

Rapport de recherche

# Mise au point des dispositifs de retenue par simulation de chocs

Présentation .....	3
Chapitre 1 Introduction – objet de l'étude...	5
Chapitre 2 Méthodologie et produit .....	7
Chapitre 3 Etude d'écran de retenue de chargement .....	9
Chapitre 4 Étude de la B hab.....	37
Chapitre 5 Conclusions générales.....	63
Références et bibliographie .....	65
Adresses .....	65

Après une présentation du contexte ayant conduit au développement de simulations de chocs, à l'aide de modèles de calcul appropriés, pour la mise au point de dispositifs de retenues, ce rapport, au travers de la présentation de trois études, explicite la démarche retenue et les résultats obtenus pour tester des solutions techniques en matière de barrières de sécurité sur ponts.

Page laissée blanche intentionnellement

Rapport de recherche

# Mise au point des dispositifs de retenue par simulation de chocs

Collection les rapports

Page laissée blanche intentionnellement

## Présentation

La mise au point des dispositifs de retenue nécessite la réalisation d'essais de chocs à l'aide de véhicules sur des aires appropriées. Ces essais sont réalisés sur des prototypes à l'échelle 1. Les investissements et la difficulté de faire varier la composition du dispositif de retenue et de pouvoir appréhender l'influence de tel ou tel composant font que cette approche est coûteuse et ne permet que de lentes évolutions des produits.

Cette approche expérimentale tient à la difficulté de calculer le comportement d'une pièce mécanique sous les effets dynamiques des chocs faute de disposer d'outils de calcul fiables et représentatifs.

Depuis quelques années, les concepteurs de ces produits ont recherché des solutions passant par des simulations de chocs à l'aide de modèles de calcul appropriés.

L'objet du présent rapport est de faire le point sur les étapes de cette démarche telle que nous l'avons abordée à l'occasion de différentes études. Il se veut un état des lieux avant de passer à une étape plus ambitieuse qui serait de codifier ce mode de mise au point d'un dispositif de retenue dans le cadre de la refonte de la norme EN 1317, partie 1 notamment.

Nous pensons que notre expérience peut servir à mettre en place cette codification et c'est la raison de cette publication.

Le présent rapport présente la compilation ou la synthèse des diverses réflexions, études, démarches effectuées.

Il a été rédigé en Novembre 2002 par Michel Fragnet, responsable de la CELLULE EQUIPEMENTS DES OUVRAGES D'ART, avec l'assistance de Jean-Pierre Gilcart, Assistant technique.

Nous tenons à remercier les sociétés [ESI](#), [AREA](#) et le [LIER](#)<sup>1</sup> pour nous avoir autorisés à utiliser les résultats des études effectuées ensemble.

### ***Avertissement :***

***Le présent rapport a été achevé de rédiger en octobre 2002. Il ne prend donc en considération que les éléments recueillis à cette date de fin de rédaction.***

---

<sup>1</sup> Voir coordonnées en fin de rapport



# Chapitre 1

## Introduction – objet de l'étude

### 1.1 Présentation

Après la seconde guerre mondiale, le développement de la circulation automobile dans les pays occidentaux a eu comme corollaire l'existence d'une accidentologie avec, notamment, pour ce qui nous intéresse, les risques des sorties de chaussées suite à une perte de contrôle du véhicule.

Pour diminuer les conséquences pour les usagers et les tiers, les ingénieurs en charge des réseaux routiers ont cherché à mettre au point des dispositifs de retenue dont l'objectif était de retenir les véhicules sur la chaussée dans des conditions optimales.

La mise au point de tels dispositifs s'est très vite heurtée à la difficulté que constitue le calcul en dynamique d'une structure subissant des efforts pendant des périodes très courtes (moins d'une seconde).

A l'époque, les moyens de calcul à la disposition des ingénieurs ne permettaient pas la résolution de tels problèmes. Aussi, très vite, on s'est tourné vers la solution pragmatique qui consistait à réaliser un accident contrôlé et à voir comment se comportait et le dispositif et le véhicule. Afin de bien détailler les phases de l'action très rapide, on a fait appel à des enregistrements filmés à grande cadence permettant ainsi des ralentis très "parlants".

C'est sur la base de cette approche que la réglementation actuelle est faite pour obtenir l'homologation des dispositifs de retenue (ou le marquage CE tel qu'il est prévu dans la norme EN 1317).

Cependant, très vite, il est apparu que cette méthode de travail, si elle s'avérait efficace et représentative de ce que l'on observait in situ, était coûteuse du fait de la mise en place, lors de chaque test, d'un prototype avec la réalisation d'un lancement d'un véhicule dans des conditions bien précises avec la nécessité d'enregistrer toutes les phases de l'accident et de ses conséquences.

### 1.2 Contexte ayant conduit aux études par simulation

Ces dernières années, le besoin s'est fait sentir de disposer d'outils permettant une approche plus abstraite de ce sujet.

Tout d'abord, les organismes en charge des homologations étaient souvent confrontés à des demandes de modifications mineures de certaines parties des produits qui avaient fait l'objet d'une série de tests d'homologation. Par exemple :

- le remplacement d'un profilé en I par un profilé en H dans une partie secondaire d'un dispositif ;
- le souhait de réaliser des soudures suivant un dessin différent de celui du produit testé pour permettre une meilleure utilisation d'un outil d'usinage ;
- le changement d'une nuance d'acier ;
- etc.

A chaque fois, les experts devaient apprécier si cette modification risquait d'avoir des conséquences sur le comportement en cas de chocs. Les conclusions étaient souvent difficiles à donner et il y avait toujours le risque de se tromper.

Une autre raison était la demande des concepteurs des produits qui souhaitaient disposer d'outils leur permettant de faire des recherches sur des produits ou des concepts nouveaux sans avoir à vérifier chaque étape de l'étude par un essai sur prototype.

Il y a eu, aussi, le cas de la recherche d'adaptation esthétique d'un produit étudié pour un modèle de dispositif de retenue et que l'on souhaitait poser sur un autre modèle de barrière. Le produit était-il toujours efficace sur le nouveau modèle de barrière sans avoir à faire un essai?

On aborde ici l'aspect coût des essais sur prototype qui constituait le frein à un développement des techniques.

Enfin, et ce n'est pas le moindre, les progrès dans les moyens de calcul ont permis de disposer d'outils informatiques d'une puissance suffisante pour résoudre les équations nombreuses que l'on rencontre dans le cas de la dynamique des chocs.

### 1.3 Les études présentées dans ce rapport

Elles sont au nombre de trois et constituent un résumé de l'approche que les auteurs ont eu dans le cadre de leur activité en matière de mise au point de dispositifs de retenue de pont et d'équipements spéciaux destinés aux barrières pour les ponts et autres ouvrages routiers.

L'objet est d'expliciter la démarche retenue et les résultats obtenus afin de servir de base aux développements de la mise au point des barrières de sécurité des ponts, notamment.

L'objectif n'est pas de remplacer les essais de chocs sur prototype lors des homologations ou en vue du marquage CE mais de disposer d'outils permettant la mise au point et/ou le perfectionnement des produits.

Cette démarche n'est pas fondamentalement différente de ce qui se passe pour la certification des véhicules lors des essais de chocs homologués. Ces essais sont maintenus mais la mise au point des produits passe par la simulation des chocs à l'aide d'outils informatiques dont certains ont été repris dans le cadre des études ci-après.

### 1.4 Principes de la présentation dans ce rapport des études effectuées

La présentation des études a été basée sur la démarche suivante.

Après la présentation du contexte des études de mise au point des dispositifs de retenue, les raisons ayant conduit à la nécessité des études par simulation dans le domaine des barrières de sécurité sur les ponts seront exposées.

Ensuite les études auxquelles nous avons participé sont développées. Pour chacune d'entre elles, nous donnerons le contexte de départ, le but de l'étude générale et les raisons ayant conduit à une étude par simulation.

En ce qui concerne l'étude elle-même, nous avons fait choix d'une présentation in extenso des parties du rapport concerné en reproduisant, sous forme de *fac simile*, les chapitres des rapports en respectant la codification suivante : **les extraits du rapport sont repris sans modification et sont signalés par un souligné en marge. La numérotation des paragraphes est celle du rapport.**



## Chapitre 2

# Méthodologie et produit

### 2.1 Les orientations de base proposées par le CEN TC 226/WG 1

Ce WG a la charge de rédiger les normes harmonisées pour les dispositifs de retenue routiers. Il s'agit de la norme EN 1317, parties 1 à 5. Ces normes, comme il a été dit précédemment, sont basées sur les essais de type initiaux sur des prototypes subissant des chocs par des véhicules représentatifs du parc routier européen.

La question de la prise en compte des études par simulation a fait l'objet d'un certain nombre de discussions au sein de ce WG. Si aucune conclusion n'a, pour le moment, abouti à une rédaction normative, il est cependant intéressant de noter les principales orientations auxquelles on est arrivé.

La simulation doit constituer un outil supplémentaire aux essais au choc afin de décider, par exemple, la largeur de fonctionnement d'une barrière modèle GS :

- dans le cas d'utilisation d'une distance plus faible entre les poteaux ;
- si l'on souhaite avoir une épaisseur d'élément ou une qualité en acier différente.

La question est alors posée de savoir quand de tels modèles de simulation peuvent-ils être employés, et quelles conditions devront-ils respecter pour être acceptés dans ces cas-ci comme outil ? Comment seront-ils validés ?

Il a été proposé que le WG1 étudie plus complètement la manière d'employer des modèles de simulation, afin de décider si et quand de tels modèles peuvent être acceptés. Quels critères de qualité pour l'évaluation et l'approbation des modèles de simulation, et dans quelles circonstances de tels modèles peuvent être acceptés pour être employés.

### 2.2 Les produits utilisés

Les produits utilisés sont représentatifs de l'évolution des études sur le sujet durant ces dix dernières années.

a) En 1992, nous avons lancé un projet de produit nouveau, mis au point par l'Administration, qui devait constituer un modèle de barrière pour pont routier de niveau H3 pour tenir compte de l'évolution des normes citées au § précédent.

Compte tenu de sa composition définie par un groupe de travail comprenant des architectes, des ingénieurs structures, des experts en dispositifs de retenue et des serruriers, cette barrière comportait des lisses horizontales et des supports espacés de 1 m ou 1,5 m. A la demande du Sétra, une étude a été confiée à l'Inrets pour avoir une première approche de la faisabilité du concept.

L'étude a été faite à l'aide du modèle mathématique Barrier VII développé par l'université de Berkeley aux USA et utilisé, à l'époque, par les laboratoires américains. Il s'agit d'un modèle à deux dimensions (modèle plan), sur lequel on peut simuler l'action de deux lisses à des altitudes différentes, ce qui est le cas de la barrière étudiée. Ce modèle permet de définir schématiquement une barrière théorique en utilisant des éléments simples tels que poutres, supports, amortisseurs à friction, ... et en les assemblant suivant un maillage approprié.

Après tâtonnements, l'étude a permis de définir des valeurs des moments de flexion des supports et les inerties des lisses

b) L'objet de l'étude était, dans un premier temps, de calibrer un modèle pour une simulation numérique de la barrière BN4<sup>2</sup> avec écran de retenue de chargement, puis, dans un second temps, à partir de la simulation numérique précédente, la tenue d'un modèle d'écran de retenue de chargement sur BN2<sup>3</sup> a été étudiée.

