

Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar survenu à Dardilly le 17 mai 2003

Juillet 2004



Conseil Général des Ponts et Chaussées

9 juillet 2004

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transports Terrestres**

Affaire n°2003-0141-01

**Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar
survenu à Dardilly le 17 mai 2003**

Etabli par

M. Yves BONDUELLE
Inspecteur Général de l'Equipement

M. Jean-Gérard KOENIG
Ingénieur Général des Ponts et Chaussées

Et

Mme Sylvie FEIGNON
Inspectrice du Travail

M Michel BEAUBAT
Ingénieur Général des Ponts et Chaussées

M. Didier BORREL
Attaché Principal des Services Déconcentrés

M. Jean-Luc PRAT
Ingénieur de l'Industrie et des Mines

M le docteur Dominique COULONDRE

Bordereau documentaire

Organisme(s) commanditaire(s) : Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, METLTM

Organisme(s) auteur(s) : Conseil Général des Ponts et Chaussées, CGPC

Auteur(s) : Yves BONDUELLE, Jean-Gérard KOENIG

Titre : Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar survenu à Dardilly le 17 mai 2003

N°ISRN :

Proposition de mots-clés : Accident, Transport en commun, Autocar, Enquête

Résumé analytique (objet de l'étude, contexte, méthode, résultats) :

Le 17 mai 2003, un accident d'autocar s'est produit à Dardilly sur l'autoroute A6 à l'entrée nord de Lyon.

Il a impliqué un autocar à étages allemand, et a causé 28 tués, 46 blessés.

Le ministre de l'Équipement, des Transports du Logement, du Tourisme et de la Mer a demandé le 19 mai 2003 au Conseil Général des Ponts et Chaussées d'effectuer une enquête technique sur les circonstances de cet accident.

Le présent rapport fait le bilan de l'ensemble des informations et expertises complémentaires recueillies qui portent en particulier sur la reconstitution de l'accident, la situation administrative et technique de l'autocar en cause.

Les constatations présentées dans ce rapport amènent à penser que parmi les causes et facteurs aggravants de cet accident figurent la vitesse excessive, surtout de nuit sous la pluie, et l'existence sur ce car à étage de graves défauts techniques.

SOMMAIRE

	Page
Glossaire	5
Introduction	6
1 – Organisation de l'enquête.....	7
2 - L'accident et les secours	8
3 – Cinématique de l'accident	9
4 - Les circonstances et les causes	10
4 – 1 L'entreprise et les habilitations des conducteurs	10
4 – 2 La conduite et les conditions de travail.....	11
4 – 3 L'état du véhicule.....	14
5 - Caractéristiques de l'infrastructure routière.....	18
6 – Conclusions et recommandations	19
ANNEXES	22
Annexe 1 : Lettre de commande	23
Annexe 2 : Temps de conduite des deux conducteurs	24
Annexe 3 : Photographies	26
Annexe 4 : Reconstruction cinématique du déroulement de l'accident.....	34
Annexe 5 : Vitesses maximales des véhicules de transports en commun de personne.....	75

Glossaire

CEESAR : Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyses de Risques

CGPC : Conseil Général des Ponts et Chaussées

CODIS : Comité Départemental d'Incendie et de Secours

CORALY : Coordination et Régulation du trafic sur les voies rapides de l'Agglomération LYonnaises

CRS : Compagnie Républicaine de Sécurité

DDE : Direction Départementale de l'Equipement

DRE : Direction régionale de l'Equipement

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

DSCR : Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière

FCOS : Formation Continue Obligatoire de Sécurité

FIMO : Formation Initiale Minimale Obligatoire

JO : Journal Officiel

PC : Poste de Commandement

VSAB : Véhicule de Secours Accidentés Blessés

Introduction

Le 17 mai 2003, un accident d'autocar est survenu à Dardilly (autoroute A 6 – entrée nord de Lyon) faisant 28 morts et 46 blessés.

M. le Ministre de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer a demandé au Vice-Président du Conseil Général des Ponts et Chaussées, le 19 mai 2003, de diligenter une enquête technique sur cet accident et d'en faire connaître les premières conclusions sous un mois ; une note d'étape a donc été remise par le CGPC le 26 juin 2003.

Le présent rapport a été établi après communication des résultats de l'enquête judiciaire, réception des informations demandées aux autorités allemandes et réalisation d'une reconstruction cinématique de l'accident.

1 – Organisation de l'enquête

L'équipe d'enquête a été initialement constituée par les deux membres du CGPC chargés d'organiser cette enquête:

- M. Jean-Gérard Koenig (Ingénieur Général des Ponts et Chaussées) ;
- M. Yves Bonduelle (Inspecteur Général de l'Équipement)

Elle a rapidement été renforcée pour couvrir les différents domaines où des investigations ont dû être engagées, et elle a réuni :

- Mme Sylvie Feignon (Inspectrice du Travail -Subdivision de Lyon 2) ;
- M. Michel Beubat (IGPC - MIGT 10);
- M. Didier Borrel (Attaché Principal des Services Déconcentrés – Direction Régionale de l'Équipement de Rhône-Alpes) ;
- M. le docteur Dominique Coulondre (Inspection Médicale du Travail des Transports) ;
- M. Jean-Luc Prat (Ingénieur de l'Industrie et des Mines – Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche de Rhône-Alpes).

MM Koenig et Bonduelle se sont rendus sur les lieux de l'accident le 20 mai et ont pu s'entretenir avec M. le Procureur de la République, qui a donné son accord pour que les enquêteurs techniques aient accès aux informations des experts et enquêteurs judiciaires. Ils ont également rencontré M. le Préfet délégué pour la Sécurité et la Défense, qui leur a transmis les rapports d'intervention de ses services, ainsi que les responsables des services de la DRE/DDE et les officiers de police judiciaire chargés de l'enquête de flagrance.

La demande d'accès aux pièces et documents de l'enquête judiciaire, confirmée auprès de M. le Procureur le 22 mai, a permis aux enquêteurs techniques d'examiner le véhicule en cause et d'avoir communication des documents saisis ainsi que des rapports d'expertise judiciaire (ainsi que le permet la loi 2002-3 du 3 janvier 2002 sur la sécurité des infrastructures et des systèmes de transports) dès leur disponibilité.

La communication des résultats de l'enquête judiciaire, l'achèvement des investigations ou expertises engagées au titre de l'enquête technique et les éclaircissements obtenus grâce au concours actif, et apprécié, des autorités allemandes (ministères fédéraux chargés des Transports et du Travail, Land de Basse-Saxe), permettent désormais de clore le présent rapport.

2 - L'accident et les secours

Le 17 mai 2003, un autocar à étage appartenant à la société Tiger Bus Reisen GmbH de Wunstorf dans le Hanovre en Allemagne, immatriculé H-E8901 (1ère immatriculation le 27 mars 1991), effectuant un service occasionnel international d'Allemagne vers la Costa Brava avec 2 conducteurs et 72 passagers, arrive en fin de nuit à l'entrée nord de l'agglomération lyonnaise sur l'autoroute A6.

La chaussée est mouillée par une pluie soutenue qui tombe depuis environ une demi-heure; à la hauteur de l'accident, l'autoroute est droite, à trois voies, en légère descente et fait l'objet d'une limitation à 110 km/h (cf. ci-dessous en 5).

L'autocar qui circule à 110 km/h sur la voie médiane après l'échangeur avec la RN 6, connaît aux environs de 4h35/4h40 (4h43 à l'heure du chronotachygraphe, en avance de quelques minutes sur l'heure légale) une perte d'adhérence qui conduit à une perte totale de contrôle et à une sortie de route sur la droite, au-dessus d'un pont sur un chemin, à un endroit où l'autoroute est en surplomb d'environ 5 mètres.

Après avoir enfoncé la glissière et le garde-corps du pont, la face avant du car s'écrase violemment contre le bas du talus et l'autocar retombe finalement sur le toit en enfonçant la partie supérieure du véhicule.

L'analyse des conditions de cette perte de contrôle, et de la trajectoire suivie par le car, a été également effectuée grâce à l'expertise du CEESAR (cf. annexe 4).

L'alerte est donnée au CODIS 69 entre 4h41 et 4h48 par une succession d'appels de la gendarmerie (prévenue par le 17) et de particuliers décrivant l'ampleur du sinistre.

Dans le même temps, une patrouille de la CRS 45 (territorialement compétente) passe sur les lieux et prévient son PC de Genas.

Dès 4h44, le CODIS fait partir 5 Véhicules de Secours Asphyxiés et Blessés, 3 fourgons pompe et un véhicule médicalisé ; à 4h49, 7 véhicules de secours supplémentaires partent. Les premiers pompiers arrivent sur les lieux à 4h50, et le 1^{er} élément SAMU à 4h53.

Le chef de détachement demande le déclenchement du plan rouge à 5h12, qui est activé par le préfet délégué à 5h20.

Après étalement du car, le travail de désincarcération est long et difficile ; à 6h19 un bilan provisoire fait état de 27 personnes indemnes ou légèrement blessées, 5 victimes plus touchées et 2 décédés.

A la suite de l'installation d'un poste médical avancé sous le pont (le SAMU 69 a engagé sept équipes, et le SAMU 42 trois), les évacuations sont assurées par les VSAB et 2 hélicoptères vers les hôpitaux de la région.

A 7h30 le nombre total de 74 personnes à bord est connu ; il faudra attendre le relevage du car et 9h20 pour que les trois dernières personnes décédées soient dégagées.

Le plan rouge est levé à 10h05 ; l'épave du car est retirée à 13h19.

Coté pompiers, l'opération aura mobilisé 170 hommes et 27 centres de secours.

Le Centre Régional d'Information Routière a été informé de l'accident vers 5h10 par le PC autoroutier CORALY et a diffusé cette information, ainsi que ses conséquences sur le trafic, de même qu'il a avisé le Centre National d'Information Routière et le permanencier de la DSCR. L'accident n'a eu que peu d'influence sur l'écoulement du trafic, seules 2 voies ayant dû être fermées dans un premier temps ; le sens nord/sud a ensuite été dévié à 7h.

Le bilan final des victimes s'établit à 28 tués et 46 blessés ; les corps des victimes décédées ont été retrouvés entassés à l'avant du véhicule où ils ont été projetés. Le conducteur allemand a été tué et le conducteur russe gravement blessé.

La CRS 45 s'est vu confier par le Procureur l'enquête judiciaire.

3 – Cinématique de l'accident

A la demande des enquêteurs techniques, le Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyses de Risques (CEESAR), qui a l'expérience des études sur l'accidentologie des autocars et poids-lourds, a réalisé une reconstruction cinématique du déroulement de l'accident.

On trouvera cette étude en annexe 4 ci-après.

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

L'autocar roule sur l'autoroute sur la voie centrale, à une vitesse moyenne estimée à 110 km/h ; pour une raison inconnue, probablement liée à une hypovigilance du conducteur, l'autocar se déporte vers la voie de gauche en décélérant. Sa vitesse est ramenée à 75 km/h environ lorsque le conducteur s'apercevant soudainement que son véhicule se dirige vers la glissière de gauche, donne un brusque coup de volant vers la droite combiné à un freinage.

Dans cette tentative de rattrapage, le véhicule traverse toutes les voies de l'autoroute et se dirige vers l'accotement droit (traces laissées par les pneumatiques). Compte tenu du très mauvais état général du véhicule (en terme de caractéristiques dynamiques) et d'une adhérence rendue faible par les conditions météorologiques, le conducteur perd le contrôle de son véhicule, et l'autocar vient percuter la rambarde (glissière métallique) d'un ouvrage de passage inférieur à une vitesse estimée de 56 km/h.

L'autocar arrache la rambarde et poursuit sa trajectoire en chute libre tout en amorçant son renversement (en partie déjà initié par la perte de contrôle) ; Il finit par retomber au pied de talus de remblai en contrebas de l'autoroute et heurte violemment sa face avant contre le sol ; suite à ce second choc, le véhicule est stoppé dans sa chute, mais poursuit son renversement à faible vitesse. Finalement l'arrière de l'autocar retombe sur le sol en s'écrasant.

L'analyse du CEESAR permet d'expliquer les suites et conséquences de la perte de contrôle du conducteur, attribuée à un probable épisode d'hypovigilance de ce dernier. Il convient d'en retenir aussi la localisation des personnes décédées, très nombreuses à l'avant du car.

A noter aussi que cette reconstruction est cohérente avec la plupart des témoignages recueillis lors de l'enquête judiciaire

4 - Les circonstances et les causes

Quatre catégories de facteurs susceptibles d'avoir causé ou aggravé l'accident ont été examinés dans le cadre de l'enquête technique, sur la base des informations disponibles :

- l'entreprise et les habilitations des conducteurs ;
- la conduite et les conditions de travail ;
- l'état du véhicule ;
- les caractéristiques de l'infrastructure routière.

4 – 1 L'entreprise et les habilitations des conducteurs

L'entreprise Tiger Busreisen à Wunstorf est inscrite au registre du commerce près le tribunal de Neustadt (Basse-Saxe) depuis 1996 ; l'un de ses deux associés en était aussi le gérant et c'est lui qui était au volant du car lors de l'accident. Cette société disposait de 10 autocars, dont le véhicule accidenté, tous autorisés au titre de la loi allemande sur le transport de voyageurs.

Les deux conducteurs, âgés de 54 et 49 ans, étaient régulièrement employés et disposaient des permis de conduire exigibles, en cours de validité ; ils semblent avoir une longue expérience de la conduite d'autocars. Aucun élément d'ordre médical pouvant contribuer à la compréhension de l'accident n'a été mis en évidence parmi les informations disponibles concernant ces deux personnes.

4 – 2 La conduite et les conditions de travail

A) Etat de fonctionnement du chronotachygraphe.

Le chronotachygraphe n'a pas été démonté pour faire l'objet de tests précis ; cependant des enregistrements effectués permettent une appréciation de son niveau de fiabilité.

Sur la dernière partie du parcours en France, la vitesse moyenne du véhicule entre les deux points caractéristiques des péages de Gye (54) et de Villefranche-sur-Saône (69) a été calculée, 350 kilomètres ont été enregistrés graphiquement sur le disque. Cette distance correspond à la distance de 348,20 km indiquée par la SAPRR entre les deux barrières de péages. Ceci démontre un réglage précis de l'appareil de contrôle (0,51% d'écart dont une partie se justifie par 3 arrêts sur des aires de repos).

Le temps écoulé entre l'heure de passage à Gye (0h04) et l'heure de passage à Villefranche-sur-Saône (4h30) est de 4 heures 26 minutes soit 266 minutes. Pendant ce parcours, le véhicule s'est arrêté 21 minutes entre 0h30 et 0h51 sur l'aire de Lorraine, puis 4 minutes entre 2h50 et 2h54 sur l'aire de Beaune et enfin 25 minutes sur l'aire de Darcé entre 3h50 et 4h15 ; soit un total de 50 minutes d'arrêt.

Le véhicule a donc roulé 216 minutes pour effectuer les 348,20 kilomètres, ce qui représente une **moyenne** horaire de 96,6 kilomètres par heure.

Cette moyenne reconstituée paraît cohérente avec les indications de vitesse figurant sur le disque.

Le chronotachygraphe apparaît néanmoins en bon état de fonctionnement et son étalonnage semble correct dans la mesure où les distances enregistrées sont conformes à la réalité, et les vitesses indiquées semblent bonnes.

Les autorités allemandes indiquent dans leur courrier du 8 juillet 2003 que «la dernière réparation/vérification du chronotachygraphe a eu lieu le 8 avril 2003» soit un mois et 8 jours avant l'accident. Une facture atteste de la réparation de l'appareil de contrôle. Pourtant, il apparaît que si le générateur d'impulsion est bien branché, celui-ci n'est pas scellé sur la boîte de vitesse comme l'exige la réglementation européenne.

B) Utilisation du chronotachygraphe et enregistrement des disques

Les deux disques retrouvés dans le chronotachygraphe correspondent au double équipage constitué par un conducteur allemand âgé de 54 ans, également gérant de Tiger Bus, et un conducteur de nationalité russe âgé de 49 ans. Au moment de l'accident, le disque en cours d'utilisation est celui du conducteur russe alors que le conducteur réel est son collègue.

En dehors des deux disques du double équipage pour le voyage en cours, aucun autre disque enregistré n'a été retrouvé pour les deux conducteurs concernés, en dépit de l'obligation réglementaire de la présence à bord du véhicule des disques de la semaine en cours et du dernier disque de la semaine précédente.

En tout état de cause, l'usage d'un disque ne correspondant pas au conducteur effectif au moment de l'accident, l'absence des disques précédents des deux conducteurs et la coupure d'alimentation électrique inexplicquée constituent autant d'infractions envers les règlements CEE 3820 et 3821, susceptibles de justifier l'immobilisation en cas de contrôle routier.

Il faut également remarquer que deux coupures d'alimentation électrique figurent sur les disques.

Le boîtier a été ouvert pendant une durée de cinq minute le 16 mai 2003 entre 10h05 et 10h09 (horaire disque) au moment de la montée du conducteur russe à bord.

Un autotest est enregistré le 16 mai 2003 à 10h10 sur le disque du conducteur allemand. Il fait suite à une interruption (volontaire ou non) de l'alimentation électrique ou à une chute de tension dans l'installation électrique, et reste inexplicqué.

Un deuxième autotest est enregistré le 16 mai à 18h20. Une panne d'alternateur et une réparation de fortune effectuée par les conducteurs ont été signalées dans les auditions des passagers. La panne d'alternateur a pu entraîner une rupture d'alimentation électrique expliquant l'autotest au moment où le car a repris la route.

C) Vitesse pratiquée

Sur la base des indications des disques, lors de la perte de contrôle, le car circulait à 110 km/h (la pointe à 117 km/h citée dans la presse correspond à l'emballement de la chaîne cinématique), alors qu'il est censé être limité et bridé à 100 km/h.

Auparavant, ces disques, avaient fréquemment enregistré des vitesses de plus de 100 km/h sur les précédents parcours autoroutiers, avec 3 pointes à 117/118 km/h, des deux conducteurs.

La vitesse du car lors de l'accident apparaît donc excessive de 10 km/h par rapport à la vitesse limite autorisée pour ce type de véhicule, soit 100 km/h, d'autant plus que le chauffeur aurait normalement dû ralentir en dessous de cette vitesse limite compte tenu de la pluie, particulièrement de nuit.

