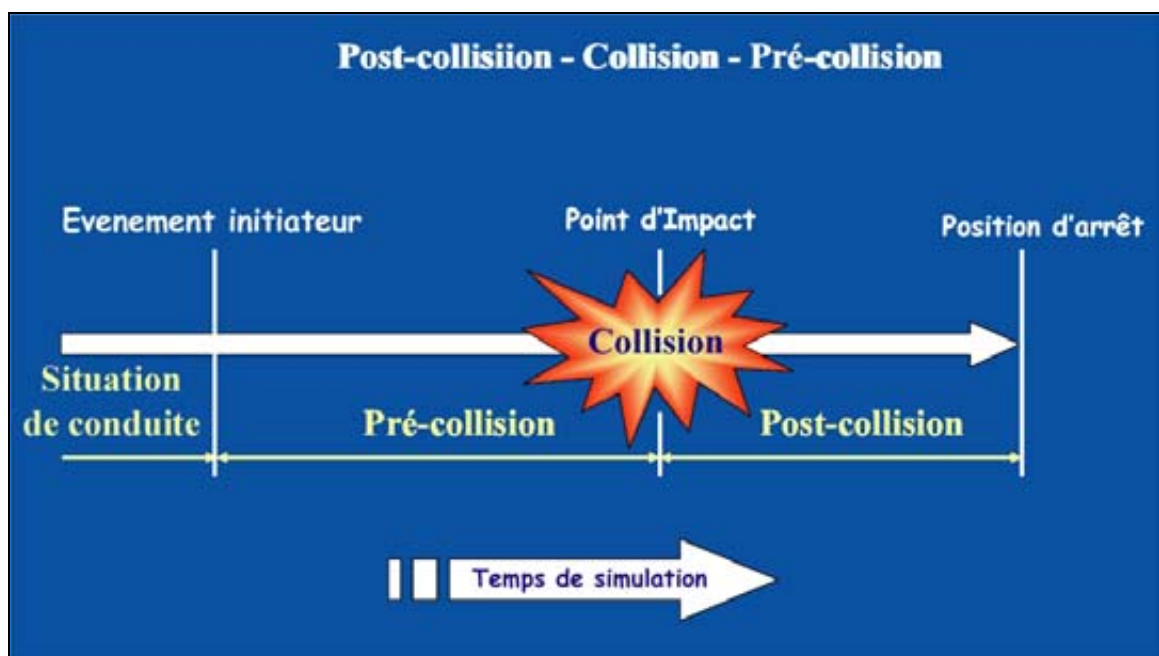


Figure n°19 : Découpage d'un accident en phases

Dans le déroulement d'un accident, on distingue, dans l'ordre chronologique, les phases : de pré-collision, de collision et en fin de post-collision. Pour estimer la vitesse initiale, la méthode consiste à partir de la position résiduelle du véhicule (où la vitesse est connue puisque nulle) et de remonter le temps jusque l'événement initiateur⁶ de l'accident.

6.2.1.a Phase de post-collision :

Cette première étape a pour but de déterminer la vitesse en sortie de choc du véhicule, i.e. la vitesse à laquelle le ou les véhicules se sont séparés. L'équation utilisée est celle d'un mouvement uniformément décéléré :

(Équation 1a)

$$V_d = \sqrt{V_r^2 + 2 \times a \times d}$$

Où

V_d désigne la vitesse au début de la phase (m/s)

V_r désigne la vitesse finale ou résiduelle de la phase (m/s)

a désigne le coefficient de décélération moyen de la phase (m/s^2)

d désigne la distance sur laquelle cette décélération est subie (m)

V_d est donc calculée à partir de la distance d relevée sur le terrain et sur laquelle cette décélération est appliquée, et de l'adhérence offerte par le revêtement. En effet, le coefficient de décélération est relié à l'adhérence par la relation :

$$adh = \frac{a}{g}$$

Avec adh représentant l'adhérence du sol (sans unité) et g la constante de gravité ($9.81 m/s^2$).

Nous allons introduire une seconde équation pour approximer la vitesse de décollage lors d'une chute dans un ravin [FRICKE 1990], cette vitesse ne pouvant être approximée de façon correcte via la première équation. (cf. figure ci-dessous)

⁶ L'événement initiateur annonce le dysfonctionnement du système constitué par le conducteur, l'infrastructure, et le véhicule. La genèse de l'accident survient de manière générale à ce moment là.

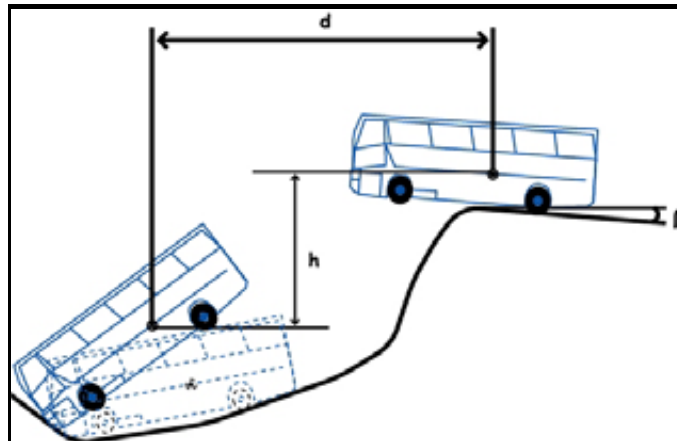


Figure n°20 : Vue d'une chute dans un ravin et paramètres considérés

L'équation que nous utiliserons permet de prendre en compte à la fois le déplacement longitudinal d et la chute de hauteur h suivant laquelle le véhicule subit l'accélération de la gravité. Elle s'écrit :