Le logiciel utilisé est PAM-CRASH<sup>TM</sup> qui est un logiciel métier conçu pour l'étude des endommagements consécutifs aux chocs sur véhicules. Il s'est révélé particulièrement bien adapté à l'étude d'un phénomène dynamique complexe : le choc contre un écran de retenue d'un colis se désolidarisant du plateau d'un semi remorque de poids lourd de 26 t.

c) La troisième étude avait pour but de simuler numériquement la collision d'un camion de 16 t tel que défini dans la norme NF EN 1317-2 sur le modèle de barrière Bhab.

Les simulations numériques ont été réalisées avec le même logiciel PAM-CRASH<sup>TM</sup>. La simulation de référence, avec prise en compte de la déformation du véhicule et d'une friction directionnelle pour les roues arrières, permet d'obtenir des résultats comparables à ceux des essais expérimentaux, du point de vue cinématique du choc (mouvement du véhicule, renversement, rupture des interfaces) et également du point de vue de la flèche.

---

<sup>2</sup> Cf. Norme XP P 98.421

<sup>3</sup> Cf. Norme XP P 98.422

# Chapitre 3

## Etude d'écran de retenue de chargement

### 3.1 Généralités

Les barrières de niveau H2 ou H3 pour la retenue des cars ou des camions ont une hauteur, en général, de l'ordre du mètre. Or les colis transportés par les camions peuvent aller bien au-delà. On raisonne, pour les essais dynamiques, avec un chargement restant solidaire du véhicule, comme le stipule le code de la route.

Cependant, dans certain cas, et ce fut celui du viaduc d'Hayange, à l'origine de la mise au point de cet écran, on souhaite faire en sorte qu'un colis (sur le site d'Hayange, les véhicules franchissent l'ouvrage en transportant des rouleaux de feuillards d'acier de 12 t) ne risque pas de tomber de l'ouvrage créant un danger pour des tiers circulant en contrebas de l'ouvrage.

Le produit mis au point était adapté au cas d'une barrière modèle BN4.

L'objet de l'étude était de valider un écran de même principe mais adapté à une barrière modèle BN2. Par ailleurs, une étude esthétique avait conduit à redessiner une partie des éléments constitutifs de cet écran.

### 3.2 Description du dispositif adapté à la BN4

Il est décrit sur la figure de la page suivante.

Nota : pour plus de détails, nous renvoyons au guide GC, fascicule "Barrières pour la retenue des PL. Barrières de niveau H2 ou H3", § 5.3.4.3.

### 3.3 Description de l'essai réel

La page 1 du PV de l'essai est reproduite en page suivante sous le numéro de l'essai : ONSER 393. A l'époque, cette page rassemblait la majorité des informations obtenues lors de l'essai. Le reste : photos, dessins du dispositif, résultats éventuels de mesure au moment du choc, ... composait les pages suivantes.

Cet essai a fait l'objet d'un film qui a servi de référentiel pour l'étude en simulation, notamment pour le comportement tant du "colis" que de l'écran de retenue de chargement et du véhicule.



## Barrière normale en acier avec écran acoustique et anti-chute

PV ONSER 393-1

**Demandeur de l'essai :** DDE de la Moselle - **Objectif :** Viaduc d'Hayange

**But de l'essai :** A la suite d'un renforcement très local et de l'adjonction d'écran anti-bruit et d'un grillage, le prototype atteint sa forme définitive. Son expérimentation est réalisée dans des conditions très sévères, notamment en ce qui concerne le véhicule (semi-remorque) et la masse du chargement (bobine de feuillard de 12 t, axe parallèle à celui du véhicule).

Essai Poids Lourd	Véhicule	Chargement	Choc théorique	Choc réel
57-BLE-02 / 393 16 Mars 1976	Semi-remorque tracteur SCANIA Remorque : TITAN	bobine de feuillard de 12 t sur berceau et petits objets	vitesse = 60 km/h (limitée sur viaduc) Angle = 20°	59,5 km/h 20°
	masse totale = 26, 67 t			

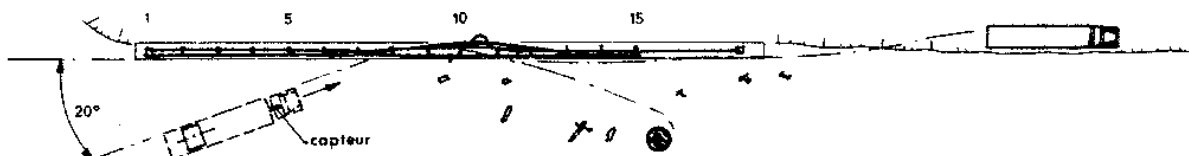
**Description du dispositif** (Schéma page 393-2)

Barrière type BLA installée sur dalle de 20 cm avec écran acoustique (h = 1 m) et surmontée d'un écran anti-chute (hauteur totale 3 m).

**Ecran anti-chute :** même dispositif que pour l'essai précédent avec renforcement de la fixation montants/lisses BA et adjonction :

- d'un écran acoustique à la partie inférieure de la barrière ;
- d'un grillage à la partie supérieure pour éviter la chute des petits objets.

**Déroulement de l'essai :** L'aile AVG du camion heurte la barrière 1,30 m avant le support n° 8 et se déforme ; une faible poche dynamique de la barrière et de l'écran apparaît. Le poids lourd (tracteur et remorque) se redresse tandis que la bobine et son socle glissent sur le plateau de la remorque et viennent percuter violemment contre les lisses de l'écran entre les supports 8 et 9 ; une poche dynamique importante se forme. La bobine tourne comme une toupie puis est renvoyée sur la chaussée tandis que le camion continue sa course parallèle à la barrière et revient effleurer cette dernière avant de s'immobiliser dans le fossé de protection.



Résultats de l'essai			
Flèche statique maxi des lisses	barrière : 0, 12 m Ecran sup : 0, 77 m Rompu 1, 50 m	Décélération maxi enregistrées sur le tracteur (capteurs STATHAM)	
Flèche dynamique maxi	véhicule env. 0, 20 m bobine env. 1, 10 m	Pointes	Filtrées
Longueur totale de la poche	barrière 15 m écran 20 m	X " = 8 g Y " = 14 g Z " = 12 g	5 g 6 g 7 g

Dégâts sur le dispositif		
barrière	Ecrans	
- 6 lisses Lg 7,50 m endommagées - vis fusibles de 3 supports à changer - 1 support tordu à remplacer	anti-chute :	- 6 lisses Lg 7,50 m endommagées - 5 x 2 montants (UAP 130) tordus, déchirés - 10 m de grillage à remplacer
	acoustique :	- 2 x 2 panneaux à changer

**Dégâts sur le véhicule**

75 % du prix neuf (non représentatif car choc secondaire dans fossé de protection)

**Interprétation des résultats :** l'impact du véhicule se divise en 3 chocs successifs : le tracteur qui est facilement redressé, la semi-remorque dont la trajectoire suit le tracteur, et la bobine qui est correctement retenue par la partie supérieure du dispositif. La barrière de base est moins sollicitée que par un autocar de 12 t et les petits objets sont retenus par le grillage. Quelques modifications du grillage faciliteront la pose d'un dispositif complet très efficace pour retenir les gros P.L. et leur chargement.

Copie du rapport ONSER393-1

### 3.4 Le problème posé

Le principe posé que tout dispositif de retenue soit validé par un essai dynamique appliqué en la circonstance conduisait à faire un essai dynamique sur une installation comportant une barrière BN2 avec le modèle d'écran défini par l'équipe d'architecte et d'ingénieur.

Outre le coût élevé de l'essai, il y avait le risque non négligeable que le résultat ne soit pas probant et rende nécessaire de nouveaux essais augmentant d'autant le devis de l'opération mais aussi et surtout le délai car les ouvrages étaient en cours de conception.

Egis-Scetauroute (Maitre d'œuvre pour le compte d'AREA) a demandé un avis au Sétra qui a alors proposé une démarche basée sur une étude par simulation numérique quitte, à la fin, en cas de doute, à valider la solution par un essai dynamique mais uniquement en fin d'étude.

Cette étude avait un devis pratiquement 5 fois moins élevé que celui du seul et unique essai dynamique tout en permettant de tester différentes solutions dans le cadre de l'étude.

Les paragraphes qui suivent décrivent les étapes de l'étude et sont extraits du rapport. Ils sont publiés ici avec l'aimable autorisation d'AREA.

## 3.5 La simulation

Copie du rapport "Analyse numérique du dispositif combiné rehausse anti-déversement anti-bruit sur BN2" [[4](#)]

### 2 Modèles

#### 2.1 - Éléments communs à l'étude des deux écrans

Les éléments communs aux deux écrans sont les suivants :

- chaque modèle complet comporte 15 motifs de 2,50 m disposés sur l'axe X ;
- la partie inférieure (barrière) est indéformable ;
- les encastresments au sol de la barrière sont rigides ;
- le colis est modélisé par un corps rigide cylindrique de hauteur 1,40 m, de diamètre intérieur 0,60 m, de diamètre extérieur 1,50 m, pesant 12 t. Il impacte toujours en avant du poteau n° 9 (voir aussi § 3.1 pour plus de détails).

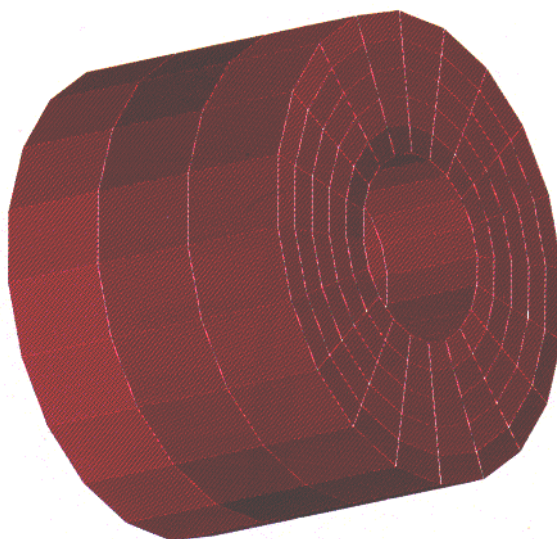


Fig. 1 - Modèle du colis indéformable

#### 2.2 - Géométrie BN4

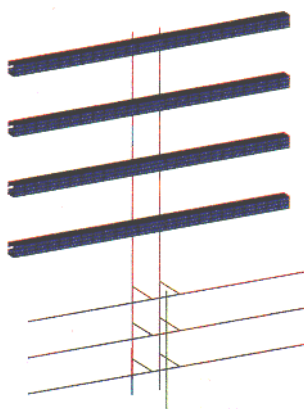


Fig. 2 - Motif BN4 avec poteaux en éléments poutres

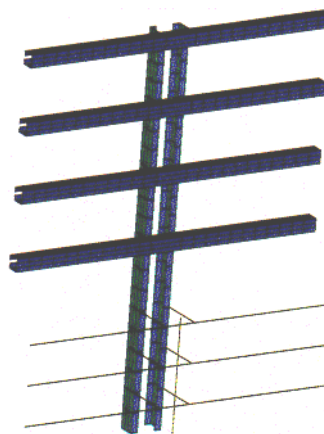


Fig. 3 - Motif BN4 avec poteaux en éléments coques

##### 2.2.1 - Lisses supérieures (écran)

Les 4 lisses supérieures ont été modélisées en éléments coques minces :

- 15 cm de longueur ;
- 4 mm d'épaisseur ;
- 11 éléments dans la section.

Les connections entre les lisses sont rigides.

### 2.2.2 - Lisses inférieures (barrière)

Les 3 lisses inférieures ont été modélisées en éléments poutres infiniment rigides.