D) Temps de conduite des deux conducteurs pendant le voyage

Le car en cause est parti de la région de Hanovre après avoir reçu une partie des passagers d'abord pris en charge dans le Nord de l'Allemagne par un véhicule de plus faible capacité de la même entreprise et conduit par un autre chauffeur. Le conducteur allemand a donc débuté le voyage à Wunstorf le 16 mai 2003 à 9h25. Le conducteur russe l'a rejoint ensuite à bord du véhicule, son disque commençant à enregistrer son activité à compter de 10h09 le 16 mai 2003.

Les disques retrouvés à bord du véhicule ont enregistré les événements suivants pour la période allant du départ du véhicule en Allemagne à l'accident en France (Cf. annexe 2) :

- pour le conducteur allemand une durée totale de conduite enregistrée de 8 heures et 9 minutes et une distance enregistrée de 694,5 kilomètres.

- pour le conducteur russe une durée totale de conduite enregistrée de 5 heures et 41 minutes et une distance enregistrée de 398 kilomètres.

Les temps de conduite et les poses prévus par la réglementation européenne et enregistrés sur les disques sont respectés au moment de l'accident.

Cependant, il n'apparaît pas, à travers donc les informations disponibles, que l'organisation mise en place par le transporteur pouvait permettre le respect des temps de conduite et de repos réglementaires sur l'ensemble du voyage.

En effet, en double équipage, les conducteurs doivent bénéficier d'un repos de 8 heures minimum sur une période de 30 heures, véhicule à l'arrêt. Le voyage ayant débuté le 16 mai 2003 à 9h25, les conducteurs devaient bénéficier d'un repos de 8 heures véhicule à l'arrêt, avant le 17 mai à 7h25. Au moment de l'accident, il restait donc 2 heures 41 minutes potentielles de conduite à l'équipage avant d'être en infraction par rapport au repos journalier. Le véhicule aurait donc du s'arrêter pour un repos de 8 heures minimum aux environs de Remoulins dans le Gard.

En considérant le lieu d'arrivée en Espagne (Costa Brava), dès le franchissement de la frontière espagnole les conducteurs auraient déjà dépassé la durée totale de conduite journalière possible avec un double équipage d'au moins trois heures (temps nécessaire pour parcourir la distance entre Remoulins et Figueras à 90 km/h). A moins qu'un relais avec un troisième conducteur n'ait été prévu avant l'arrivée à destination, ce dont aucune justification n'a été fournie lors des échanges avec les autorités allemandes et l'entreprise.

E) Repos hebdomadaire et journalier

En l'absence des disques d'enregistrement des deux conducteurs pour la quinzaine précédent l'accident, il n'est pas possible de contrôler avec certitude le respect effectif des règles afférentes aux repos journalier et hebdomadaire.

D'après les informations données par la société Tiger (document daté du 17 juillet 2003), le conducteur allemand aurait effectué un voyage en Espagne en double équipage avec le conducteur russe avec retour en Allemagne le dimanche 11 mai 2003. Les horaires et dates de départ de ce voyage ne sont pas connues. Il n'a pu être déterminé si un repos hebdomadaire avait été observé en Espagne lors de ce voyage par les deux conducteurs.

Puis, le conducteur allemand se serait rendu le lundi 12 mai 2003, avec l'autocar en cause dans un atelier de pneumatiques pour faire monter deux pneus neufs sur l'essieu avant. Aucune autre précision sur les trajets de cette journées n'a néanmoins été fournie. Ce même conducteur est ensuite reparti, en double équipage avec un autre conducteur allemand, vers l'Italie (Gênes) du mardi 13 mai au jeudi 15 mai 2003. Il n'a pu être déterminé non plus s'il avait pu bénéficier d'un repos hebdomadaire sur place.

La règle du repos journalier (8 heures minimum consécutive pour un équipage), suppose que le conducteur allemand soit rentré de son voyage en Italie au plus tard le vendredi 16 mai 2003 à 01:25. S'il est effectivement arrivé le 15 mai après-midi comme l'indique la société Tiger, cette condition serait remplie.

Selon les déclarations du gérant de la société Tiger, le conducteur russe était en congé du 13 mai 2003 jusqu'à son départ le 16 mai 2003 avec le conducteur allemand. Il aurait dans ce cas respecté la règle du repos hebdomadaire et celle du repos journalier.

En conclusion, et sur la base des données fournies, les repos hebdomadaire et quotidien antérieurs au voyage en cause semblent avoir été respectés pour le conducteur russe ; pour ce qui est du conducteur allemand, un doute subsiste.

4 – 3 L'état du véhicule

A) Situation administrative

Les véhicules immatriculés H-E 8499 et H-E 8901 ne font qu'un. Cependant, nous ne connaissons pas la raison du changement d'immatriculation.

Le car à étage, de marque AUWAERTER GOTTLOB (marque devenue NEOPLAN construite par NEOMAN-BUS-GmbH) est immatriculé depuis le 27 mars 1991.

En ce qui concerne sa situation administrative, les documents retrouvés ainsi que les précisions apportées par les autorités allemandes permettent d'établir que :

- le véhicule a été ré- immatriculé le 10 février 1999 sous le numéro H-E 8499. Cette immatriculation a été remplacée le 26 mars 2003 par l'immatriculation relevée lors de l'accident H.E 8901. Les motifs de ce dernier changement ne nous ont pas été communiqués (perte de plaque ?).
- le véhicule a fait l'objet de visites techniques annuelles (contrôle général noté HÜ) en février 2001, juillet 2001, janvier 2002, novembre 2002, la dernière date du 10 mars 2003.

Normalement, selon la législation allemande, le contrôle général aurait dû avoir lieu chaque année en février. Les dates auxquelles le véhicule a été présenté à un organisme de surveillance sont surprenantes et ont suscité des interrogations des autorités du Land de Basse-Saxe.

B) Etat technique

L'expertise judiciaire et l'examen du véhicule par les enquêteurs techniques confirment les constats suivants :

1) Les freins présentent de multiples et très graves désordres :

- une usure excessive des garnitures du premier essieu, avec un arrachage partiel sur la roue gauche, ce qui entraîne un déséquilibre et un manque d'efficacité du freinage (voir photo annexe 3-A) ;
- une usure excessive des garnitures de l'ensemble des roues du 2^{ème} essieu, avec arrachage partiel du côté gauche, ce qui induit un manque d'efficacité de freinage de cet essieu et un déséquilibre ;
- une usure très faible des garnitures de l'essieu 3, cependant avec oxydation de l'intérieur du tambour gauche montrant que le freinage sur cette roue était depuis longtemps inopérant, d'où un freinage déséquilibré sur cet essieu et une perte d'efficacité ;

- l'absence du dispositif de rattrapage automatique de jeu des leviers de frein sur la roue gauche de l'essieu 1 et sur la roue gauche de l'essieu 3, entraînant un déséquilibre de freinage.

Cet ensemble d'observations fait conclure à un freinage d'une efficacité globale insuffisante, de surcroît déséquilibré en particulier en cas de freinage « réflexe » ou d'urgence en raison des fortes déficiences de la ligne de frein gauche.

A noter enfin que le « frein d'échappement » prévu à l'origine était démonté. L'efficacité du ralentisseur électrique TELMA n'a pu être vérifiée, ni celle des capteurs du système ABS présents sur chacune des roues.

2) Le soubassement (châssis) est très fortement corrodé (voir photos annexe 3-B1 à B6) y compris sur des renforts eux-mêmes fissurés et oxydés. Une cassure ancienne existe même sur un tube du châssis entre les essieux 2 et 3, ce qui fait conclure à la probable perte de rigidité de ce châssis. Ce défaut engendre une flexibilité anormale du véhicule, susceptible d'affecter sa stabilité.

3) Les amortisseurs présentent une corrosion perforante, et pour certains (voir photos annexe 3-C1 et C2) des fuites d'huile, ce qui fait présumer de leur perte d'efficacité (alors qu'il s'agit d'un élément essentiel de la stabilité des cars à étage).

4) Le limiteur de vitesse est débranché et ce depuis longtemps (voir photos annexe 3-D1 et D2), cette constatation est confirmée par les vitesses de pointe et les vitesses moyennes relevées sur les disques de chronotachygraphe (cf. § 4 – 2 B « vitesse pratiquée » ci-dessus), ainsi que par la contravention n° 104832 en date du 28 février 2003 trouvée dans le véhicule pour excès de vitesse relevant une vitesse de 118 km/h et dressée par la police italienne à l'encontre du véhicule alors encore immatriculé H.E 8499, conduit par la même personne que lors de l'accident.

Le dispositif limiteur de vitesse est soumis aux dispositions de la directive 92/24 CEE du 31 mars 1992 relative aux dispositifs limiteurs de vitesse ... montés sur certaines catégories de véhicules à moteur. Les points 7.1.2.1 et 7.1.2.2 de son annexe 1 visant à assurer l'inviolabilité du dispositif limiteur de vitesse ne sont pas satisfaits dans le cas présent.

Cette neutralisation du système de limitation de vitesse est en infraction vis à vis de l'article L 317.1 du Code de la Route

5) Si l'homogénéité des structures des pneus dans la monte par essieu est respectée, on note que sur le dernier essieu, il y a un pneu rechapé à droite (marque TAURUS) alors que le gauche (marque MICHELIN) ne l'est pas.

Cette constatation est confirmée par la facture de fourniture et d'expertise des pneumatiques, facture du 12 mai 2003 communiquée par l'autorité allemande.

Aux termes des dispositions de la directive 92/23 CEE du 31 mars 1992 relative aux pneumatiques des véhicules à moteur et de leurs remorques ainsi qu'à leur montage, tous les pneumatiques montés sur un même essieu doivent être du **même type** ; ils ne doivent donc pas présenter entre eux de différences essentielles sur des points comme : la raison sociale ou la marque du fabricant.

La présence sur un même essieu de pneus de deux marques différentes, constitue ainsi une infraction à l'article R314.1 du Code de la Route.

Par ailleurs on constate des usures irrégulières sur 5 des 6 pneus des deux essieux arrières (sans cependant que les limites d'usure ne soient dépassées). Cette usure irrégulière pourrait résulter de l'inefficacité des amortisseurs ou de leur faiblesse.

6) Un des réservoirs de carburant à une fuite ancienne, réparée artisanalement, réouverte dans l'accident

7) Des traces (soudures) de réparation d'un accident ancien apparaissent à l'avant, en particulier par le renforcement des points d'ancrage de la colonne de direction (plaque boulonnée et soudée artisanalement).

8) L'alternateur, dont le support est cassé, a fait l'objet d'une réparation de fortune.

9) Trois constatations interpellent les enquêteurs et introduisent une suspicion sur l'identité réelle du véhicule :

- la plaque constructeur du véhicule : compte tenu de la date de première mise en circulation (1991) du véhicule, cette plaque apparaît anormalement neuve et en bon état (voir photo annexe 3-E1)
- le numéro de châssis frappé à froid (voir photo annexe 3-E2) :
 - il est frappé sur une plaque rapportée elle-même soudée d'une manière artisanale et peu soignée, inhabituelle chez un constructeur réputé ;
 - la frappe à froid est irrégulière et certains chiffres sont décalés.
- une plaque corrélant davantage l'âge du véhicule n'a pu être exploitée (voir photo annexe 3-E3).

Les anomalies 1 à 4 paraissent particulièrement graves, les autres (4 à 8) confirment une gestion peu rigoureuse de l'entretien du véhicule.

Il apparaît donc aux enquêteurs techniques que le véhicule n'était pas correctement entretenu et n'était pas apte à la circulation, et que son état général a eu une incidence dans la survenance de l'accident.

On peut s'interroger sur les conditions réelles et sur l'étendue du contrôle technique général pratiqué, pendant 45 minutes, le 10 mars 2003 et à l'issue duquel a été délivré le certificat de visite technique. En effet, les désordres observés après l'accident semblent manifestement antérieurs à cette visite et auraient du être visibles à cette occasion.

C) Mesures préventives envisageables

Les constats effectués à l'occasion de l'enquête, ainsi que certaines particularités dynamiques des cars à étage, suggèrent que des mesures préventives pourraient être recherchées dans trois domaines :

a) La réalisation de certains contrôles techniques simples à l'occasion des contrôles sur route :

Le contrôle technique routier de certains véhicules a été prévu par la directive 2000/30 CEE, modifiée en dernier lieu par la directive 2003/26 CEE, pour certains véhicules utilitaires.

Ce contrôle inopiné concerne en particulier les véhicules utilitaires affectés au transport de personnes et disposant de plus de huit places assises en sus de celle du conducteur ; il s'agit des véhicules des catégories internationales M2 et M3 définies par la directive 70/156 CEE.

Un arrêté du 9 août 2002 (JO du 15 octobre 2002) transcrit en droit français cette directive, et est applicable dès maintenant.

b) Le renforcement des règles de réception des cars à étage :

Les normes techniques de réception des véhicules des catégories M2 et M3, classés en II et III au sens de la directive 2001/85 pour les véhicules de plus de 22 places (hors conducteur) à l'exclusion des autobus, ne prévoient pas d'obligation de présence de dispositif électronique de contrôle de trajectoire ni de normes de résistance au retournement s'appliquant aux autocars à étage.

Des mesures en ce sens seraient à promouvoir sur le plan communautaire européen.

c) L'amélioration de la formation des conducteurs de cars à étage :

Les formations obligatoires initiale et continue des conducteurs routiers (FIMO et FCOS) ne prévoient, pour les conducteurs d'autocars, aucune distinction en fonction de la catégorie de car à conduire. Les particularités dynamiques des cars à étage justifieraient une spécialisation dans le cadre de ces formations.

5 - Caractéristiques de l'infrastructure routière

A l'endroit de l'accident, l'autoroute compte 3 files de circulation et présente un tracé rectiligne, une pente descendante faible (1,3 %) et une très bonne visibilité par temps sec. Elle se situe en remblai à 5 m environ au-dessus du terrain naturel. La chaussée comporte une pente transversale de 2 % et assure un écoulement convenable de l'eau par temps de pluie, comme l'a confirmé l'essai d'arrosage réalisé pour l'enquête judiciaire. Le revêtement est en état normal ; sur la voie de droite il a été refait en 1993.

Il convient de signaler la présence proche de l'entrée depuis la RN6 « porte de Lyon », dont le biseau d'entrée sur l'autoroute se termine environ 165 m avant le point d'impact du car sur la glissière latérale. Dans cette configuration, on a pu envisager l'hypothèse d'une éventuelle interférence avec un véhicule entrant ; cependant, l'enquête judiciaire n'a pas conduit à retenir une telle hypothèse.

Un panneau « 110 » ramenant de 130 à 110 km/h la vitesse maximale autorisée sur l'autoroute est situé à la fin du biseau d'entrée de cette bretelle ; par temps de pluie, la vitesse maximale est ramenée de 130 à 110 km/h sur la section autoroutière située avant ce panneau, et reste à 110 km/h sur la section située après (cf. tableau joint de la direction de la sécurité et de la circulation routières). Rappelons que le car devait de toute manière respecter la limite de 100 km/h applicable à ce type de véhicule.

Pour ce qui est de l'accidentologie de ce secteur de l'A 6 s'étendant sur 2 km avant la descente vers le tunnel de Fourvière, l'analyse qui en a été faite par le CETE de Lyon (en 5 ans, 19 PV d'accident corporel) fait apparaître 5 cas de perte de contrôle de véhicule, dont 3 sur chaussée mouillée, et 8 cas typiques de situations de trafic saturé en zone urbaine (collisions de queue de bouchon ou insertion en provenance de la RN 6), ce qui n'était manifestement pas le cas à l'heure où se situe l'accident qui nous intéresse. Les autres situations sont disparates (1 contresens ...) et aucune ne semble concerner un autocar.

En conclusion, l'infrastructure routière dans la zone de l'accident ne présente pas d'anomalie ou de point singulier susceptible de créer un risque particulier.

6 – Conclusions et recommandations

On retiendra principalement que :

- 1) La cause première de cet accident semble bien être l'état d'hypovigilance du conducteur.
- 2) Deux facteurs aggravants ont aussi joué un rôle certain, indépendamment des mauvaises conditions atmosphériques : une vitesse excessive surtout de nuit sous la pluie, et l'état technique déplorable qui sont de nature à précipiter et accentuer la perte de contrôle d'un véhicule chargé aux limites de sa capacité.
- 3) La configuration à deux étages de ce type de véhicule, avec une hauteur du centre de gravité importante –hauteur accrue par la présence de la majorité des passagers en partie haute– et la présence d'un important porte bagages à l'arrière, accentuent encore les facteurs potentiels d'instabilité dynamique. A cet égard les données recueillies lors d'accidents sur de tels véhicules, et leur renversement, montrent que les cars à étage présentent des risques particuliers et devraient être utilisés dans des conditions rigoureuses de respect de la réglementation (cf. bibliographie).

En dehors de l'utilisation des ceintures de sécurité sur les autocars qui en sont équipés, devenue obligatoire depuis l'accident de Dardilly, trois mesures d'ordre administratif ou réglementaire seraient de nature à diminuer la fréquence de ce type d'accident ou minimiser leurs conséquences :

RECOMMANDATION 1 **A court terme, le contrôle technique routier des véhicules rendu possible par la directive 2000/30 précitée devrait être appliqué plus fréquemment aux autocars.**

C'est en effet le seul moyen de s'assurer de l'état des cars en provenance de l'étranger ou en transit sur notre territoire.

D'une manière générale il conviendrait, lors des contrôles routiers d'autocars, d'être particulièrement vigilants à l'égard des véhicules circulant avec des coffres à bagages extérieurs, ou des remorques ; en effet, de telles configurations dénoncent trop souvent des surcharges qui compromettent gravement le comportement routier du véhicule.

La Direction des Transports Terrestres pourrait prendre l'initiative de la diffusion d'instructions en ce sens.

RECOMMANDATION 2 **A plus long terme, les directives relatives à la réception des véhicules de plus de 22 places (catégories II et III) devraient être complétées pour tous les autocars pour exiger la présence d'un dispositif électronique de contrôle de trajectoire et, pour les autocars à étages qui sont actuellement exclus du champ d'application des normes de résistance de la superstructure (en cas de retournement), leur intégration dans ces normes devrait être recherchée.**

La Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière pourrait entreprendre les démarches nécessaires au plan international afin d'aboutir à la généralisation de ces deux mesures.

RECOMMANDATION 3 En dehors de ces mesures concernant le contrôle et la conception des autocars à étage, on peut également avancer que les formations obligatoires des conducteurs de véhicules de transport en commun (FIMO et FCOS) pourraient utilement prévoir une spécialisation « conduite des autocars à étage», les caractéristiques dynamiques de tels véhicules apparaissant nécessiter une sensibilisation et des compétences particulières.

