

Rapport d'enquête technique
sur l'accident d'autocar
du 20 janvier 2006 à Arles (13)

juillet 2007

Conseil Général des Ponts et Chaussées

Le 16 juillet 2007

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

Affaire n°BEATT-2006-001

**Rapport d'enquête technique sur l'accident
d'autocar du 20 janvier 2006 à Arles (13)**

Bordereau documentaire

Organisme (s) commanditaire (s) : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables ; MEDAD

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'accident d'autocar du 20 janvier 2006 à Arles (13)

N°ISRN : EQ-BEA-TT—07-2--FR

Proposition de mots-clés : autocar, transport de personnes, accident, médecine du travail, suivi médical, aptitude.

Sommaire

Glossaire.....	4
Résumé.....	5
1- Constats immédiats et engagement de l'enquête.....	7
1.1- L'accident.....	7
1.2- L'organisation de l'enquête.....	7
2- Reconstitution du déroulement de l'accident.....	9
2.1- Contexte de l'accident.....	9
2.1.1- L'infrastructure.....	9
2.1.2- Le véhicule impliqué.....	9
2.1.3- Le conducteur.....	10
2.1.4- Les conditions générales.....	11
2.2- Scénario de l'accident.....	11
2.3- Les secours et le bilan.....	11
3- Analyse des causes et des facteurs associés et orientations de prévention.....	13
3.1- Suivi médical du chauffeur.....	13
3.1.1- Historique.....	13
3.1.2- Analyse.....	13
3.1.3- Orientations pour la prévention.....	14
3.2- Port de la ceinture de sécurité.....	15
3.2.1- Bilan médical de l'accident.....	15
3.2.2- Utilisation des ceintures de sécurité dans cet autocar.....	15
3.2.3- Analyse et orientations pour la prévention.....	15
4- Conclusions et recommandations.....	17
ANNEXES.....	19
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	21
Annexe 2 : Plan de situation.....	22
Annexe 3 : Photographies.....	23
Annexe 4 : Etude technique et dynamique (CEESAR).....	27

Glossaire

- **BEA-TT** : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre
- **CGPC** : Conseil Général des Ponts et Chaussées

Résumé

Le 20 janvier 2006 vers 12h55, sur la RD 35 au lieu-dit Mas Thibert (commune d'Arles dans les Bouches-du-Rhône), un car appartenant à la société « Les Cars de Camargue » et effectuant la ligne régulière Arles - Port-Saint-Louis-du-Rhône, est brusquement sorti de la route, s'est couché dans le fossé et a terminé sa course contre un arbre.

Le bilan de cet accident s'établit à un mort (le conducteur) et 35 blessés dont 4 graves.

La cause directe de cet accident est un malaise cardiaque du chauffeur qui a entraîné son décès.

Il faut toutefois noter deux autres facteurs qui ont également joué un rôle :

- Le suivi médical du conducteur,
- L'absence de port de la ceinture de sécurité par la plupart des passagers.

En conséquence, le présent rapport émet deux recommandations visant à mieux formaliser les relations entre les médecins du travail et les employeurs et à renforcer l'aide à la décision des médecins du travail vis-à-vis du risque addictif émol.

1- Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1- L'accident

Le 20 janvier 2006 vers 12h55, sur la RD 35 au lieu-dit Mas Thibert (commune d'Arles dans les Bouches-du-Rhône), un car appartenant à la société « Les Cars de Camargue » et effectuant la ligne régulière Arles - Port-Saint-Louis-du-Rhône, est brusquement sorti de la route, s'est couché dans le fossé et a terminé sa course contre un arbre.

Le bilan de cet accident s'établit à un mort (le conducteur) et 35 blessés dont 4 graves.

1.2- L'organisation de l'enquête

Une enquête technique a été engagée par le Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre, par décision du ministre des transports, de l'équipement du tourisme et de la mer, en date du 30 janvier 2006 (voir annexe 1). Cette décision situe, par erreur, l'accident sur le territoire de Saint-Martin-de-Crau, car c'est la commune la plus proche et c'est sa gendarmerie qui est intervenue en premier, mais il se situe bien, en fait, sur le territoire d'Arles dont Mas Thibert est un hameau.

Cette enquête technique a été réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 et du décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Elle a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'événement analysé, et en établissant les recommandations de sécurité utiles.

Les enquêteurs ont rencontré le Sous-Préfet d'Arles, les sapeurs pompiers et les gendarmes de cette commune ainsi que les gendarmes de Saint-Martin-de-Crau. Ils se sont rendus sur les lieux avec les services de la Direction Départementale de l'Équipement et ils ont pu examiner l'épave du car à son lieu de remise.

Ils ont reçu l'assistance de l'Inspection Générale du Travail des Transports et de l'Inspection médicale du travail des transports pour la rédaction du rapport.

Ils ont pu, également, utiliser les éléments issus de l'enquête judiciaire.

Une étude technique et dynamique avec reconstitution de la cinématique de l'accident a également été confiée au Centre Européen d'Études de Sécurité et d'Analyse des Risques (CEESAR).

2- Reconstitution du déroulement de l'accident

2.1- Contexte de l'accident

2.1.1- L'infrastructure

Caractéristiques générales

La RD35 assure la liaison entre Arles et Port-Saint-Louis-du-Rhône.

C'est une route à 2 voies, située presque intégralement en rase campagne ; le seul hameau traversé est Mas Thibert.

L'accident a eu lieu au PR 22+900, à environ 1 km au nord de l'entrée de Mas Thibert.

Cet endroit se situe à l'entrée d'une légère courbe à droite ; la chaussée y présente 2 voies de 3,50 m, bordées par des accotements herbeux de 3,10m. Du côté droit, dans le sens Arles - Port-Saint-Louis, l'accotement est longé par un fossé (roubine) de 4,00 m de largeur en tête pour une profondeur de 1,80m. Une rangée d'arbres est plantée en crête de talus, sur l'autre bord de ce fossé, soit à une distance de 7,10 m du bord de chaussée.

La chaussée présente une très faible pente longitudinale et un dévers de 3,5% en direction du fossé.

Trafic et accidents

Sur la section de la RD 35 comprise entre la sortie d'Arles et Mas Thibert, le trafic est de 2500 vh/j (comptage 2004).

La vitesse limite autorisée est de 90 km/h.

Sur cette section, hors agglomération d'Arles et hors carrefour avec la RD 24 dans Mas Thibert, on a enregistré 8 accidents corporels sur la période 2000-2004, ayant occasionné 1 tué, 3 blessés graves et 10 blessés légers ; il faut y ajouter deux accidents au carrefour de Mas Thibert (RD 35/RD 24), ayant fait 1 blessé grave et 1 blessé léger.

Ceci représente, un taux moyen d'accidents, calculé sur cette période, de 14,6 accidents pour 100 millions de km parcourus ; ce qui est légèrement supérieur à la moyenne nationale pour les routes à 2 voies de largeur égale à 7,00m (11,41 pour la période 1999-2001).

Ce taux d'accidents s'explique par des vitesses excessives liées aux bonnes caractéristiques de la route et à son faible trafic ; l'accident d'autocar, objet du présent rapport, est d'une nature différente et aucun accident n'avait été relevé sur la période 2000-2004, dans la zone de 4000 m centrée sur le PR 22+900 (en dehors des accidents au carrefour RD 35/RD 24).

2.1.2- Le véhicule impliqué

L'entreprise de transports

La société « Les Cars de Camargue » est une PME d'Arles.

Elle est issue, en 1988, d'un regroupement entre les Cars du Delta et les Chemins de Fer de Camargue.

Son activité regroupe trois axes principaux : le transport interurbain de voyageurs, le transport scolaire et le transport occasionnel de groupes.

Elle disposait à la date de l'accident de 32 véhicules, transportant les voyageurs notamment entre Arles, Nîmes, Lunel, Port-Saint-Louis-du-Rhône et Saint-Martin-de-Crau.

A cette date, 45 personnes travaillaient pour les Cars de Camargue, dont une trentaine de conducteurs.

Cette société est affrétée par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône afin d'assurer certaines liaisons interurbaines, sous le label « Cartreize » ; c'est le cas de la liaison Arles - Port-Saint-Louis-du-Rhône. Elle assure également des lignes de transports scolaires pour le compte du même Conseil Général.

La ligne d'autocar

L'accident en question a concerné un car de la ligne régulière « Tous voyageurs », Arles - Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Toutefois, les horaires de cette ligne sont étudiés afin que les élèves habitant Mas Thibert et Port-Saint-Louis puissent se rendre à leurs cours dans les établissements scolaires d'Arles, et en revenir.

Ainsi, l'autocar en question, partant du centre d'Arles à 12h30 devait desservir Mas Thibert à 13h00 et parvenir à Port-Saint-Louis-du-Rhône à 13h35 ; il transportait 38 passagers dont 8 adultes et 30 scolaires.

C'est une ligne réputée difficile avec des détériorations de matériel et des agressions verbales fréquentes à l'encontre des chauffeurs.

L'autocar

L'autocar est un RENAULT Tracer ; sa capacité est de 55 places en sus du conducteur.

Sa date de première mise en circulation est le 19/06/2000.

La validité de la visite technique s'étendait jusqu'au 25/01/2006 (rendez-vous pris pour la visite suivante le 27/01/2006).

Le compteur affichait 278 127 km au moment de l'accident.

Tous les sièges étaient équipés de ceintures de sécurité : ceintures à 3 points d'ancrage pour le conducteur et les 4 passagers avant, ceintures ventrales pour le reste des passagers.

2.1.3- Le conducteur

Le conducteur, âgé de 51 ans, était titulaire d'un permis D, prorogé jusqu'au 20/06/2008.

Il était titulaire d'une formation initiale minimale obligatoire (FIMO) obtenue par équivalence.

Son attestation de formation continue obligatoire de sécurité (FCOS) était valide jusqu'au 11/02/2010.

Il était employé régulièrement par l'entreprise depuis le 23/02/1998.

Sa dernière visite médicale, en date du 08/09/2005 concluait : « Aptitude temporaire jusqu'à début novembre, à revoir début novembre avec les résultats du bilan prescrit ». Le salarié ne s'était pas présenté devant la médecine du travail en novembre, comme cela lui était demandé.

Le 20 janvier 2006, il avait démarré sa conduite à 12h05 pour se rendre à la gare routière d'Arles d'où il est reparti à 12h30 ; puis, après 20 kms parcourus et plusieurs arrêts, l'accident a eu lieu à 12h55.

La durée de travail du conducteur, dans la période qui a précédé le trajet sur lequel est survenu cet accident, n'a pas pu être vérifiée car il avait omis de manipuler le sélecteur du chronotachygraphe. D'autre part, ce conducteur exerçait une activité mixte comportant des

transports occasionnels et la ligne régulière en question qui représente 47 km de longueur ; le fait que cette ligne soit inférieure au seuil réglementaire de 50 km exonère l'employeur, du moins pour cette partie de l'activité du conducteur, de l'obligation de l'utilisation de l'appareil de contrôle (chronotachygraphe) et du respect des règles concernant les conditions de travail telles que prescrites par la réglementation communautaire, ceci en application du point 3 de l'article 4 du règlement CE 3820/85 du Conseil.

L'analyse de sang a révélé un taux d'alcoolémie de 0,22 g/l, alors que les conducteurs de véhicules de transports en commun sont en infraction à partir d'un taux de 0,20 g/l.

2.1.4- Les conditions générales

L'accident est survenu par beau temps et sur chaussée sèche.

2.2- Scénario de l'accident

L'autocar roulait à une vitesse d'environ 90 km/h, dans le sens Arles – Port-Saint-Louis.

Arrivé à environ 1 km de l'arrêt de Mas Thibert, vers 12h55, le chauffeur a été pris d'un malaise cardiaque et s'est affalé sur le volant.

Il abordait alors une légère courbe à droite ; l'autocar est parti dans cette direction et il a roulé sur l'accotement herbeux, sur une distance d'environ 50 m, avant de basculer dans le fossé.

Il s'est couché sur le côté droit et s'est bloqué contre la berge du fossé.

La plupart des vitres ont explosé sous le choc et la partie avant de la toiture a été arrachée par un arbre situé en crête de talus.

Le conducteur avait attaché sa ceinture de sécurité, mais la presque totalité des passagers, et notamment les scolaires, ne la portaient pas.

L'étude du CEESAR, jointe en annexe 4, reconstitue toute la cinématique de l'accident.

2.3- Les secours et le bilan

Les sapeurs pompiers ont été alertés à 13h00 par un appel sur le 18.

Le premier véhicule de secours est arrivé sur les lieux à 13h13.

Des véhicules supplémentaires sont arrivés dans les dix minutes qui ont suivi, c'est-à-dire : 1-ambulance, 1 véhicule de secours et 1 véhicules de patrouille.

Puis le plan rouge a été déclenché ainsi que le plan blanc ; les moyens mis en oeuvre ont comporté notamment 20 véhicules de secours, 10 ambulances et 4 hélicoptères pour évacuer les blessés les plus touchés vers les hôpitaux de Marseille.

Une salle a été mise à disposition à Mas Thibert afin d'accueillir les blessés légers et leurs familles.

Au total, 46 véhicules et 128 sapeurs pompiers ont été engagés.

Le bilan est de 1 mort (le chauffeur) et 35 blessés dont 4 graves.

Il faut noter que l'accident s'est produit à l'un des endroits les moins défavorables :

- hors agglomération,
- accotement large,
- obstacles (arbres) éloignés de 7,10 m du bord de chaussée.