### 2.2.3 - Poteaux d'écran UAP130

Les poteaux d'écran ont été modélisés dans un premier temps en éléments poutres, avec une description correcte des inerties et de l'axe neutre. Pour une meilleure comparaison avec l'écran BN2, elles ont ensuite été modélisées en éléments coques minces. L'âme (épaisseur 6 mm) a été distinguée des semelles (épaisseur 9 mm).

### 2.2.4 - Poutrelles UAP80

Les poutrelles UAP80, assurant la liaison entre les poteaux d'écran et la barrière, ont été modélisées en éléments poutres élastiques (3 éléments de longueur 17 cm par poutrelle).

### 2.2.5 - Poteaux de barrière

Le poteau de barrière de chaque motif a été modélisé en éléments poutres indéformables.

### 2.2.6 - Encastremets et liaisons

Les encastremets ou liaisons sont au nombre de 3 dans un motif BN4.

#### Lisses supérieures - poteaux d'écran UAP130

Les tranches en vis-à-vis forment un encastrement parfait sur la hauteur (10 cm) de la lisse.

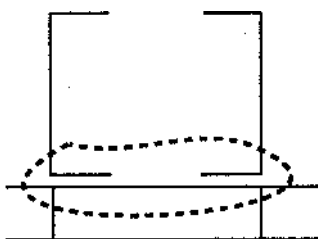


Fig. 4 - Liaison lisse/poteau

#### Poteaux d'écran UAP130 - poutrelles UAP80

La soudure a été considérée comme un encastrement parfait sur toute l'âme du poteau UAP130.

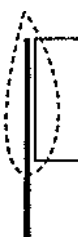


Fig. 5 - Liaison UAP130 / UAP80

### Ensemble "barrière"

Dans chaque motif, le poteau de barrière et les lisses inférieures forment un ensemble infiniment rigide sur lequel sont parfaitement encastrees les extrémités des 6 poutrelles UAP80. Le poteau d'écran est parfaitement encastree au sol.



## 2.3 - Géométrie BN2

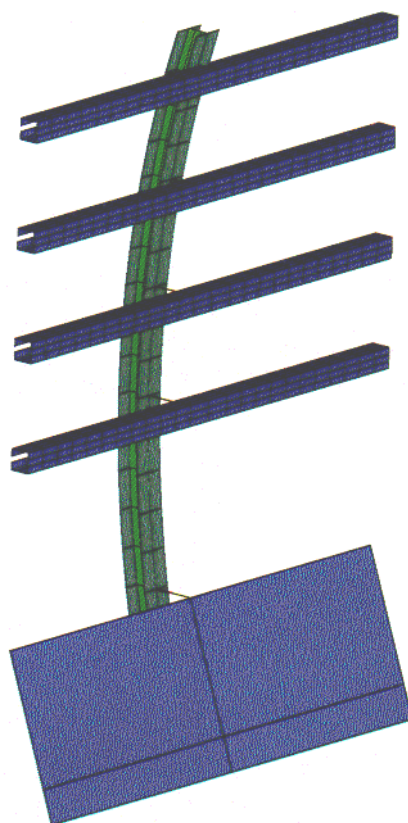


Fig. 6 - Motif BN2

### 2.3.1 - Lisses supérieures (écran)

Les 4 lisses supérieures ont été modélisées en éléments coques minces. Le modèle des 4 lisses supérieures est identique à celui de l'écran BN4 (voir § 2.2.1).

### 2.3.2 - Barrière

La barrière a été modélisée en éléments coques minces indéformables sur la ligne moyenne de la barrière béton réelle. La lisse de barrière (main courante) n'a pas été introduite par soucis de simplicité. Toutefois, la cote Y de 250 mm entre l'axe de la main courante et la verticale des lisses d'écran a été prise en compte.

### 2.3.3 - Poteaux d'écran

Dans la solution initialement proposée par SCETAUROUTE, le poteau d'écran a une inertie variable. Pourtant, les rayons de courbures des semelles internes et externes ne sont pas compatibles avec une largeur d'âme de 160 mm (HEA160) au niveau du tenant supérieur. Si l'on tient compte de la géométrie initiale, l'âme varie de 31 cm à 10 cm, valant 26 cm dans la partie critique. Le moment d'inertie de flexion X est beaucoup trop fort comparé à celui de 2 poteaux UAP130 de l'écran BN4.

Deux dimensionnements supplémentaires du poteau d'écran ont été envisagés :

- un HEA160 cintré (largeur d'âme constante de 160 mm). Son moment d'inertie de flexion X est toujours important ;
- un HEA120 "équivalent" cintré (âme de largeur constante de 114 mm et d'épaisseur 5 mm, semelle de largeur 160 mm et d'épaisseur 6 mm, soit une surface de semelle identique à celle d'un HEA120). Cette fois, le moment d'inertie de flexion X est plus correct.

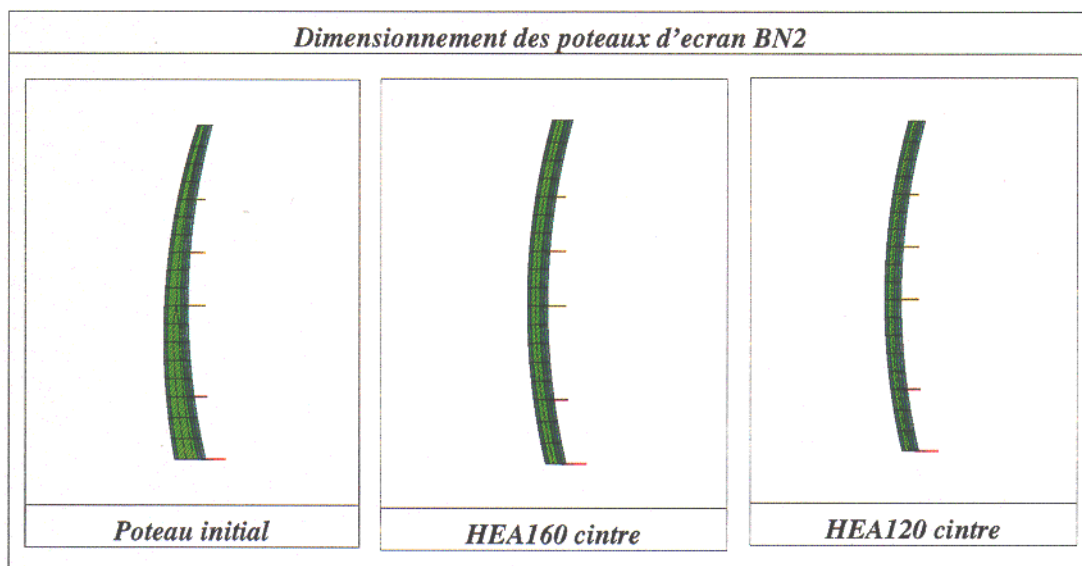


Fig. 7 - Trois solutions pour le dimensionnement des poteaux d'écran BN2

### 2.3.4 - Entretoises

Trois des quatre lisses supérieures sont raccordées au poteau d'écran au moyen d'entretoises. Ce sont des tubes de section carrée de 10 cm de côté modélisés par des éléments poutres élasto-plastiques.

Les inerties de section sont correctement décrites.

La lisse supérieure (cote  $Z = 2,95$  m) est directement connectée au poteau d'écran.

### 2.3.5 - Tenants

Ce sont les poutrelles assurant la liaison entre le poteau d'écran et la barrière. Au nombre de 2 ; ils sont modélisés par des éléments poutres élastiques de type HEA160.

### 2.3.6 - Encastresments et liaisons

Les encastresments ou liaisons sont au nombre de 3 dans un motif BN2. Deux solutions d'encastresments ont été étudiées :

- des encastresments dits «faibles», où seules les faces en vis-à-vis sont liées (schéma de gauche) ;
- des encastresments dits «forts», où la liaison se fait dans la masse (schéma de droite).

### Lisse d'écran n° 4 - poteaux d'écran

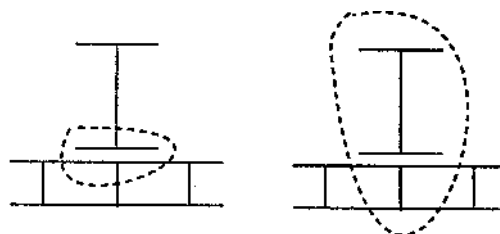


Fig. 8 - Liaison lisse d'écran n° 4 - poteau

### Lisses d'écran - entretoises

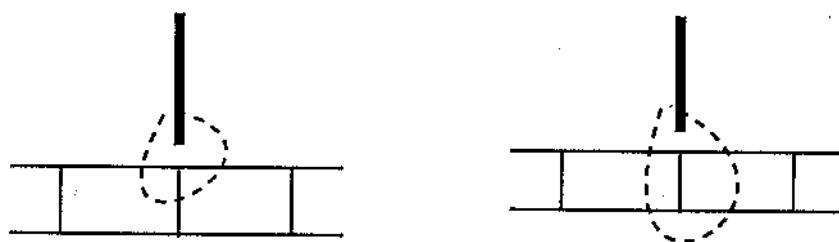


Fig. 9 - Liaison lisse d'écran - entretoises

### Entretoises ou tenants - poteaux d'écran

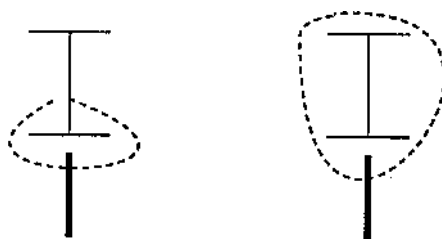


Fig. 10 - Liaison pontrelles - entretoises

### Tenants - barrière

L'encastrement est ponctuel, compte tenu de la modélisation en éléments poutres de ces parties. Tous les degrés de libertés au point sont bloqués.

### Barrière - Sol

Par soucis de simplicité, la barrière béton n'est encastrée qu'au droit du poteau d'écran. Il suffira d'ajouter les contributions de 2 encastresments successifs et de diviser les moments et les efforts par 5 (longueur de 2 motifs) pour obtenir une estimation de ces quantités par mètre linéaire.

## 2.4 - Matériaux

Le matériau constitutif de toutes les parties du motif est de l'acier type "E 24" dont les caractéristiques mécaniques sont :

- module d'élasticité  $E = 210 \text{ GPa}$  ;
- coefficient de Poisson  $\nu = 0,29$  ;

Lorsque le matériau est plastique, sa courbe contrainte/déformation ( $\sigma/\epsilon_p$ ) est la suivante :

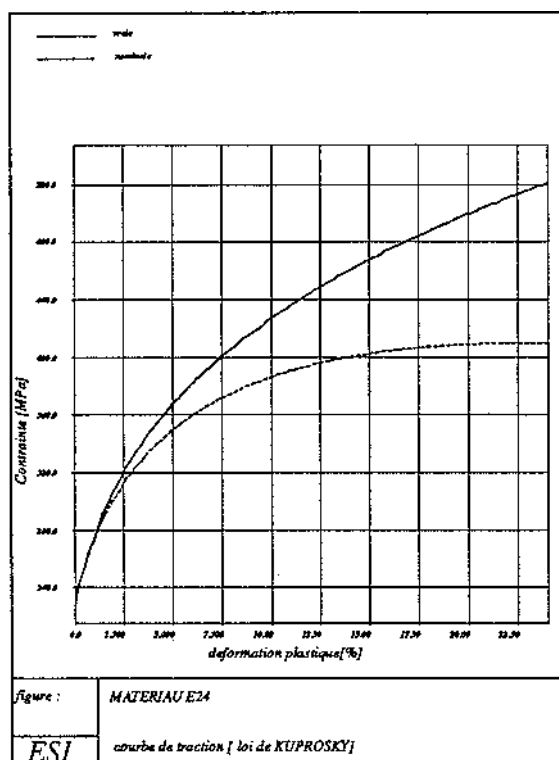


Fig. 11 - Courbe contrainte/déformation de l'acier utilisé dans les modèles

Enfin, la possibilité d'imposer une déformation plastique maximale à rupture a éventuellement été utilisée.