(Equation 1b)

$$v = d \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \cos(\beta) \cdot (d \cdot \sin(\beta) - h \cdot \cos(\beta))}}$$

avec

v la vitesse au moment de la chute (m/s)

d la distance parcourue horizontalement entre le point de décollage et le point de chute (m)

h la hauteur de la chute du centre de gravité du véhicule (m)

β l'angle de décollage (en degré)

Notons que la phase de post-collision peut se découper elle-même en plusieurs sous phases distinctes suivant qu'il y ait une variation, soit dans la cinématique (translation ou rotation), soit dans le type de surface (cas d'adhérence variable)

6.2.1.b Phase de collision :

Cette seconde étape permet d'obtenir l'estimation de la vitesse en entrée de choc de chaque véhicule impliqué dans l'accident, et se fait en utilisant les 2 grands principes de conservation de la mécanique :

1. Conservation de la quantité de mouvement :

Expression vectorielle :

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2$$

(Équation 2)

$$m_1 \cdot \vec{v}_{e1} + m_2 \cdot \vec{v}_{e2} = m_1 \cdot \vec{v}_{s1} + m_2 \cdot \vec{v}_{s2}$$

2. Conservation de l'énergie cinétique :

$$E_c(1) + E_c(2) = E'_c(1) + E_{def}(1) + E'_c(2) + E_{def}(2)$$

(Équation 3)

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_{e1}^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_{e2}^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{s1}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot EES_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_{s2}^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot EES_2^2$$

\vec{P}_1 et \vec{P}_2 désignent les quantités de mouvement avant choc des véhicules 1 et 2

\vec{P}'_1 et \vec{P}'_2 désignent les quantités de mouvement après choc des véhicules 1 et 2

$E_c(1)$ et $E_c(2)$ désignent les énergies cinétiques avant choc des véhicules 1 et 2

$E'_c(1)$ et $E'_c(2)$ désignent les énergies cinétiques après choc des véhicules 1 et 2

$E_{def}(1)$ et $E_{def}(2)$ sont les énergies cinétiques liées aux déformations des véhicules 1 et 2

m_1 et m_2 désignent les masses des véhicules 1 et 2

v_{e1} et v_{e2} désignent les vitesses avant choc des véhicules 1 et 2

v_{s1} et v_{s2} désignent les vitesses après choc des véhicules 1 et 2

EES_1 et EES_2 désignent les EES⁷ des véhicules 1 et 2

L'équation 2 de la conservation de la quantité de mouvement étant une expression vectorielle, nous allons la projeter suivant les 2 axes longitudinal (X) et orthogonal (Y) dans un repère orthonormé. Cette projection fait intervenir les angles associés à chaque vecteur vitesse et permet d'obtenir 2 nouvelles équations algébriques :

Projection sur l'axe (O,x) :

(Équation 3a)

$$m_1 \cdot \cos(\alpha_{e1}) \cdot v_{e1} + m_2 \cdot \cos(\alpha_{e2}) \cdot v_{e2} = m_1 \cdot \cos(\alpha_{s1}) \cdot v_{s1} + m_2 \cdot \cos(\alpha_{s2}) \cdot v_{s2}$$

Projection sur l'axe (O,y) :

(Equation

3b)

$$m_1 \cdot \sin(\alpha_{e1}) \cdot v_{e1} + m_2 \cdot \sin(\alpha_{e2}) \cdot v_{e2} = m_1 \cdot \sin(\alpha_{s1}) \cdot v_{s1} + m_2 \cdot \sin(\alpha_{s2}) \cdot v_{s2}$$

Où :

(α_{e1}) et (α_{e2}) correspondent aux angles des vitesses avant choc des véhicules 1 et 2

(α_{s1}) et (α_{s2}) correspondent aux angles des vitesses après choc des véhicules 1 et 2

⁷ EES : Equivalent Energy Speed. Ce paramètre, exprimé en km/h, caractérise la vitesse à laquelle il faudrait lancer le véhicule contre un obstacle fixe et indéformable pour observer les mêmes déformations.

6.2.2 Application

Les équations précédentes étant écrites, nous allons les appliquer afin d'estimer les vitesses de l'autocar pour chaque étape de l'accident. Comme nous l'avons expliqué précédemment, nous allons découper dans un premier temps l'accident en plusieurs phases, puis en sous phases de phase, si besoin est. Puis, nous calculerons la vitesse du véhicule au début et la fin de chacune de ces phases dans un deuxième temps.

Nous faisons l'hypothèse que 3 chocs majeurs sont intervenus au cours de cet accident (glissière de sécurité, partie avant de l'autocar contre le sol, et renversement latéral droit). Nous allons considérer que la phase de collision sera associée à l'impact contre la glissière de sécurité. Le découpage en phases est le suivant :

Numéro	Phases	Sous-phases	Description
1	Post-collision	Choc3	Collision du flanc droit de l'autocar contre le sol
2		Renversement	Poursuite du renversement
3		Choc2	Collision de la face avant de l'autocar contre le sol
4		Chute	Chute dans le ravin
5	Collision	Choc1	Collision contre la glissière de sécurité
6	Pré-collision		Trajectoire effectuée par l'autocar avant le Choc1.

Notation : Nous noterons respectivement par V_{kf} et V_{ki} , la vitesse finale et la vitesse initiale de l'autocar à la $k^{ème}$ phase.

Dans cette partie, nous décrivons la cinématique de l'autocar de la phase n°1 jusqu'à la phase n°5. La phase n°6, qui concerne la pré-collision sera détaillée par la suite.