De plus, l'heure de la journée et les conditions atmosphériques favorables ont permis une

intervention rapide des secours avec des moyens considérables.

Le bilan de cet accident aurait donc pu être nettement plus lourd dans d'autres circonstances, mais, il convient également de noter que, pour le cas qui s'est effectivement produit, le port de la ceinture de sécurité par tous les passagers aurait probablement diminué la gravité des blessures.

3- Analyse des causes et des facteurs associés et orientations de prévention

L'examen des circonstances de l'accident a conduit à analyser deux types de facteurs qui ont pu y contribuer et sont susceptibles de donner lieu à des recommandations préventives :

- Le suivi médical du chauffeur,
- Le port de la ceinture de sécurité.

3.1- Suivi médical du chauffeur

3.1.1- Historique

Le conducteur avait été embauché par l'entreprise en février 1998, après 26 ans passés dans l'armée de l'air.

Il faisait l'objet d'un suivi médical régulier par le médecin du travail, lié à son état de santé.

Le 29 avril 2003, le médecin du travail l'avait mis en inaptitude temporaire suite à la constatation de perturbations cliniques et biologiques ; il n'avait été autorisé à reconduire qu'à partir de la visite de reprise de maladie réalisée le 27 juillet 2003.

Il avait été revu le 21 novembre 2003 avec demande d'une nouvelle biologie qui avait confirmé l'existence de signes d'imprégnation oenologique chronique.

En janvier 2004, le bilan s'était aggravé, le conducteur s'était alors engagé à cesser la consommation d'alcool et à reprendre le sport.

A partir de là, il avait été suivi de très près par le médecin du travail (vu 7 fois en 2004 et 3 fois en 2005), ainsi que par un spécialiste ; les résultats en dents de scie de ses bilans avaient conduit le médecin à lui délivrer, à chaque fois, des aptitudes temporaires d'une durée variable.

Les dernières visites au médecin du travail avaient eu lieu :

- Le 7 mars 2005 : lors de cette visite, une aptitude temporaire avait été délivrée au conducteur jusqu'au 30 mars ; toutefois, il n'avait pas été revu avant cette date,
- Le 26 juillet 2005 : lors de cette visite, une aptitude temporaire lui avait été délivrée jusqu'au 8 septembre, avec une demande d'analyses complémentaires,
- Le 8 septembre 2005 : lors de cette visite, le conducteur avait présenté le bilan des analyses effectuées le 6 septembre et le médecin du travail avait délivré une nouvelle aptitude temporaire jusqu'à début novembre, avec une nouvelle demande d'analyses.

L'accident a eu lieu le 20 janvier 2006.

Le décès a été attribué à une défaillance cardio-respiratoire avec oedème pulmonaire.

3.1.2- Analyse

Cadre réglementaire

L'article R241-49 du Code du Travail prévoit que : « Chaque salarié bénéficie d'examen médicaux périodiques, au moins tous les vingt-quatre mois, en vue de s'assurer du maintien de son aptitude au poste de travail occupé ».

L'article R241-52 du Code du Travail prévoit que : « Le médecin du travail peut prescrire les examens complémentaires nécessaires :

- a) A la détermination de l'aptitude médicale au poste de travail et notamment au dépistage

des affections comportant une contre-indication à ce poste de travail... ».

L'article R241-49 du Code du Travail prévoit que : « A l'issue de chacun des examens médicaux prévus aux articles R. 241-48, R. 241-49, R. 241-50 et R. 241-51, le médecin du travail établit une fiche d'aptitude en double exemplaire.

Il en remet un exemplaire au salarié et transmet l'autre à l'employeur qui le conserve pour être présenté à tout moment, sur leur demande, à l'inspecteur du travail et au médecin inspecteur régional du travail et de la main-d'oeuvre.

Lorsque le salarié en fait la demande ou lorsqu'il quitte l'entreprise, le médecin du travail établit une fiche médicale en double exemplaire. Il en remet un exemplaire au salarié et conserve le second dans le dossier médical de l'intéressé.. »

Déroulement du suivi

Malgré un suivi très « rapproché », la couverture réglementaire de l'aptitude n'a pas été satisfaisante.

En effet, lorsque le médecin du travail indique :

- Le 1er juin 2004 : « aptitude temporaire jusqu'à mi-juillet », le conducteur n'est revu que le 13 août.
- Le 7 mars 2005 : « aptitude temporaire jusqu'au 30 mars », le conducteur n'est revu que le 26 juillet
- Le 8 septembre 2005 : « aptitude temporaire jusqu'au début novembre. A revoir début novembre avec les résultats du bilan prescrit » le conducteur ne sera pas revu jusqu'à l'accident du 20 janvier 2006.

D'autre part, si l'entreprise de transport avait bien organisé un suivi médical pour ses conducteurs, à un rythme annuel, elle ne s'assurait pas de la réalité et des résultats de ces visites. Les fiches d'aptitude de ce salarié ne se trouvaient pas au siège de la société ; il semble que le médecin du travail ne les transmettait pas directement, comme prévu par l'article R241-49 du Code du travail, mais laissait le soin au conducteur de les ramener à son employeur.

En conséquence, le conducteur a été laissé en activité dans des périodes où il n'était pas couvert par un certificat d'aptitude réglementaire. Son inaptitude définitive à la conduite professionnelle n'a pas été prononcée, alors que son état de santé présentait de grandes incertitudes quand à la fiabilité de sa vigilance et de très sérieux risques de survenue d'une complication aiguë, même si on ne peut affirmer de façon certaine que seuls l'alcool ou ses effets à long terme sont l'unique cause de la défaillance ayant entraîné l'accident.

3.1.3- Orientations pour la prévention

Il convient de veiller scrupuleusement à la couverture réglementaire de l'aptitude des conducteurs, en particulier dans le cadre des aptitudes « provisoires ».

Ces aptitudes provisoires devraient être mieux encadrées et limitées en nombre, avant de déboucher sur une inaptitude définitive.

La communication entre le médecin du travail et l'employeur devrait être mieux formalisée afin que chacun puisse exercer, en toute connaissance de cause, ses responsabilités quant au maintien à un poste de conduite, d'un chauffeur présentant des risques potentiels.

Il conviendrait également de renforcer le cadre d'aide à la décision pour le médecin du travail, en particulier vis-à-vis du risque addictif à l'alcool pour les conducteurs titulaires du permis D, mais également dans le groupe lourd ou même pour toute conduite professionnelle. La mise à

disposition obligatoire d'éthylomètres homologués type Draegger par les services de santé au travail pour leurs cabinets médicaux permettrait de mieux accompagner et surtout de mieux prévenir les comportements addictifs à l'alcool.

Il convient de noter que, depuis cet accident, la compagnie de cars de Camargue a mieux formalisé ses relations avec les médecins du travail et qu'elle a ramené la périodicité des visites à 1 an, au lieu des 2 ans maximum obligatoire ; ceci peut toutefois poser un problème de disponibilité à l'AIMT.

Recommandation R1 (IGTT) : rappeler aux médecins du travail l'obligation de transmettre directement aux employeurs les fiches d'aptitude des salariés qu'ils établissent. Leur recommander d'alerter tout particulièrement les employeurs lorsque des aptitudes provisoires sont délivrées, conduisant à faire revoir le salarié par le médecin du travail plus rapidement que la périodicité réglementaire.

Recommandation R2 (IGTT) : lors des contrôles en entreprise, veiller à une vérification systématique de la validité des aptitudes médicales des conducteurs professionnels de transport de voyageurs.

3.2- Port de la ceinture de sécurité

3.2.1- Bilan médical de l'accident

Le bilan médical de cet accident est détaillé dans l'étude du CEESAR, figurant en annexe 4.

En dehors du conducteur, dont le décès a précédé l'accident, on dénombre sur les 38 passagers, 4 blessés graves et 31 blessés légers.

Trois des blessés graves se situent sur les deux premières rangées, à l'avant droit du car ; pour ceux-ci, le mécanisme lésionnel a été l'intrusion au moment du choc.

En revanche, pour le quatrième blessé grave ainsi que pour les 31 blessés légers, le mécanisme lésionnel a été une projection vers l'avant droit ; la preuve en est le grand nombre de lésions de la face de type fracture de dents, fracture des os du nez et plaies de lèvres et de faces. Pour ceux-ci, il est vraisemblable que le port de la ceinture de sécurité aurait contribué à diminuer la gravité des lésions.

3.2.2- Utilisation des ceintures de sécurité dans cet autocar

Tous les sièges étaient équipés de ceintures de sécurité, sous abdominale à deux points pour les sièges avec un dossier de siège en vis-à-vis et ceintures à trois points pour les sept places sans vis-à-vis.

Il apparaît clairement que ces ceintures n'étaient pas portées ; un nombre important d'adolescents a prétendu ignorer leur présence et s'est retranché derrière le fait que le chauffeur qui ne leur parlait pas, ne leur avait jamais demandé de les porter.

Des panonceaux indiquant le port obligatoire des ceintures de sécurité étaient toutefois apposés à l'intérieur du car.

3.2.3- Analyse et orientations pour la prévention

Il s'avère que l'obligation du port de la ceinture de sécurité dans les autocars qui bénéficient de cet équipement est encore très insuffisamment connue ou appliquée.

Les obligations réglementaires s'imposant au transporteur en matière de signalisation de cette obligation figurent dans l'arrêté du 16 décembre 2003, modifiant l'arrêté du 2 juillet 1982 relatif aux transports en commun de personnes qui stipule :

« Pour les véhicules dont les places sont équipées de ceintures de sécurité conformément aux dispositions de l'arrêté du 5 décembre 1996 susvisé, les passagers sont informés de l'obligation de porter cette ceinture de sécurité par l'une au moins des façons suivantes :

- pictogramme conforme au modèle figurant à l'annexe à la directive 91/671 /CEE susvisée, apposé en évidence à chaque place assise concernée
- panneau conforme au modèle figurant à l'annexe 8 du présent arrêté, réparti dans le véhicule et visible par tous les passagers concernés en position assise. Dans tous les cas, un panneau doit être placé à proximité des affichages définis aux paragraphes a, b, et c ci-dessus et dans les escaliers d'accès.

Ce ou ces systèmes d'information peuvent être complétés par une information donnée :

- par le conducteur, le convoyeur ou la personne désignée comme chef de groupe ;
- par des moyens audiovisuels ».

Le panneau, annexé à ce texte et incluant le pictogramme visé par la directive 91/671/CEE, est le suivant :



Il apparaît que, pour l'autocar en cause, les obligations réglementaires d'affichage de ce panneau étaient remplies ; il faut toutefois rappeler qu'un chauffeur de car n'a aucunement la responsabilité de vérifier le port effectif de la ceinture par ses passagers.

Par ailleurs, des actions de sensibilisation sont menées dans les établissements scolaires avec la participation de la société de transport ; une pièce de théâtre ayant pour thème les violences et les incivilités dans les cars et bus est ainsi représentée annuellement aux élèves de 6^{ème} et 5^{ème} scolarisés dans la communauté d'agglomération (Arles, Saint-Martin-de-Crau, Tarascon).

La compagnie de Cars de Camargue étudie la possibilité de délivrer un message audio à l'intérieur du car pour rappeler l'obligation du port de la ceinture ; par contre, en l'absence d'un accompagnateur adulte disposant d'une autorité reconnue sur les passagers scolaires, il paraît difficile d'aller au-delà.

Recommandation R3 (DSCR) : réaliser à l'occasion de la rentrée scolaire une campagne de communication spécialisée rappelant l'obligation du port de la ceinture dans les autocars qui en sont équipés.

4- Conclusions et recommandations

La cause directe de cet accident est un malaise cardiaque du chauffeur qui a entraîné son décès.

Il faut toutefois noter deux autres facteurs qui ont également joué un rôle :

- Le suivi médical du conducteur
- L'absence de port de la ceinture de sécurité par la plupart des passagers

En conséquence, nous émettrons les recommandations suivantes :

Recommandation R1 (IGTT) : rappeler aux médecins du travail l'obligation de transmettre directement aux employeurs les fiches d'aptitude des salariés qu'ils établissent. Leur recommander d'alerter tout particulièrement les employeurs lorsque des aptitudes provisoires sont délivrées, conduisant à faire revoir le salarié par le médecin du travail plus rapidement que la périodicité réglementaire.

Recommandation R2 (IGTT) : lors des contrôles en entreprise, veiller à une vérification systématique de la validité des aptitudes médicales des conducteurs professionnels de transport de voyageurs.

Recommandation R3 (DSCR) : réaliser à l'occasion de la rentrée scolaire une campagne de communication spécialisée rappelant l'obligation du port de la ceinture dans les autocars qui en sont équipés.

ANNEXES

- Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête
- Annexe 2 : Plan de situation
- Annexe 3 : Photographies
- Annexe 4 : Etude technique et dynamique (CEESAR)

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



Le Ministre des Transports, de l'Équipement,
du Tourisme et de la Mer

BEA-TT 2006-001



DECISION

Le ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer ;

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;
Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

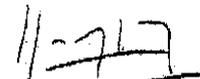
DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier susvisée, est ouverte concernant l'accident d'autocar survenu le 20 janvier 2006 sur la RD 35 sur la commune de Saint Martin de Crau (13).