### 3 - Validation de la Rehausse BN4

Les conditions les plus proches de la réalité (le film d'essai) ont été reproduites pour valider numériquement la tenue au choc de l'écran BN4. Toutefois, la rupture des lisses d'écran n'a pas été introduite dans les simulations<sup>4</sup>, pour limiter le nombre de variantes dans les études paramétriques.

On constate sur le film que la 2<sup>ème</sup> lisse d'écran (à la cote Z = 1,95 m)<sup>5</sup> se rompt au niveau de l'impact initial. Les déformations plastiques calculées dépassent 100% dans cette zone ; c'est le niveau de déformation à rupture pour le matériau E24. Ainsi, la rupture est acquise à cet endroit, même si elle n'est pas introduite.

#### 3.1 - Informations sur le déroulement du choc

D'après le film d'essai et le rapport associé, on peut déterminer les éléments suivants :

- Colis ;
  - Masse : 11840 kg,
  - Vitesse d'angle : 20° par rapport à l'axe X, de module 60 km/h,
  - (soit  $V_x=15,7$  m/s et  $V_y=5,4$  m/s), sans vitesse angulaire,
  - Angle entre l'axe du colis et l'écran : 6° ;
- le colis impacte l'écran entre les poteaux n° 8 et n° 9, près de ce dernier. La cote de son centre de gravité (CdG) est de Z = 1,95 m, ce qui place le diamètre au droit de la lisse n° 2 ;
- la gravité a été introduite dans certains calculs pour étudier son influence, mais on constate que le colis est porté par la plate-forme du camion pendant toute la durée du choc ;
- le temps de choc est de 600 ms environ, pendant lequel le colis impacte trois motifs (8-9, 9-10,10-11) ;

<sup>4</sup> Ecrans BN4 et BN2

<sup>5</sup> Soit la 2<sup>ème</sup> comptant à partir du bas.

- le poteau n° 9 est fortement endommagé à sa base ;
- données quantitatives de l'essai ;
  - la flèche dynamique maximale est de 1,1 m,
  - la longueur de la poche dynamique est de 20 m.

### 3.2 - Points à valider

Sur le plan qualitatif, le comportement dynamique général du colis et de l'écran issu de la simulation doit être analogue à celui qu'on observe sur le film. Dans l'ensemble des calculs effectués<sup>6</sup>, c'est bien le cas; les rotations du colis, l'inclinaison de la barrière et la formation de la poche dynamique sont correctement rendus (se reporter aux différentes figures).

Sur le plan quantitatif, la flèche dynamique maximale et la longueur de la poche dynamique doivent être correctes. De plus, les moments d'axe longitudinal et les efforts transverses au niveau l'encastrement de la barrière au sol doivent être inférieurs aux limites de rupture prévues. Une telle rupture n'est pas observée. Ces limites sont :

	BN4	BN2 <sup>7</sup>
Force transversale	300 kN	500 kN
Moment de flexion X	200 kN.m	250 kN.m

### 3.3 - Validation

Dans un premier temps, les résultats du calcul «Écran BN4 validé» sont commentés (se référer aux figures 12 à 32). Ensuite, la démarche de validation est exposée et l'influence des différents paramètres est discutée (figures 33 à 63).

#### 3.3.1 - Ecran BN4 validé (figures 12 à 32)

Les hypothèses de ce calcul sont les suivantes :

- pas de gravité, la cote Z du CdG du colis est fixée ;
- le coefficient de frottement pour le contact colis-écran vaut  $f = 0,1$  ;
- les lisses d'écran sont fixées aux extrémités (motifs n° 1 et n° 15) ;
- le critère d'endommagement dans les poteaux UAP130 est fixé à 14% de déformation plastique.

Les résultats cinématiques de la simulation sont :

- flèche dynamique: 96 cm<sup>8</sup> ;
- longueur de la poche dynamique: 17,6 m ;
- durée du choc: 550 ms.

#### Cinématique (figures 12 à 18)

Pendant la durée du choc, le colis effectue un tour complet autour de l'axe vertical. Les autres rotations sont faibles. La mise en rotation du colis est amorcée par un effet de coin consécutif à l'impact initial. : les lisses d'écran sont enfoncées puis le colis vient buter sur le poteau n° 9.

<sup>6</sup> Hormis quelques variantes extrêmes de l'écran BN2.

<sup>7</sup> Pour la contribution de 2 encastremements successifs.

<sup>8</sup> Dans tous les cas étudiés, la contribution élastique est importante. En fin de choc, la flèche statique vaut 74 cm.

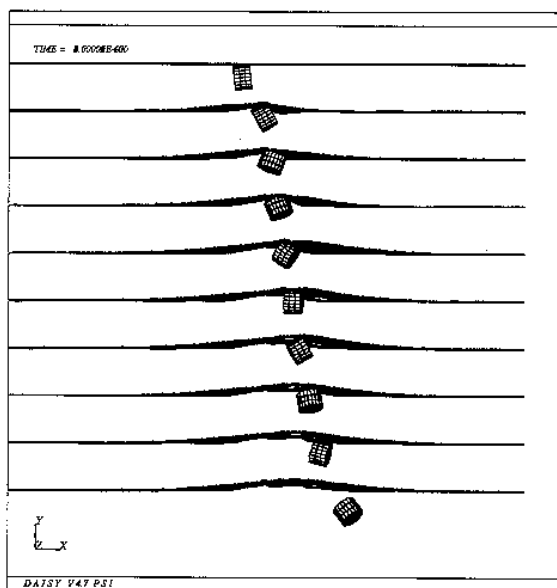


Fig. 12 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue de dessus

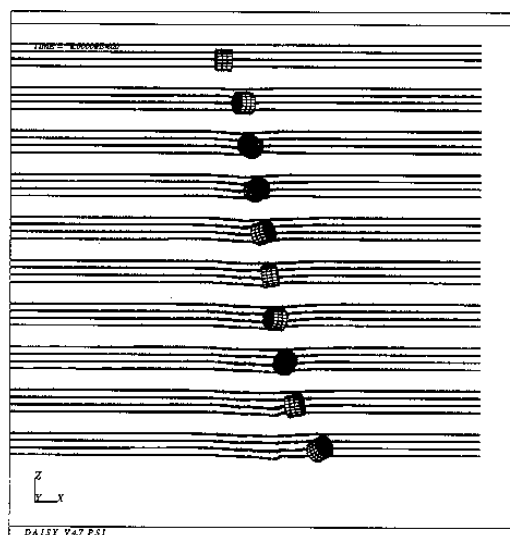


Fig. 13 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue de face

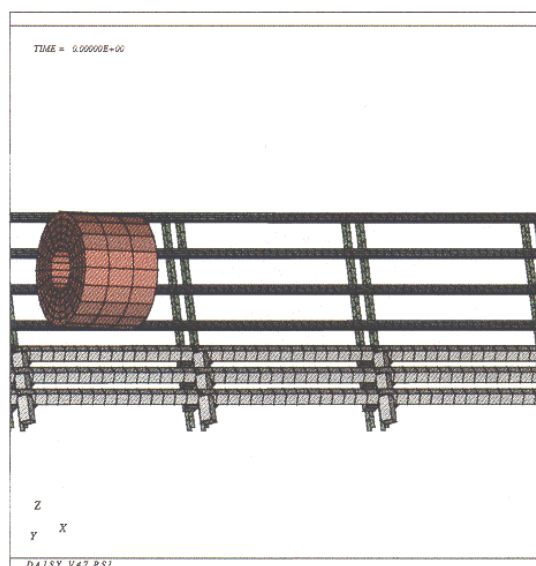


Fig. 14- Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue rapprochée ( $t=0s$ )

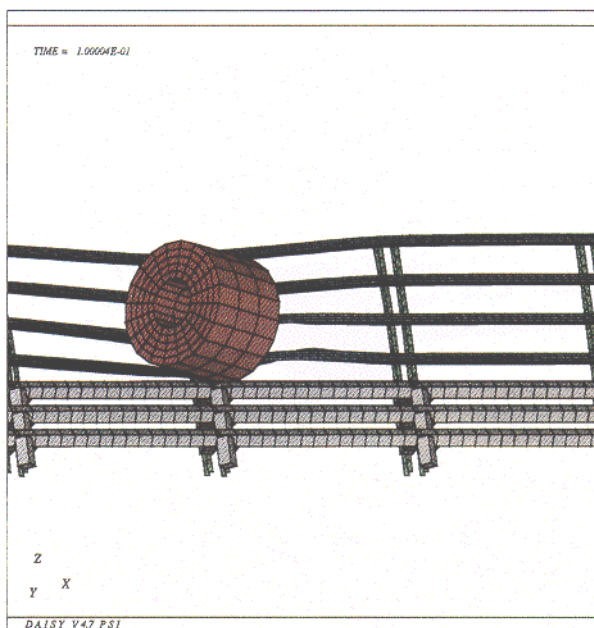


Fig. 15 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue rapprochée ( $t=0,1s$ )

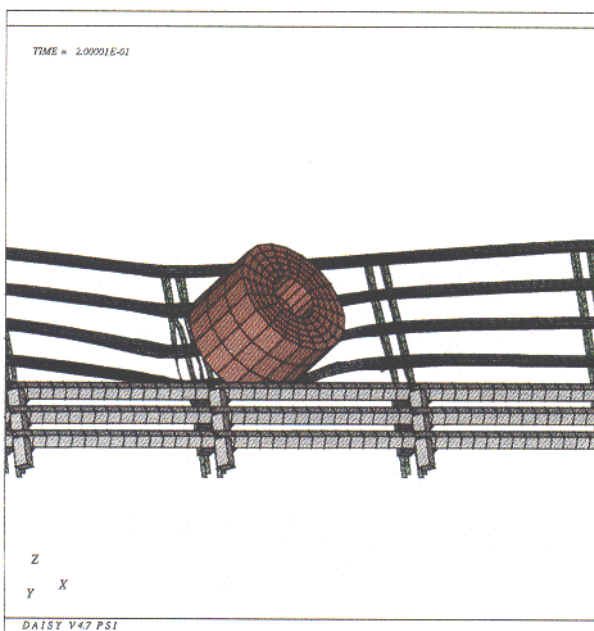


Fig. 16 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue rapprochée ( $t = 0,2s$ )

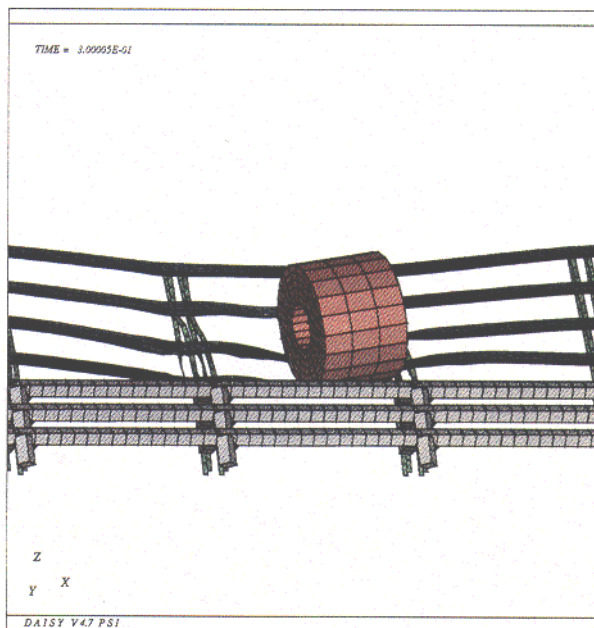


Fig. 17 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue rapprochée ( $t = 0,3s$ )