La Direction des Transports Terrestres pourrait engager le processus de concertation avec les partenaires sociaux visant à ce résultat.

Références bibliographiques

- P. BOTTO, F. BAR, C. GOT, D. DARLOT
Comparative study for coach accidents between two level coach and standard models with one level
FISITA 1998 SESSION VII ROAD SAFETY 3
13 pages
- Arrêt de la cour d'appel de Nîmes du 9 mai 2000 entre MONLLOR LILLO Juan Manuel et PICO GARCIA Vicente et d'autre part le Ministère Public et les victimes (accident de Roquemaure du 10 juillet 1995).
36 pages

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de commande



le ministre de l'Équipement, des Transports,
du Logement, du Tourisme et de la Mer

19 MAI 2003

Le Ministre de l'Équipement, des Transports,
du Logement, du Tourisme et de la Mer
à
Monsieur Claude MARTINAND
Vice-Président du Conseil Général des
Ponts-et-Chaussées



objet : Accident de car sur l'A6 du 17 mai 2003.

Je vous saurai gré de bien vouloir diligenter une enquête technique et administrative sur les circonstances de l'accident d'autocar survenu samedi 17 mai 2003 au matin sur l'autoroute A6 à hauteur de l'échangeur de Dardilly (Rhône) faisant 28 morts et 46 blessés.

Vous voudrez bien me faire parvenir vos premières conclusions sous un mois.

Gilles de ROBIEN

PJ :
copie à :

19-05-2003 15:42

0140813887

99%

TOTAL PAGE(S) 01
P.01

Annexe 2 : Temps de conduite des deux conducteurs

Horaires	Temps écoulé	Position conducteur allemand	Position conducteur russe	Distance parcourue
09h25 - 09h38	13 mn	conduite	pas à bord	10 km
09h38 - 10h10	32 mn	repos	pas à bord	arrêt
10h09	ouverture chrono entre 10h05 et 10h09	mise en place du	disque russe	autotest sur disque allemand
10h10 - 10h13	3 mn	conduite	travail (2ème conducteur)	2 km
10h13 - 10h30	17 mn	repos	travail	arrêt
10h30 - 11h28	58 mn	conduite	travail	64 km
11h28 - 11h41	13 mn	repos	travail	arrêt
11h41 - 12h25	44 mn	conduite	travail	59 km
12h25 - 12h57	32 mn	repos	travail	arrêt
12h57 - 13h44	47 mn	conduite	travail	74 km
13h44 - 14h05	21 mn	repos	travail	arrêt
14h05 - 15h14	1 heure 09 mn	conduite	travail	78,5 km
15h14 - 15h29	15 mn	repos	travail	arrêt
15h30	changement de conducteur			russe remplace allemand
15h30 - 16h38	1 heure 09 mn	travail (2ème conducteur)	conduite	71,5 km
16h38 - 16h50	12 mn	travail	repos	arrêt
16h50 - 17h27	37 mn	travail	conduite	28,5 km
17h27 - 18h20	53 mn	travail	repos	arrêt/panne alternateur
18h20	autotest			disque russe
18h20 - 20h09	1 heure 49 mn	travail	conduite	112 km
20h09 - 20h16	7 mn	travail	repos	arrêt
20h16 - 20h56	40 mn	travail	conduite	48,5 km

20h56 - 21h29	33 mn	travail	repos	arrêt
21h29	changement de conducteur			allemand remplace russe
21h29 - 22h13	48 mn	repos	travail (2ème conducteur)	arrêt
22h13 - 00h30	2 heures 17 mn	conduite	travail	215 km
00h30 - 00h52	22 mn	repos	travail	arrêt
00h52 - 02h50	1 heure 58 mn	conduite	travail	192 km
02h50 - 02h54	4 mn	repos	travail	arrêt
02h54	changement de conducteur			russe remplace allemand
02h54 - 03h51	57 mn	travail (2ème conducteur)	conduite	98 km
03h51 - 04h15	24 mn	travail	repos	arrêt
04h15 - 04h44	29 mn	travail	conduite	39,5 km
04h45	accident	travail enregistré alors qu'allemand conduit	conduite enregistrée alors russe n'est pas au volant	

Annexe 3 : Photographies

Frein avant gauche :

Mâchoire supérieure constituée d'un segment métallique et d'une garniture excessivement usés

Rouleau d'appui sur les cames de freins

Came de freins

Mâchoire inférieure

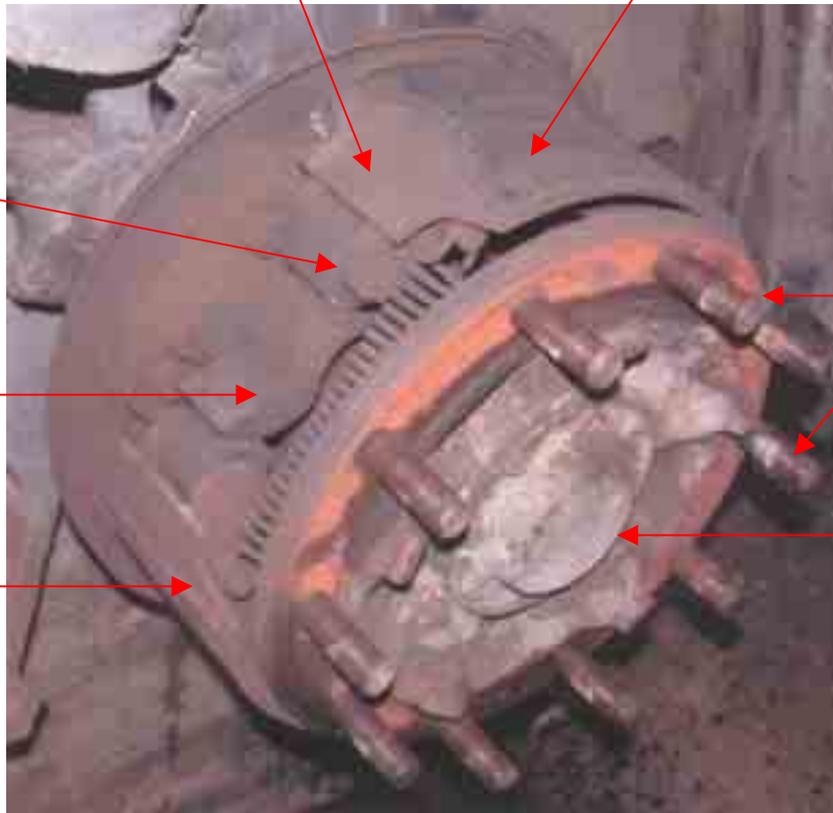


Figure A

Goujons de roues

Moyeu de roues supportant le tambour fixé par les goujons de roues

Corrosion du châssis :



Figure B1

Partie tubulaire du châssis côté droit avec une cassure ancienne et corrodée

Figure B2





Figure B3

Partie tubulaire du
châssis côté gauche
avec cassure

Figure B4



Gros plan de l'oxydation perforante de la cassure



Figure B5

Tube ARG

Autres éléments du
châssis cassés et corrodés



Figure B6

Corrosion des amortisseurs :

Corrosion perforante des caches supérieurs d'amortisseur



Figure C1

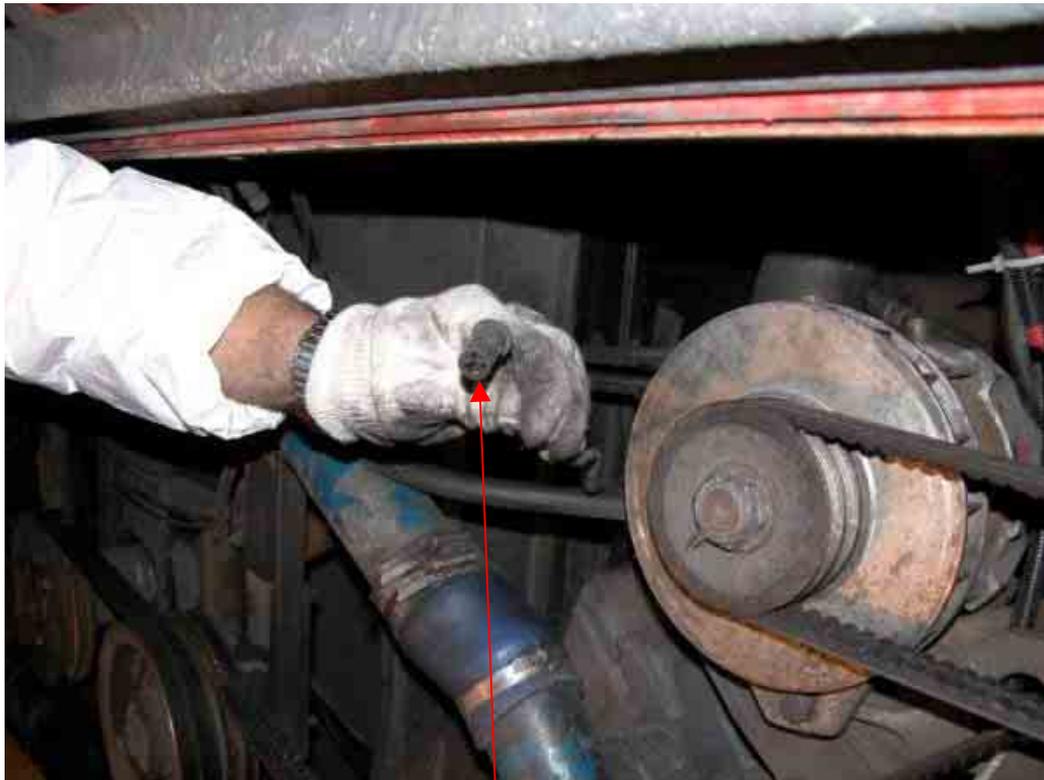
Figure C2



Traces
anciennes de
fuite d'huile

Limiteur de vitesse :

Figure D1



Prise du limiteur de
vitesse débranchée



Figure D2

Plaque constructeur du véhicule :

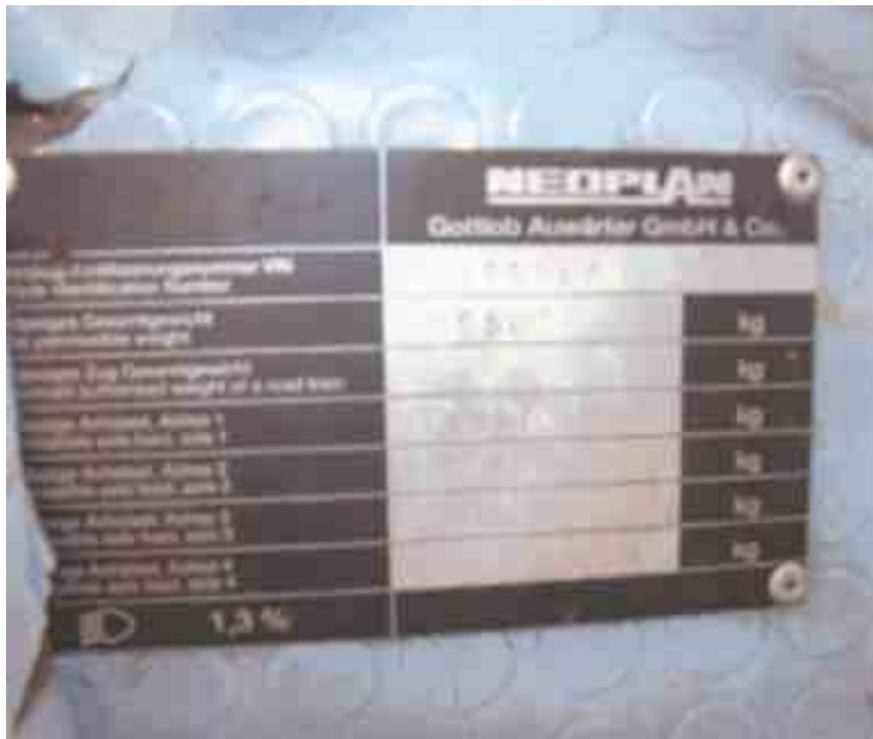


Figure E1

Numéro du châssis frappé à froid :



Figure E2

Plaque non-interprétée :



Figure E3

Annexe 4 : Reconstruction cinématique du déroulement de l'accident

Reconstruction cinématique de l'accident d'autocar de Dardilly

**Etude du comportement
dynamique du véhicule Néoplan**



Reconstruction cinématique de l'accident d'autocar de Dardilly

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	37
2 ANALYSE DE L'ACCIDENT.....	38
2.1 DESCRIPTION DES CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT.....	38
2.2 DESCRIPTION DE L'INFRASTRUCTURE.....	39
2.3 DESCRIPTION DU VEHICULE.....	41
2.4 DESCRIPTION DES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES ET DU TRAFIC.....	42
2.5 ANALYSE DANS LE TEMPS.....	42
2.6 ANALYSE DANS L'ESPACE.....	42
2.7 DESCRIPTION DES DEFORMATIONS DE LA STRUCTURE DE L'AUTOCAR.....	42
2.7.1 Définition du type de choc principal.....	44
2.7.2 Analyse des déformations de structures.....	44
2.7.3 Le règlement E.C.E. n°66 et les autocars à étage.....	45
2.8 REPARTITION DES OCCUPANTS DANS L'AUTOCAR.....	45
2.8.1 Plan d'occupation du car avant l'accident.....	45
2.8.2 Nombre d'occupants et type de population transportée.....	46
2.8.3 Plan avec positionnement des victimes.....	46
2.9 ANALYSE DES FACTEURS A L'ORIGINE DE L'ACCIDENT.....	47
2.9.1 La liste de l'ensemble des facteurs.....	48
2.9.2 L'hypothèse la plus probable sur les origines de cet accident.....	49
2.10 DESCRIPTION DES MECANISMES LESIONNELS DES OCCUPANTS DE L'AUTOCAR.....	50
2.10.1 Répartition des victimes en fonction de la gravité des lésions.....	51
2.10.2 Description des mécanismes lésionnels.....	51
2.11 CONCLUSIONS DE L'ANALYSE.	52
2.11.1 Un bilan humain exceptionnel.....	52
2.11.2 Mécanisme lésionnel principal.....	52
2.11.3 Hypothèse retenue pour expliquer la survenue de cette catastrophe.....	52
3 SIMULATION NUMERIQUE DE L'ACCIDENT DE DARDILLY	53
3.1 DESCRIPTION DE L'ACCIDENT.....	54
3.1.1 L'infrastructure	54
3.1.2 La rambarde de sécurité.....	57
3.1.3 Le véhicule Néoplan	58
3.1.4 Conclusion.....	59
3.2 RECONSTRUCTION NUMERIQUE.....	59
3.2.1 Estimation de la vitesse d'impact à partir des équations	60
3.2.2 Application	62
3.2.3 Estimation de la vitesse initiale : analyse de la phase de pré-collision.	67
3.3 VALIDATION DU SCENARIO PAR SIMULATION NUMERIQUE.....	69
3.3.1 Simulation numérique du scénario.....	70
3.4 DISCUSSION	70
ANNEXE A.....	

Reconstruction cinématique de l'accident d'autocar de Dardilly

Etude du comportement dynamique du véhicule Néoplan

1 Introduction

Le samedi 17 mai 2003 à 04h38 du matin est survenu un très grave accident de la circulation routière, sur l'autoroute A6 dans le sens nord/sud et au PR 443 + 300, sur le territoire de la commune de Dardilly 69 570.

Un véhicule de transport en commun de personnes de type autocar était seul impliqué dans cet accident. Cet autocar à deux niveaux était occupé par des touristes allemands. Après avoir effectué une sortie de route par la droite, le véhicule percute le sol en contrebas de l'autoroute puis effectue un retournement et s'immobilise sur le pavillon. Le bilan de cet accident est de 28 morts et 46 blessés, toute gravité confondue.

Le terrible bilan humain avec 28 passagers tués, fait de cet accident un événement extrêmement grave mais aussi tout à fait exceptionnel. Parmi les autres accidents de transport en commun de personnes sur la route, nous ne retrouvons qu'un seul accident survenu en France et dont le bilan humain était encore plus élevé.

- Dans la nuit du 31 juillet 1982, sur l'autoroute A6 à la hauteur de Beaune en Côte d'Or, un terrible accident impliquant deux autocars et plusieurs véhicules légers faisait 53 morts dont 44 enfants tués dans l'incendie de leur autocar.
- Dans la nuit du lundi 10 juillet 1995, sur l'autoroute A9 à la hauteur de Roquemore un accident d'autocar à deux niveaux faisait 22 tués, 7 blessés graves et 24 blessés légers.
- Dans la nuit du 17 mai 2003, sur l'autoroute A6 à la hauteur de Dardilly, un accident d'autocar à deux niveaux faisait 28 tués et 46 blessés.

Ces trois accidents de la route, les plus graves survenus sur le territoire national français, ont en commun de s'être tous déroulés de nuit et sur une autoroute. Dans les deux derniers cas, le véhicule impliqué était un autocar à deux niveaux.



Enfin, il ressort des expertises techniques réalisées sur le véhicule accidenté que ce car était en très mauvais état général avec des altérations graves des fonctions aussi importantes que le freinage ou la suspension. Il existait même une forte dégradation de la structure portante de l'autocar.

2 Analyse de l'accident.

Les principaux objectifs développés dans cette partie sont de mener une analyse sur les causes de l'accident, sur la typologie du choc principal, sur la description des déformations de structures du car en position résiduelle, et enfin de définir les mécanismes lésionnels responsables du bilan humain de cet accident.

2.1 Description des circonstances de l'accident.

Le 17 mai 2003, un autocar à deux niveaux en provenance d'Allemagne et se rendant en Espagne avec 2 chauffeurs et 72 passagers, circulant sur l'autoroute A6 dans le sens nord / sud, arrive en pleine nuit à l'entrée nord de l'agglomération Lyonnaise.

La chaussée est mouillée par une pluie soutenue qui tombe depuis environ une demi-heure à la hauteur de l'accident. A cet endroit, l'autoroute est rectiligne, à trois voies, en très légère descente et fait l'objet d'une limitation de vitesse à 110 km/h.

L'autocar qui circulait sur la voie médiane après l'échangeur avec la RN 6, dérive vers la glissière de sécurité du terre-plein central séparateur des deux sens de circulation (déport vers la gauche par rapport à son sens de déplacement). Avant d'avoir touché cette glissière, le véhicule effectue soudain une manœuvre d'évitement par la droite. Ce brutal changement de trajectoire est attesté par une trace de ripage que l'on retrouve sur la chaussée. La violence du coup de volant à droite entraîne une perte de contrôle du véhicule par son chauffeur. De ce fait, l'autocar effectue une sortie de route par la droite, au niveau d'un pont et à un endroit où l'autoroute est en surplomb d'environ 5 mètres au dessus du sol. Après avoir enfoncé la glissière de sécurité et le garde-fou du pont, le véhicule perd le contact avec le sol avant d'impacter violemment la partie basse du talus avec la face avant du car. Puis l'autocar effectue un retournement et s'immobilise sur le pavillon.