Article 2 : Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre est chargé de l'exécution de la présente décision

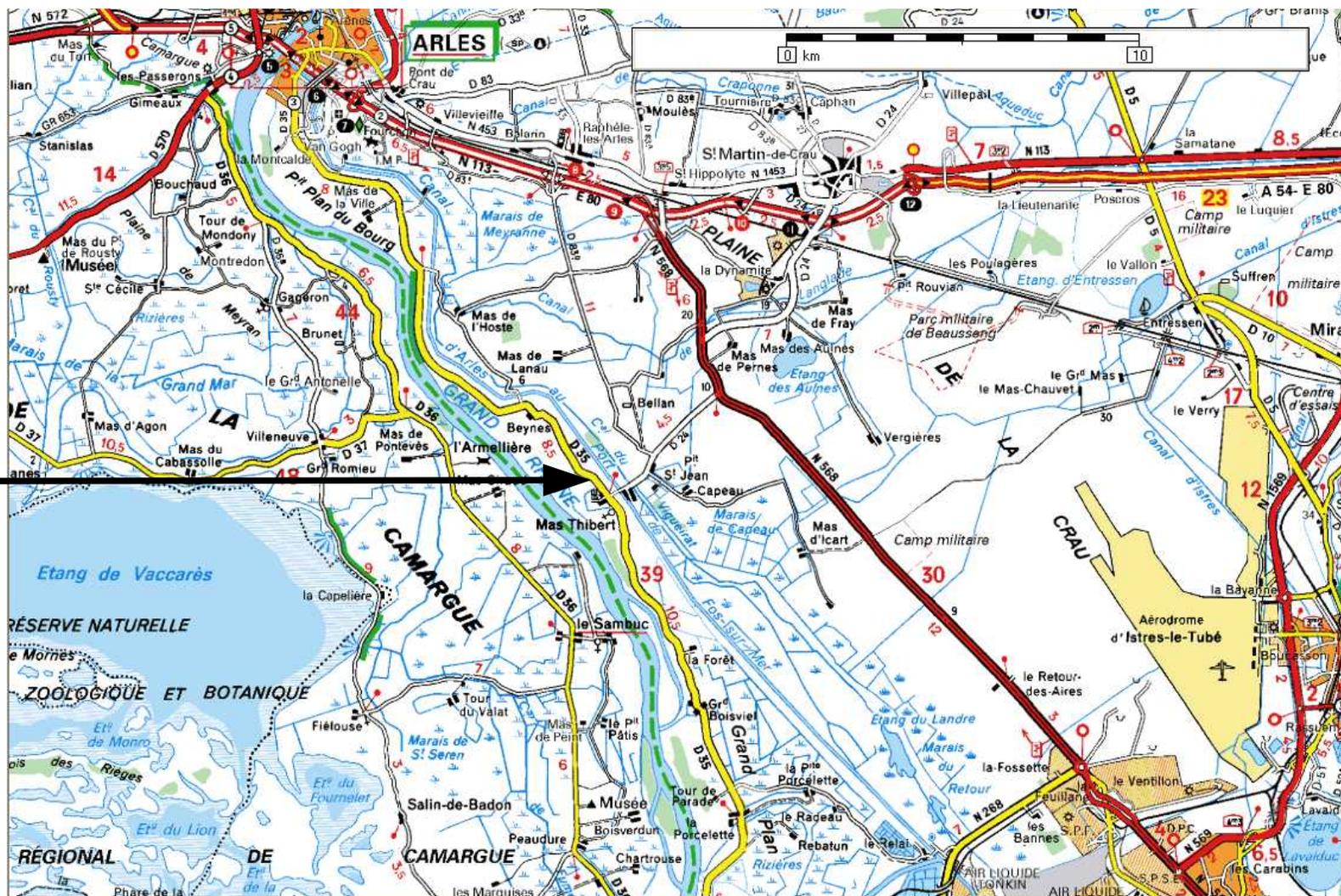
Fait à Paris, le 30 JAN. 2006

Le ministre des transports, de l'équipement,
du tourisme et de la mer


Dominique PERBEN

Annexe 2 : Plan de situation

Lieu de
l'accident



Annexe 3 : Photographies







Annexe 4 : Etude technique et dynamique (CEESAR)

Enquête technique et dynamique de l'accident d'autocar d'ARLES.

Février 2007

TABLE DES MATIERES

1	Les circonstances générales de cet accident :	3
1.1	La vitesse de flot du véhicule avant la situation d'urgence :	3
1.2	Présence ou non d'une manœuvre avant choc ?	3
1.3	Le croquis de l'état des lieux :	4
1.4	Chronologie de la perte de connaissance du chauffeur de l'autocar :	4
2	Le type transport en commun de personnes :	4
2.1	Le type d'autocar :	4
2.2	Le type de transport :	5
2.3	Le type de population transportée :	5
2.4	Le nombre d'impliqués dans cet accident :	6
2.5	Les ceintures de sécurités dans cet autocar :	6
3	Le chauffeur de cet autocar :	7
3.1	Son comportement général :	7
3.2	L'état de santé du chauffeur :	7
4	Analyse du choc principal :	7
4.1	Le type de choc principal :	7
4.2	Position résiduelle de l'autocar après immobilisation :	8
4.3	L'évacuation du car accidenté :	8
5	Le type d'obstacle principal :	8
5.1	Obstacle fixe :	8
5.2	Le fossé:	9
6	Analyse des déformations de structure de l'autocar :	9
6.1	Les déformations contre l'arbre :	9
6.2	Déformation de la face avant droite contre le bord du fossé :	10
7	Le bilan médical de l'accident :	10
7.1	Le bilan médical pour l'ensemble des impliqués :	10
7.2	Le plan d'occupation du car lors de l'accident :	10
7.3	Les mécanismes lésionnels pour les passagers de cet autocar :	12
7.4	Le bilan médical des passagers situés au droit de l'arrachement du pavillon :	12
8	Simulation numérique de l'accident d'ARLES:	12
8.1	Description de l'accident :	14
8.1.1	L'autocar Renault Tracer :	14
8.1.2	L'infrastructure :	16
8.1.3	Arbre impacté :	19
8.1.4	Conclusion :	20
8.2	Reconstruction numérique :	20
8.2.1	Estimation de la vitesse d'impact :	21
8.3	Application :	24
8.3.1	Hypothèses de reconstruction :	24
8.3.2	Résultats :	25
8.3.3	Conclusion :	28
8.4	Simulation numérique de l'accident :	29
8.4.1	Discussion :	29
8.4.2	Synthèse :	29
9	CONCLUSIONS:	30
ANNEXE A		31
Références :		33

1 Les circonstances générales de cet accident :

Un accident grave de la circulation routière est survenu dans le sud de la France le vendredi 20 janvier 2006 à 12h55, sur le RD 35, hors agglomération de Arles, au PR 22 + 912 et à 1 kilomètre avant le lieu dit Mas Thibert. Cet accident met en cause un autocar de ligne régulière seul impliqué dans cet accident. A la suite d'un grave malaise, le chauffeur du transport en commun de personnes perd connaissance au volant, le véhicule qui se situait en entrée de courbe à droite, dérive sur la droite, sort de la chaussée, roule dans le bas coté, avant de tomber dans un fossé où il effectue un renversement latéral droit partiel, percute alors un arbre qui arrache en partie le pavillon de l'autocar et s'immobilise dans le fossé.



Photo n° 1 : Vue générale du site de l'accident.

1.1 La vitesse de flot du véhicule avant la situation d'urgence :

Nous avons pu remonter à la vitesse de flot de cet autocar à partir de deux informations, dans un premier temps par la lecture du disque chronotachygraphe faite par la gendarmerie, puis dans un second temps par la reconstruction cinématique de cet accident qui est présenté dans la seconde partie de ce document. Les deux résultats sont parfaitement cohérents et permettent d'affirmer que l'autocar circulait aux environs de 90 Km/h juste avant le malaise du chauffeur.

1.2 Présence ou non d'une manœuvre avant choc ?

Etant donné l'absence de trace sur la chaussée avant la sortie de route par la droite, mais surtout grâce à l'ensemble des témoignages des passagers de cet autocar, nous savons que le malaise du chauffeur a été soudain et rapide, avec perte de connaissance initiale et immédiate, ce qui explique l'absence d'une quelconque manœuvre avant de sortir de la route.

Il n'existe aucune trace de freinage ou de ripage, il n'y a pas eu de coup de volant ni d'accélération avant la sortie de route.



Photo n° 2 : Vue aérienne de l'ensemble du site de cet accident.

1.3 Le croquis de l'état des lieux :

Le croquis de l'accident réalisé par les forces de l'ordre à une échelle de 1/100, fait apparaître des traces de roulage dans le bas coté, entre la sortie de route et le fossé de 6 mètres 50. Sur cette photo il ne fait aucun doute que les traces de roulage dans le bas coté sont beaucoup plus longues soit environ 38 mètres pour la trace la plus longue.

1.4 Chronologie de la perte de connaissance du chauffeur de l'autocar :

La totalité des témoignages des passagers concernant le chauffeur de l'autocar est tout à fait cohérente, et tous décrivent un malaise soudain et une perte de connaissance immédiate et définitive. A partir de cet instant personne n'a vu le chauffeur réagir ni même bouger si peu soit il. La trajectoire du véhicule, l'absence de toute trace avant la sortie de route, l'absence de freinage ou d'une manœuvre pour éviter la sortie de route, permet de penser que ce malaise a été aussi grave que rapide, et il est même probable que la mort du chauffeur soit survenue avant que le car ne s'immobilise dans le fossé.

2 Le type transport en commun de personnes :

2.1 Le type d'autocar :

Le véhicule accidenté est un autocar, de marque Renault appartenant lors de la survenue de l'accident au constructeur IRISBUS France. Son appellation commerciale est Tracer, c'est un véhicule de transport en commun de personnes de 56 places assises, le siège du chauffeur inclus. Le type mine est le suivant: R332A1, le numéro dans la série du type est: VNE R332A1 00200168, sa première mise en circulation remonte au 19 juin 2000. Les dimensions de cet autocar standard à un seul niveau sont les suivantes: longueur: 11 m 990, largeur: 2 m 50, surface: 29 m² 97 et une hauteur de 3 m 24. Son poids à vide est de 12t 280.



Photo n° 3 : Vue d'un autocar identique non accidenté.

2.2 Le type de transport :

L'autocar accidenté est un véhicule qui effectuait une liaison entre diverses agglomérations sur une ligne régulière, permanente et constante. De ce fait, nous pouvions nous attendre à trouver dans le transport en commun de personnes une population très diversifiée ce qui n'était pas le cas puisqu'un grand nombre de scolaires était présent dans cet autocar. Plusieurs chauffeurs étaient affectés à cette ligne régulière, et le chauffeur impliqué ce jour là faisait parti des professionnels travaillant régulièrement sur cette ligne.

2.3 Le type de population transportée :

Au moment de survenue de cet accident, ce car de ligne régulière transportait environ 80% de jeunes scolaires, pour la plus part lycéens, âgés entre 12 et 17 ans. Ces adolescents pratiquement tous scolarisés dans deux établissements empruntent cette ligne régulière quotidiennement pour aller et revenir de leur domicile au site de leur lycée. Il faut noter un nombre plus important de jeunes filles par rapport au nombre de garçons. Le fait d'être en présence d'une population très jeune explique en partie le bilan médical global pour les occupants de ce car qui reste peu sévère compte tenu des importantes déformations de structures sur la face avant et au niveau du pavillon. En effet d'une part la tolérance au choc et à la décélération est plus élevée chez les jeunes surtout vis à vis des personnes âgées, d'autre part la petite taille des adolescents les plus jeunes leur a permis de se situer sous la zone de déformation du pavillon et d'être ainsi peu ou pas blessés lors de l'arrachement du pavillon par le choc contre l'arbre.



Photo n° 4 : Vue latérale droite avec la déformation majeure du pavillon.

2.4 Le nombre d'impliqués dans cet accident :

Lors de la survenue de ce grave accident de transport en commun de personnes, il y avait 39 occupants pour 56 places assises, le chauffeur du car étant inclus. Ces 39 personnes se répartissaient en 9 adultes et 30 adolescents.

2.5 Les ceintures de sécurités dans cet autocar :

L'ensemble des banquettes de cet autocar était équipé de ceintures de sécurités, sous abdominale à deux points pour les sièges avec un dossier de siège en vis-à-vis; ceintures à trois points pour les sept places sans vis-à-vis. Il apparaît clairement que ces ceintures non seulement n'étaient pas portées, mais que un nombre important d'adolescents prétend ignorer la présence de ces ceintures. Nous avons constaté la présence dans ce car de trois pictogrammes concernant le port obligatoire des ceintures dans ce véhicule. Enfin plusieurs passagers affirment que le chauffeur qui ne leur parlait pas, ne leur à jamais demander de porter leur ceinture de sécurités.



Photo n° 5 : Vue des ceintures de sécurités deux points sous abdominales présentes à toutes les places.

3 Le chauffeur de cet autocar :

3.1 Son comportement général :

A la lecture de l'ensemble des témoignages des passagers de ce car, nous constatons qu'il n'existait aucune communication verbale ou autre entre les adolescents et ce chauffeur qui de fait ne leur parlait jamais. Il semblerait qu'il ne les incitait pas non plus au port de la ceinture de sécurité.

3.2 L'état de santé du chauffeur :

L'état de santé général du chauffeur de ce car n'était pas bon, malade depuis longtemps, il présentait une forte altération de son état général et il était particulièrement suivi par le service de la médecine du travail. Il a été victime d'un malaise cardiaque qui constitue la cause directe de cet accident.