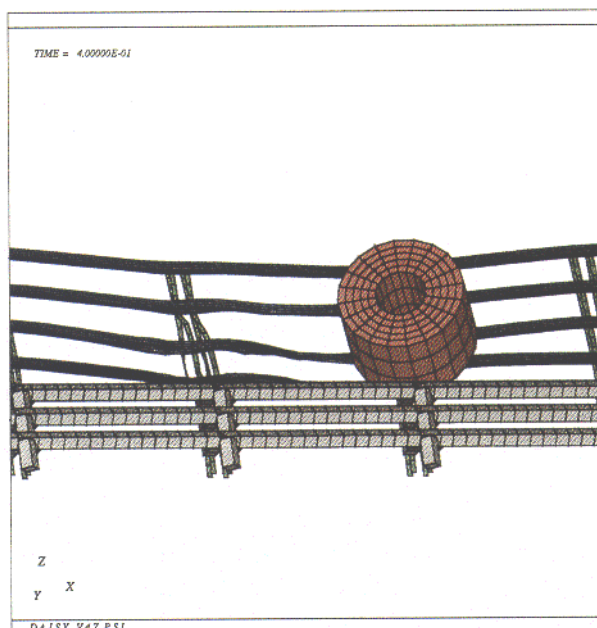


Fig. 18 - Écran BN4 validé : Cinématique du choc, vue rapprochée ( $t = 0,4s$ )

### Analyse quantitative (figures 19 à 32)

#### Vitesse du CdG du colis (figure 19)

La composante Y de la vitesse du CdG du colis est inversée en 270ms (environ la moitié du temps de choc). Le colis est renvoyé avec une vitesse de -3 m/s (-11 km/h) suivant Y et 7 m/s (25 km/h) dans la direction X.

#### Force de contact colis/barrière (figures 20 à 22)

Son module atteint 1400 kN dans les 100 premières millisecondes. On corrèle ce pic avec la diminution importante de la composante X de la vitesse du CdG du colis et avec la mise en rotation de celui-ci au passage du poteau n° 9. Le second pic de la force de contact correspond au passage du colis sur le poteau n° 10.

Le colis est ralenti dans la direction perpendiculaire, puis renvoyé, pendant les 530 premières millisecondes, comme le montre la figure 22 (composante Y de la force de contact) corrélée avec la courbe de vitesse Y du colis.



## Endommagement des poteaux UAP130

Les figures 23 à 26 rendent compte de l'application du critère forfaitaire de rupture à 14% de déformation plastique dans la section du poteau d'écran située immédiatement au-dessus des poutrelles UAP80 supérieures.

Pour le poteau n° 9, (UAP130 de gauche et de droite, figures 23 et 24) seuls 2 éléments sur les 10 que totalisent les deux sections ne sont pas rompus. L'endommagement intervient vers 80 ms, ce qui limite le niveau des efforts et moments transmis vers l'encastrement correspondant de la barrière (voir paragraphe suivant).

Dans le poteau n° 10, seul l'UAP130 de gauche est endommagé.

## Efforts et moments aux encastres de la barrière

Sur les figures 27 à 30, on distingue nettement les instants où le colis passe sur le poteau n° 9 (70 ms - 130 ms) et le poteau n° 10 (300 ms - 350 ms).

Le moment longitudinal d'axe X et la force de cisaillement transverse de direction Y sont importants. Le moment longitudinal d'axe Y et la force de cisaillement transverse de direction X sont plus faibles, ce qui reflète le fait que le dispositif de sécurité travaille davantage autour de X. Il est conçu dans ce but.

On constate que les efforts et moments ont bien pu être limités à l'encastrement n° 9 par le critère d'endommagement évoqué au paragraphe précédent. On constate également qu'ils restent encore élevés à l'encastrement n° 10, conséquence du moindre endommagement du poteau d'écran associé.

Ces niveaux ont été considérés acceptables, bien que légèrement trop élevés. Le critère forfaitaire de rupture aurait pu être plus contraignant. Ceci est discuté au § 3.3.2.

## Efforts et moments dans les poutrelles supérieures UAP80

Les deux composantes significatives (force axiale et moment de flexion autour de X) sont présentées dans les figures 31 et 32 pour les poteaux n° 9 et 10. Les maxima respectifs sont de 200 kN et de 32 kN.m. De tels niveaux confirment l'hypothèse élastique faite pour ces poutrelles dans le modèle. Les efforts et les moments subsistant en fin de simulation sont induits par les déformations permanentes du reste de la structure.

### 3.3.2 - Étude paramétrique

L'influence des hypothèses du calcul sur les niveaux des moments et efforts aux encastres de la barrière a été étudiée de façon détaillée. Chacun des paragraphes suivants explique cette influence, toutes choses égales par ailleurs. Sont étudiés :

- l'influence du coefficient de frottement de la loi de Coulomb ;
- l'endommagement dans les poteaux ;
- les conditions aux limites appliquées aux lisses d'écran ;
- deux points particuliers : la rupture des lisses d'écran et l'application de la gravité.

### Coefficient de frottement $f$

Les variations du coefficient de frottement pour le contact entre le colis et l'écran n'ont qu'une faible incidence sur la cinématique. Quant aux conséquences sur les efforts et moments aux encastres, la tendance suivante se dégage.

Le moment longitudinal d'axe X et la force de cisaillement transverse de direction Y diminuent avec  $f$ , tandis que le moment longitudinal d'axe Y et la force de cisaillement transverse de direction X augmentent quand  $f$  diminue.

Les figures 33 à 40 permettent la comparaison de chacune de ces grandeurs aux encastres n°9 et n°10. Elles ne présentent que les résultats de deux calculs, menés avec  $f = 0,2$  et  $f = 0,1$ . D'autres valeurs ( $f = 0,06$ ;  $f = 0,01$  et  $f = 0$ ) ont par ailleurs été testées. Les autres hypothèses de ces calculs sont :

- pas de gravité, la cote Z du CdG du colis est fixée ;
- les lisses d'écran sont libres aux extrémités (motifs n°1 et n°15) ;
- il n'y a pas d'endommagement dans les poteaux UAP130.

En dessous d'un coefficient de frottement de 0,06 le comportement du colis change : il glisse davantage et sa rotation est moins importante. Le comportement décrit ci-dessus s'inverse, mais la cinématique du phénomène n'est plus correcte. La valeur de  $f = 0,1$  (réaliste pour un contact entre aciers sans lubrification) a finalement été retenue.

### Endommagement des poteaux d'écran

Comme on le voit dans le film d'essai, il s'agit d'un phénomène très localisé au niveau de la liaison avec les tenants de barrière supérieurs (poutrelles UAP80).

Deux calculs ont été menés, sans endommagement pour l'un, avec un critère à 14% de déformation plastique pour l'autre. Les niveaux de moments et d'efforts aux encastremets n° 9 et n° 10 sont présentés dans les figures 41 à 48. Les figures 49 à 52 donnent les taux de déformation plastique dans les éléments de la section la plus sollicitée des UAP130 de gauche et de droite du poteau n° 9. Les autres hypothèses de ces calculs sont :

- pas de gravité, la cote Z du CdG du colis est fixée ;
- les lisses d'écran sont fixées aux extrémités (motifs n° 1 et n° 15) ;
- le coefficient de frottement vaut  $f = 0,1$ .

Le critère d'endommagement a été calibré pour que les 2 UAP130 du poteau n° 9, très sollicités, soient suffisamment endommagés pour limiter la transmission des efforts et des moments à l'encastrement de barrière correspondant, au-delà de 100 ms. Le critère retenu (14% de déformation plastique) provoque la rupture de 4 éléments coques sur 5 dans la section critique de l'UAP130 de gauche (figure 49) et 3 sur 5 dans celui de droite (figure 51)<sup>9</sup>.

Les figures 53 et 54 présentent l'aspect visuel des poteaux UAP130 endommagés, lorsque les éléments rompus sont éliminés de la déformée, ou non. Il s'agit là d'un artifice purement visuel permettant de les détecter : dans la simulation, les éléments rompus ne transmettent plus les contraintes.

Dans le poteau n° 10, l'endommagement reste limité à l'UAP130 de gauche, comme on l'a vu au §3.3.1. On aurait pu diminuer le critère d'endommagement, afin de limiter davantage la transmission des efforts et moments de l'écran à la barrière, mais cela risque d'affaiblir artificiellement l'ensemble de la structure. Une analyse locale détaillée (maillage plus fin dans la zone d'endommagement), nécessitant toutefois des simulations plus lourdes, serait plus rigoureuse. Ce n'était pas l'objet de la présente étude, c'est pourquoi le critère choisi n'est que "forfaitaire", adapté à ce cas particulier.

### Endommagement (poteaux 8-9-10)

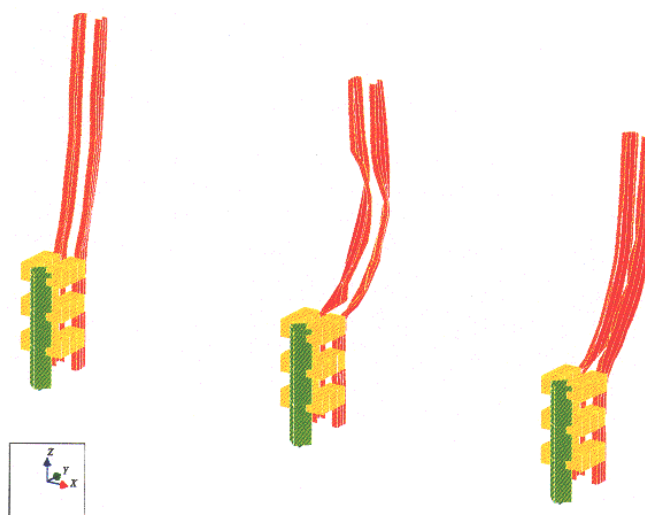


Fig. 53 - Endommagement des poteaux : Aspect des poteaux endommagés (éléments rompus visuellement présents)

<sup>9</sup> NB : des éléments situés dans d'autres parties au dessus de cette section ont également pu se rompre (voir figure 54).