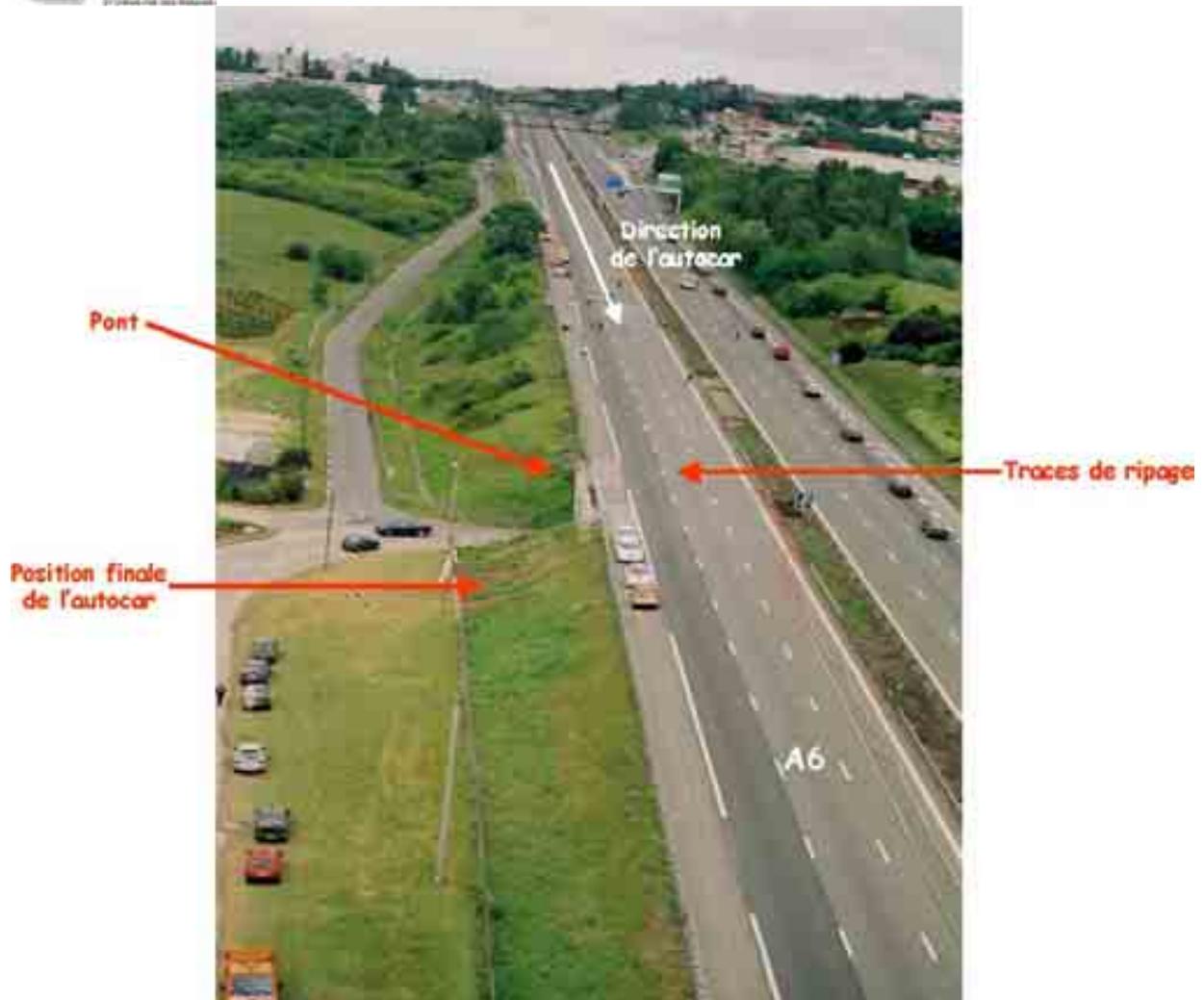


Figure 1 : Vue aérienne du site de l'accident.

Sur cette photographie du site de l'accident, nous retrouvons la portion rectiligne de l'autoroute A6, la trace de ripage de l'autocar, le pont et le talus au bas duquel le véhicule s'est immobilisé.

2.2 Description de l'infrastructure.

Cet accident est localisé sur l'autoroute A6, hors intersection et hors agglomération. Il se situe sur la commune de Dardilly (69570) au PR 446+300 et pour un PR croissant. L'accident se déroule de nuit, et il n'existe pas d'éclairage public sur cette portion d'autoroute. Les conditions atmosphériques sont mauvaises car il pleut, la chaussée est mouillée et l'adhérence est dégradée.

L'autoroute A6 présente six voies de circulation séparées en deux sens de circulation par un terre-plein central lui-même protégé par des glissières de sécurité. Dans le sens nord/sud, il présente 3 voies matérialisées par des marquages discontinus plus une bande d'arrêt d'urgence.

Le tracé en plan est rectiligne et le profil en long présente une faible descente. L'ensemble des trois voies de circulation mesure 10,5 mètres de large, le terre-plein central 3 mètres de large et la bande d'arrêt d'urgence 2,5 mètres de large. Le revêtement est un bitume en bon état.

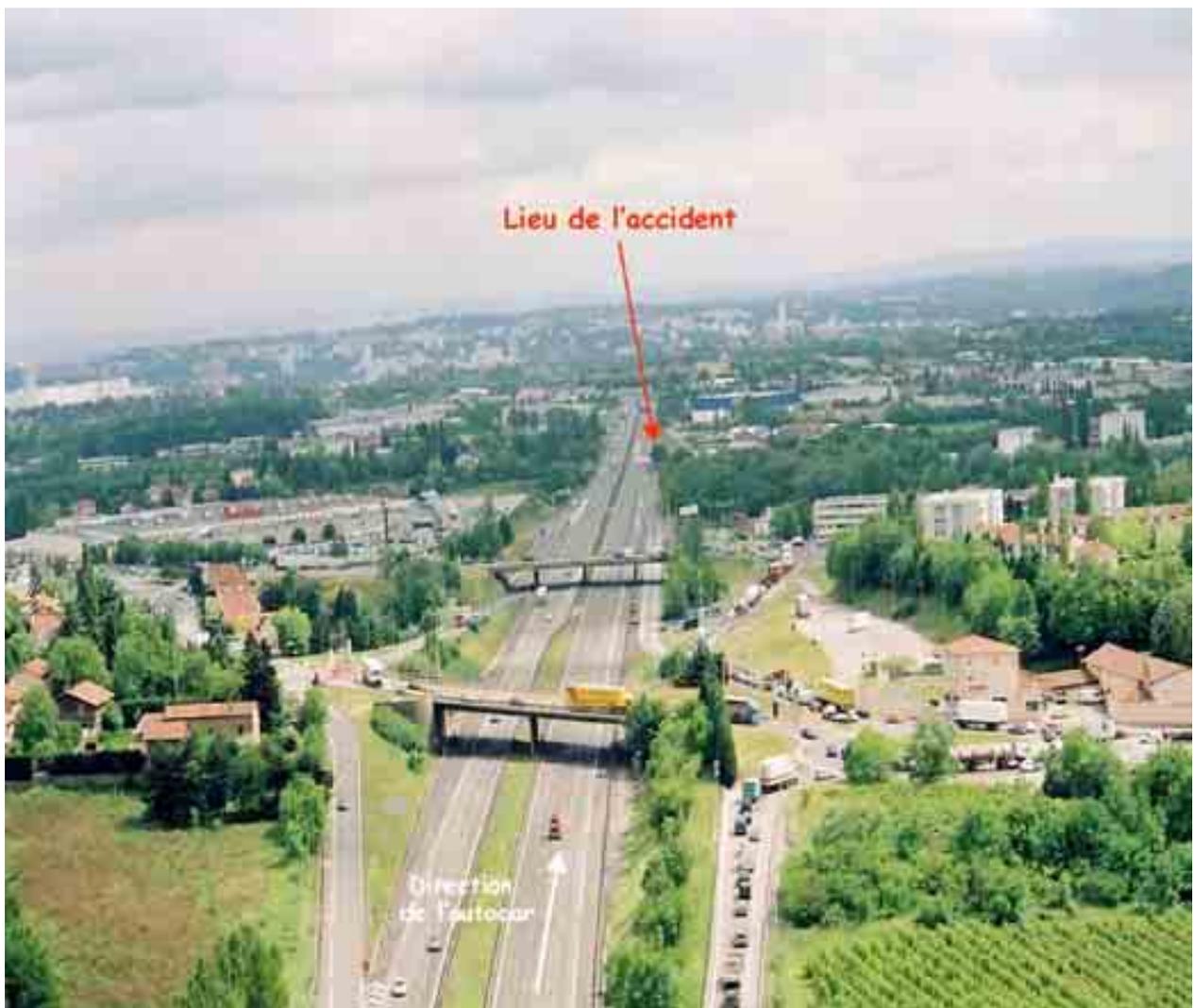


Figure 2 : Vue de l'autoroute A6 en amont de l'accident.

2.3 Description du véhicule

L'autocar de l'accident de Dardilly est un véhicule de transport en commun de personnes à deux niveaux, dit aussi autocar à étage.

Il est de marque NEOPLAN et son type commercial est Skyliner 122 / 3.

C'est un véhicule de 76 places assises réparties en 22 places en partie basse et 54 places en partie haute.

Cet autocar mesure 12 mètres de long et 2 m 50 de large et une hauteur maximum de 4 mètres. C'est un véhicule à 3 essieux.

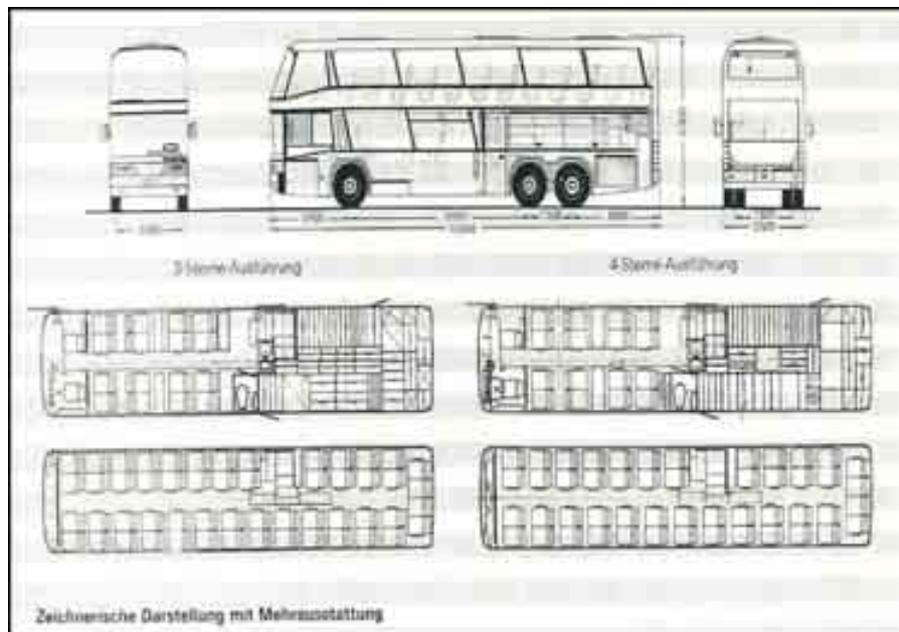


Figure 3 : Détail du véhicule Neoplan Skyliner N122/3.

Sa configuration d'origine est composée de 72 places (18 en bas et 54 en haut). A noter que le véhicule accidenté est quant à lui doté de 76 places. Ce passage en haute densité au niveau des places est autorisé et concerne l'ajout de 4 places en partie basse. Ce véhicule circule donc en pleine charge avec un taux de remplissage de 98,5%, soit 74 occupants lors du choc. Le PTRR est de 25,500T et la masse de l'ensemble véhicule plus occupants, bagages et carburant a été estimée entre 25,200T et 25,400T. Il est donc à charge maximale, mais avec une répartition de la charge beaucoup plus importante sur l'arrière avec le groupe motopropulseur et le coffre à bagages supplémentaire. .

2.4 Description des conditions atmosphériques et du trafic.

La nuit de l'accident, les conditions atmosphériques sont caractérisées par une pluie qui tombe sur cette région depuis environ une demi heure avant l'heure des faits. Ce jour et à cette heure de la nuit le trafic était très faible.

2.5 Analyse dans le temps.

En corrélation avec nos connaissances accidentologiques spécifiques aux véhicules de transport en commun de personnes, nous pensons qu'il est important de situer cet accident dans le temps. Il a eu lieu dans la seconde moitié du mois de mai, un samedi à 04 h 38 en pleine nuit. Ces trois informations sont nécessaires à l'analyse des causes de l'accident.

2.6 Analyse dans l'espace.

L'accident de Dardilly est survenu sur un axe autoroutier français majeur qui traverse notre pays du nord au sud et relie les trois plus grandes villes françaises que sont : Paris, Lyon et Marseille. Cette autoroute est de fait un des axes les plus fréquentés du pays et aussi la voie privilégiée pour traverser rapidement la France dans le sens nord / sud ou inversement. La conduite sur autoroute est toujours beaucoup plus monotone, la charge de travail lors de la conduite est réduite, et les risques d'hypovigilance sont plus fréquents que sur une route nationale ou départementale. D'après l'ASSECAR, 30 à 35% des accidents mortels sur autoroute sont dus à l'hypovigilance ; contre 20% sur la route.

Autre donnée spécifique à l'autoroute, les vitesses moyennes de circulation, pour l'ensemble des véhicules sont plus élevées que sur les autres types d'infrastructures routières.

Ces deux informations qui situent l'accident dans le temps et dans l'espace, seront utiles lors de l'étude des causes de l'accident.

2.7 Description des déformations de la structure de l'autocar.

Dans ce paragraphe, nous allons décrire les déformations de structure de l'autocar après le choc. Si nous accordons une grande importance et une certaine précision dans l'analyse des déformations de structure c'est dans l'unique but de comprendre et de définir les mécanismes lésionnels pour les occupants de ce transport en commun de personnes.



Figure 4 : Vue de l'autocar en position finale depuis l'autoroute.



Figure 5 : Vue de l'autocar en position finale depuis le contre-bas.

2.7.1 Définition du type de choc principal.

Lors du déroulement de cet accident de car, nous pouvons distinguer trois chocs pour ce véhicule. Dans la chronologie de la survenue de l'accident nous avons donc :

- ☑ Un choc frontal avec angle sur la glissière de sécurité et sur le garde-fou du pont.
- ☑ Un choc frontal réparti dans le terre plein en contrebas de l'autoroute.
- ☑ Un retournement dynamique avec ripage au sol avant immobilisation sur le pavillon.

Parmi ces trois chocs, le choc principal est le RETOURNEMENT car il est à l'origine du plus grand nombre des victimes dans le car.

2.7.2 Analyse des déformations de structures.

Nous avons retrouvé trois types de déformation de structure de l'autocar

- ☑ Une latéralisation du pavillon de la gauche vers la droite ;
- ☑ L'écrasement du pavillon dans l'habitacle ;
- ☑ Une zone de déformation frontale.



Figure 6 : Vue des déformations de l'autocar.



Une latéralisation du pavillon, de la gauche vers la droite avec un déport maximum de 740 mm. Survenant pendant la phase de ripage au sol du véhicule, cette déformation est typique et très fréquente lors de renversements et de retournements d'autocar. Elle s'accompagne d'un enfoncement du pavillon du haut vers le bas dans l'habitacle de la partie haute du véhicule. Ce type de déformation latérale du pavillon est dangereuse car elle entraîne l'éjection partielle de la rangée de passagers dans ce cas du côté gauche, qui ne bénéficie plus de la protection de la structure du car.

Autre type de déformation, l'écrasement du pavillon dans l'habitacle de la partie haute de l'autocar. Cette déformation est consécutive au retournement du véhicule. Cet écrasement du pavillon est important sur le tiers avant du car, sur 3200 mm à partir du hors tout avant, cela concerne les rangées R1 à R4 des occupants de la partie haute du véhicule soit 16 passagers. Il existe une seconde zone d'écrasement majeur du pavillon à l'arrière gauche sur 1700 mm et concernant la dernière rangée de passagers.

Enfin il existe une zone de déformation frontale aussi bien en partie haute qu'en partie basse du véhicule, avec une zone d'intrusion sur les occupants de 2100 mm en partie basse et un peu moins forte en partie haute. Ces déformations de structure de l'avant vers l'arrière sont consécutives au choc frontal dans le sol sur l'accotement de l'autoroute.

2.7.3 Le règlement E.C.E. n° 66 et les autocars à étage.

Au niveau européen il existe un règlement concernant la tenue au choc des pavillons d'autocar lors des renversements, retournements et tonneaux. Le règlement E.C.E. n°66 définit les déformations de structure acceptables lors de ces typologies d'accident et permet de maintenir dans l'habitacle un espace de décélération suffisant pour permettre la survie des occupants. **Ce règlement E.C.E. n° 66 ne s'applique pas aux autocars à étage.**

2.8 Répartition des occupants dans l'autocar.

2.8.1 Plan d'occupation du car avant l'accident.

Juste avant l'accident il y avait 74 occupants dans le véhicule pour 76 places assises. Nous avons pu déterminer le siège inoccupé en partie haute mais à l'inverse nous n'avons pas retrouvé où se situait le siège vide en partie basse de façon certaine. En partie basse, il existait 8 places dos à la route.

Au moment des faits, les 74 occupants se répartissaient en :

- 53 occupants en partie haute.
- 21 occupants en partie basse.