4 Analyse du choc principal :

Pendant le déroulement dynamique de cet accident, l'autocar va subir trois chocs différents :

- Un renversement latéral droit partiel dans le fossé de vidange.
- Pratiquement dans le même temps, un choc frontal sur le pavillon contre l'arbre.
- Un choc frontal avant droit contre le bord droit du fossé.

4.1 Le type de choc principal :

Nous considérons que le choc frontal du pavillon de l'autocar contre l'arbre est le choc principal¹ pour ce car. La présence d'un obstacle fixe et plus particulièrement d'un arbre est toujours un facteur aggravant lors de la survenue d'un accident de la voie publique, quel que soit le type de véhicule impliqué. Ce choc contre l'arbre a entraîné un arrachement du pavillon de cet autocar sur 8 m 10 du côté droit et sur 5 m du côté gauche.

¹ *Le choc principal est le choc qui génère les lésions les plus graves aux impliqués.*

4.2 Position résiduelle de l'autocar après immobilisation :

Lorsque l'autocar arrive dans le fossé de vidange, il réalise un renversement latéral droit partiel, et après immobilisation du véhicule, ce dernier présente un angle au sol d'environ 45°, et non de 90° que nous retrouvons lors des renversements sur une surface plane.



Photo n° 6 : Vue de l'autocar en position résiduelle après l'accident.

4.3 L'évacuation du car accidenté :

Lorsque le véhicule s'est immobilisé dans le fossé de vidange et dans l'eau, l'ensemble des occupants de ce transport en commun de personnes était resté dans l'habitacle du car. Ni les impliqués, ni les sauveteurs ne font mention d'occupants qui auraient été éjectés du véhicule pendant le déroulement de cet accident. A travers les témoignages des passagers, nous avons pu reconstituer comment s'est déroulé l'évacuation des occupants. Les personnes assises dans un grand tiers avant ont bénéficié de l'arrachement du pavillon pour sortir directement du véhicule. Les autres passagers ont utilisé les marteaux brise vitres pour détruire les baies latérales, surtout du côté gauche, et sortir du véhicule. Malgré une certaine panique dans le car cette évacuation a été rapide et efficace, les passagers les moins blessés aidant les autres à sortir du car.

5 Le type d'obstacle principal :

5.1 Obstacle fixe :

Plusieurs études sur les renversements d'autocars ont mis en évidence l'importante différence en terme de gravité pour les occupants des cars lorsque le renversement est simple et se réalise sur une surface plane et non agressive pour les structures du car; et les renversements sur obstacle fixe dans les quels le bilan médical global est toujours plus lourd.

Pour notre accident, le renversement latéral droit partiel se fait sur un obstacle fixe, ici un arbre qui est un obstacle particulièrement indéformable et rigide.



Photo n° 7 : Vue de l'obstacle fixe, ici un arbre à l'origine de l'arrachement du pavillon du car.

5.2 Le fossé:

L'autre obstacle est un fossé dans lequel l'autocar effectue un renversement latéral droit partiel. Le jour de l'accident, il y avait dans ce fossé un peu d'eau qui a pénétré en partie dans l'habitacle du car. Enfin la déformation de structure sur la face avant droite du car est consécutive à l'impact contre le bord droit du fossé.

6 Analyse des déformations de structure de l'autocar :

6.1 Les déformations contre l'arbre :

Pour bien comprendre l'importance de ces déformations de structure du pavillon de l'autocar, il faut se rappeler que le contact se fait entre un obstacle fixe extrêmement rigide, et les montants de pavillon du car qui sont des structures conçues pour résister aux sollicitations de type d'écrasement de haut en bas, ou bien d'enfoncement latéral lors des renversements, retournements et tonneaux. Par contre il n'existe pas de test afin de connaître la résistance du pavillon les d'un choc frontal sur ce seul pavillon. Les déformations de structures sur le pavillon du car sont spectaculaires et importantes, mais nous verrons par la suite quelles n'ont pas été si traumatisantes pour les occupants situés dans cette zone. L'arrachement du pavillon par l'arbre est supérieur à la moitié de la longueur du coté droit avec une déformation sur 8 m 10 et sur 5 m du coté gauche.



Photo n° 8 : Vue des déformations de structures du pavillon de l'autocar.

6.2 Déformation de la face avant droite contre le bord du fossé :

Autre déformation importante de structure, sur la face avant droite du car en partie basse et jusqu'au niveau du bandeau nous constatons une déformation antéropostérieure de 66 cm entraînant une zone d'intrusion dans l'habitacle du car sur les deux premières rangées à l'avant droit. Cette déformation de structure est consécutive à l'impact de la face avant droite du car contre le bord droit du fossé.

Globalement, et en prenant en compte les trois chocs subit par cet autocar, nous avons estimé un EES² compris entre 50 et 55 km/h.

7 Le bilan médical de l'accident :

7.1 Le bilan médical pour l'ensemble des impliqués :

Avant toute analyse sur le bilan humain de cet accident il faut dissocier une fois pour tout le sort du chauffeur de celui des passagers. La mort du chauffeur de cet autocar est la cause de cet accident et non une conséquence des multiples chocs observés. A partir de cela, nous dresserons un bilan médical uniquement pour les 38 passagers du car, sans prendre en compte la mort du conducteur du car.

Le bilan médical pour les 38 passagers est le suivant:

- 0 tué
- 4 blessés graves
- 31 blessés légers
- 3 indemnes

Soit 89 % d'indemnes et blessés légers

Et 11 % de blessés graves.

Si nous réalisons la répartition des victimes en fonction de l'âge:

- 8 adultes blessés légers
- 4 adolescents blessés graves
- 23 adolescents blessés légers
- 3 adolescents indemnes

7.2 Le plan d'occupation du car lors de l'accident :

Nous avons pu reconstituer le plan d'occupation du car avec une grande précision. Il reste un doute sur la place de deux personnes situées par les symboles ? et ?. La première personne est située soit à la place 16 rangée 4 ou soit à la place 18 rangée 5, il s'agit d'une fille de 14 ans qui est indemne. La seconde personne est un garçon de 14 ans situé soit place 20 rangée 5 soit place 29 rangée 8. Trois autres blessés légers n'ont pu être positionnés correctement dans le véhicule. La place des quatre blessés graves est certifiée.

² EES : Equivalent Energy Speed. Ce paramètre, exprimé en km/h, caractérise la vitesse à laquelle il faudrait lancer le véhicule contre un obstacle fixe et indéformable pour observer les mêmes déformations.

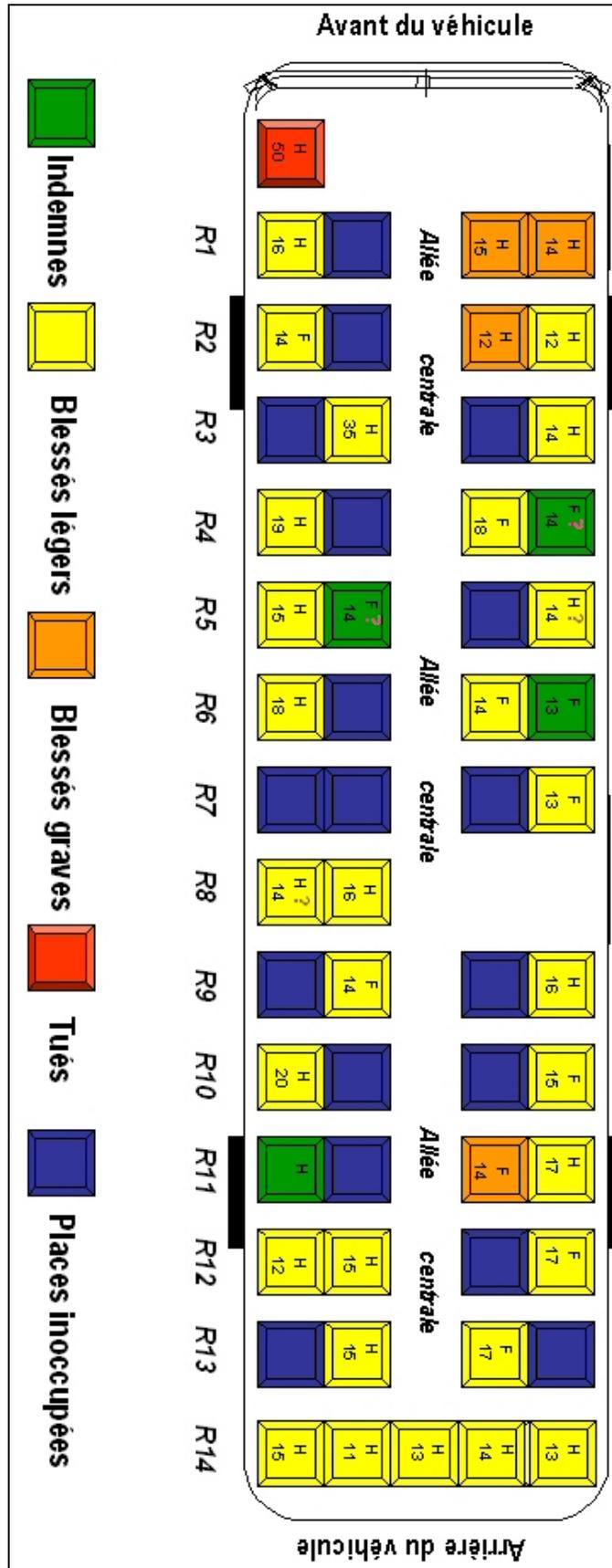


Figure n° 1 : Plan d'occupation de l'autocar

7.3 Les mécanismes lésionnels pour les passagers de cet autocar :

Dans cet autocar au moment des impacts contre le bord droit du fossé et l'arbre, la direction de choc frontale pour les passagers est à 01 heure. Le mécanisme lésionnel principal pour une grande majorité des occupants est la **projection** vers l'avant droit. Ce mécanisme lésionnel est responsable des blessures pour les 31 blessés légers et pour un seul blessé grave. La preuve des projections des passagers est le grand nombre de lésions de la face de type, fracture de dents, fractures des os propres du nez, plaies de lèvres et de faces.

Les trois autres adolescents blessés graves se situent tous à l'avant droit du car dans une zone d'intrusion au niveau de l'avant droit de l'autocar. Pour ces trois adolescents blessés graves le mécanisme lésionnel est **l'intrusion**.

Dans cet accident, aucun des passagers n'a subi le mécanisme lésionnel d'éjection totale ou partielle.

7.4 Le bilan médical des passagers situés au droit de l'arrachement du pavillon :

Dans ce rapport, nous utilisons un codage employé dans le monde entier par la communauté scientifique : l' AIS (ABBREVIATED INJURY SCALE) à l'intérieur duquel la gravité des lésions est classée et codée de 0 à 6.

Par ailleurs, nous donnons pour chacun impliqué un bilan lésionnel global appelé M AIS (M=Maximum). La classification selon l'M AIS est la suivante :

M AIS	GRAVITE
0	Indemne
1-2	Blessé léger
3-4-5	Blessé grave
6	Tué

Si nous regardons sur le plan d'occupation du car, le bilan médical des adolescents situés à droite le long des baies latérales sur les 8 m 10 d'arrachement du pavillon; nous retrouvons des jeunes de 13 et 14 ans tous blessés légers M AIS 1 et 2. La déformation de structure passe au-dessus de leurs têtes sans entraîner de lésions graves.

8 Simulation numérique de l'accident d'ARLES:

Un des objectifs de cette étude technique est de comprendre, analyser et déterminer à l'aide d'une simulation numérique, le scénario le plus vraisemblable de ce qui a pu se passer lors de cet accident. Le travail à accomplir est ici de reproduire numériquement la cinématique de l'autocar lors des différents événements survenus et notamment de déterminer les vitesses associées à chaque étape de l'accident. Concernant l'outil de simulation numérique utilisé par les investigateurs du CEESAR, nous travaillons sur PC CRASH³, un programme particulièrement bien adapté à ce genre d'exercices. Le programme est basé sur les équations de la mécanique et utilise les outils numériques développés en mathématique permettant le calcul cinématique après impact de chaque véhicule impliqué.

³ Il s'agit de la version 7.3 du logiciel développé par les docteurs Hermann Steffan et Andreas Moser de la société autrichienne DSD.

En ce qui concerne le calcul lié au choc, PC CRASH s'appuie sur le modèle Kudlich-Slibar qui est établi selon deux grandes lois de la mécanique classique : la conservation de l'énergie cinétique et la conservation de la quantité de mouvement. A chaque étape, l'utilisateur a la possibilité d'estimer les différentes valeurs physiques associées aux différentes phases de l'accident. L'intégration de l'ensemble des principes énoncés précédemment en fait un logiciel reconnu dans le monde entier qui s'avère être un outil d'analyse puissant aussi bien pour le chercheur que pour l'expert.

Si le logiciel est parfaitement reconnu, il n'en demeure pas moins que son utilisation requiert de bonnes connaissances dans les domaines de la physique, des mathématiques, du crash et surtout de l'accidentologie, discipline essentielle pour juger des paramètres physiques obtenus en sortie ou donnés en entrée.

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

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

La cinématique de l'accident est constituée d'événements successifs issus de l'étude approfondie du procès verbal, ainsi que de l'analyse des déformations de l'autocar et de l'infrastructure. Il convient de mentionner ici que chacun de ces événements est entouré d'incertitudes. La cinématique de l'autocar est de ce fait très complexe : elle doit être vérifiée et confirmée par les lois de la mécanique d'une part et par une simulation numérique d'autre part. Dans cet accident, l'autocar doit en l'occurrence dériver sur la droite en traversant la chaussée, l'accotement herbeux avec son profil en travers particulier, se renverser sur son flanc droit tout en percutant l'arbre qui matérialise la frontière entre accotement et l'abord puis s'immobiliser sur son flanc droit 8.5 mètres plus loin.