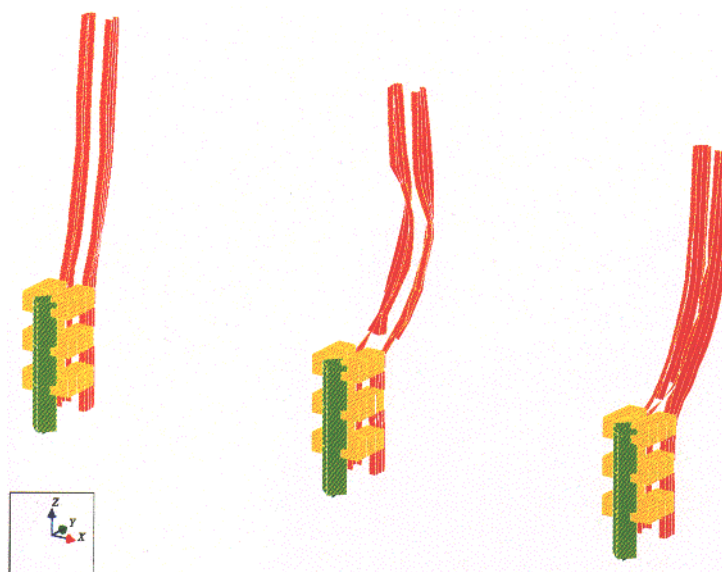


Fig. 54 - Endommagement des poteaux : Aspect des poteaux endommagés (éléments rompus enlevés)

### Conditions aux limites sur les lisses d'écran

Dans les premières simulations réalisées, les extrémités des lisses d'écran (motifs n° 1 et n° 15) ont été supposées libres. Un calcul dans des conditions extrêmes mené sur l'écran BN2 a mis en évidence un problème induit par cette hypothèse (figures 55 et 56) : les lisses d'écran sont suffisamment rigides pour que tous les poteaux se couchent dans le sens du choc. Ce problème est moins sensible pour l'écran BN4, car les 2 UAP130 associés ont un moment d'inertie Y beaucoup plus fort qu'un HEA160 ou équivalent. De plus, les lisses d'écran BN4 sont directement fixées sur les poteaux.

Par soucis de cohérence dans l'étude des deux écrans, mais surtout pour refléter d'une façon plus réaliste les ancrages d'écran ou sa simple prolongation, il a été décidé d'encaster les extrémités libres des lisses.

Les efforts de contact sont alors davantage repris par les lisses le long des 15 motifs du modèle, ce qui améliore le niveau des moments et efforts aux encastresments de la barrière. Avec des hypothèses identiques à la simulation de référence "BN4 validée", un calcul de comparaison à été réalisé (figures 57 à 60). On remarque que les conséquences de l'hypothèse discutée ici sont faibles.

### Liaisons faibles et Gravité (BN2)

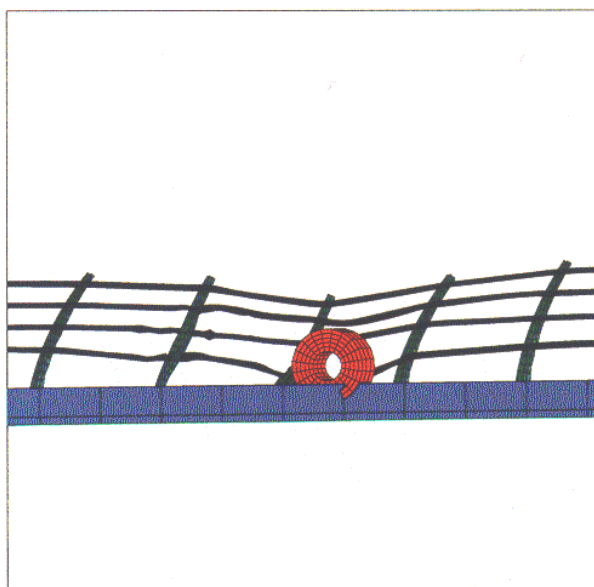


Fig. 55 - Conditions aux limites des lisses d'écran : Barrière BN2 avec gravité et liaisons faibles (vue de face)

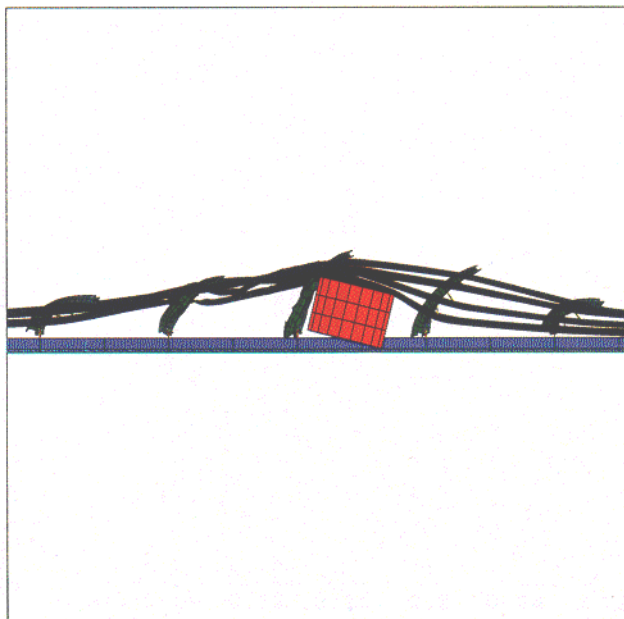


Fig. 56 - Conditions aux limites des lisses d'écran : Barrière BN2 avec gravité et liaisons faibles (vue de dessus)

## Points particuliers

### a) Rupture des lisses d'écran

Comme il a été dit au § 3, la rupture des lisses d'écran a été testée : la figure 61 montre une vue déformée de la simulation correspondante. A cet instant ( $t = 100$  ms), le colis se trouve sur le poteau n° 9. Au point d'impact initial, la lisse n° 2 est rompue, comme dans l'essai. La lisse n° 1 est très endommagée.

Le critère de rupture retenu pour cette simulation particulière est de 100% de déformation plastique. Il a été vérifié, sur cette simulation comme sur celles où la rupture des lisses d'écran n'est pas introduite, que de tels niveaux de déformation plastique sont atteints dans cette zone seulement (figures 62 et 63). La cinématique du choc n'est pas modifiée par la présence ou l'absence de rupture, le phénomène étant localisé.

### Détail poteau n° 9 avec lisse n° 2 rompue (BN4)

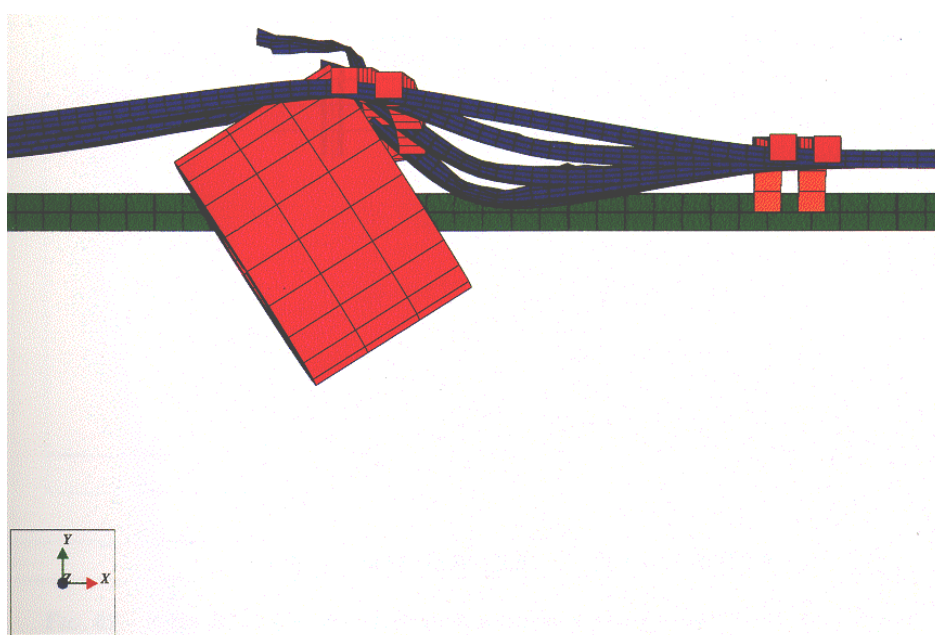


Fig. 61 - Ecran BN4 : vue déformée d'une simulation avec rupture des lisses d'écran

### Taux de déformation plastique (BN4 poteaux 8-9-10-11)

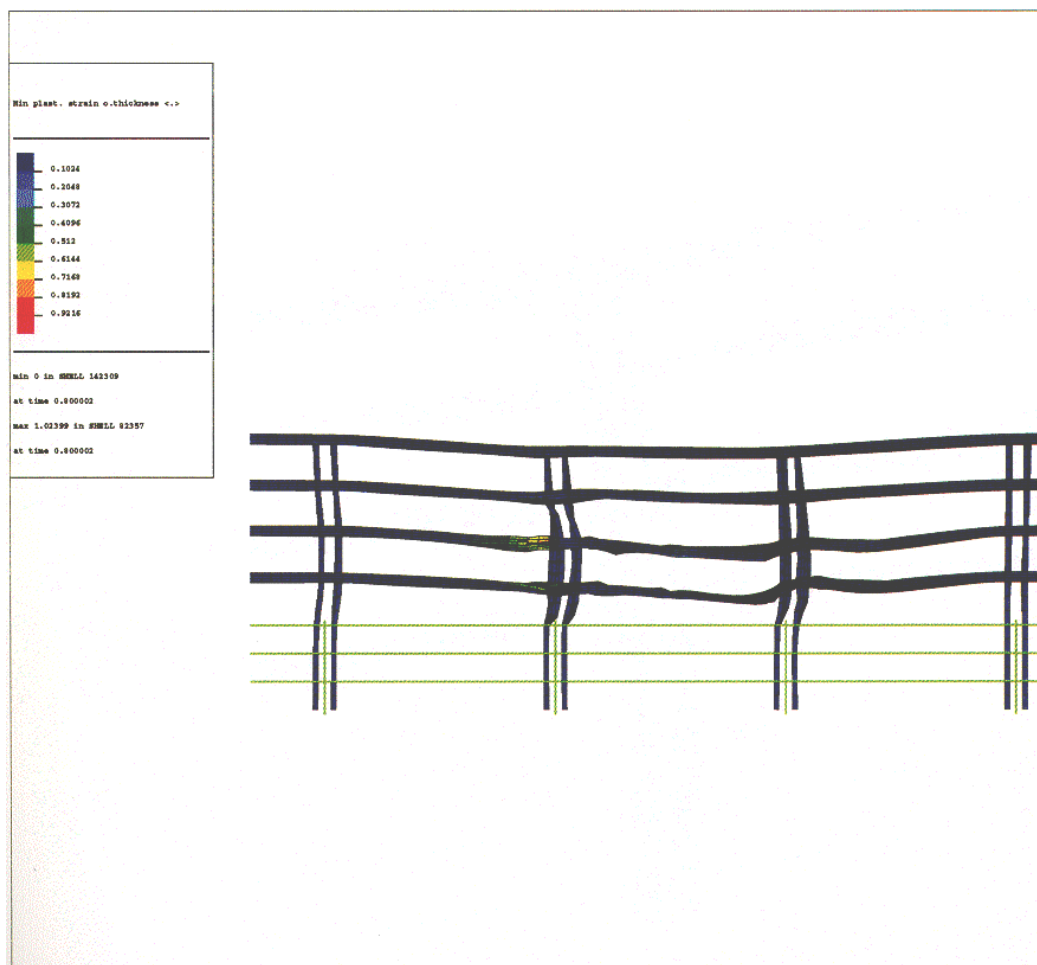


Fig. 62 - Ecran BN4: taux de déformation plastique dans les lisses d'écran (sans rupture)

### Taux de déformation plastique (BN4 détail poteau N° 9)

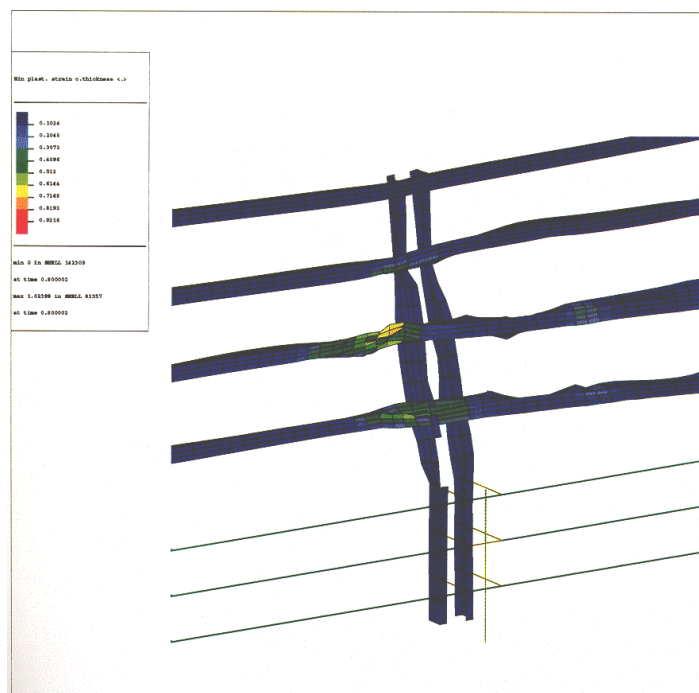


Fig. 63 - Ecran BN4 : taux de déformation plastique sur le motif n°9

## b) Gravité

Le film d'essai montre que la plate-forme du semi-remorque «porte» le colis tout au long du choc. Si ce n'est pas le cas, la gravité joue pleinement. Un calcul sur la barrière BN2 a montré comment la barrière et l'écran peuvent former un « rail » guidant le colis. La lisse d'écran inférieure peut alors s'affaisser sous le poids du colis ; celui-ci bascule alors de l'autre côté du dispositif (figures 55 et 56).