NB : En ce qui concerne l'estimation des vitesses du véhicule associées aux différentes phases, elle se fera pour chaque valeur donnée sous forme d'intervalle correspondant à son domaine de validité. Il est évident que les hypothèses retenues concernant par exemple, l'adhérence de la chaussée, la véracité des déclarations des impliqués ou encore l'énergie dissipée lors des chocs, ne permettent pas de donner pour chaque paramètre une valeur unique, et la rigueur impose de faire des estimations par un intervalle plutôt que par une valeur unique, exception faite si cette valeur est issue

directement par exemple, de données embarquées téléchargées à partir du boîtier électronique du véhicule, si tant est qu'il en possède un. En ce qui concerne le chronotachygraphe, il donne quant à lui seulement une idée grossière, un ordre de grandeur de la vitesse au choc (visible sur le disque au décrochement du stylet)

C'est pourquoi, durant la totalité de ce chapitre une valeur minimum et une valeur maximum seront données aux différentes vitesses, ces deux valeurs formant un intervalle de validité.

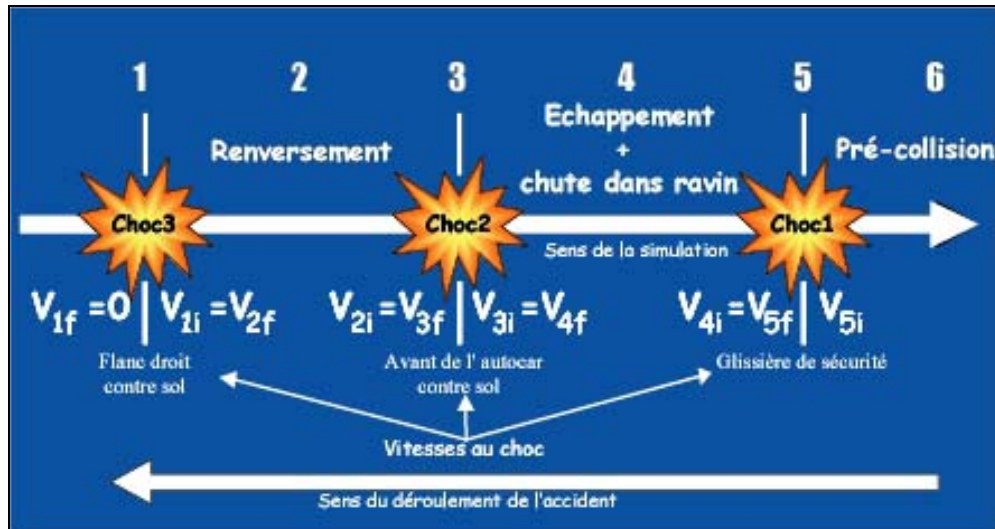


Figure n°21 : Découpage en sous-phases de l'accident

6.2.2.a *Sous-Phase n° 1 : Choc3*

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la sous-phase n°1

Rappel : $V_{1f}=0$

Nous partons ici de la position finale de l'autocar qui est à l'arrêt, immobilisé sur son flanc droit. Par conséquent, sa vitesse résiduelle à la fin de cette sous-phase est nulle (i.e. $V_{1f}=0$). Dans cette sous-phase, la vitesse initiale de l'autocar peut être estimée entre 15 km/h et 19 km/h, ce qui correspond à l'énergie lorsque l'arrière retombe sur le sol.

Récapitulatif de la Sous-phase n°1	
Vitesse finale V_{1f}	Vitesse initiale V_{1i}
0 km/h	15 km/h - 19 km/h

6.2.2.b *Sous-Phase n°2 : Renversement*

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la sous-phase n°2

Rappel : $V_{1i}=V_{2f}$

Dans cette sous phase la cinématique de l'autocar est assez complexe. En effet, ce dernier effectue d'une part, une rotation sur la droite par rapport à son axe longitudinal

et d'autre part le train arrière qui est encore en élévation vient s'écraser sur le sol sous l'effet de l'accélération de la gravité. Nous utiliserons pour cette approximation un mouvement uniformément accéléré sur une faible variation de hauteur h d'environ 0.75 m. L'équation (1a) s'écrit alors : $V_d = \sqrt{V_r^2 - 2 \times g \times h}$.

En appliquant cette équation avec les vitesses résiduelles minimales et maximales correspondantes aux vitesses à la fin de la sous phase n 1 (soit respectivement $V_r = 4.2$ m/s pour la valeur minimale et $V_r = 5.3$ m/s pour la valeur maximale), nous obtenons un intervalle dans lequel la vitesse initiale de l'autocar est incluse au cours de cette sous-phase n°2. Cette vitesse initiale est comprise entre **1.6 m/s** et **3.6 m/s** (soit entre **6 km/h** et **13 km/h**)

Récapitulatif de la Sous-phase n°2	
Vitesse finale V_{2f}	Vitesse initiale V_{2i}
15 km/h - 19 km/h	6 km/h - 13 km/h

6.2.2.c *Sous-Phase n°3 : Choc2*

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la sous-phase n°3

Rappel : $V_{2i} = V_{3f}$

Cette sous phase correspond au choc frontal de l'avant de l'autocar contre le sol situé en contrebas du ravin. Pendant cette collision, la cinématique de l'autocar est fortement modifiée. L'autocar, stoppé dans sa trajectoire, subit en effet une importante variation de vitesse du fait de son écrasement contre le sol, qui constitue un obstacle fixe et rigide. La vitesse à l'impact est fonction des données qui ont été recueillies et de leurs analyses, en particulier celles relatives aux déformations de structure constatées sur l'autocar.

C'est à ce stade que nous allons utiliser l'équation (3) qui exprime la conservation de l'énergie cinétique, les équations (3a) et (3b) ne convenant pas pour résoudre ce type de problème. Pour un choc contre un obstacle fixe, l'équation (3) devient :

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_{e1}^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{s1}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot EES_1^2 \text{ et par simplification : } v_{e1}^2 = v_{s1}^2 + EES_1^2.$$

Dans cette dernière équation, nous pouvons évaluer le terme EES_1 . Il s'agit de l'énergie de déformations de structure de la face avant de l'autocar consécutive au choc contre le sol, autrement dit l'énergie dissipée au cours du choc.