Si l'ensemble est cohérent, la vitesse à l'impact et la vitesse initiale⁴ de l'autocar, en amont de la collision, peuvent être considérées comme validées. Mais ce n'est qu'au terme d'une véritable reconstruction numérique de l'accident qui constitue l'objectif de cette simulation par le calcul.

Dans l'optique d'être le plus rigoureux possible dans cette partie, il est fondamental d'expliquer en quoi la simulation numérique est représentative d'un point de vue physique de l'ensemble des phénomènes qui interviennent durant l'accident.

Tout d'abord, il faut savoir que l'autocar modélisé dans la simulation numérique possède l'ensemble des caractéristiques techniques et géométriques qui lui sont propres telles que la taille et le type de pneumatiques, la raideur des suspensions, la position du centre de gravité, et également la présence d'équipement de sécurité active tels que l'ABS⁵ ou l'ESP⁶, indispensable pour les véhicules récents.

⁴ *La vitesse initiale est une approximation de la vitesse de circulation pratiquée par le conducteur avant le déclenchement de la situation d'accident.*

⁵ **ABS** : **A**nti **B**locking **S**ystem. Il s'agit d'un système électronique qui a pour fonction d'empêcher les roues de se bloquer lors d'un freinage.

⁶ **ESP** : **E**lectronic **S**tability **P**rogram. Il s'agit d'un système électronique qui permet de stabiliser le véhicule dans toutes les conditions dynamiques rencontrées.

L'autocar utilisé possède donc les caractéristiques du véhicule qu'il représente et par conséquent se comporte dynamiquement comme le « vrai » véhicule.

Il est bien évident que le véhicule utilisé ne peut pas être un objet purement décoratif ayant pour but de montrer quelque chose d'esthétiquement beau en terme de visualisation. L'autocar est issu de la base donnée PC CRASH et a « hérité » de l'ensemble des paramètres essentiels pour lui assurer un comportement dynamique optimal et essentiel dans notre cas. En effet, dans cette simulation relativement complexe, l'autocar va traverser l'accotement au profil en travers très marqué et ne peut donc pas être un objet inerte standard. Il doit se comporter comme le véhicule qu'il représente, ce qui est le cas ici.

8.1 Description de l'accident :

Selon les divers éléments factuels du procès verbal établi par la gendarmerie, et du recueil fait par nos soins, nous prendrons en compte dans la simulation les éléments ci après :

- L'autocar Renault TRACER R332A1,
- L'infrastructure avec son profil en travers et son tracé en plan,
- L'arbre situé à la limite de l'accotement et de l'abord.

Ces trois éléments jouant un rôle majeur dans l'accident, nous allons les présenter en détail dans la suite du document et décrire quelles conditions ils doivent satisfaire.

8.1.1 L'autocar Renault Tracer :

Dans la base de données relative à PC CRASH, nous avons sélectionné le véhicule de marque RENAULT, de modèle TRACER, et de type R332A1. Par ailleurs, nous avons fait l'acquisition de la fiche technique auprès du constructeur dans le soucis d'avoir les caractéristiques du véhicule les plus justes possible.

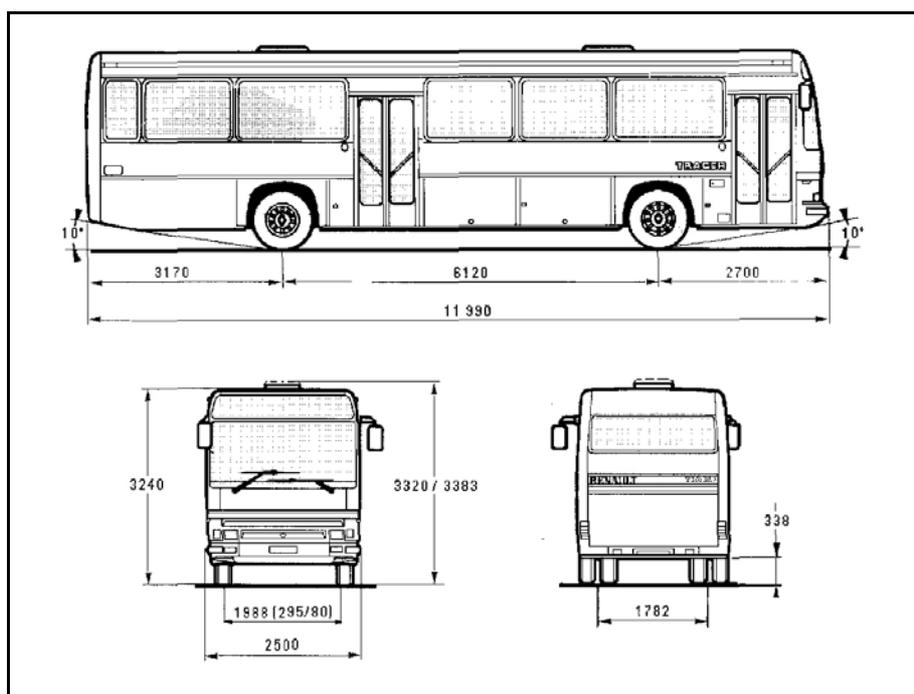


Figure n° 2 : Vues et dimensions de l'autocar extrait de la fiche technique constructeur.

Caractéristiques	Valeur
Marque	RENAULT
Modèle	TRACER R332A1
Longueur	11.99 m
Largeur	2.5 m
Hauteur	3.32 m
Nombre d'essieux	2
Porte à faux avant	2.7 m
Empattement 1	6.12 m
Poids à vide	12280 kg
Chargement ⁷	2720 kg
Voie n°1	1.98 m
Voie n°2	1.78 m
Hauteur Centre de Gravité (CG)	1.4m
Distance Essieu n°1-CG ⁸	2.74m
Pneumatiques	295 / 80 R 22.5
Equipement particulier	A.B.R. ⁹

Tableau n° 1 : Caractéristiques techniques et géométriques de l'autocar RENAULT TRACER.

⁷ Le chargement a été estimé en fonction de l'âge et du sexe des impliqués ainsi que des bagages présents dans l'autocar.

⁸ La valeur donnée ici n'est pas fournie par les constructeurs, elle est calculée à partir de la pondération des masses par essieu.

⁹ L'**A.B.R.** désigne le système d'**Anti Blocage des Roues**, il s'agit d'un A.B.S.

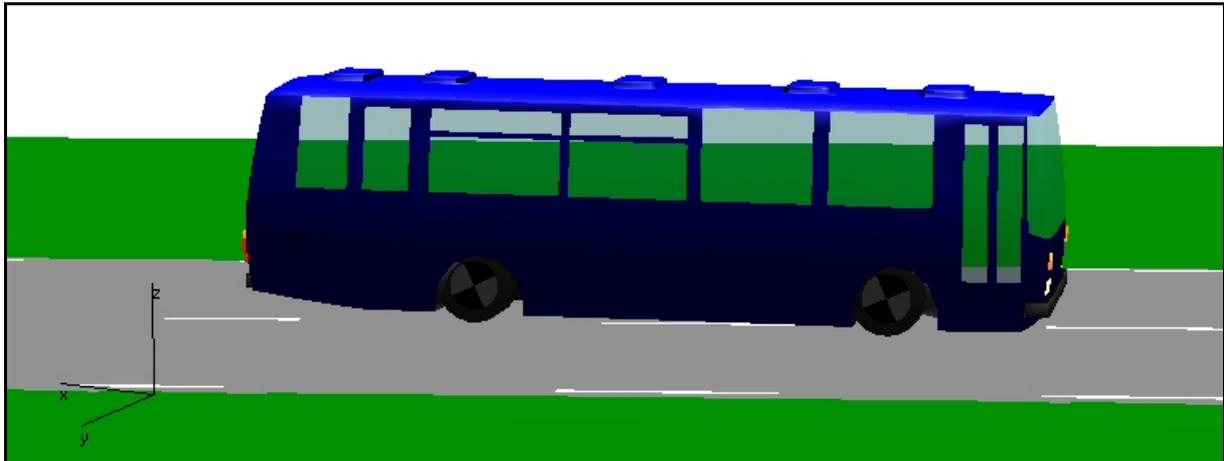


Figure n° 3 : Vue du véhicule importé dans PC CRASH.

8.1.2 L'infrastructure :

L'infrastructure modélisée dans cet accident reprend toutes les caractéristiques de la route départementale dans le voisinage de l'accident. Elle comprend deux parties importantes :

- La partie de la route en amont et en aval de l'accident et notamment la courbe dans laquelle l'accident a lieu.
- L'accotement droit avec sa géométrie.

Avant de caractériser précisément ces éléments, il est utile de préciser que le profil en long, tracé en plan et profil en travers caractérisant l'infrastructure de l'accident sont trois éléments d'une importance considérable dans la dynamique du véhicule. Par conséquent, il convient de les modéliser le plus précisément possible.

8.1.2.a Profil en long :

Les mesures faites sur place montre que la chaussée sur laquelle évolue l'autocar en amont de la collision avec l'arbre ne présente aucune variation au regard du profil en long (pas de pente).

8.1.2.b Tracé en plan :

L'accident a lieu dans une courbe à droite de rayon moyen $R^{10}=413.5$ m et de longueur $L=124$ m. L'arrière de l'autocar (position résiduelle) se situe à 40 m du début du virage. Par ailleurs, concernant la partie de route située avant le début du virage, il s'agit d'une section rectiligne.

¹⁰ Le rayon de courbure a été mesuré par l'équipe d'accidentologues de l'INRETS situé à Salon de Provence.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de la chaussée empruntée par l'autocar.

Elément	Valeur
Largeur de la chaussée	7 m
Nombre total de voies de circulation	2
Largeur des voies	3.5 m
Sur-largeur à gauche	0.2 m
Sur-largeur à droite	0.2 m
Dévers en entrée courbe	 3.3 %
Dévers au niveau du car	 4.0 %
Dévers en sortie de courbe	 3.3 %
Tracé en plan	Courbe à droite
Rayon de courbure moyen	413.5 m

Tableau n° 2 : Données de la chaussée de l'infrastructure.

8.1.2.c Profil en travers :

Le profil en travers que nous avons relevé correspond à la coupe transversale AA' sur la figure ci-dessous. L'ensemble des mesures a été pris par nos soins lors de l'examen de l'infrastructure effectué sur place.

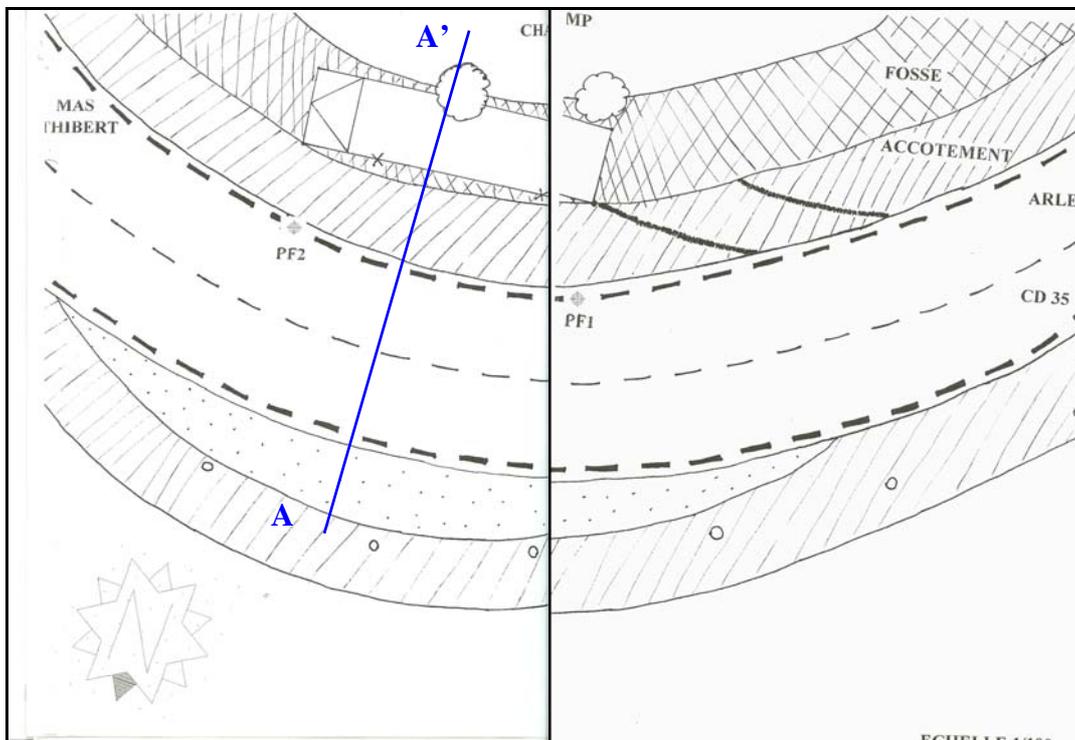


Figure n° 4 : Plan de l'accident fait par la gendarmerie (échelle 1/100 ème).

La figure ci-dessous donne la géométrie de la coupe AA'.