### 3.4 - Bilan de la validation

La démarche de validation a mis en évidence 3 paramètres déterminants pour cette étude :

- l'influence du coefficient de frottement de la loi de Coulomb ;
- l'endommagement dans les poteaux ;
- les conditions aux limites appliquées aux lisses d'écran ;

L'ajustement de ces paramètres est complexe au regard de la calibration des moments et efforts aux encastresments de la barrière. L'expérience acquise permet l'étude de l'écran BN2.

Le problème de l'endommagement des poteaux d'écran se prêterait à une analyse locale détaillée, plus rigoureuse mais également plus longue. Ceci est encore plus vrai pour la barrière BN2 où, comme on le verra dans le chapitre suivant, le critère forfaitaire d'endommagement des poteaux d'écran n'est pas atteint.

## 4 - Étude de la Rehausse BN2

L'expérience acquise lors de la validation de la barrière BN4 permet de faire les hypothèses suivantes pour les simulations numériques de l'écran BN2 :

- pas de gravité, la cote Z du CdG du colis est fixée ;
- le coefficient de frottement pour le contact colis-écran vaut  $f = 0,1$  ;
- les lisses d'écran sont fixées aux extrémités (motifs n° 1 et n° 15) ;
- le critère d'endommagement dans les poteaux d'écran est fixé à 14% de déformation plastique.

L'étude de l'écran BN2 a consisté à tester deux types de liaisons entre les éléments constitutifs du modèle, ainsi que trois géométries de poteau d'écran différentes, comme exposé au § 2.3.

### 4.1 - Encastresments et liaisons

Dans cette partie sont étudiés deux types de liaisons (ou encastresments), dits "fortes" et "faibles" ; le poteau d'écran a la géométrie initialement proposée par Scetauroute (inertie variable). Le tableau ci-dessous donne les résultats macroscopiques pour ces deux simulations.

	"faibles"	"fortes"
Flèche dynamique	96 cm	78 cm
Poche dynamique	14 m	11 m

#### 4.1.1 - Liaisons "faibles"

On constate que les poteaux d'écran travaillent surtout en torsion et non pas en flexion comme on le voudrait. Cela est illustré par le faible niveau des moments longitudinaux et des forces de cisaillement transverses transmis aux encastresments de la barrière (figures 64 à 67).

Dans ce cas, la cinématique est très différente :

- le temps de choc est beaucoup plus long ;
- les lisses d'écran viennent se coucher contre les poteaux (figure 68) ;
- le colis écarte les lisses n° 2 et 3 (figure 69). Le risque qu'il traverse l'écran est alors important.

Le modèle de rehausse de barrière tel que proposé initialement ne peut donc convenir.

#### 4.1.2 - Liaisons "fortes"

La cinématique est dans ce cas beaucoup plus conforme à ce qui a été observé pour l'écran BN4 (figures 70 et 71).

Toutefois, on constate que les moments et efforts aux encastremets de la barrière sont très importants (figures 72 à 75). Cela s'explique par un sur-dimensionnement de l'âme des poteaux d'écran. Les rayons de courbures des faces internes et externes, définissant le cintrage des poteaux à inertie variable, conduit à une âme de largeur 26 cm au niveau du tenant supérieur de barrière, soit un moment d'inertie X 3 fois supérieur à celui de deux UAP130 associés. (le tableau 1 donne les valeurs approchées pour les 3 géométries étudiées).

L'étude de deux autres géométries (HEA160 cintré et HEA120 équivalent cintré) a donc été menée, en retenant l'hypothèse des liaisons "fortes".

	Moment d'inertie X ( $I_x/V_x$ en $\text{cm}^3$ )
Deux UAP130	141,7
Poteau BN2 initial	442
HEA160 cintré	220
HEA120 éq. cintré	120,3

Tab. 1 - Moments d'inertie de section X (rapportées à l'axe neutre) des différents poteaux étudiés

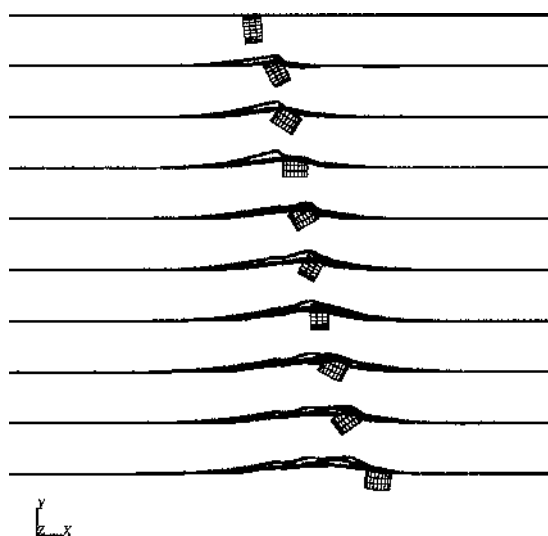


Fig. 68 - Écran BN2 avec liaisons faibles : séquence cinématique (vue de dessus)

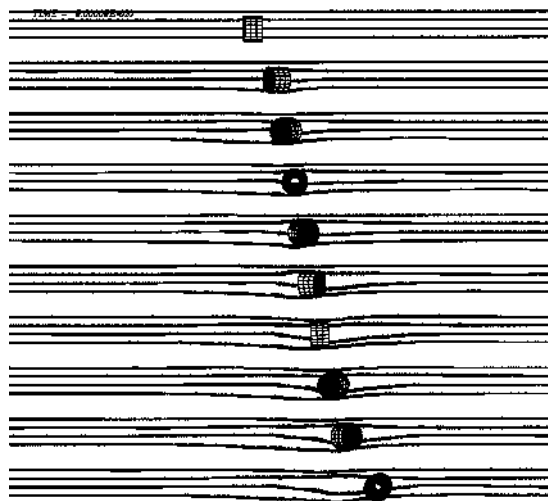
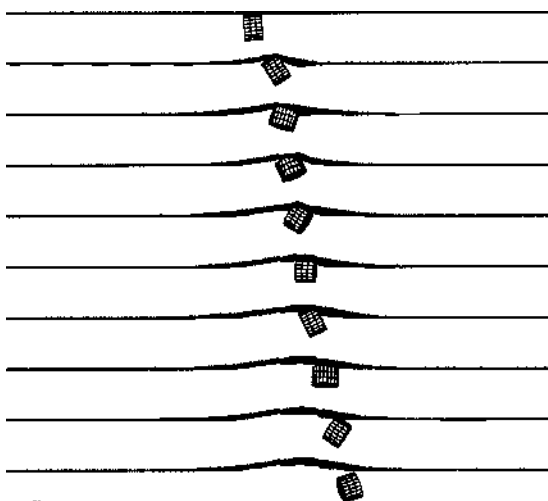



  
Fig. 69 - Écran BN2 avec liaisons faibles : séquence cinématique (vue de face)



  
Fig. 70 - Écran BN2 avec liaisons fortes: séquence cinématique (vue de dessus)

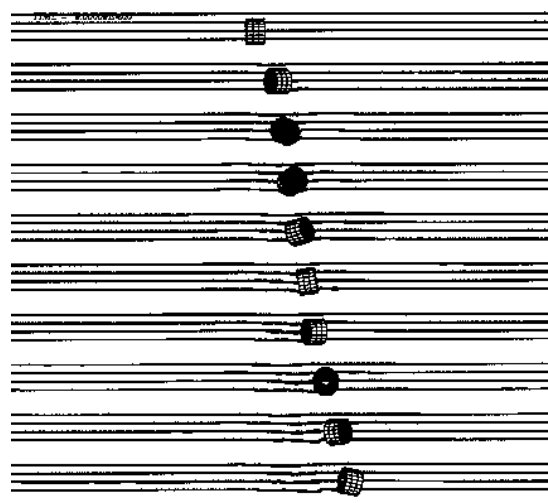


  
Fig. 71 - Écran BN2 avec liaisons fortes: séquence cinématique (vue de face)



## 4.2 - Dimensionnement des poteaux d'écran

### 4.2.1 - Poteau d'écran HEA160 cintré

Les résultats cinématiques de la simulation sont :

- flèche dynamique : 100 cm ;
- longueur de la poche dynamique : 17,5 m ;
- durée du choc : 650 ms

La cinématique (figures 76 à 82) est analogue à celle qui a été observée pour la validation de l'écran BN4. Cette solution, avec ce dimensionnement de poteaux d'écran, semble la plus conforme aux exigences imposées pour les efforts et les moments aux encastremets de la barrière, dans la limite des hypothèses sur l'endommagement des poteaux d'écran.