En ce qui concerne les EES, de nombreux crash-tests sont réalisés par les constructeurs dans différentes typologies de choc et avec des violences différentes. Les paramètres enregistrés lors des essais, via de nombreux capteurs installés sur les véhicules, permettent l'élaboration d'une banque de données unique et protégée dans laquelle les côtes de déformations, et les photos prises sur les véhicules sont les éléments majeurs. C'est à partir de ces données qu'il est ensuite possible de faire une comparaison par rapport au véhicule étudié qui donnera une estimation des énergies dissipées au cours du choc (EES).

L'idéal est de disposer de valeurs d'EES déterminées pour le même véhicule et pour une configuration de choc identique à l'accident étudié. Cependant si ces crashes test sont très nombreux dans l'industrie automobile, ils sont quasi inexistant dans le domaine des autocars du fait de leur coût très excessif.

Une méthode, en définitif, qui s'avère être efficace et fiable, est l'expérience personnel, qui permet l'accumulation des connaissances au fil des accidents étudiés.

Ne possédant aucunes données de référence, l'estimation de la vitesse correspondant à l'énergie dissipée dans ce choc sera réalisée en faisant référence à l'importante base de données d'accidents d'autocars étudiés par le CEESAR, ainsi que des côtes de déformation et des différentes photos prises sur l'autocar en question. Nous estimons que l'EES (Equivalent Energy Speed) correspondant au choc de l'autocar contre le sol est comprise entre 45 et 50 km/h.

En appliquant l'équation précédemment écrite avec V_{s1} comprise entre 1.6 m/s et 3.6 m/s, nous obtenons que la vitesse au choc de l'autocar doit être comprise entre 12.6 m/s et 14.3 m/s (soit respectivement 45 km/h et 52 km/h).

Récapitulatif de la Sous-phase n°3	
Vitesse finale V_{3f}	Vitesse initiale V_{3i}
6 km/h - 13 km/h	45 km/h - 52 km/h

6.2.2.d Sous-Phase n°4 : Echappement et chute dans le ravin

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la sous-phase n°4

Rappel : $V_{3i} = V_{4f}$

Cette sous phase décrit la cinématique de l'autocar depuis la fin du choc contre la glissière métallique située sur l'accotement du giratoire et sa chute en contrebas jusqu'au choc frontal contre le sol précédemment analysé. Pendant sa chute, l'autocar subit l'accélération de la gravité ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) sur une longueur d d'environ 17 m et sur une hauteur h d'environ 9.5 m. Nous allons utiliser l'équation (1b) qui permet de bien aborder le problème. En prenant β , l'angle de décollage⁸ compris entre 0° et 3° , et en appliquant cette équation, nous obtenons que la vitesse initiale de cette sous phase doit être comprise entre 42 km/h et 44 km/h.

Récapitulatif de la Sous-phase n°4	
Vitesse finale V_{4f}	Vitesse initiale V_{4i}
45 km/h - 52 km/h	42 km/h - 44 km/h

⁸ Ici, l'angle de décollage est positif car nous prenons en compte la montée de l'autocar sur la bordure sur l'extrémité du giratoire.

6.2.2.e Sous-Phase n°5 : Choc1

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la sous-phase n°5

Rappel : $V_{4i} = V_{5f}$

Il s'agit dans ce point d'estimer, comme nous l'avons fait pour le choc 2, l'énergie globale dissipée lors de la collision de l'autocar avec la glissière de sécurité. Cependant, les déformations dues à la collision contre la glissière sont masquées par les déformations engendrées par le choc 2 beaucoup plus violent. Au vue les déformations de la barrière qui s'est couchée au passage du véhicule et selon notre expérience en accidentologie, nous pouvons considérer que ce choc est équivalent à une variation de vitesse de l'autocar comprise entre **5 et 10 km/h**.

En prenant en compte cette hypothèse nous obtenons que la vitesse initiale de cette sous-phase est comprise entre **47 km/h et 54 km/h** (NB: la vitesse au choc lue sur le disque chronotachygraphe est de 57 km/h).

Récapitulatif de la Sous-phase n°5	
Vitesse finale V_{5f}	Vitesse initiale V_{5i}
42 km/h - 44 km/h	47 km/h - 54 km/h

6.2.2.f Conclusion

Cette première approche quantitative indique que la vitesse d'impact de l'autocar lors du premier choc peut être estimée entre 47 et 54 km/h, dans la limite des réserves énoncées ci-dessus.

Bien que nous n'ayons aucunes données précises concernant l'énergie dissipée dans la glissière de sécurité, nous estimons que nos hypothèses et notre vitesse au choc sont physiquement correctes.

Cette approximation doit être validée par une simulation numérique de l'ensemble de l'accident à l'aide de l'outil PC CRASH.

N° sous-phase		1	2	3	4	5
Identification		Choc 3	Post-collision	Choc 2	Post-collision	Choc 1
Description		Choc latéral	Renversement	Choc frontal	Echappement	Contre glissières
Relation physique		Cons Energie	Accél. uniforme	Cons Energie	Modèle physique	Variation vitesse
Valeurs	min	EES=15 km/h	9.81 m/s ²	EES = 45 km/h	9.81 m/s ²	$\Delta v = -5$ km/h
	max	EES=19 km/h	9.81 m/s ²	EES = 50 km/h	9.81 m/s ²	$\Delta v = -10$ km/h
Déplacement Dx (m)		0	0	0	17	0

Hauteur Dz (m)		0	0.75	0	9.5	0
V_i (km/h)	min	15	6	45	42	47
	max	19	13	52	44	54
V_f (km/h)	min	0	15	6	45	42
	max	0	19	13	52	44

Tableau n°1 : Tableau récapitulatif des estimations des vitesses.