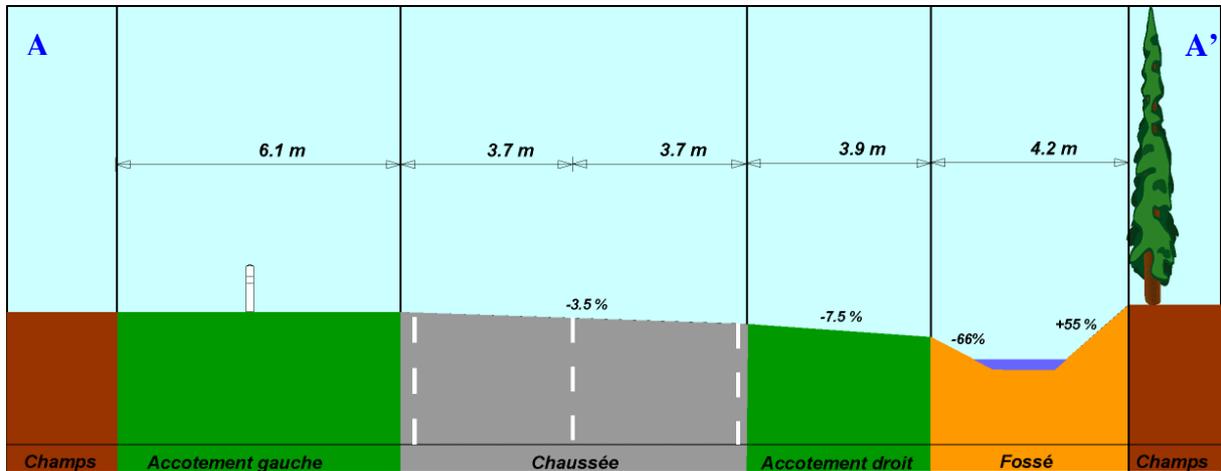


Figure n° 5 : Coupe transversale AA' schématisée montrant le profil de l'accident au niveau de l'arbre impacté.

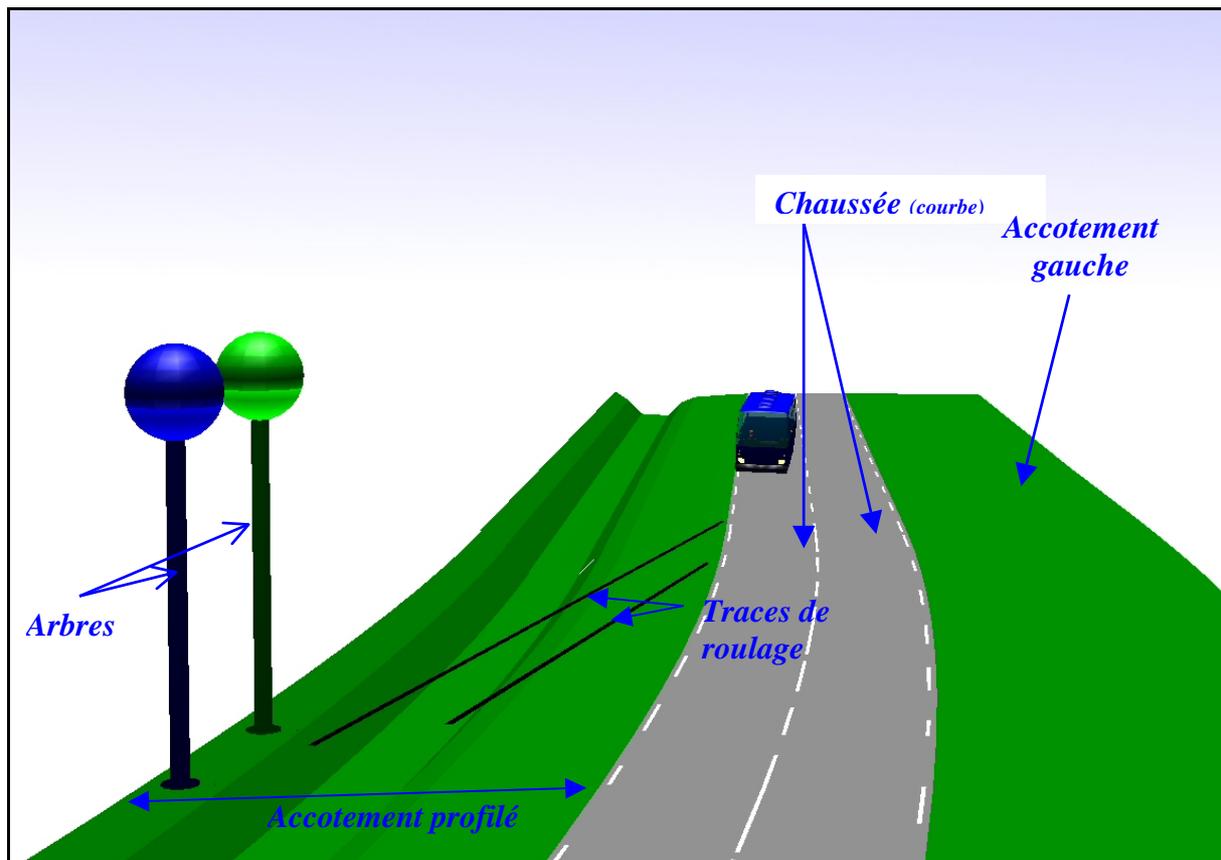


Figure n° 6 : Vue de l'infrastructure modélisée dans PC CRASH.

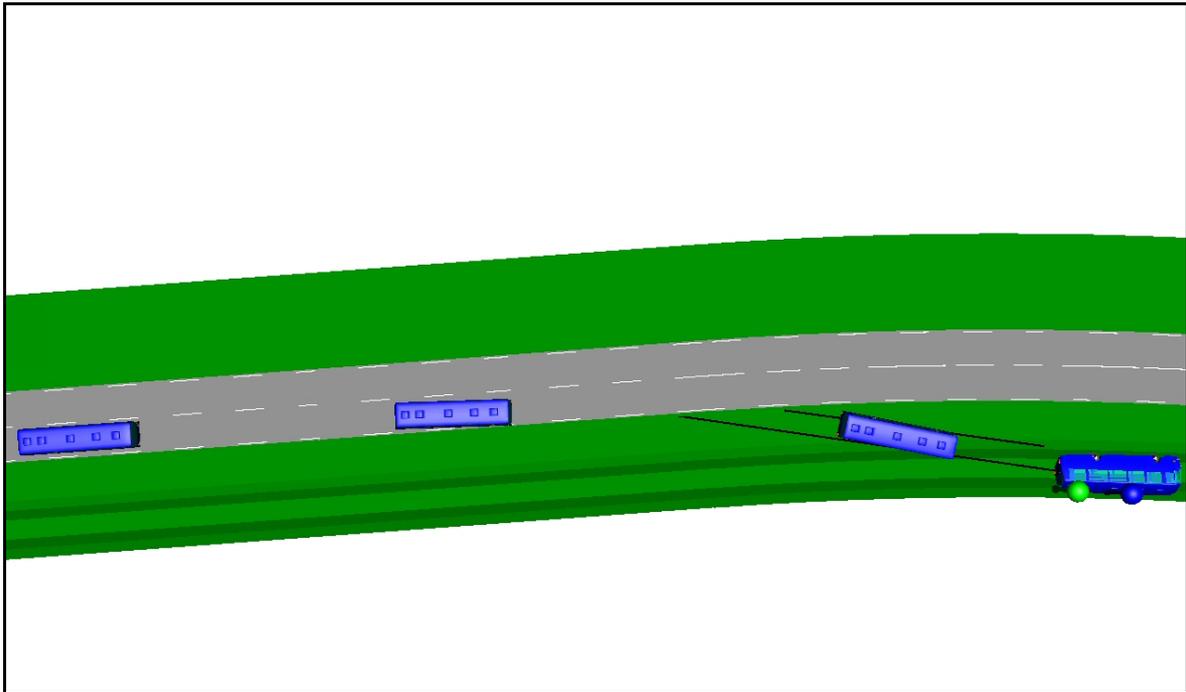


Figure n° 7 : Vue de dessus issue de PC CRASH.

En ce qui concerne le marquage de la chaussée, nous avons relevé :

- Un marquage de type T2 avec ligne blanche discontinue formée de traits pleins de 3 m de long espacé de 3.5 m au niveau des rives.
- Un marquage de type T3 avec ligne blanche discontinue formée de traits pleins de 3 m de long espacé de 1.33 m au centre de la chaussée.

Par ailleurs, dans le sens de l'autocar on trouve un balisage à gauche de type J1 matérialisant la courbe. Ces balises J1 sont situés à 2.70 m du bord de la chaussée sont distantes entre elles de 15 m.

8.1.3 Arbre impacté :

Dans la version *PC CRASH 7.3* que nous utilisons, l'utilisateur a la possibilité d'insérer des éléments de sécurité tel que les glissières ou encore des murets en béton. Par ailleurs, le logiciel permet de modéliser les éléments tel que des poteaux ou des arbres. Nous choisissons d'insérer deux arbres dans notre simulation, l'un étant impacté par l'autocar, l'autre étant situé légèrement en amont.

Comme l'autocar, les deux arbres que nous insérons dans la simulation n'ont pas la vocation de meubler la simulation mais sont considérés comme des éléments à part entière et permettent d'avoir des précisions supplémentaires en particulier concernant le choc.

Sur le site de l'accident, nous avons mesuré avec soin la circonférence du tronc d'arbre impacté (1m40). Cette mesure nous permet de calculer le rayon (0.22 m) de la section circulaire afin de le dimensionner correctement dans PC CRASH.

Concernant la masse de l'arbre, étant donné que celui est solidement fixé dans le sol, nous le considérons comme un obstacle indéformable de masse infiniment grande.

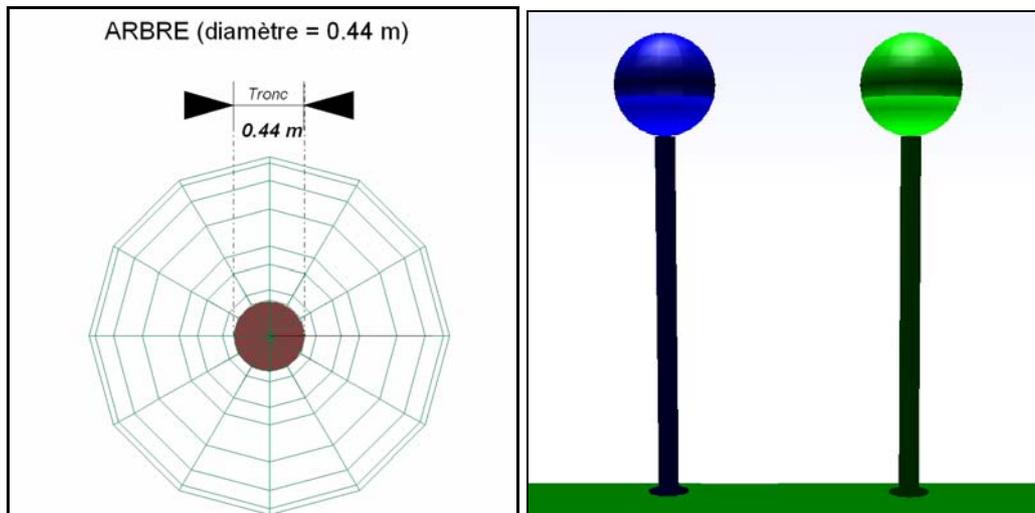


Figure n° 8 : Modélisation de l'arbre sous PC CRASH.

8.1.4 Conclusion :

Lors de la réalisation de la simulation, si toutes les contraintes imposées précédemment sont parfaitement respectées, notre simulation pourra être considéré comme la RECONSTRUCTION NUMERIQUE de l'accident (validation technique et scientifique des paramètres retenus).

8.2 Reconstruction numérique :

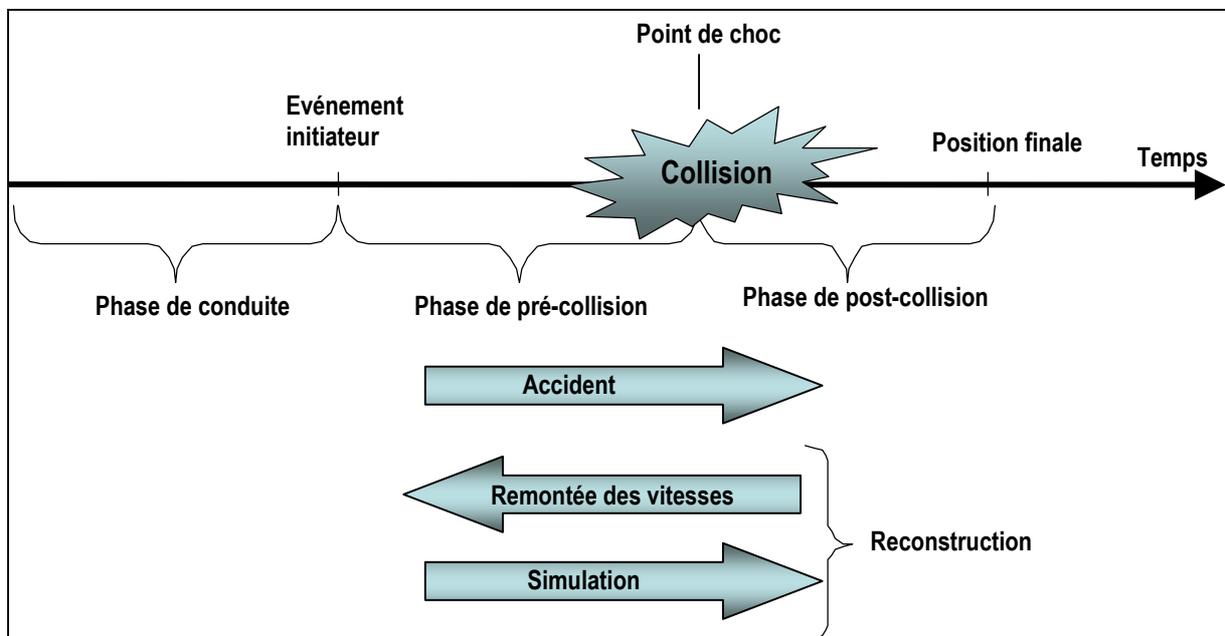
Rappelons ici que l'objectif de ce travail est de fournir le scénario le plus vraisemblable de ce qui s'est passé lors de cet accident par la réalisation d'une simulation numérique. Afin de mener à bien cette tâche, nous allons étudier les différentes trajectoires réalisées par le véhicule, en estimer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

Avant toute simulation numérique, il est nécessaire de fixer les conditions initiales, c'est-à-dire dans notre cas, d'estimer la vitesse initiale de l'autocar. Nous allons donc réaliser cette estimation qui peut se faire, soit par des calculs simples basé sur les équations de la mécanique, soit par le biais d'éléments indiscutables comme par exemple les données issus des boîtiers enregistreur de contexte présents sur certains véhicules très récents, et qui constituent de véritables « boîte noire ».