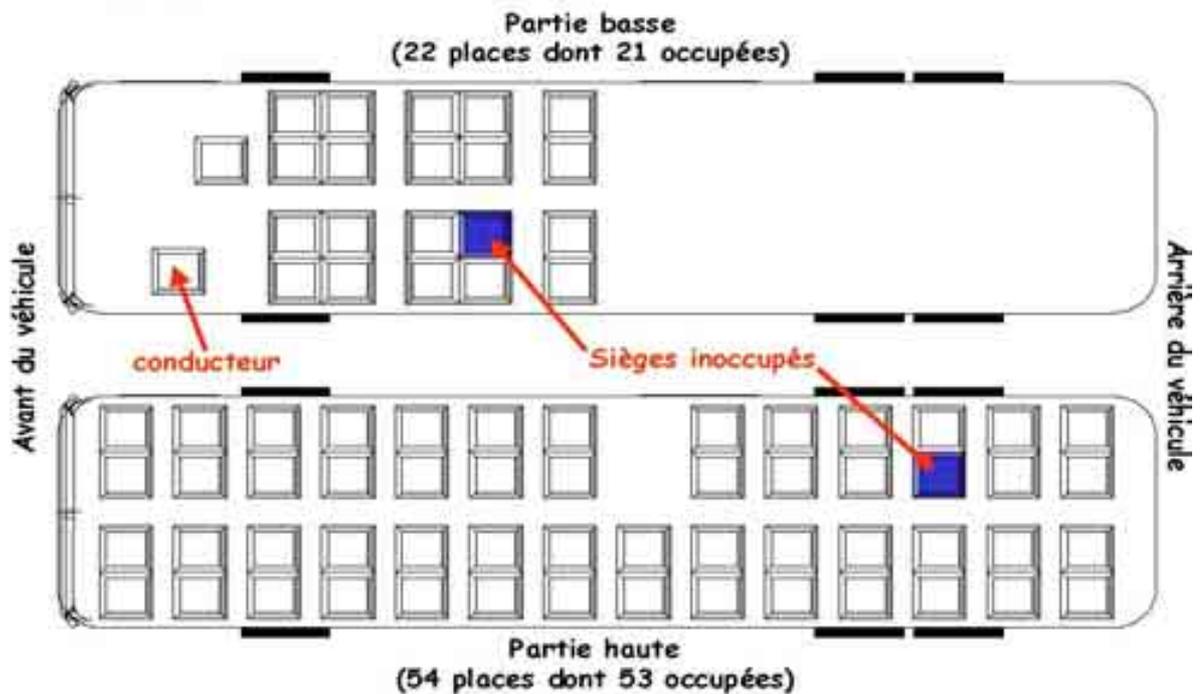


Figure 7 : Schéma d'occupation de l'autocar.

2.8.2 Nombre d'occupants et type de population transportée.

Lors de la survenue de cet accident, il y avait 74 occupants pour un ensemble de 76 places assises, siège chauffeur compris. La population du car est constituée de touristes allemands, hommes et femmes avec une majorité de personnes âgées.

2.8.3 Plan avec positionnement des victimes.

Les places des 28 occupants tués dans le car sont matérialisées en rouge donc les places les plus sombres, les places des 46 blessés toute gravité confondue sont matérialisées en jaune donc les places les plus claires (cf. Figure 8). Comme lors de l'ensemble des accidents impliquant un autocar à étage, le plus grand nombre de victimes se situent en partie haute avec 75% des tués et 70% des blessés. Après correction en fonction de la répartition des occupants entre la partie haute et la partie basse, nous retrouvons + 7% de tués en partie haute.

Le bilan médical définitif est de :

28 tués	38%
3 blessés graves	4%
43 blessés légers	58%
pour 74 occupants	100%

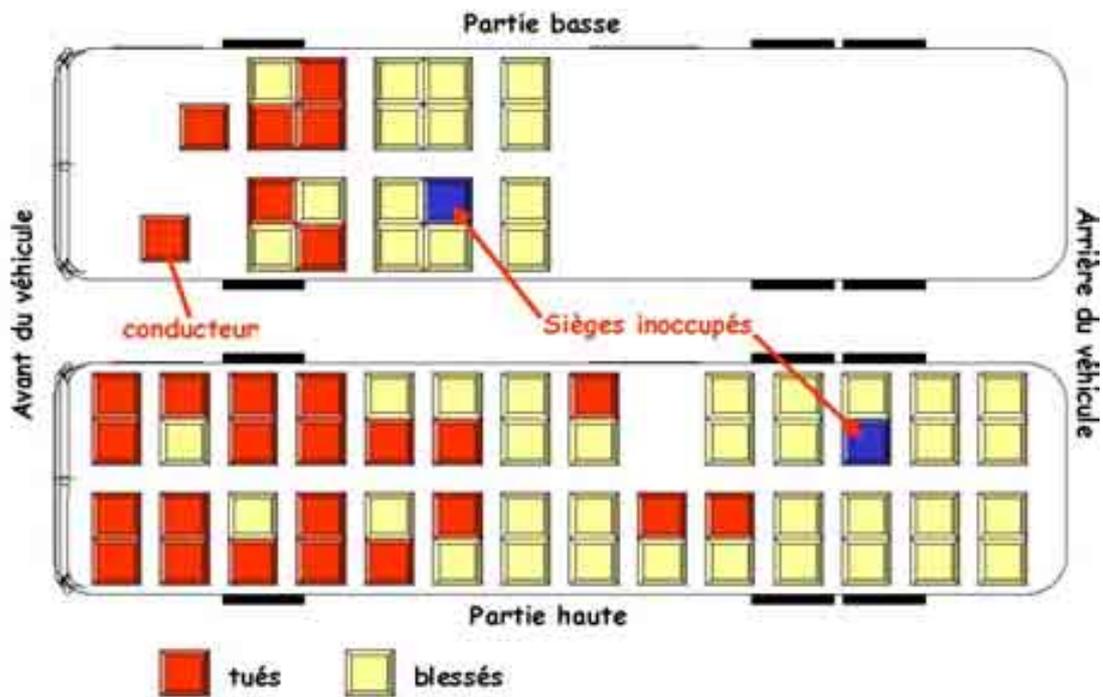


Figure 8 : Répartition des gravités chez les occupants dans l'autocar.

2.9 Analyse des facteurs à l'origine de l'accident.

Avant de réaliser l'analyse des facteurs à l'origine de cet accident, nous proposons de lister les causes de l'accident qui seront ensuite hiérarchisées en fonction de leur importance les unes par rapport aux autres. Enfin nous ferons une synthèse pour déterminer l'hypothèse la plus probable sur l'étiologie de cet accident.

2.9.1 La liste de l'ensemble des facteurs.

- ☑ Les conditions climatiques.
Au moment de la survenue de l'accident, les conditions climatiques sont mauvaises en terme de sécurité routière car une pluie continue va entraîner une dégradation de la liaison au sol.
- ☑ La conduite de nuit.
La conduite de nuit, avec les risques de fatigue et d'hypovigilance car la physiologie humaine n'est pas adaptée à une activité nocturne.
- ☑ La charge de travail du chauffeur.
Malgré la présence de deux chauffeurs dans l'autocar, nous ne connaissons que les temps de conduite pour le chauffeur au volant du véhicule lors des faits. Sa charge de travail réelle en dehors de la conduite reste inconnue, ainsi que son activité en dehors des frontières françaises. De même nous ne connaissons pas les conditions de repos et de sommeil de cette personne.
- ☑ La conduite sur autoroute.
Sur l'autoroute, la charge de travail liée à l'activité de la conduite est toujours très réduite. A cette heure de la nuit le trafic est faible. De plus l'autoroute est très monotone.
- ☑ La manœuvre à l'origine de la perte de contrôle.
L'ensemble des témoignages retrouvés dans la procédure, aussi bien des passagers de l'autocar que des témoins externes au véhicule décrivent un brusque changement de trajectoire de l'autocar vers la droite. L'unique trace de ripage relevée sur la chaussée de l'autoroute atteste de ce changement brutal de direction. Nous sommes en droit de penser que pour une raison sur laquelle nous allons revenir, le chauffeur du car a effectué un coup de volant vers la droite, manœuvre beaucoup trop violente et trop rapide qui lui a fait perdre le contrôle de son véhicule.
- ☑ L'heure de l'accident.
L'heure à laquelle cet accident s'est déroulé est bien sûr une information majeure. L'accident de Dardilly survient à 04 h 38' du matin donc au cœur de la nuit. De nombreuses études montrent que dans ce créneau horaire et sur l'autoroute, un accident sur deux est lié à l'hypovigilance et à l'endormissement.
- ☑ La vétusté du véhicule.
Compte-tenu de l'état général du véhicule avant l'accident, il est normal de se poser au moins la question de l'incidence des altérations de ce véhicule sur la survenue de l'accident et sur les conséquences humaines de ce cas . Nous n'avons pas trouvé de corrélation précise entre l'état du véhicule et la survenue de l'accident, ni même pour le bilan médical. Autrement dit, il nous paraît probable que si l'on faisait subir à un véhicule neuf les mêmes chocs que ceux observés lors de l'accident, les conséquences sur ce véhicule neuf auraient été similaires.

2.9.2 L'hypothèse la plus probable sur les origines de cet accident .

Après avoir défini sept facteurs à l'origine du cas, il reste à proposer l'hypothèse la plus probable selon nous sur les causes de l'accident. Dans cet accident et compte tenu de tous les éléments disponibles de l'enquête, plusieurs hypothèses peuvent être envisagées. Cependant, le facteur le plus probable à l'origine de cet accident doit nécessairement répondre à la plupart de ces contraintes, telles que les témoignages des passagers et autres conducteurs, la dynamique subie par le véhicule, les traces relevées sur l'infrastructure et les conditions des différents chocs subis par le véhicule. D'après les éléments de l'enquête, 3 hypothèses peuvent être retenues : une manœuvre annexe, une interférence avec un autre véhicule et l'endormissement du conducteur. Cependant, le bilan des témoignages ne permet pas de valider de façon quasi certaine les 2 premières. Nous pensons donc que la cause principale de cet accident est l'endormissement du chauffeur de l'autocar juste avant les faits. Cette hypothèse repose sur :

- ☑ Nos connaissances accidentologiques des facteurs à l'origine de graves accidents d'autocars survenus en France au cours des vingt cinq dernières années. D'après une étude de l'IRACBA de janvier 1994, les accidents graves d'autocars surviennent :
 - De nuit à 57%.
 - Entre 1 heure et 8 heures du matin à 70 %.
 - En fin de semaine, les vendredi, samedi et dimanche à 50%.
 - En juin, juillet et août à 45%.

Soit une répartition dans le temps extrêmement spécifique. L'accident de Dardilly s'inscrit parfaitement dans ce cadre.

- ☑ La manœuvre à l'origine de la perte de contrôle du véhicule, est elle aussi très connue et tout à fait spécifique des cas d'endormissement sur autoroute. Ce coup de volant vers la droite dans ce cas, trop rapide et trop violent, correspond à une réponse réflexe du chauffeur lorsque celui-ci découvre soudain un risque potentiel imminent. En fait cela survient lorsque le chauffeur rouvre les yeux et découvre le danger. Ce type de manœuvre réflexe est retrouvé pour des accidents avec endormissement des chauffeurs aussi bien dans les autocars que dans les camions, et principalement de nuit sur autoroute. Cette manœuvre soudaine est une information majeure dans le choix de l'hypothèse retenue sur les causes de l'accident.
- ☑ Enfin parmi les témoignages des passagers du car mentionnés dans la procédure, nous retrouvons une personne décrivant avec précision l'intervention d'un passager s'adressant au chauffeur très inquiet et lui demandant de prendre conscience de la situation d'urgence pour le véhicule.

L'ensemble de tous ces éléments permet de penser que la cause principale de l'accident de Dardilly est l'hypovigilance et l'endormissement du chauffeur.

2.10 Description des mécanismes lésionnels des occupants de l'autocar.

Dans ce paragraphe nous présentons la répartition des occupants en fonction de la gravité des lésions de chacun dans l'autocar à étage. Puis nous décrivons les mécanismes lésionnels à l'origine du terrible bilan humain de cet accident.



Figure 9 : Vue de l'autocar en position finale après l'arrivée des secours.



Figure 10 : vue des déformations de l'autocar après son redressement

2.10.1 Répartition des victimes en fonction de la gravité des lésions.

La répartition des 74 occupants en fonction de la gravité du bilan médical est la suivante :

EN PARTIE HAUTE et pour les 53 occupants de cette zone.

- 21 tués soit 75 % des morts.
- 32 blessés soit 70 % des blessés

EN PARTIE BASSE et pour les 21 occupants de cette zone.

- 7 tués soit 25 % des morts.
- 14 blessés soit 30 % des blessés.

Même rapporté au nombre d'occupants pour chaque niveau, le pourcentage de tués est plus important en partie haute avec 40 % de morts contre 33 % en partie basse.

2.10.2 Description des mécanismes lésionnels.

Pour bien comprendre comment les occupants ont été blessés ou tués dans ce véhicule, il faut se reporter au déroulement dynamique de l'accident et surtout ne pas oublier que cet autocar a subi plusieurs chocs au cours de son déplacement entre la perte de contrôle initiale du véhicule et son immobilisation



Figure 11 : Localisation des 3 principaux mécanismes à l'origine des lésions.

- ☑ N°1 : Pour les victimes en partie haute de l'autocar soit 21 tués et 32 blessés le mécanisme principal à l'origine des lésions est l'intrusion. Pour le plus grand nombre, l'intrusion du pavillon de l'autocar dans l'habitacle de la partie haute lors du retournement, est la cause principale du nombre et de la gravité des lésions. Comme l'indique la flèche n°1 l'écrasement du pavillon après retournement entraîne une intrusion de 540 mm.



- ☑ **N° 2** : La flèche n°2 indique la latéralisation du pavillon de la gauche vers la droite avec un déport maximum de 740 mm. La répartition des victimes en partie haute fait apparaître un nombre limité d'occupants tués ou blessés du fait de l'éjection partielle. Ce mécanisme concerne uniquement les occupants de la rangée côté gauche et le long des baies vitrées latérales et en partie haute.
- ☑ **N° 3** : Pour les occupants des deux premières rangées à l'avant du car, il existe en plus une intrusion de l'avant vers l'arrière, flèche n°3, imputable au choc frontal dans le talus lorsque l'autocar percute le bas-côté de l'autoroute. Pour les victimes en partie basse, le mécanisme est toujours l'intrusion, mais cette fois uniquement en relation avec le choc frontal. Les déformations de structure du véhicule en rapport avec le choc frontal, sont plus importantes en partie basse de l'autocar, ce qui explique le nombre de victimes graves dans ce secteur.

2.11 Conclusions de l'analyse.

2.11.1 Un bilan humain exceptionnel.

Dans cet accident, le nombre de victimes et surtout le nombre d'occupants tués est anormalement élevé. Ce lourd bilan est d'abord lié au type de transport en commun de personnes impliqué dans cet accident. En effet les autocars à étage transportent en moyenne de 70 à 80 passagers, à la place des 50 à 55 passagers dans un autocar standard à un seul niveau. Dans les cars à étage le nombre d'occupants exposés au risque est bien sûr plus important. Autre cause de cette catastrophe, la typologie du choc principal. Non seulement l'autocar a subi des chocs multiples pendant la phase dynamique de l'accident, mais en plus le choc principal est un retournement dynamique sur un véhicule à étage dont l'hyperstructure, compte-tenu de l'état général du véhicule, le poids en charge de cet autocar et la dynamique du choc n'a absolument pas résisté au choc et présente des déformations majeures à l'origine du drame. Enfin dernier élément qui explique aussi en partie le terrible bilan médical, le fait que nous sommes en présence d'une population de personnes âgées dont la résistance au choc est moins bonne que pour une population adulte plus jeune.

2.11.2 Mécanisme lésionnel principal.

Pour le plus grand nombre des tués et des blessés, aussi bien en partie haute comme qu'en partie basse, le mécanisme lésionnel principal est l'intrusion sur les occupants du car. Dans cet accident si l'ensemble des passagers avaient été correctement ceinturés, cela n'aurait probablement pas ou peu modifié le bilan médical final.

2.11.3 Hypothèse retenue pour expliquer la survenue de cette catastrophe.

Nos connaissances et nos acquis en matière d'accidentologie des véhicules industriels, et notamment celles relatives aux transports en commun de personnes nous permettent de privilégier la thèse de l'hypovigilance et de l'endormissement du chauffeur de cet autocar comme cause principale de cet accident.



3 Simulation numérique de l'accident de Dardilly

L'objectif de cette étude est de déterminer par simulation numérique, le scénario le plus probable du déroulement de cet accident. Le travail essentiel ici est de reproduire numériquement la cinématique de l'autocar lors des différents impacts survenus. Pour cela nous utilisons le logiciel PC-CRASH spécialisé dans la simulation numérique d'accidents. Ce logiciel bâti sur les équations de la mécanique et les outils numériques développés en mathématiques permet de calculer les cinématiques après impact de chaque véhicule impliqué. Cet outil d'aide à l'analyse des accidents est aujourd'hui largement utilisé dans le monde entier et pour tous types d'impliqués (voitures, poids lourds, autocars, deux roues, piétons, etc.). Il nécessite une très bonne connaissance dans le domaine du crash, de la physique, des mathématiques et surtout dans le domaine de l'accidentologie.

Outre son utilisation première dédiée au calcul de la collision, il permet également d'étudier les différents scénariis avant le choc, c'est-à-dire d'analyser les différentes hypothèses concernant les mouvements de chaque véhicule impliqué en approche de l'accident.

Le recours au programme de simulation PC-CRASH est d'autant plus justifié dans l'accident de **Dardilly** que nous avons à vérifier la cohérence des résultats des calculs avec l'ensemble des éléments de la réalité de l'accident tels que décrits dans le procès verbal des constatations, les informations présentes dans le dossier et l'analyse technique réalisée par le CEESAR. Il faut vérifier que les vitesses à l'impact et avant la collision, estimées par calculs, correspondent aux énergies nécessaires et suffisantes mises en jeu dans cette cinématique complexe.

La cinématique de l'accident est complexe, car constituée d'événements successifs connus par l'étude du procès verbal et l'analyse détaillée des déformations des véhicules et de l'environnement, mais chacun de ces événements est entouré d'incertitude. Cette cinématique doit être confirmée selon les lois de la mécanique par la simulation numérique. L'autocar doit en particulier se déporter sur la gauche, revenir brutalement vers la droite, traverser les 3 voies de l'autoroute, percuter la rambarde de sécurité avec une amorce de tonneau, percuter le bas de l'accotement avec la face avant et retomber sur le toit par l'arrière.

Si l'ensemble est cohérent, la vitesse à l'impact et la vitesse initiale de l'autocar, en amont de la collision, peuvent être considérées comme validées. Mais seule une reconstruction numérique de l'accident pourra le déterminer.

En préalable, il faut expliquer brièvement pourquoi la simulation numérique permet une représentation physique des phénomènes.



Il faut savoir en effet que les VEHICULES impliqués dans notre simulation ne servent pas uniquement d'illustration comme le schéma de principe du plan des lieux établi par le bureau des accidents de la gendarmerie ou sur les présentations et animations créées par d'autres experts.