6.2.3 Estimation de la vitesse initiale : analyse détaillée de la phase de pré-collision.

La phase de pré-collision doit permettre de valider le scénario le plus probable et vraisemblable du comportement de l'autocar juste avant l'accident. La simulation résultante doit être fidèle aux éléments divers apportés par le dossier en particuliers des différents témoignages recueillis des impliqués et autres témoins.

Le travail, à ce stade, sera donc de faire la corrélation entre les divers témoignages enregistrés et les autres éléments, comme par exemple, les traces relevées sur l'infrastructure. Pour ce faire, il est utile de faire une reconstruction cognitive, c'est à dire de faire le rapprochement entre ce que déclare le chauffeur, ce qu'il souhaite faire et ce qu'il fait réellement (cf. tableau 2 ci-dessous).

ss-phases	Description cognitive		Description cinématique des phases
	Déclarée	Souhaitée	Utilisée
1	Dit avoir freiné énergiquement au niveau du giratoire. Dit que le bus est parti tout droit et qu'il a roulé sur l'anneau du terre plein central.	Freinage maximum	Freinage en urgence
2	Découvre qu'il est à l'entrée du giratoire en abordant la courbe.		Temps de réaction
3	Ralentit son allure pour aborder ce qu'il croit être une courbe.	Freinage type lever de pied + braquage	Freinage + braquage

Tableau n°2 : Tableau récapitulatif des données cognitives.

Notre simulation du mouvement de l'autocar dans les secondes avant le choc doit satisfaire les 2 contraintes suivantes :

1. La vitesse finale de cette phase doit correspondre à la vitesse de l'autocar au choc contre la glissière, soit une vitesse comprise entre **47 km/h** et **54 km/h**;

2. Les roues situées à gauche de l'autocar doivent passer impérativement par la trace de freinage relevée sur l'anneau centrale du giratoire.

Afin d'estimer la vitesse initiale de l'autocar le plus en amont possible de l'accident et pour mieux comprendre sa genèse, nous allons procéder comme pour la post-collision, c'est-à-dire en découpant et en décrivant toutes les sous-phases que nous supposons s'être produites.

6.2.3.a *Sous-phase n°1 : Perte de contrôle*

Cette sous-phase décrit la cinématique de l'autocar depuis le freinage effectif de l'autocar jusque sa collision contre la glissière de sécurité.

Nous faisons l'hypothèse ici que le freinage efficace a lieu lorsque l'autocar monte sur l'anneau du giratoire.

Si l'on examine la trajectoire empruntée par l'autocar avant la collision, il apparaît nettement que le chauffeur a perdu le contrôle de son véhicule. En effet, lorsque le chauffeur freine de manière effective, l'autocar est déjà dans le giratoire au niveau de l'anneau. L'autocar subit deux transferts de charges successifs : le premier vers la droite lorsqu'il monte, de ses roues gauches, sur la bordure de 7 cm de l'anneau, et le deuxième vers la gauche lorsqu'il redescend. Sur les lieux a été relevé une trace de freinage sur l'anneau d'environ 12 m. A tout cela, il faut ajouter que l'adhérence est dissymétrique : l'anneau (de nature herbeux) possède en effet une adhérence plus faible que celle de la chaussée annulaire. Compte tenu du dévers de l'anneau central et de l'adhérence dissymétrique, le véhicule « tire » du côté peu adhérent. Le freinage en urgence du chauffeur, l'adhérence dissymétrique et ses deux transferts de charges successifs ont placé l'autocar dans une dynamique que le chauffeur ne peut plus corriger.

Nous allons décomposer le freinage en 2 parties :

1. Le freinage sur la chaussée annulaire sur une distance de 16 m (nous y incluons le trottoir)
2. Le freinage sur l'anneau sur une distance de 12 m

Nous allons utiliser l'équation (1) relative à un mouvement uniformément décéléré avec les vitesses résiduelles minimales et maximales (soit respectivement $V_r = 13$ m/s pour la valeur minimale et $V_r = 15$ m/s pour la valeur maximale) correspondantes à l'intervalle estimé pour la vitesse au choc contre la glissière métallique. Pour simplifier, les résultats sont mis ici sous forme de tableau :

dx		Décélération		Vf		Vi	
		min	max	min	max	min	max
1	16 m	-3 m/s ²	-4 m/s ²	47 km/h	54 km/h	58 km/h	62 km/h
2	12 m	-2 m/s ²	-3 m/s ²	58 km/h	62 km/h	63 km/h	69 km/h

Nous obtenons que la vitesse initiale de cette sous phase doit être comprise entre **17.5 m/s** et **19.2 m/s** (soit entre **63 km/h** et **69 km/h**)

Récapitulatif de la Sous-phase n°1	
Vitesse finale V _{1f}	Vitesse initiale V _{1i}
47km/h - 54 km/h	63 km/h - 69 km/h

6.2.3.b Sous-phase n°2 : Temps de réaction

Le temps de réaction est ici le temps qui s'écoule entre la perception du rond point et ce freinage de la part du chauffeur. Dans ce temps de réaction, nous y inclurons le temps de mise en pression des freins (temps nécessaire pour obtenir un freinage effectif) et le temps de déplacement du pied sur la pédale de frein, tout cela afin d'éviter une surcharge de calcul. Notons que la perception du giratoire par le chauffeur constitue l'événement initiateur de cet accident.