8.2.1 Estimation de la vitesse d'impact :

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

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



Découpage d'un accident en phases

Dans le déroulement d'un accident, on distingue, dans l'ordre chronologique, les phases de pré collision, de collision et enfin de post-collision. Pour estimer la vitesse initiale, nous appliquons la méthode dite de « remontée » des vitesses qui consiste à partir de la position résiduelle du véhicule (où la vitesse est connue puisque nulle) et de remonter le temps jusque l'événement initiateur¹¹ de l'accident.

¹¹ L'événement initiateur annonce le dysfonctionnement du système constitué par le conducteur, l'infrastructure, et le véhicule. La genèse de l'accident survient de manière générale à ce moment là.

8.2.1.a Phase de post-collision :

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

$$(1) \quad \boxed{V_d = \sqrt{V_r^2 + 2 \times a \times d}}$$

Où

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

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

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

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

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

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

Avec adh représentant l'adhérence du sol (sans unité) et g la constante de gravité (9.81 m/s²).

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

8.2.1.b Phase de collision :

Cette seconde étape permet d'obtenir l'estimation de la vitesse en entrée de choc de chacun des véhicules impliqués dans l'accident, et se fait en utilisant les deux grands principes de conservation de la mécanique : la conservation de la quantité de mouvement et la conservation de l'énergie cinétique.

1. Conservation de la quantité de mouvement :

Expression vectorielle :

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

$$(2) \quad \boxed{m_1 \cdot \vec{v}_{e1} + m_2 \cdot \vec{v}_{e2} = m_1 \cdot \vec{v}_{s1} + m_2 \cdot \vec{v}_{s2}}$$

2. Conservation de l'énergie cinétique :

$$\boxed{E_c(1) + E_{cr}(1) + E_c(2) + E_c(2) = E'_c(1) + E'_{cr}(1) + E_{def}(1) + E'_c(2) + E'_{cr}(2) + E_{def}(2)}$$

(3)

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_{e1}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \omega_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{e2}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \omega_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{s1}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{s2}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \omega_1'^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \omega_2'^2 + \Delta E$$

et
$$\Delta E = \frac{1}{2} EES_1^2 + \frac{1}{2} EES_2^2$$

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

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

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

$E_{cr}(1)$ et $E_{cr}(2)$ désignent les énergies cinétiques de rotations avant choc des véhicules **1** et **2** (J),

$E_c'(1)$ et $E_c'(2)$ désignent les énergies cinétiques après choc des véhicules **1** et **2** (J),

$E_{cr}'(1)$ et $E_{cr}'(2)$ désignent les énergies cinétiques de rotations après choc des véhicules **1** et **2** (J),

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

m_1 et m_2 désignent les masses des véhicules **1** et **2** (Kg),

v_{e1} et v_{e2} désignent les vitesses avant choc des véhicules **1** et **2** (m/s),

v_{s1} et v_{s2} désignent les vitesses après choc des véhicules **1** et **2** (m/s),

EES_1 et EES_2 désignent les $EES^{1/2}$ des véhicules **1** et **2** (m/s),

ω_1 et ω_2 désignent les vitesses angulaires avant choc des véhicules **1** et **2** (rad/s),

ω_1' et ω_2' désignent les vitesses angulaires après choc des véhicules **1** et **2** (rad/s).

Les vitesses angulaires ω_1' et ω_2' étant calculé selon [ZEIDLER] comme suit :

$$\omega' = \sqrt{M * g * MyR * R * \frac{|\phi'|}{J} * sign(\phi')}$$

où

M désigne la masse du véhicule (Kg)

g la constante de gravité exprimée précédemment

MyR le coefficient de frottement contre le sol (sans unité)

R désigne l'empattement du véhicule (m)

ϕ' l'angle de rotation effectué par le véhicule entre le point d'impact et la position finale (rad)

J le moment d'inertie de lacet (axe z) du véhicule (Kg*m²)

Par ailleurs, pour calculer **J** nous utilisons la formule de Burg : [BURG]

$$J = 0.1269 * M * R * L$$

Avec **L** la longueur du véhicule.

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

Projection sur l'axe (O,x) :

$$(3a) \quad m_1 \cdot \cos(\alpha_{e1}) \cdot v_{e1} + m_2 \cdot \cos(\alpha_{e2}) \cdot v_{e2} = m_1 \cdot \cos(\alpha_{s1}) \cdot v_{s1} + m_2 \cdot \cos(\alpha_{s2}) \cdot v_{s2}$$

Projection sur l'axe (O,y) :

$$(3b) \quad m_1 \cdot \sin(\alpha_{e1}) \cdot v_{e1} + m_2 \cdot \sin(\alpha_{e2}) \cdot v_{e2} = m_1 \cdot \sin(\alpha_{s1}) \cdot v_{s1} + m_2 \cdot \sin(\alpha_{s2}) \cdot v_{s2}$$

Où :

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

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

8.3 **Application :**

La méthode de calcul étant expliquée, nous allons appliquer les équations précédemment écrites afin d'estimer les vitesses de l'autocar à chaque étape de l'accident. Notre accident sera découpé en plusieurs phases puis en sous phases de phase si besoin est. Cela peut être utile par exemple lorsque le véhicule ripe sur une partie de la chaussée puis sur l'accotement où l'adhérence donc la décélération est différente.

Nous calculerons ensuite la vitesse de l'autocar au début et la fin de chacune des ces sous phases dans un second temps.

8.3.1 **Hypothèses de reconstruction :**

D'après les témoignages des impliqués, l'analyse de l'infrastructure et le plan de l'accident, il ressort que :

- a) Le conducteur de l'autocar a eu un malaise et s'est effondré sur le volant.
- b) Le véhicule s'est déporté sur la droite, a traversé la chaussée et l'accotement et a versé sur le bas-côté tout en percutant un arbre.
- c) Le véhicule a percuté l'arbre immédiatement après s'être couché dans le bas-côté.
- d) D'après le disque chrono tachygraphe, la vitesse de flot de l'autocar est d'environ 90 Km/h avant le malaise du chauffeur.
- e) Le conducteur s'est déporté à droite involontairement et n'a pas freiné entre le malaise et l'impact contre l'arbre.

Le découpage chronologique en phases pour ce véhicule est le suivant :

Numéro	Phases	Sous-phases	Description
1	Post-collision	Ripage contre sol	Ripage sur le flanc droit dans l'accotement
0	Collision	Renversement et collision avec l'arbre	Renversement latéral droit et arrachement du pavillon contre l'arbre.
-1	Pré collision	Roulage	Roulage dans l'accotement
-2		Dérive	Dérive vers l'accotement.

Tableau n° 3 : Découpage de l'accident en phase cinématique.

Notation : Nous noterons respectivement par V_{kf} et V_{ki} , la vitesse finale et la vitesse initiale du véhicule considéré à la $k^{\text{ème}}$ phase.

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

8.3.2 Résultats :

8.3.2.a POST-COLLISION :

Phase n° 1 : Ripage contre sol.

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la phase n°1.

Rappel : $V_{1f}=0$.

Nous partons ici de la position finale de l'autocar à l'arrêt, immobilisé sur le flanc droit dans l'accotement. Pendant cette phase, l'autocar continue sa progression dans l'accotement en ripant sur dans le fossé matérialisant l'accotement droit. Par ailleurs, dans le même temps de ce ripage en renversement, le pavillon de l'autocar est arraché progressivement par l'arbre. Cependant, afin de simplifier les calculs, nous considérons cet arrachement progressif du pavillon dans la phase de collision que nous allons expliciter dans la suite. En ce qui concerne le ripage subit par l'autocar, ce mouvement est assimilable à un mouvement uniformément décéléré traduit par l'équation (1). Avec une décélération comprise entre 4.5 et 5.5 m/s² donnée par la littérature sur une distance $d=8.5$ m, 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 phase n°1. Cette vitesse initiale doit donc être comprise entre **8.75 m/s** et **9.67 m/s** (soit entre **31.49 km/h** et **34.81 km/h**).

Récapitulatif de la phase n°1	
Vitesse finale V_{1f}	Vitesse initiale V_{1i}
0 km/h	31.49 km/h - 34.81 km/h

8.3.2.b COLLISION :

Phase n° 0 : Renversement latéral droit et collision avec l'arbre

Objectif : Estimation de la vitesse initiale de la phase n°0

Rappel : $V_{of} = V_{1i}$

Lors de cette phase, la cinématique de l'autocar est fortement modifiée. En effet, l'autocar percute le sol latéralement de son flanc droit et dans un même temps l'arbre situé sur le bas côté à droite. L'impact contre l'arbre arrache littéralement la moitié du pavillon de l'autocar. L'arbre sera considéré, dans ce calcul, comme un obstacle fixe, indéformable, ne dissipant pas d'énergie et ayant une masse infiniment grande. Nous utiliserons ici l'équation (3) décrivant le principe de conservation de l'énergie cinétique pour décrire l'impact du car contre le sol et contre l'arbre que nous réduisons à seul et unique choc.

Concernant, l'équation (3), il est bien évident que l'énergie de rotation avant choc de l'autocar est nulle car celui-ci était en dérive et non en perte de contrôle avant impact. L'équation (3) peut s'écrire simplement :

$$v_{e1}^2 = v_{s1}^2 + EES_1^2$$

Nous prendrons ensuite la racine carrée du membre à droite pour obtenir V_{e1} .

Il s'agit maintenant d'évaluer l'énergie de déformation, c'est à dire de quantifier les énergies dissipées dans les déformations de la structure de l'autocar lors de l'impact contre le sol et l'arbre.

En ce qui concerne les EES^{13} , de nombreux crashes-tests sont réalisés par les constructeurs dans différentes typologies de choc et avec des violences différentes. Les paramètres enregistrés lors des essais, via de nombreux capteurs installés sur les véhicules, permettent l'élaboration d'une banque de données unique et protégée dans laquelle les côtes de déformations, et les photos prises sur les véhicules sont les éléments majeurs. C'est à partir de ces données qu'il est ensuite possible de faire une comparaison par rapport au véhicule étudié qui donnera une estimation des énergies dissipées au cours du choc (EES).

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

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

Ne possédant aucunes données de référence, l'estimation de la vitesse correspondant à l'énergie dissipée dans ce choc sera réalisée en faisant référence à l'importante base de données d'accidents d'autocars étudiés par le CEESAR (100 accidents), ainsi que des côtes de déformation et des différentes photos prises sur l'autocar en question. Nous estimons que l'EES (Equivalent Energy Speed) correspondant au choc de l'autocar contre le sol et l'arbre est comprise entre **50** et **55 km/h**.

En appliquant l'équation précédemment écrite avec V_{s0} comprise entre **8.75 m/s** et **9.67 m/s**, nous obtenons que la vitesse au choc de l'autocar doit être comprise entre **16.41 m/s** et **18.08 m/s** (soit respectivement **59.09 km/h** et **65.09 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n°0	
Vitesse finale V_{of}	Vitesse initiale V_{0i}
31.49 km/h - 34.81 km/h	59.09 km/h - 65.09 km/h

¹³ **EES** : **Equivalent Energy 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.

8.3.2.c PRE-COLLISION :

Sous-phase n° -1 : Roulage dans l'accotement

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

Rappel : $V_{-1f} = V_{0i}$

Dans cette phase, la cinématique de l'autocar décrite est celle entre l'entrée de l'autocar dans l'accotement et l'impact de celui-ci contre l'arbre. La trajectoire décrite par l'autocar durant cette sous phase n°-1 est matérialisée par des traces de roulage dans l'accotement qui sont visibles sur les photos prises par hélicoptère



Photo n° 9 : Vue aérienne de l'accident n°1.



Photo n° 10 : Vue aérienne de l'accident n°2.

La présence de ces traces permet de nous renseigner sur l'angle de sortie dans l'accotement et également sur la décélération subie par l'autocar. L'analyse de ces traces montre clairement que la trajectoire de l'autocar vers la droite ne s'est pas fait brutalement par un coup de volant brusque mais plutôt par une dérive progressive.