Fournis par la base véhicule de "PC-CRASH", ils sont dotés de toutes les caractéristiques physiques et mécaniques spécifiques des modèles qu'ils représentent tels que dimensions géométriques, formes, masses et distribution des masses, centre de gravité bien sûr, mais aussi toutes les caractéristiques dynamiques susceptibles d'intervenir dans leur cinématique.

Dans cette simulation d'accident complexe où un véhicule heurte une rambarde, part en tonneau avant de s'écraser en contrebas sur le toit, on comprend que le véhicule simulé ne peut pas être un corps inerte standard, mais qu'il doit se comporter comme le véhicule qu'il représente. Il en a "hérité" les paramètres essentiels pour assurer leur comportement dynamique correct dans cet accident.

3.1 Description de l'accident

Conformément aux diverses constatations du dossier, le comportement des différents impliqués ou obstacles suivants ont été pris en compte dans la simulation :

- . • L'autocar Néoplan
 - . • L'infrastructure et son accotement droit avec son profil
- La rambarde de sécurité Nous allons maintenant présenter les différentes conditions que doivent satisfaire chacune des entités déterminantes dans cet accident.

3.1.1 L'infrastructure

L'infrastructure modélisée ici reprend les caractéristiques principales de l'autoroute dans un voisinage proche du lieu de l'accident. Il est bien évident que seuls les profils en long et tracé en plan sont importants dans la phase de pré-collision, et qu'il est par contre nécessaire de bien décrire l'accotement droit, notamment dans son profil de façon à pouvoir reproduire le plus fidèlement possible la cinématique de l'autocar après la percussion de la rambarde sur l'autoroute. Nous avons donc modélisé l'autoroute à partir des caractéristiques suivantes :

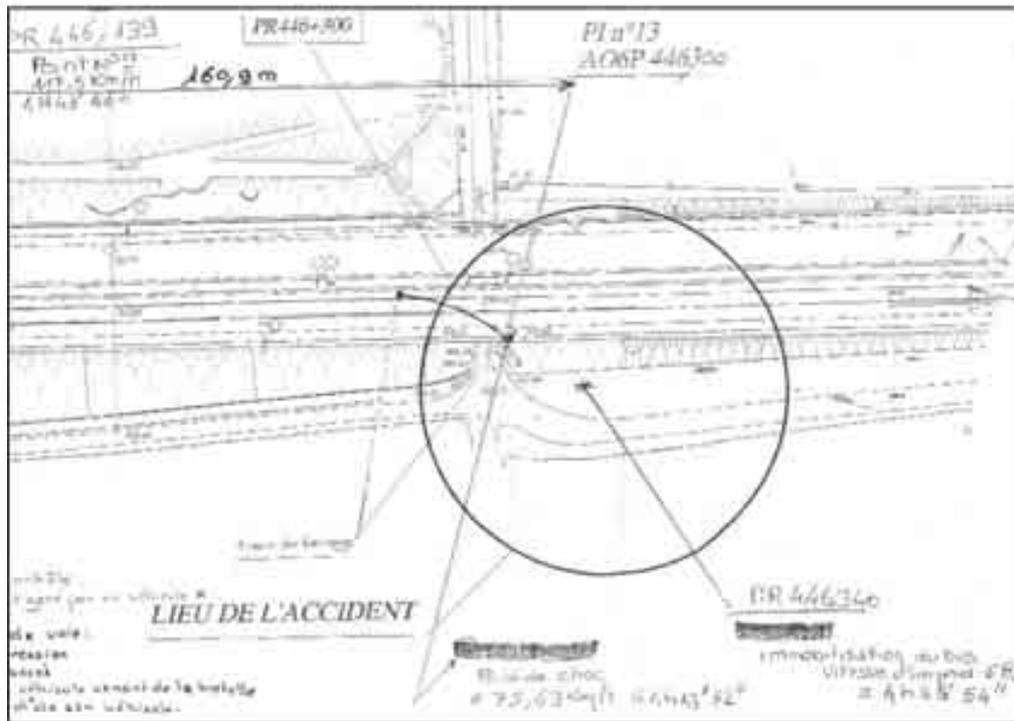


Figure 12 : Plan du lieu de l'accident.

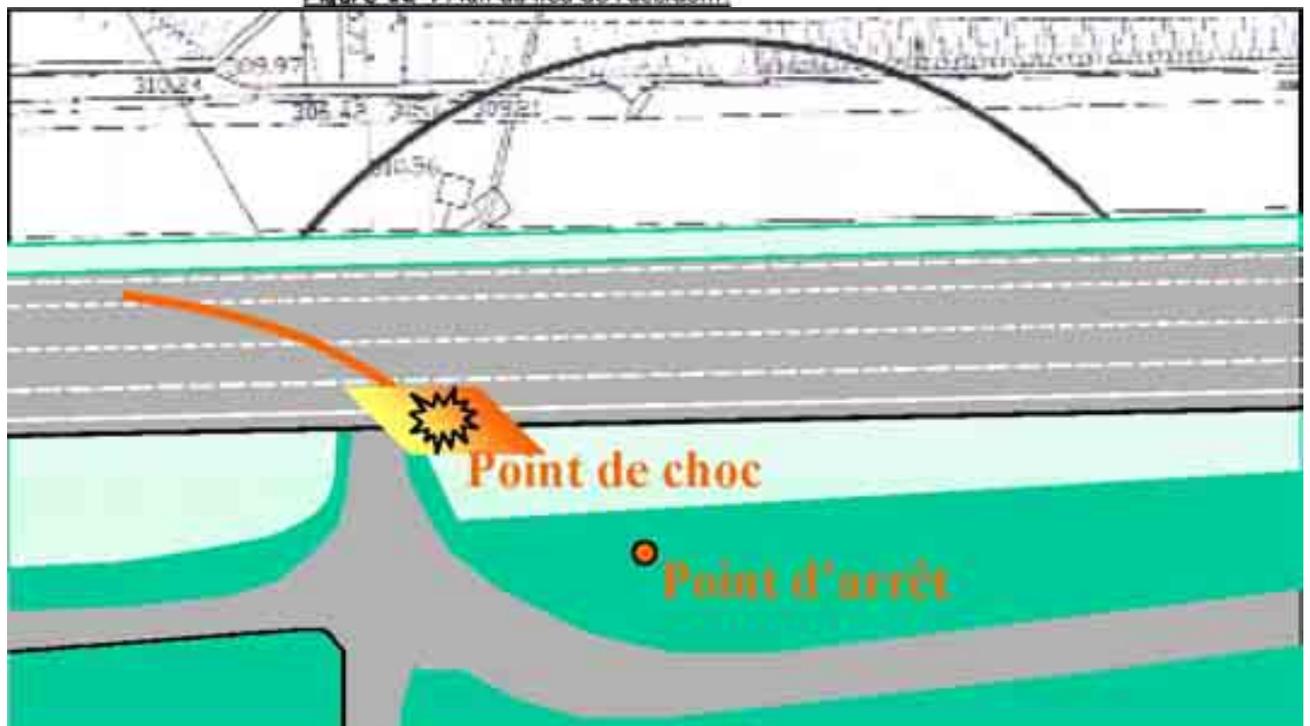


Figure 13 : Localisation du point de choc.

Eléments	Valeurs
Largeur de chaussée	15.5m
Nombre total de voies	6
Dont circulation	3
Dont B.A.U	1
Largeur des voies	3.5m
Largeur B.A.U.	3m
Sur-largeur à gauche	1m
Sur-largeur à droite	1m
Profil en long	Descente (1%)
Tracé en plan	Rectiligne

L'accotement droit est composé d'une pente de 42% sur une longueur d'environ 10m.

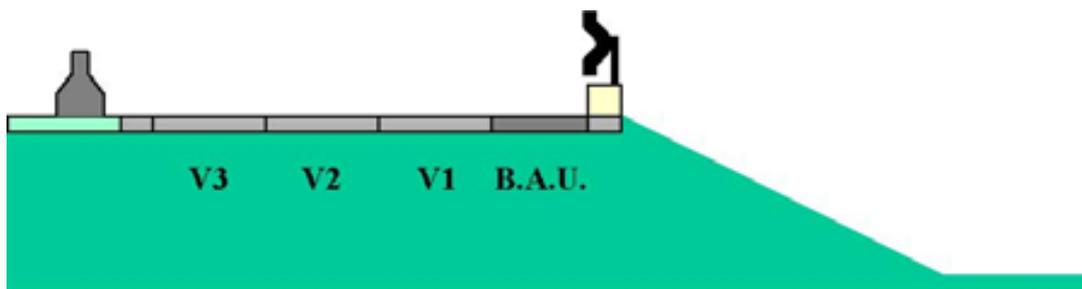


Figure 14 : Coupe transversale schématisée

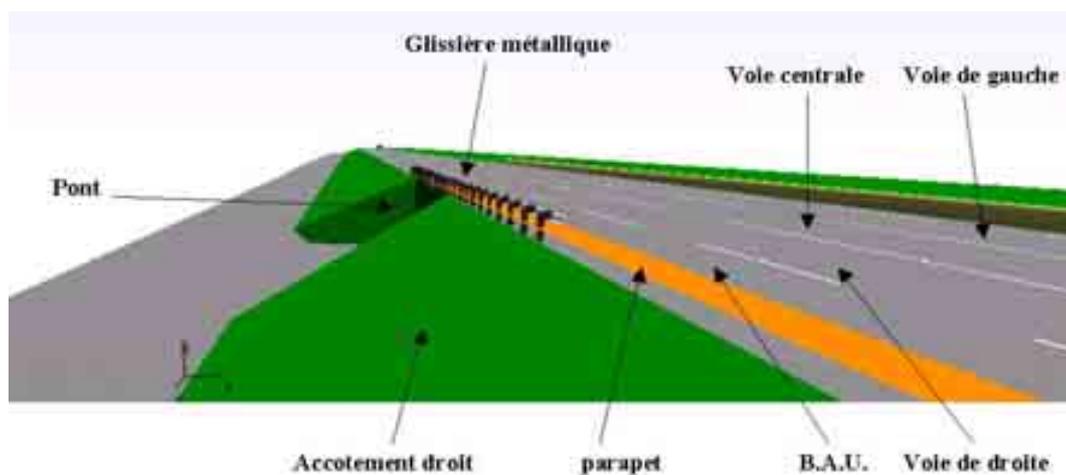


Figure 15 : Vue n°1 de l'infrastructure 3D modélisée sous PC-Crash.

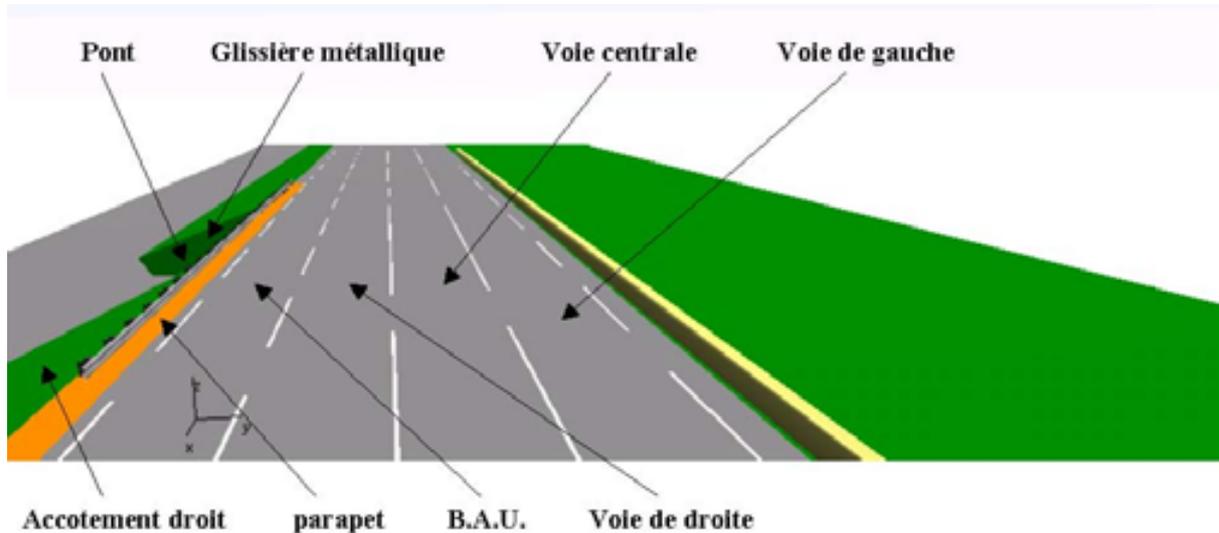


Figure 16: Vue n°2 de l'infrastructure 3D modélisée sous PC-Crash.

3.1.2 La rambarde de sécurité

Dans la plupart des logiciels permettant de simuler les conditions d'accident, peu modélisent de façon précise les mobiliers de sécurité tels que les glissières métalliques ou les séparateurs en béton. Depuis sa dernière version (Pc-Crash 7.1) nous avons la possibilité d'introduire des éléments tels que les glissières ou séparateurs en tant qu'élément à part entière, c'est-à-dire avec des caractéristiques qui leur sont propres, comme pour les véhicules. Mais si cette nouveauté amène des améliorations notables en terme de précision notamment dans les chocs contre glissières où le véhicule rebondit, elle n'offre pas toujours un intérêt dans certains cas. Il faut donc toujours bien maîtriser ce que l'on souhaite modéliser et ne pas succomber aux éclats de la nouveauté si elle n'apporte pas grand chose de plus. Outre les problèmes liés à la typologie du choc, l'utilisation de ces éléments peut être très fastidieuse, en particulier lorsque l'on souhaite modéliser une glissière sur une longue portion. Chaque élément modélisé dans le logiciel a par exemple dans le cas d'une glissière métallique une longueur de 1,9m. Autrement dit si l'on souhaite modéliser une glissière sur une distance total de 60m il faudra introduire une trentaine d'éléments et les raccorder entre eux.

Dans l'étude proposée, nous avons modélisé la glissière métallique avec un ensemble d'éléments de type mur.

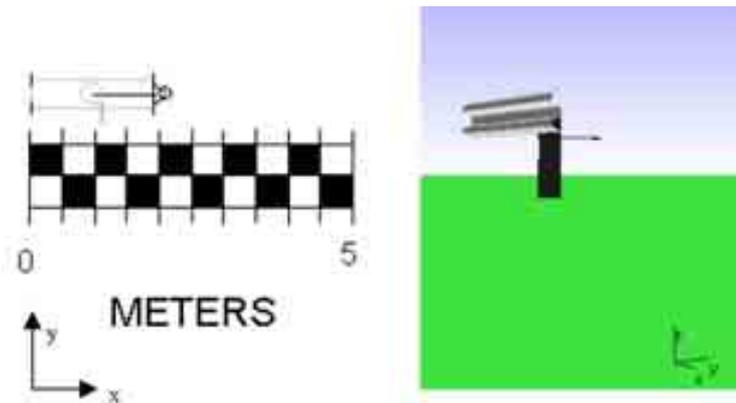


Figure 17 : Modélisation d'un élément de glissière métallique sous Pc-Crash (version 7.1)

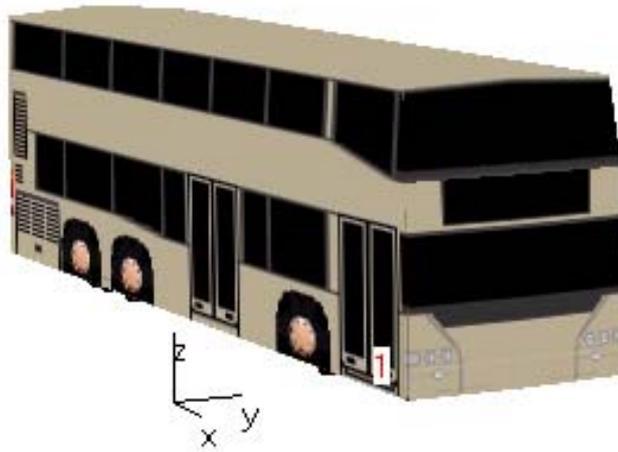


Figure 18 : Exemple de modélisation sous Pc-Crash d'une glissière composée de 10 éléments

3.1.3 Le véhicule Néoplan

Dans la base de données associée au logiciel Pc-Crash nous avons sélectionné le véhicule de marque Néoplan, modèle skyliner N122/3 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Caractéristiques	Valeur
Marque	NEOPLAN
Modèle	Skyliner N122/3
Longueur	12m
Largeur	2.5m
Hauteur	4m
Nombre d'essieux	3
Porte à faux avant	2.64m
Empattement 1	5.63m
Empattement 2	1.3m
Poids à vide	2100 kg
Chargement	400 kg
Voie n°1	2.1m
Voie n°2	1.82m
Voie n° 3	1.82m
Hauteur Centre de Gravité (CG)	1.3m
Distance Essieu n°1-CG	1.03m



3.1.4 Conclusion

Si toutes les conditions précédentes sont satisfaites par la réalisation d'une simulation, la cohérence de cette dernière sera établie et sera considérée comme la RECONSTRUCTION NUMERIQUE de l'accident (validation technique et scientifique des paramètres retenus) et plus particulièrement les vitesses calculées pour cette reconstruction.

3.2 Reconstruction numérique

L'objectif de la reconstruction numérique est de valider le scénario le plus probable de l'accident, c'est-à-dire l'identification des différentes trajectoires réalisées ou subies par le véhicule et l'estimation de sa vitesse initiale et principalement les vitesses d'impact lors des collisions. Ce scénario doit à la fois respecter les différents éléments contenus dans la procédure (entretiens, témoignages, traces recueillies sur l'infrastructure, photos) et les lois de la physique permettant de décrire la cinématique du véhicule.

Compte tenu de la complexité de l'accident, il est nécessaire d'utiliser un outil numérique permettant de réaliser tous les calculs et de visualiser les résultats.

Pour toute simulation numérique il est important de définir avant tout les conditions initiales c'est-à-dire dans notre cas d'estimer la vitesse initiale de l'autocar. Cette estimation peut être réalisée soit par un calcul approximatif basé sur des hypothèses simples et sur les lois de la mécanique, soit à partir d'éléments indiscutables comme les données de capteurs qui pourront être enregistrées sur les futurs véhicules.

3.2.1 Estimation de la vitesse d'impact à partir des équations

Le déroulement d'un accident peut se décomposer en 4 phases successives (voir graphique ci-dessous):

- La **situation de conduite**
- La **phase de pré-collision** décrivant la cinématique du véhicule depuis la situation de rupture de la conduite "normale" (événement initiateur) jusqu'au point d'impact (PI)
- La **phase de choc**
- La **phase de post-collision** décrivant la cinématique du véhicule juste après l'impact jusqu'à son point d'arrêt (PA).