Pour notre étude et d'après la littérature [KASSAAGI 2000] [PERRON 1997], nous prendrons les valeurs suivantes :

- Temps de mise en pression des freins = 0.3 s
- Temps du déplacement du pied sur la pédale = 0.4 s
- Temps de réaction du chauffeur = 1 s (nous prenons la valeur la plus élevée, cette dernière étant proportionnelle à l'âge du conducteur)

Durant ce temps globale de **t=1.7 s**, nous supposons que la décélération de l'autocar est équivalente à celle d'un lever de pied soit **a=-1.5 m/s²**

Nous utilisons la relation : $t = \frac{v_f - v_i}{a}$ pour résoudre ce problème. En isolant le terme v_i , nous obtenons l'équation : $v_i = v_f - t * a$.

Où

v_i et v_f sont les vitesses initiale et finale de cette sous-phase (m/s)

t le temps de cette sous-phase (s)

et a le coefficient de décélération (m/s²)

En appliquant l'équation précédemment écrite avec les vitesses résiduelles minimales et maximales (soit respectivement $V_r = 17.5$ m/s pour la valeur minimale et $V_r = 19.2$ m/s pour la valeur maximale) correspondantes à l'intervalle estimé pour la vitesse initiale de la sous-phase précédente, nous obtenons que la vitesse initiale de cette sous phase doit être comprise entre **20 m/s et 21.75 m/s** (soit entre **72 km/h et 78 km/h**)

Par ailleurs, la distance parcourue durant cette sous-phase est d'environ 33 m.

Récapitulatif de la Sous-phase n°2	
Vitesse finale V_{2f}	Vitesse initiale V_{2i}
63 km/h - 69 km/h	72 km/h - 78 km/h

6.2.3.c Sous-phase n°3 : Ralentissement

Dans cette sous-phase n°3, nous remontons le temps sur une distance de 20 m afin de mieux apprécier l'approche de l'autocar dans le brouillard en amont du giratoire. Pendant cette sous phase, l'autocar est en descente et inscrit dans la courbe à droite précédant le giratoire. Le chauffeur, pensant arriver dans un virage à gauche, est en phase de ralentissement.

Nous utiliserons à nouveau l'équation (1a) relative à un mouvement uniformément décéléré avec une décélération correspondante à un lever de pied (a compris entre -1 et -1.5 m/s²) sur une distance de 20m.

En appliquant l'équation (1a) écrite avec les vitesses résiduelles minimales et maximales (soit respectivement $V_r = 20$ m/s pour la valeur minimale et $V_r = 21.7$ m/s pour la valeur maximale) correspondantes à l'intervalle estimé pour la vitesse initiale de la sous-phase précédente, nous obtenons que la vitesse initiale de cette sous phase doit être comprise entre **21 m/s et 23.1 m/s** (soit entre **75 km/h et 83 km/h**)

Récapitulatif de la Sous-phase n°3	
Vitesse finale V_{2f}	Vitesse initiale V_{2i}
72 km/h - 78 km/h	75 km/h - 83 km/h

6.2.3.d Conclusion

Pour conclure cette approche, nous estimons raisonnablement la vitesse initiale de cet autocar entre **75 km/h et 83 km/h** lorsque celui-ci est à environ 40 m du giratoire et en considérant l'ensemble des hypothèses établies dans les sous-phases de la pré-collision.

6.3 Validation du scénario par simulation numérique

La première partie de la simulation consiste à faire évoluer le véhicule en tenant compte le plus fidèlement possible de toutes les conditions qui ont été décrites précédemment. Un intérêt particulier a été mis sur la cinématique, très complexe, de l'autocar sur les impacts successifs contre la glissière métallique et sur le sol en contrebas.

6.3.1 Simulation numérique du scénario

Après plusieurs essais et en recherchant une certaine cohérence entre les différentes séquences spatio-temporelles, on trouve une vitesse d'impact contre la glissière métallique de **51 km/h** et une vitesse d'impact contre le sol en contrebas de **54 km/h**.

La simulation numérique résultante que nous présentons dans l'annexe 1 respecte l'ensemble des contraintes que nous avons établies, en particulier les traces relevées sur l'infrastructure, les différents impacts relevés sur le sol et la glissière ainsi que les déformations subies par le véhicule.

Dans un premier temps et par approximations successives pour chaque phase au moyen des équations générales, cette vitesse lors de ce premier impact de l'autocar contre la glissière a pu être estimée de façon cohérente et raisonnable, puis finalement affinée et validée par une simulation.

Cette simulation tient compte des multiples chocs entre l'autocar et les différents obstacles rencontrés : glissière métallique, sol en contrebas du ravin. Egalement, la simulation prend en ligne de compte la présence du brouillard et la visibilité à 100 m.

Les résultats obtenus ont permis de faire une simulation complète décrivant toutes les phases de l'accident. Celle-ci est présentée sous forme de séquences dans l'annexe 1 et montre les instants importants du déroulement de l'accident. Toutes les séquences représentées sont issues de la simulation réalisée avec PC CRASH.

6.4 Discussion

La simulation a pour but de d'apporter dans cette étude le scénario le plus probable de cet accident en tenant compte de tous les éléments du dossier d'accident et de l'ensemble du recueil effectué.

A travers l'analyse de l'accident, il subsiste une zone d'ombre concernant l'approche du giratoire de la part du chauffeur. Il est possible d'avancer plusieurs hypothèses explicatives à ce sujet, bien évidemment invérifiables, comme : une tâche annexe effectuée, ou encore, un défaut de perception du chauffeur.