Par ailleurs afin de connaître la longueur des traces, nous nous sommes référés au plan établi par les forces de l'ordre présent plus haut dans ce document. Les mesures faites sur le plan donnent que la trace de roulage à gauche entre l'arrière de l'autocar et la sortie est égale à 6.5 m. Au vu des photos, il apparaît que cette mesure est fautive et que le plan a été réalisé à partir de la vue aérienne n°1. La photo n'étant pas prise orthogonalement au niveau des traces, il existe par conséquent un biais au niveau de l'échelle. Par ailleurs, nos investigations sur le terrain en différé ne nous ont pas permis de retrouver ces traces. En conséquence, nous choisissons d'utiliser un logiciel de rectification d'image afin de connaître la longueur de ces traces de roulage. Le logiciel que nous utilisons est le logiciel complémentaire de PC CRASH : PC RECT. Après rectification de la vue aérienne n°1, il advient que la distance parcourue par l'autocar dans l'accotement est d'environ 38 m. Cette distance paraît fiable, le coin arrière gauche de l'autocar (position résiduelle) se situant à 40 m de l'entrée du virage.

En tenant compte ici des traces de roulage, de la géométrie de l'accotement et de l'amorce de renversement en fin de traces, nous prendrons comme valeur de décélération entre -1.5 m/s^2 et -2.5 m/s^2 , rendant compte des différents éléments de cette sous-phase. En appliquant l'équation (1) avec les vitesses résiduelles minimales et maximales correspondantes aux vitesses initiales de la phase n°0 (soit respectivement **$V_r = 16.41 \text{ m/s}$** pour la valeur minimale et **$V_r = 18.08 \text{ m/s}$** 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°-1. Cette vitesse initiale doit donc être comprise entre **19.58 m/s** et **22.74 m/s** (soit entre **70.49 km/h** et **81.85 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n°-1	
Vitesse finale V _{-1f}	Vitesse initiale V _{-1i}
59.09 km/h - 65.09 km/h	70.49 km/h - 81.85 km/h

Sous-phase n° -2 : Dérive

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

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

Cette sous-phase de la pré-collision décrit le mouvement de l'autocar entre le début de la dérive vers la droite et l'entrée dans l'accotement. D'après les traces de roulage dans l'accotement qui renseigne sur l'angle d'entrée dans l'accotement, il apparaît que la dérive de l'autocar s'est faite progressivement un peu en amont de l'entrée du virage. D'après l'alignement de ces traces, nous approximerons la distance entre le début de la dérive et la sortie dans l'accotement à environ 60 m. Par ailleurs, le mouvement de l'autocar peut se traduire physiquement par l'équation (1). L'absence de traces de frottement sur la chaussée corrobore le fait que le conducteur n'a pu freiner son véhicule durant son malaise. La résistance latérale des pneumatiques lors du déport à droite, nous conduit à adopter une vitesse de décélération légèrement supérieure à celle du type lever de pied soit entre 1.5 et 2.5 m/s². En appliquant l'équation (1) avec les vitesses résiduelles minimales et maximales correspondantes aux vitesses à la fin de la phase n°0 (soit respectivement **V_r = 19.58 m/s** pour la valeur minimale et **V_r = 22.74 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 **23.74 m/s** et **28.58 m/s** (soit entre **85.45 km/h** et **102.89 km/h**).

Récapitulatif de la Sous-phase n°-2	
Vitesse finale V _{-2f}	Vitesse initiale V _{-2i}
70.49 km/h - 81.85 km/h	85.45 km/h - 102.89 km/h

8.3.3 Conclusion :

Une première approche quantitative indique que la vitesse d'impact de l'autocar lors du choc contre l'arbre peut être estimée entre 59 km/h et 65 km/h.

En dépit des nombreuses incertitudes de cet accident, la vitesse lors du choc contre le sol et l'arbre peut être considéré comme physiquement acceptable.

Par ailleurs, la vitesse initiale avant le déport à droite de l'autocar peut être évaluée entre 85 et 103 km/h. Compte tenu de l'absence de traces et des témoignages plus ou moins divergent, nous considérons cette vitesse initiale de l'autocar fiable et correct d'un point de vue physique.

N°	Phase	Description	Relation physique	Valeur		Dx m	Vi	Vf	Vi	Vf
				Min	Min		Max	Max		
				min	Sup	km/h	km/h	km/h	km/h	
1	Post	Ripage au sol	Décél. Uniforme	-4.5 m/s ²	-5.5 m/s ²	8.5	31	0	35	0
0	Choc	Renversement + impact arbre	Cons. Energie	EES=50km/h	EES=55km/h	0	59	31	65	35
-1	Pre	Roulage accotement	Décél. Uniforme	-1.5 m/s ²	-2.5 m/s ²	38	70	59	82	65
-2	Pre	Dérive	Décél. Uniforme	-1.5 m/s ²	-2.5 m/s ²	60	85	70	103	82

Tableau n° 4 : Récapitulatif de l'estimation des vitesses.

8.4 Simulation numérique de l'accident :

Après plusieurs simulations numériques, il advient que la vitesse d'impact de l'autocar contre l'arbre est de **65 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 de l'impact de l'autocar contre l'arbre, a dans un premier temps été estimée à partir d'un calcul 'grossier' 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 différents impacts rencontrés : sol, arbre, ainsi que de la géométrie de la route.

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**.

8.4.1 Discussion :

La simulation réalisée dans cette étude a pour but d'élaborer un scénario de l'accident compte tenu des contraintes imposées par les déformations des véhicules 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.

Cependant, il reste une zone d'ombre concernant le déport de l'autocar vers la droite. Ce déport, d'après nos connaissances en terme d'accidentologie est imputable au malaise du conducteur qui tombe sur son volant et qui le tourne légèrement et involontairement.

Par ailleurs aucun facteur aggravant exogène n'a pu être relevés lors de l'analyse de l'accident puisque les conditions météorologiques étaient optimales, l'ambiance de l'autocar particulièrement calme et le trafic fluide. En revanche, les facteurs aggravants endogènes concernant le chauffeur sont accablants.

8.4.2 Synthèse :

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

- L'autocar roule sur une route départementale à une vitesse de roulage moyenne estimée à 90.5 Km/h.
- Le chauffeur étant pris d'un malaise, s'écroule sur son volant et se déporte à droite.
- Le conducteur ne peut réagir et subit son malaise alors que l'autocar entre dans l'accotement à droite à environ 82 Km/h.
- L'autocar continue sa progression dans l'accotement (traces de roulage), se renverse dans le fossé et percute un arbre à 65 Km/h situé sur à la frontière de l'accotement et de l'abord.
- La collision est telle que le pavillon de l'autocar est arraché littéralement par l'arbre.
- L'autocar s'immobilise 8.5 m plus loin dans le fossé sur le flanc droit après avoir impacté l'arbre, le pavillon arraché sur plus de la moitié de la longueur de l'autocar.

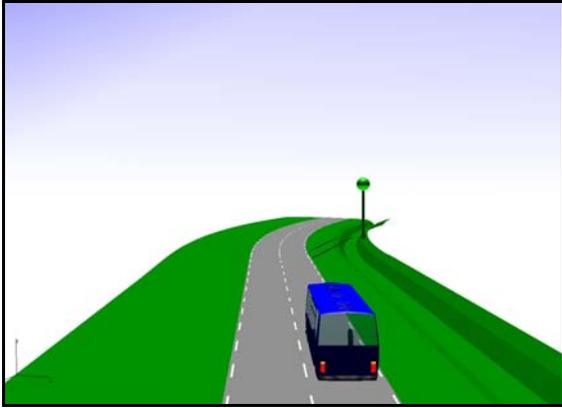
9 CONCLUSIONS:

- Il faut noter que cet accident n'a entraîné la mort d'aucun des passagers du car.
- Parmi les quatre blessés graves nous ne retrouvons aucun M AIS 4 et 5; mais 4 M AIS 3.
- Le bilan définitif est de 89 % d'indemnes et blessés légers pour 11% de blessés graves.
- La présence d'un obstacle fixe, ici un arbre a entraîné des déformations de structures du pavillon du car particulièrement spectaculaires mais peu traumatisantes pour les occupants situés dans cette zone d'arrachement du pavillon.

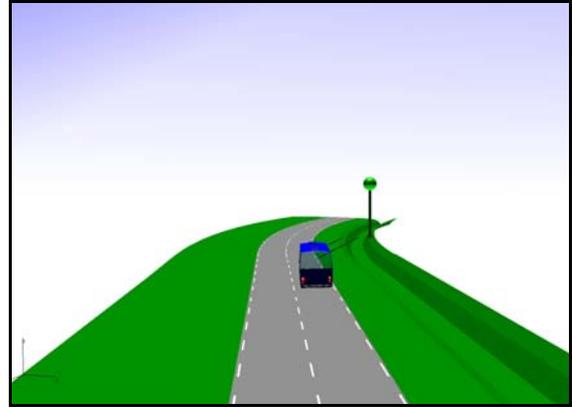
Etude réalisée par: **Monsieur Patrick BOTTO.**
Accidentologiste.

Monsieur Jérémy SINNAEVE.
Accidentologiste.

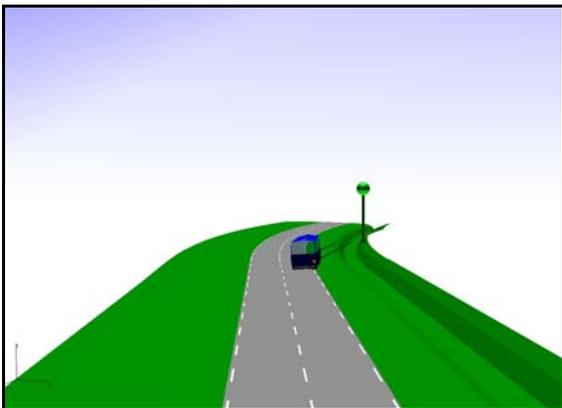
ANNEXE A



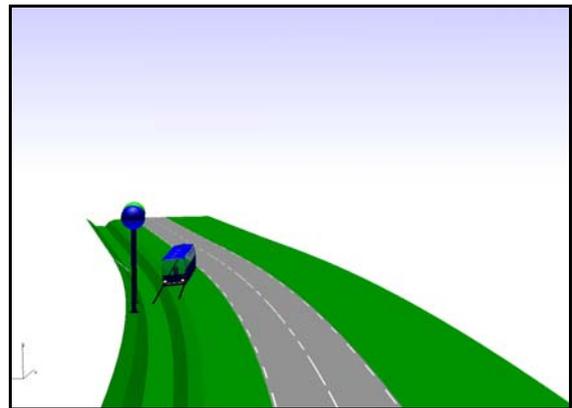
L'autocar circule normalement à environ 90.5 Km/h.



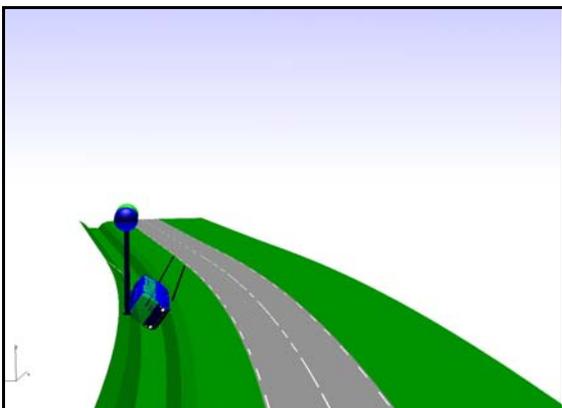
Le chauffeur a un malaise et l'autocar se déporte à droite, (90Km/h)



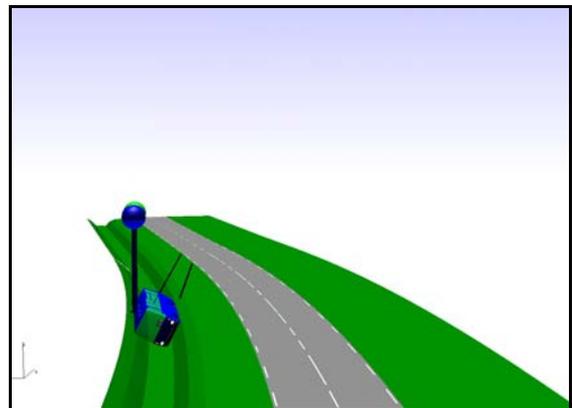
Puis entre dans l'accotement à droite, (82 Km/h)



Et amorce un renversement latéral droit. (73 Km/h)



L'autocar se couche dans le fossé tout en percutant l'arbre à droite, (65 Km/h)



Et s'immobile un peu plus loin sur son flanc latéral droit, la moitié du pavillon arraché par l'arbre.

Références :

[ZEIDLER] Accident Research and Accident Reconstruction by the EES-Accident Reconstruction Method. **F.Zeidler, H.-H Schreier, and R.Stadelmann.** *SAE paper n°850256, 1985*

[BURG] Approximation von Trägheitsmomenten bei Personenkraftwagen. Der Verkehrsunfall, Heft 3. **Burg.** 1982

BEA-TT

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

Tour Pascal B

92055 La Défense

cedex

téléphone :

33 (0) 1 40 81 21 83

télécopie :

33 (0) 1 40 81 21 50

mèl :

Cgpc.Beatt@equipement.gou
v.fr

web :

www.bea-
tt.equipement.gouv.fr