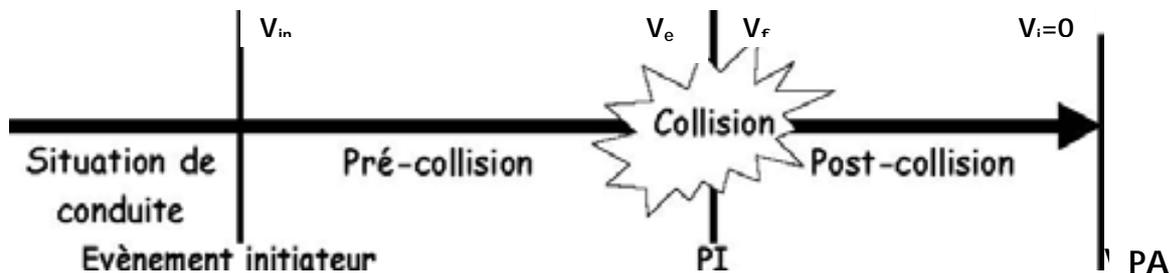


Figure 19. Décomposition d'un accident en phases

Le déroulement de l'accident fait apparaître dans l'ordre chronologique les phases de pré-collision, de collision et enfin de post-collision.

Pour estimer la vitesse initiale du véhicule, il est nécessaire de remonter le temps depuis la position d'arrêt du véhicule (où la vitesse finale est connue puisque nulle) jusqu'à l'événement initiateur.

3.2.1.a Phase de post-collision

Le but de cette étape est d'estimer la vitesse à la fin du choc, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le ou les véhicules se sont séparés.

L'équation utilisée dans cette approche est l'équation permettant de décrire un mouvement uniformément décéléré (1):

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

Où

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

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

a désigne le coefficient de décélération moyen de la phase (m/s²)

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

La phase de post-collision peut être constituée de plusieurs sous-phases en fonction de la variation soit dans la cinématique de la trajectoire (translation ou rotation) soit dans le type de surface (coefficient d'adhérence).

3.2.1.b Phase de collision

Cette étape consiste à estimer les vitesses au choc de chaque véhicule impliqué dans l'accident. Pour cela on utilise les équations de la mécanique :

Conservation de la quantité de mouvement (2) :

$$M_c * V_{ec} + M_v * V_{ev} = M_c * V_{fc} + M_v * V_{fv}$$

Conservation de l'énergie cinétique (3) :

$$M_c * V_{ec}^2 + M_v * V_{ev}^2 = M_c * V_{fc}^2 + M_c * E_c^2 + M_v * V_{fv}^2 + M_v * E_v^2$$

Où

M_c désigne la masse totale du véhicule c

M_v désigne la masse totale du véhicule v

V_{ec} désigne la vitesse au choc du véhicule c

V_{ev} désigne la vitesse au choc du véhicule v

V_{fv} désigne la vitesse après choc du véhicule v

V_{fc} désigne la vitesse après choc du véhicule c

E_c désigne l'EES¹ du véhicule c

E_v désigne l'EES du véhicule v

L'équation de conservation de la quantité de mouvement (2) est une équation vectorielle.

Il faut donc la projeter suivant les deux axes principaux (vertical et horizontal où l'axe X et l'axe Y dans un repère orthonormé). Cette projection qui fait intervenir les angles associés à chaque vitesse, nous permet alors d'obtenir deux nouvelles équations : (3a)

$$M_c * V_{ec} * \cos(\alpha_{ec}) + M_v * V_{ev} * \cos(\alpha_{ev}) = M_c * V_{fc} * \cos(\alpha_{fc}) + M_v * V_{fv} * \cos(\alpha_{fv})$$

et (3b)

$$M_c * V_{ec} * \sin(\alpha_{ec}) + M_v * V_{ev} * \sin(\alpha_{ev}) = M_c * V_{fc} * \sin(\alpha_{fc}) + M_v * V_{fv} * \sin(\alpha_{fv})$$

Où :

α_{ec} désigne l'angle de la vitesse avant choc du véhicule c

α_{ev} désigne l'angle de la vitesse avant choc du véhicule v

α_{fc} désigne l'angle de la vitesse après choc du véhicule c

α_{fv} désigne l'angle de la vitesse après choc du véhicule v

¹EES : Energy Equivalent Speed. Ce paramètre, exprimé en km/h, caractérise la vitesse à laquelle il faudrait lancer le véhicule contre un obstacle fixe pour observer les mêmes déformations.

3.2.2 Application

Les équations précédentes vont être ici appliquées afin d'estimer les différentes vitesses de l'autocar à chaque étape importante de l'accident.

Dans un premier temps nous allons découper la cinématique du véhicule en phases puis sous-phases et dans un second temps, calculer pour chacune d'entre elles la vitesse du véhicule au début et en fin de chaque phase.

Dans cet accident nous avons émis l'hypothèse que trois chocs sont intervenus (rambarde, partie avant du véhicule contre le sol, partie arrière contre le sol). Nous avons considéré que la phase de collision est celle relative au premier impact contre la glissière métallique de sécurité.

Le découpage est le suivant :

Numéro	Phases	Sous-phases	Commentaires
1	Post-collision	Choc3	Collision de l'arrière 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		Renversement	Amorce du renversement
5	Collision	Choc1	Collision contre la glissière métallique
6	Pré-collision		Trajectoire effectuée par l'autocar avant le Choc1.

On note V_{jf} la vitesse finale de la phase n°j et V_{ji} la vitesse initiale de la phase n°j.

Dans cette partie nous allons décrire la cinématique de l'autocar pour les phases allant de 1 à 5. Toute la partie concernant la pré-collision sera détaillée par la suite.

Remarque : Lors de cette première étape consistant à donner une estimation des vitesses du véhicule aux différentes phases importantes de l'accident, il est pratiquement impossible de pouvoir attribuer à chaque paramètre une valeur unique, même la plus probable, sauf si l'on dispose de l'enregistrement temporel de ces paramètres de type enregistreur de contexte ou « boîte noire ». Par conséquent, il est préférable d'associer à chaque paramètre un intervalle correspondant à son domaine de validité pour la phase considérée.

C'est la démarche que nous allons appliquer dans ce chapitre : les vitesses seront estimées en donnant une valeur basse et une valeur haute, ces deux valeurs décrivant l'intervalle de validité de cette vitesse.

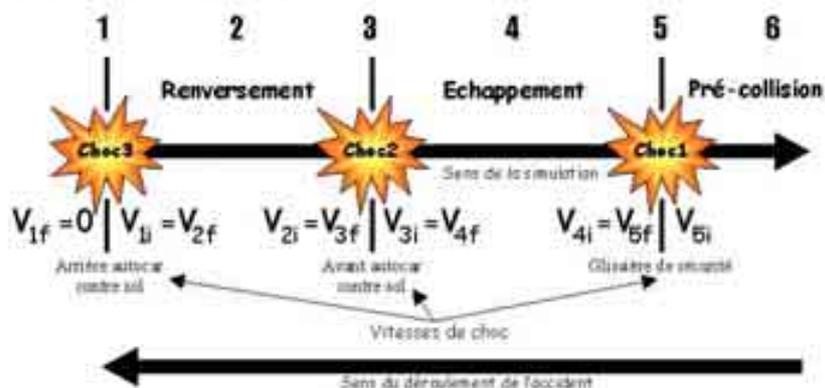


Figure 20 : Découpage en sous-phases de l'accident

3.2.2.a Sous-Phase n° 1 : Choc3

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

Rappel : $V_{1f}=0$

A la fin de cette phase l'autocar est à l'arrêt, sa vitesse est donc nulle ($V_{1f}=0$). Dans cette sous-phase, la vitesse initiale de l'autocar peut être estimée entre 10 km/h et 15 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	10 km/h - 15 km/h

3.2.2.b Sous-Phase n° 2 : Renversement

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

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

Ici, la cinématique du véhicule est complexe car plusieurs mouvements de l'autocar sont réalisés. A cette trajectoire viennent s'ajouter certaines déformations sur le véhicule ainsi que des forces de frottement de l'autocar sur le sol. Nous supposons donc que la cinématique subie par le véhicule peut être assimilée à un mouvement en tonneaux ou un renversement de véhicule, pouvant être décrite par un mouvement uniformément décéléré, sur une très courte distance. La distance parcourue par l'autocar entre le Choc3 (collision arrière) et le Choc2 (collision avant) est d'environ 2 m. La décélération moyenne correspondant à un tonneau est estimée dans la littérature entre -4 m/s^2 et -5 m/s^2 , cette estimation étant indépendante du nombre de tours effectués par le véhicule. En appliquant l'équation (1) avec les vitesses résiduelles minimales et maximales correspondantes aux vitesses à la fin de la sous-phase n°1 (soit respectivement $V_r = 2.8 \text{ m/s}$ pour la valeur minimale et $V_r = 4.2 \text{ m/s}$ pour la valeur maximale) nous obtenons donc les bornes inférieures et supérieures définissant l'intervalle dans lequel doit se situer la vitesse initiale de l'autocar au cours de la sous-phase n°2. Cette vitesse finale doit donc être comprise entre **4,9 m/s** et **6,1 m/s** (soit entre **18 km/h** et **22 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n° 2	
Vitesse finale V_{2f}	Vitesse initiale V_{2i}
10 km/h - 15 km/h	18 km/h - 22 km/h



3.2.2.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 concerne la collision entre l'avant de l'autocar et le sol. Lors de cette collision, le mouvement du véhicule est modifié et entre dans une cinématique complexe qui d'une part stoppe le véhicule dans sa première trajectoire longitudinale et d'autre part favorise le renversement.

Le sol peut être considéré comme un obstacle fixe.

La détermination de la vitesse d'impact de l'autocar doit être effectuée à partir de tous les éléments collectés et analysés.

Les équations (3a) et (3b) ne peuvent plus être utilisées, et seule l'équation (2) permettra de résoudre notre problème.

Il s'agit maintenant d'évaluer les énergies de déformation pour l'autocar, c'est-à-dire de quantifier les énergies dissipées dans les déformations de la structure.

En ce qui concerne les véhicules, la plupart des constructeurs automobiles réalisent des crash tests de leurs modèles (parfois de ceux de la concurrence) dans plusieurs configurations de choc pour différentes violences. Les paramètres enregistrés, les photographies des véhicules après choc et les mesures des côtes de déformations constituent une base de données unique (et confidentielle), à partir de laquelle, par comparaison, une estimation de la quantité d'énergie dissipée dans le choc (EES) peut être donnée pour chaque véhicule étudié.

Cette méthode empirique, peut paraître assez peu fiable, mais pour un accidentologue ayant beaucoup d'expérience elle s'avère parfois plus exacte que la plupart des estimations données par les logiciels spécialisés.

Cependant, si ces crash tests sont fréquents dans l'industrie automobile, ils sont beaucoup moins utilisés dans les autres domaines voire quasi inexistantes pour les deux roues motorisés et les autocars.

Sur le véhicule étudié, les déformations du 2nd impact sont surtout visibles à l'avant du véhicule.

L'estimation des énergies dissipées sur l'autocar reste très difficile si l'on ne dispose pas d'une bibliothèque d'essais de chocs approximativement correspondants ou tout du moins permettant une comparaison.

Ici, les données relatives au véhicule Néoplan ne nous sont pas connues. L'estimation de la vitesse correspondant à l'énergie dissipée dans ce choc sera donc réalisée en fonction

de notre expérience en accidentologie et à partir des différentes photos du véhicule présentes dans le dossier. Nous estimons que l'EES (Energy Equivalent Speed) pour l'autocar lors de ce choc contre le sol peut être compris entre 30 km/h et 35 km/h. En appliquant l'équation (2) avec V_{fv} compris entre 18 km/h et 22 km/h, la vitesse au choc de l'autocar est comprise entre **35 km/h** et **41 km/h**.

Récapitulatif de la Sous-phase n° 3	
Vitesse finale V_{3f}	Vitesse initiale V_{3i}
18 km/h -22 km/h	35 km/h -41 km/h

3.2.2.d Sous-Phase n° 4 : Echappement

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

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

Comme pour la sous-phase n°2, nous assimilerons la cinématique du véhicule à un mouvement uniformément décéléré. Cette sous-phase décrit la trajectoire de l'autocar depuis la fin du choc contre les éléments de sécurité situés sur l'accotement droit de l'autoroute, sa chute en contrebas jusqu'au début de l'impact contre le sol, choc modélisé dans la sous phase n°3 précédente. Dans cette sous-phase, nous pouvons prendre en compte le frottement de l'ensemble glissière plus garde-fou du pont contre l'autocar. N'ayant pas les données quantitatives sur les efforts conjugués de frottement que peuvent engendrer ces éléments, nous supposerons donc que ces efforts peuvent être assimilés à une décélération comprise entre -3m/s^2 et -4m/s^2 sur une distance totale de 8m. Etant donné que la chute de l'autocar doit être prise en compte, il faut soustraire à l'équation n°1 la vitesse due à cette chute qui peut être approchée par $2 \cdot g \cdot h$, où g est l'accélération de la gravité ($=9,81 \text{ m/s}^2$) et h la hauteur exprimée en mètre de la chute, soit à peu près 3,5m. En appliquant cette nouvelle équation, avec les vitesses résiduelles minimales et maximales (soit respectivement $V_r = 9.7 \text{ m/s}$ pour la valeur minimale et $V_r = 11.4 \text{ m/s}$ pour la valeur maximale) nous obtenons donc les bornes inférieures et supérieures définissant l'intervalle dans lequel doit se situer la vitesse finale de l'autocar lors de cette sous-phase (vitesse estimée à la fin du premier impact). Cette vitesse finale doit donc être comprise entre **8,6 m/s** et **11.2 m/s** (soit entre **31 km/h** et **40 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n° 4	
Vitesse finale V_{4f}	Vitesse initiale V_{4i}
35 km/h -41 km/h	31 km/h -40 km/h



3.2.2.e Sous-Phase n° 5 : Choc1

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

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

Comme lors du choc2, il nous faut ici encore donner une estimation des énergies dissipées lors de la collision de l'autocar contre tous les éléments de sécurité. Les données relatives au véhicule Néoplan ne nous sont pas connues.

L'estimation de la vitesse correspondant à l'énergie dissipée dans ce premier choc sera donc réalisée en fonction de notre expérience en accidentologie et à partir des différentes photos du véhicule présentes dans le dossier. Nous estimons que l'EES pour l'autocar peut être comprise entre 10 km/h et 15 km/h.

Cette estimation ne peut être confirmée qu'à partir d'essais de choc réalisés à différentes vitesses et produisant des déformations quasi identiques. Pour l'ensemble des éléments de sécurité (glissière métallique, garde-fou du pont), qui présente des déformations importantes, il nous est très difficile de donner la même information faute de données quantitatives. Nous prendrons donc comme hypothèse que l'énergie absorbée par ces éléments peut être assimilée à une variation de vitesse de l'autocar de l'ordre de 10 km/h.

En appliquant l'équation (2) avec V_{fv} comprise entre 31 km/h et 40 km/h, puis en ajoutant la variation de vitesse due à la déformation des éléments de sécurité, nous obtenons donc que la vitesse au choc de l'autocar peut être comprise entre **44 km/h** et **55 km/h**.

Récapitulatif de la Sous-phase n° 5	
Vitesse finale V_{5f}	Vitesse initiale V_{5i}
31 km/h -40 km/h	44 km/h -55 km/h

3.2.2.f Conclusion

Une première approche quantitative indique que la vitesse d'impact de l'autocar lors du premier choc peut-être estimée entre 44 km/h et 55 km/h.

Bien que cette estimation ne tienne pas compte de l'énergie dissipée dans la destruction de la glissière de sécurité, l'intervalle donné pour la vitesse lors du 1^{er} choc peut être considéré comme physiquement acceptable. Cette approximation doit être validée par une simulation numérique de l'ensemble de l'accident à l'aide de l'outil Pc-Crash.

N°	Phase	Description	Relation physique	Valeur		Dx	Vi Min	Vf Min	Vi Max	Vf Max
				min	Sup					
1	Choc3	Choc arrière	Cons. Energie	EES=10 km/h	EES=15km/h	0	10	0	15	0
2	Post	Renversement	Décél. Uniforme	-4m/s ²	-5m/s ²	2	18	10	22	15
3	Choc2	Choc avant	Cons. Energie	EES=30km/h	EES=35km/h	0	35	18	41	22
4	Post	Renversement	Décél. Uniforme	-3m/s ²	-4m/s ²	8	31	35	40	41
5	Choc1	Contre glissière métallique	Cons. Energie	EES=10km/h	Ees=15 km/h	0	47	31	55	40

Tableau 1 : Récapitulatif de l'estimation des vitesses.

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

La phase de pré-collision doit permettre d'une part de valider le scénario le plus probable du comportement de l'autocar juste avant l'accident et d'autre part de simuler de façon synchrone les mouvements de l'ensemble des véhicules présents. La simulation résultante doit être la plus fidèle possible aux divers témoignages et pièces présents dans le dossier. En ce qui concerne la simulation du mouvement de l'autocar dans les quelques secondes avant le choc elle doit prendre en compte les 3 contraintes suivantes :

- 1 La vitesse finale de cette phase doit être la vitesse de l'autocar au choc, soit une vitesse comprise entre 44 et 55 km;
- 2 Les roues situées à gauche de l'autocar doivent passer par la trace de pneumatique relevée juste avant le choc ;
- 3 La vitesse de roulage de l'autocar ne peut dépasser les 110 km/h. Cette dernière contrainte étant précisée par la lecture du disque chronotachigraphe.

Pour remonter la vitesse initiale de l'autocar le plus en amont possible de l'accident, nous allons procéder de la même manière que précédemment, c'est-à-dire que nous allons essayer de décrire toutes les sous-phases que nous supposons s'être produites.

Dans cette phase de pré-collision, 2 sous-phases peuvent être simulées depuis le choc contre la glissière métallique jusqu'à la situation de rupture :

- Sous-phase n°1 : perte de contrôle : freinage et coup de volant à droite. Cette sous-phase est décrite à partir des traces relevées sur l'infrastructure partant de la voie de gauche et se terminant contre la glissière.
- Sous-phase n°2 : réaction et déport de l'autocar vers la gauche depuis la voie centrale.