Il n'en demeure pas moins que la réaction du chauffeur a été inadaptée car hyper réactive (freinage trop brutal). La perte de contrôle de l'autocar dans le giratoire est

également liée aux facteurs aggravants de l'environnement routier : brouillard, chaussée humide (adhérence dégradée)

En synthèse, le scénario d'accident retenu est le suivant :

- ☑ Circulant sur une route nationale, en descente et dans le brouillard, l'autocar, dont le chauffeur pense aborder un virage à gauche, est en phase de ralentissement à une vitesse approximée à 79 km/h à environ 40 m de l'entrée du giratoire.
- ☑ Le chauffeur, surpris de trouver devant lui non pas un virage à gauche, comme il le pensait, mais un giratoire freine alors brusquement et en urgence.
- ☑ L'autocar, en freinage, « tire » tout droit et traverse partiellement l'anneau central du giratoire qui le déséquilibre complètement.
- ☑ Du fait de l'adhérence dégradée et de ce déséquilibre, le conducteur perd le contrôle de son véhicule, et l'autocar vient percuter la glissière métallique de sécurité à une vitesse estimée à 51 km/h.
- ☑ L'énergie cinétique liée à la masse de l'autocar et à la vitesse est telle que l'autocar plie littéralement la glissière et poursuit sa trajectoire tout en étant fortement déséquilibré.
- ☑ Le véhicule tombe sur le sol en contrebas dans le ravin et percute violemment le sol de sa face avant à une vitesse d'environ 54 km/h.
- ☑ Consécutivement à ce second choc, le véhicule est brusquement stoppé dans sa trajectoire longitudinale, et amorce un renversement.
- ☑ Finalement, l'autocar se renverse et percute le sol de son flanc droit puis s'immobilise.

7 Conclusion

Pour conclure cette étude, nous aimerions revenir sur deux points particuliers de cet accident :

Le bilan médical global de cet accident qui avec 8 blessés graves et 42 blessés légers auraient pu être plus sévère.

En effet, la chute du car dans le ravin, l'impact frontal au fond de ce ravin, suivi d'un renversement latéral droit aurait pu avoir des conséquences corporelles plus graves. Un autre facteur en défaveur de la protection des impliqués est le fait que cet autocar n'était pas équipé de ceintures de sécurité à toutes les places. Il semble donc nécessaire d'expliquer pourquoi le bilan médical global n'est pas plus grave. Il faut comprendre que le seul mécanisme lésionnel est la projection à l'intérieur de l'habitacle, et l'ensemble des 52 impliqués a bénéficiés de la protection de la structure du véhicule jusqu'à immobilisation totale de l'autocar. Il n'y a eu aucun cas d'éjection totale ou partielle du car qui sont toujours des mécanismes très traumatisants. Enfin, il n'existe pas d'intrusion dans l'habitacle sur les places occupées de l'autocar. Le fait que le siège

hôtesse était inoccupé lors de l'accident à éviter une mort certaine si cette place avait été occupée.

Les facteurs à l'origine de cet accident sont comme toujours très nombreux :

- La lisibilité et la visibilité de ce carrefour giratoire sont mauvaises, et le nombre de véhicules circulant sur le terre-plein central atteste que cette infrastructure est difficile à comprendre, les usagers découvrent, en effet beaucoup trop tardivement la présence de ce carrefour lorsqu'ils n'ont pas tenu compte de la signalisation en place.
- L'accident se déroule de nuit, donc la visibilité est encore plus faible et la lisibilité plus difficile.
- La présence de brouillard durant cette nuit n'a fait qu'augmenter les problèmes de visibilité et de lisibilité de l'infrastructure.
- L'âge du conducteur de l'autocar a sans doute contribué aux causes de cet accident. Il est nécessaire de se poser des questions sur l'acuité visuelle de cet homme de 70 ans qui dit n'avoir vu qu'un seul des quatre panneaux de pré-signalisation du carrefour giratoire et qui n'a vu ce dernier que beaucoup trop tard.
- L'autre problématique en rapport avec l'âge du chauffeur du car est son temps de réaction en urgence lorsqu'il comprend la situation. Il apparaît que ce temps de réaction a du être supérieur au temps moyen des conducteurs entre 20 et 50 ans, ce qui n'a pas permis l'évitement de cet accident.
- Enfin, la vitesse du véhicule à l'entrée du carrefour giratoire estimée à environ 75 km/h n'est pas en infraction vis-à-vis de la réglementation générale s'appliquant à la route parcourue, mais reste une vitesse inadaptée à cet endroit vis-à-vis de l'obligation de maîtrise.

Bibliographie

[PERRON 1997] Méthodologie d'analyse de sécurité primaire automobile pour la spécification fonctionnelle et l'évaluation prévisionnelle d'efficacité de systèmes d'évitement d'accidents. Thierry PERRON (1997)

[KASSAAGI 2000] Etude expérimentale de scénarios accentogènes « fronto-arrière » sur simulateur de conduite. Mohamed KASSAAGI (2000)

[FRICKE 1990] Traffic Accident Reconstruction (Vol 2). Lynn B. FRICKE Northwestern University. Traffic Institute (1990)

ANNEXE 1

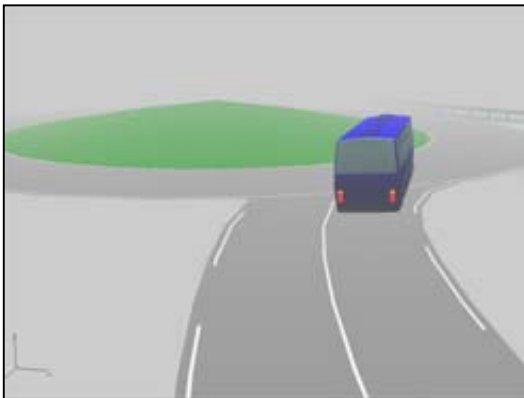
Simulation numérique sous PC Crash de l'accident



L'autocar roule à environ 80 km/h



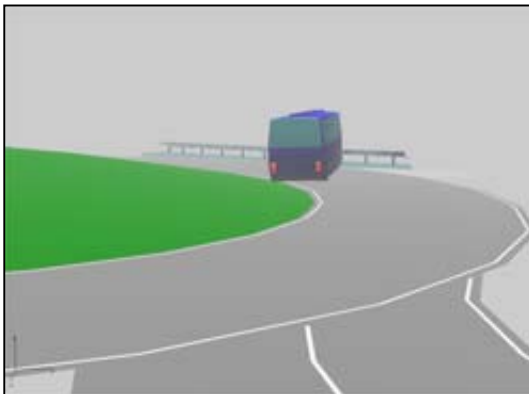
Le chauffeur est surpris d'apercevoir le giratoire...



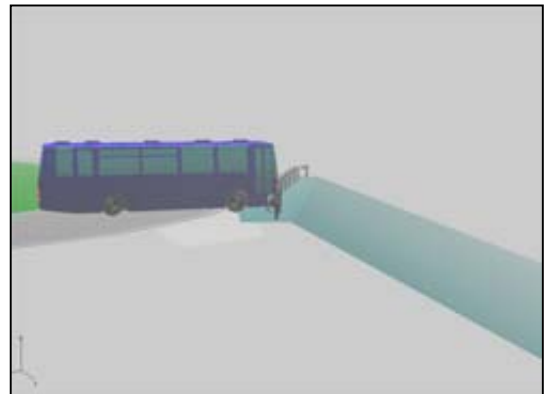
et freine en urgence...



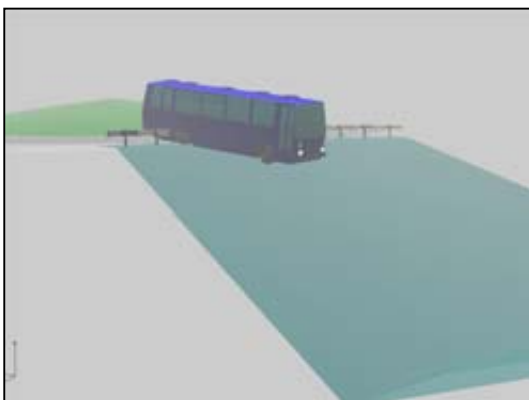
L'autocar « tire » tout droit et monte sur l'anneau



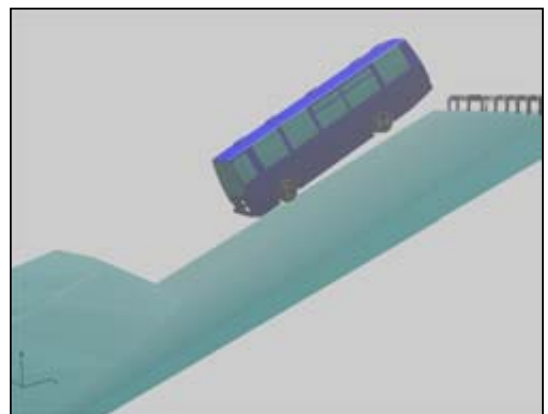
L'autocar se déséquilibre et le chauffeur perd le contrôle de son véhicule.



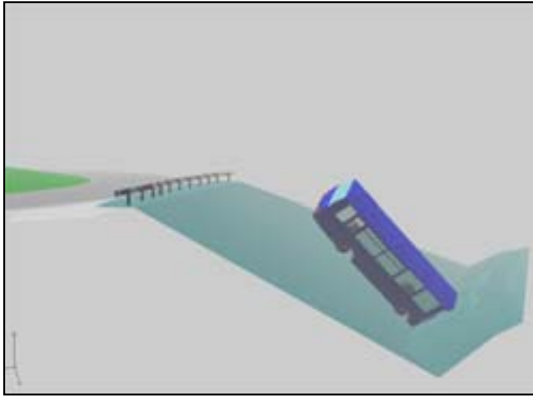
L'autocar percute la glissière métallique de sécurité



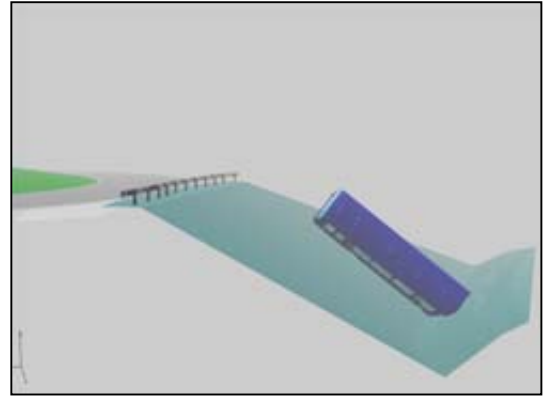
Son énergie cinétique est telle qu'il défonce la glissière...



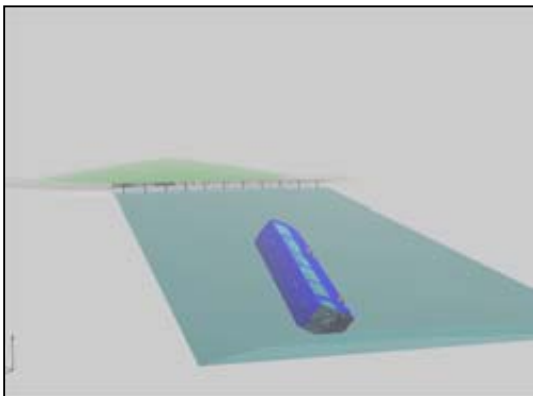
et tombe en contrebas.



L'avant du véhicule percute violement le sol



L'autocar amorce un renversement...



puis s'immobilise sur son flanc droit.