3.2.3.a **Sous-phase n° 1 : Perte de contrôle** Le terme de perte de contrôle peut paraître d'une utilisation un peu abusive. Cependant lorsque l'on regarde la trace laissée par l'autocar sur la route et en tenant compte des conditions atmosphériques dégradées, cette caractérisation est tout à fait justifiée car la réaction brutale du conducteur (par ses actions réalisées) a placé le véhicule dans une dynamique qu'il ne peut plus maîtriser. Ces actions sont un freinage couplé simultanément à un coup de volant brutal vers la droite. Compte tenu des informations collectées on ne peut dire ici qu'elle action du coup de volant ou du freinage a été réalisée la première.

Quoiqu'il en soit, l'unique trace relevée sur le plan ne peut être qu'attribuée aux roues gauche de l'autocar. Elle nous indique donc que le véhicule a subi un transfert de charge vers la gauche (dû aux effets conjugués du coup de volant vers la droite et le fait que le centre de gravité de ce type de véhicule soit haut) tout en ayant un appui légèrement plus marqué sur l'avant, ce qui conforte notre hypothèse.

La trace laissée par le pneumatique s'étend à peu près sur 33 mètres. Pour cette sous-phase, nous assimilerons la cinématique du véhicule à un mouvement uniformément décéléré.

La distance parcourue par le véhicule lors de cette sous-phase est d'à peu près 33 mètres. Compte tenu du freinage et de l'adhérence de la chaussée mouillée, nous prendrons des coefficients de décélération moyens compris entre -3 m/s^2 et -4 m/s^2 .

En appliquant l'équation (1), avec les vitesses résiduelles minimales et maximales (soit respectivement $V_r = 12,3 \text{ m/s}$ pour la valeur minimale et $V_r = 15,2 \text{ m/s}$ pour la valeur maximale) correspondantes à l'intervalle estimé pour la vitesse au choc contre la glissière, nous obtenons donc les bornes inférieures et supérieures définissant l'intervalle dans lequel doit se situer la vitesse finale de l'autocar lors de cette sous-phase. Cette vitesse finale doit donc être comprise entre **18,7 m/s** et **22,3 m/s** (soit entre **69 km/h** et **81 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n° 1	
Vitesse finale V_{1f}	Vitesse initiale V_{1i}
44km/h -55 km/h	67 km/h -80 km/h

Sous-phase n° 2 : Réaction et Déport à gauche

Dans cette sous-phase nous simulerons la réaction du conducteur, précédée du déport du véhicule vers la gauche. Le premier événement correspond à la réaction du conducteur entre le moment où il s'aperçoit que l'autocar se dirige vers la glissière de gauche et le moment où il exécute son action. Cette sous-phase étant très courte par rapport aux autres événements, nous supposerons donc que le véhicule ne subit aucune variation de

vitesse pendant cette courte période qui peut être estimée à 1 voire 2 secondes. D'après certaines déclarations, il apparaît clairement que l'autocar circulait sur la voie centrale. Or le fait de retrouver des traces à partir de la voie de gauche montre que le véhicule s'est déporté vers la gauche pour une raison inconnue, mais qui probablement serait due à l'endormissement du chauffeur.

Contrairement à certains témoignages, nous ne pensons pas que l'autocar a « zigzagué », mais qu'il est parti de façon lente et progressive vers la voie de gauche. En effet, il est quasiment probable que si zigzag il y a, ces changements de trajectoire sont dus à des coups de volant donnés par le conducteur. Or, ces changements de trajectoire auraient finis par laisser une trace en forme de « S » au moins dans sa partie finale. Or rien de tel n'a été relevé.

Nous allons donc supposer que ce déport vers la gauche puis la réaction ont été réalisés sur une distance de 200 mètres, sous-phase durant laquelle le véhicule aura une décélération comprise entre -1m/s^2 et $1,5\text{m/s}^2$, correspondante à un levé de pied.

En appliquant l'équation (1), avec les vitesses résiduelles minimales et maximales calculées précédemment (soit respectivement $V_r = 18,7 \text{ m/s}$ pour la valeur minimale et $V_r = 22,3 \text{ m/s}$ pour la valeur maximale), nous obtenons donc les bornes inférieures et supérieures définissant l'intervalle dans lequel doit se situer la vitesse finale de l'autocar lors de cette sous-phase. Cette vitesse finale doit donc être comprise entre **27,4 m/s** et **33,1 m/s** (soit entre **98 km/h** et **119 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n° 1	
Vitesse finale V_{1f}	Vitesse initiale V_{1i}
67km/h -80 km/h	98 km/h -119 km/h

3.2.3.b Conclusion En conclusion nous pouvons dire que la vitesse initiale de l'autocar (vitesse de roulage) peut être estimée raisonnablement entre **98km/h** et **119 km/h**, compte tenu des hypothèses proposées dans le déroulement des sous-phases dans la pré-collision.

3.3 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 des conditions qui ont été précédemment décrites. L'accent a surtout été mis sur la cinématique assez complexe de l'autocar après le premier impact contre la glissière de sécurité.



3.3.1 Simulation numérique du scénario

Après plusieurs simulations numériques, il advient que la vitesse d'impact de l'autocar contre la glissière métallique est de **56 km/h**.

La simulation numérique résultante (présentée dans l'annexe A) respecte à la fois les traces relevées sur l'infrastructure par les forces de l'ordre, les différents impacts relevés sur le sol et les déformations subies par le véhicule.

Cette vitesse, lors du premier impact de l'autocar contre la glissière métallique de sécurité, a dans un premier temps été estimée à partir d'un calcul des vitesses du véhicule à chaque étape de la collision au moyen des équations générales de la mécanique, puis validée par la simulation.

Cette simulation tient compte des multiples chocs entre l'autocar et les différents obstacles rencontrés : glissière, sol.

A partir des résultats obtenus, une simulation complète a été réalisée. Cette simulation décrivant toutes les phases de l'accident est présentée sous forme d'une bande dessinée dans l'annexe A. Toutes les vignettes représentées ont été tirées de la simulation numérique obtenue sous Pc-Crash.

3.4 Discussion

La simulation réalisée dans cette étude a pour but d'élaborer le scénario le plus probable de l'accident compte tenu des contraintes imposées par les déformations du véhicule et des objets, des traces relevées par les forces de l'ordre, des estimations des vitesses et des divers témoignages, notamment ceux décrivant la cinématique complexe de l'autocar après le choc.

Cependant, il reste une zone d'ombre concernant le déport de l'autocar vers la gauche. Plusieurs hypothèses non vérifiables peuvent être avancées : un assouplissement du conducteur ou une tâche annexe effectuée.

Il n'en reste pas moins que la réaction du conducteur a été trop brutale. La perte de contrôle du véhicule qui s'en est suivie peut s'expliquer également par les facteurs aggravants suivants :

- Une chaussée mouillée (adhérence faible)
- Mauvais état du véhicule (suspensions usées, freinage dissymétrique)



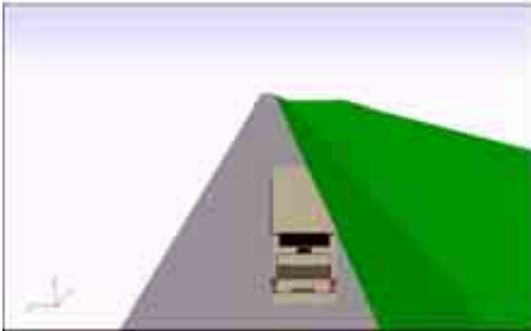
En synthèse, le scénario d'accident retenu est le suivant :

- ☑ L'autocar roule sur l'autoroute sur la voie centrale à une vitesse moyenne estimée à 110km/h ;
- ☑ Pour une raison inconnue, l'autocar se déporte vers la voie de gauche. Sa vitesse est estimée à 81km/h à ce moment là;
- ☑ Le conducteur s'apercevant soudainement que son véhicule se dirige vers la glissière de gauche, donne un brusque coup de volant vers la droite combiné à un freinage.
- ☑ Compte tenu de la manœuvre tentée par le conducteur associée à un très mauvais état général du véhicule (en terme de caractéristiques dynamiques) et à une adhérence rendue faible par les conditions météorologiques, le véhicule traverse toutes les voies de l'autoroute et se dirige vers l'accotement droit (traces laissées par les pneumatiques).
- ☑ Le conducteur perd le contrôle de son véhicule, et l'autocar vient percuter la rambarde (glissière métallique) à une vitesse estimée de 56km/h.
- ☑ Compte tenu de l'énergie constituée par la masse de l'autocar et surtout de sa vitesse, l'autocar poursuit sa trajectoire tout en amorçant son renversement (en partie déjà initié par la perte de contrôle) ;
- ☑ Le véhicule finit par retomber sur l'accotement droit en contrebas et heurte violemment sa face avant contre le sol ;
- ☑ Suite à ce second choc, le véhicule est stoppé dans sa trajectoire longitudinale, mais poursuit son renversement. Sa vitesse est évaluée à peu près 15Km/h.
- ☑ Finalement l'arrière de l'autocar retombe sur le sol en s'écrasant.

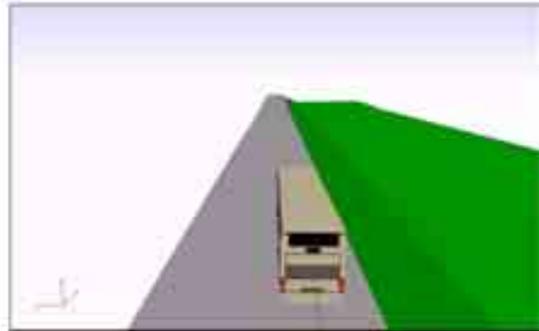


ANNEXE A

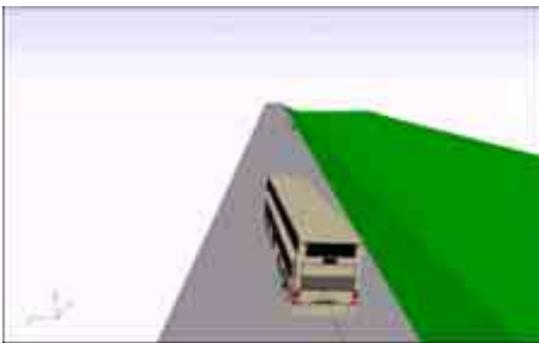
Simulation numérique sous Pc-Crash de l'accident



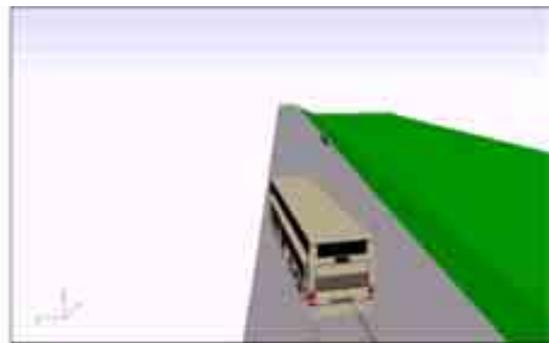
L'autocar roule à 110 km/h



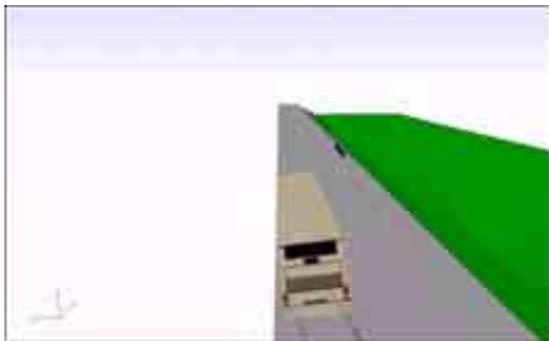
Début du déport de l'autocar vers la voie de gauche



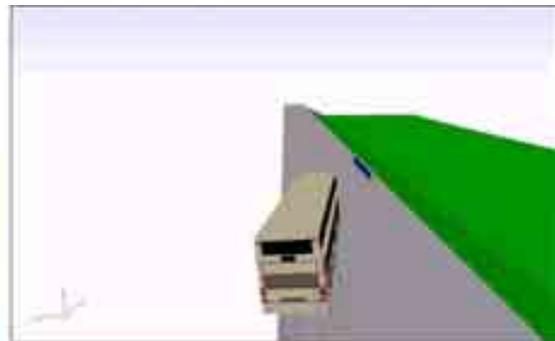
L'autocar se dirige vers la voie de gauche



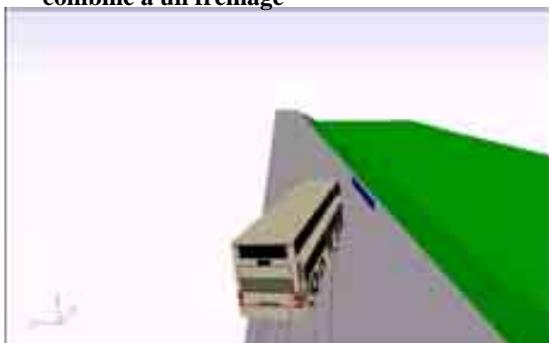
Le conducteur s'aperçoit de sa dérive et réagit



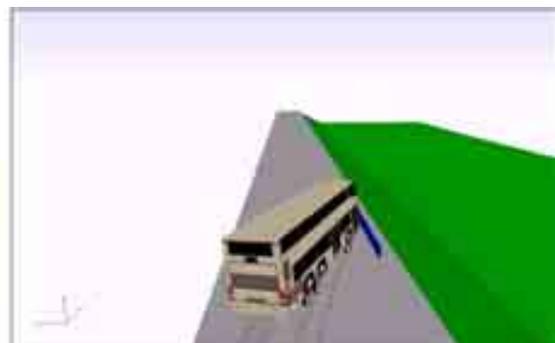
... par un brusque coup de volant vers la droite combiné à un freinage



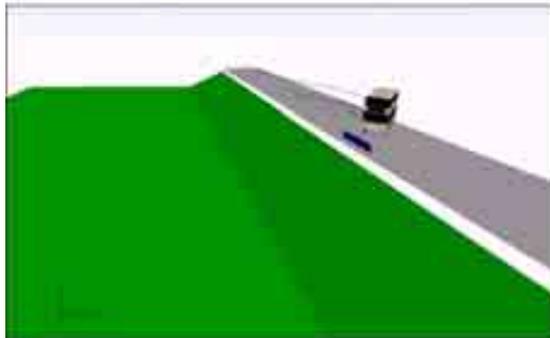
Le véhicule répond et se dirige vers la voie de droite



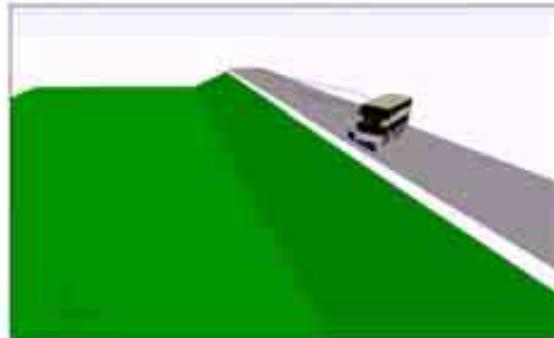
Les actions conjuguées de la manœuvre, de l'état général du véhicule et de la faible adhérence ...



... entraîne une perte de contrôle du véhicule



... qui se dirige vers l'accotement droit



...et percute la glissière métallique de sécurité.



A cause de l'énergie de l'autocar, celui-ci défonce la rambarde ...



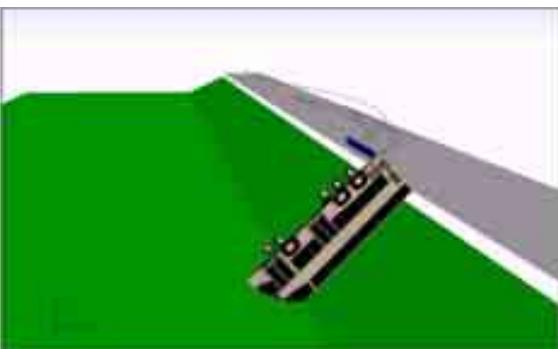
... et amorce le renversement.



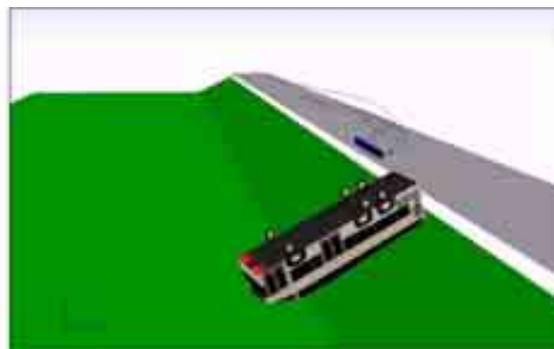
L'autocar se renverse ...



... et bascule dans l'accotement droit en contrebas.



L'avant du véhicule percute violemment le sol ...



... puis l'arrière retombe sur le sol et le véhicule s'immobilise

Annexe 5 : Vitesses maximales des véhicules de transports en commun de personne

VITESSES MAXIMALES DE CIRCULATION				
CATEGORIES DE VEHICULE	AUTOROUTES	ROUTES A DEUX CHAUSSEES SEPARÉES PAR UN TERRE PLEIN CENTRAL	AUTRES ROUTES	EN AGGLOMERATION
Tous véhicules (Rappel)	130 km/h <i>(110 en cas de pluie ou d'autres précipitations)</i>	110 km/h <i>(100 en cas de pluie ou d'autres précipitations)</i>	90 km/h <i>(80 en cas de pluie ou d'autres précipitations)</i>	50 km/h <i>(éventuellement 30km/h ou 70km/h)</i>
	Article R413-2 du code de la route	Article R413-2 du code de la route	Article R413-2 du code de la route	Article R413-3 du code de la route
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC inférieur à 10 T	Idem	Idem	Idem	Idem
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC égal ou supérieur à 10 T	90 km/h <i>(100 km/h si le véhicule est équipé d'un ABS)</i>	90 km/h	90 km/h	Idem
	Article R413-10 du code de la route	Article R413-10 du code de la route	Article R413-10 du code de la route	
VITESSES MAXIMALES PAR CONSTRUCTION				
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC inférieur à 10 T	Pas de limitations <i>(La directive 2002/85/CE du 5 novembre 2002 prévoit de limiter la vitesse maximale par construction des véhicules de transports en commun de plus de 3.5t à 100 Km/h. Date limite de transposition : 1er janvier 2005.)</i>			
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC égal ou supérieur à 10 T Véhicules de	100 km/h <i>(dispositions communautaires contenues dans la directive 92/6/CE du 10 février 1992 relative à l'installation et à l'utilisation dans la communauté de limiteurs de vitesse sur certaines catégories de véhicules à moteur Transposées par arrêtés des 14/12/93 et 10/10/94</i>			
	Article R317-6 du code de la route			