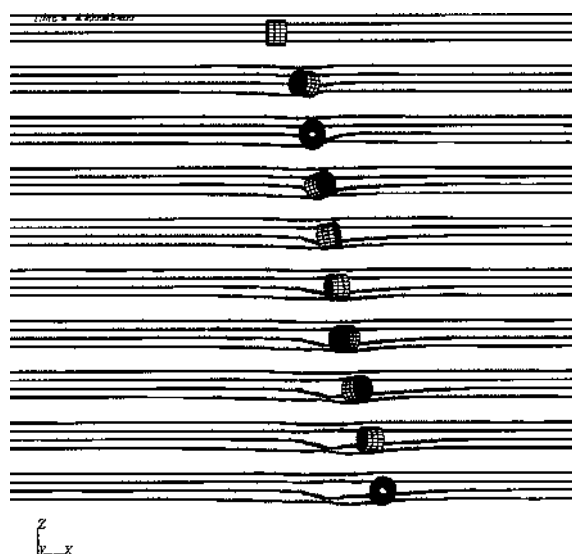


Fig. 76 - Écran BN2 (poteaux HEA 160 cintrés) : Cinématique du choc, vue de face

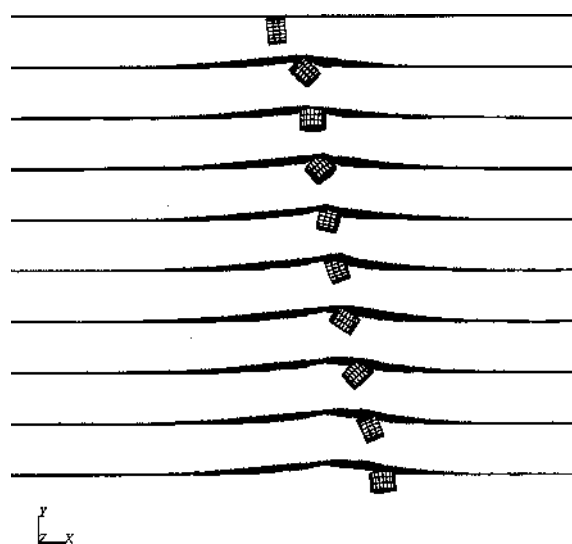


Fig. 77 - Écran BN2 (poteaux HEA160 cintrés) : Cinématique du choc, vue de dessus

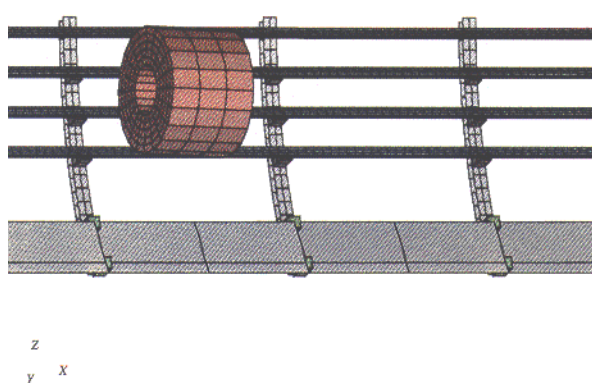


Fig. 78 - Écran BN2 (poteaux HEA160 cintrés) : cinématique du choc, vue rapprochée,  $t = 0 \text{ s}$

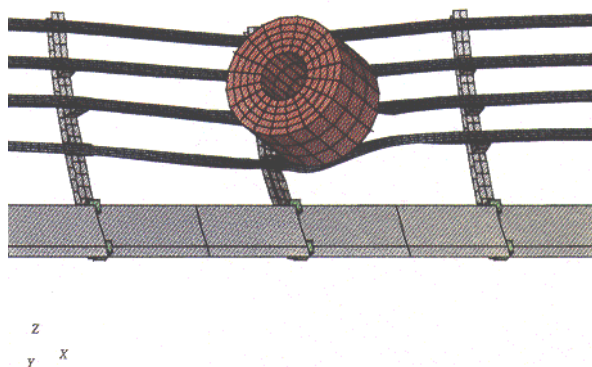


Fig.79 - Écran BN2 (Poteaux HEA160 cintrés) : cinématique du choc, vue rapprochée,  $t = 0,125 \text{ s}$

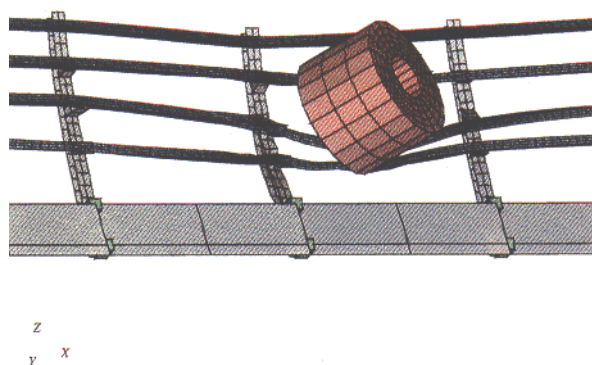


Fig. 80 - Écran BN2 (poteaux HEA160 cintrés) : cinématique du choc, vue rapprochée,  $t = 0,225 \text{ s}$

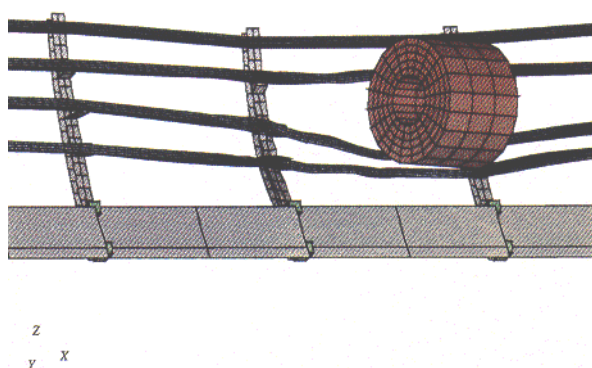


Fig. 81 - Écran BN2 (poteaux HEA160 cintrés) : cinématique du choc, vue rapprochée,  $t = 0,325 \text{ s}$

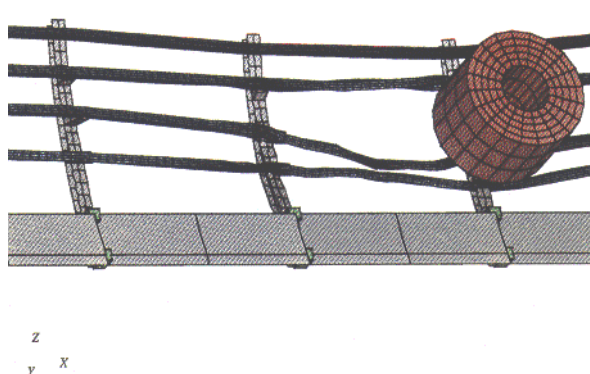


Fig. 82 - Écran BN2 (poteaux HEA 160 cintrés) : cinématique du choc, vue rapprochée,  $t = 0,425 \text{ s}$

#### 4.2.2 - Poteau d'écran HEA120 équivalent cintré

Le moment d'inertie X de ce poteau est comparable à celui de 2 UAP130. Par contre, le moment d'inertie Y est beaucoup plus faible: la résistance à la flexion autour de Y de la structure est beaucoup moins grande. Composer le poteau d'écran de deux poutres liées, comme cela est fait pour l'écran BN4, est très avantageux de ce point de vue.

La cinématique illustre la faiblesse de l'écran. La poche dynamique est beaucoup plus importante que celle des simulations précédentes : les lisses d'écran sont suffisamment rigides pour faire fléchir les poteaux n° 9 et suivants (figures 97 à 98).

On constate également que c'est le poteau n° 10, et non pas le poteau n° 9 comme dans toutes les précédentes simulations, qui encaisse l'essentiel du choc. Le plus faible niveau d'efforts et moments aux encastremets de la barrière (figures 99 à 102) s'explique par la moindre inertie des poteaux d'écran.

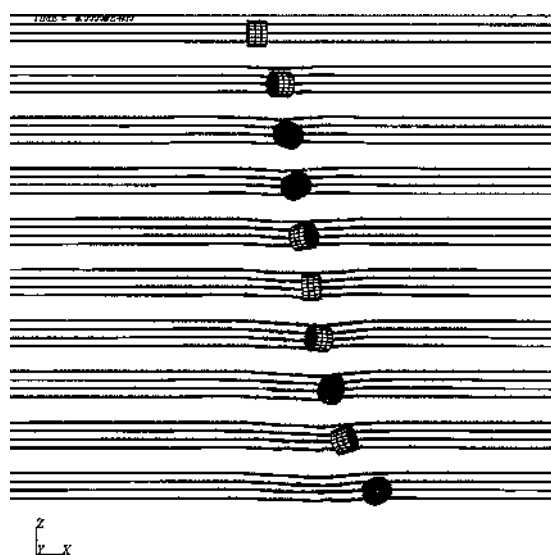


Fig. 97 - Écran BN2 (poteaux HEA120 équivalents cintrés) : cinématique du choc, vue de face

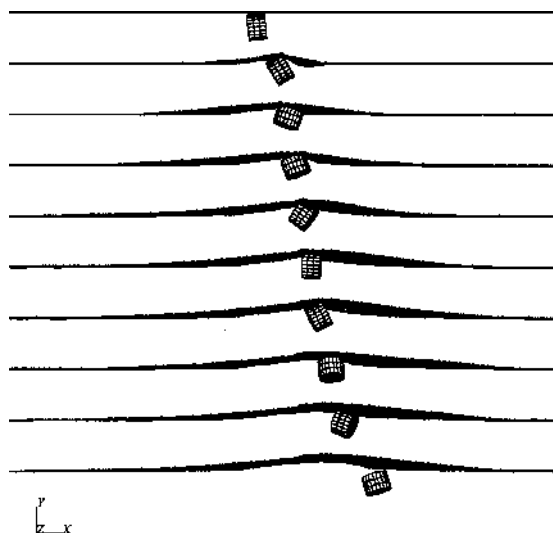


Fig. 98 - Écran BN2 (poteaux HEA120 équivalents cintrés) : cinématique du choc, vue de dessus

## 5 - Conclusion

...

Les indications et tendances pour le comportement de la rehausse de barrière BN2 peuvent être suivies :

- d'un point de vue mécanique, la nécessité de redimensionner le poteau d'écran afin de diminuer sa rigidité en flexion X au niveau du tenant supérieur de barrière. A cet égard, un HEA160 cintré semble convenir ;
- la nécessité d'assurer des liaisons fortes entre les différents éléments constitutifs de l'écran, où l'ensemble de la section des poutres utilisées participe à la rigidité ;
- la nécessité d'assurer une bonne continuité entre les lisses d'écran (elles transmettent en effet une partie non négligeable des efforts dans le sens longitudinal) ainsi qu'un bon ancrage aux extrémités de la rehausse ;
- tels qu'ils sont modélisés, les entretoises (tube de section 100x100x4 mm) et les tenants (HEA160) conviennent, mais ils sont sans doute sur-dimensionnés. Etudier un dimensionnement plus faible des tenants et des entretoises nécessiterait une analyse locale plus détaillée des déformations plastiques, de l'endommagement et des liaisons avec le poteau d'écran ;
- un bandeau vertical reliant les lisses d'écran entre elles au droit du poteau pourrait être utilisé pour se prémunir contre tout écartement trop important de celles-ci ;

Les indications et tendances pour le comportement des rehausse, dégagées de cette étude, permettra d'épargner des essais redondants ou inutiles, mais surtout coûteux.

### 3.6 La solution mise en œuvre

A l'issue de cette étude, le Maître d'œuvre associé avec son équipe d'architecte et après avoir pris l'avis du Sétra, a fait le choix de la solution définie par l'étude de simulation à savoir des poteaux HEA160 cintrés associés à des entretoises de 100x100x4 mm.

Pour les autres éléments constitutifs de l'écran les dispositions de l'écran de base sont conservées.

Les deux photos ci-après illustrent le produit finalement mis en œuvre.



### 3.7 Conclusion sur cette étude

Cette étude a constitué la première véritable expérience de la validation d'une solution technique en matière de barrières de sécurité par simulation complète et globale.

Nous y avons été poussés par des raisons économiques compte tenu du coût élevé de l'essai de base.

Les résultats ont été à la hauteur de nos espoirs et ils nous ont permis de prendre une décision d'autorisation d'emploi sans avoir besoin d'une validation par un essai de type.

Le coût de l'opération simulation s'est avéré d'un coût de l'ordre de 5 à 6 fois moins élevé que l'essai de type sur la base du devis qui avait été fait au début de l'étude. Par ailleurs, l'étude a permis de prospecter plusieurs solutions et les tester en simulation permettant ainsi de faire d'utiles comparaisons.

Enfin, la numérisation de l'essai de base permet, maintenant de disposer d'un outil utile pour la mise au point d'écrans différents de la solution de base. Les écrans seront ainsi plus facilement adaptés à l'esthétique de l'ouvrage.

Les résultats de cette étude et l'éventail des possibilités apportées par la simulation nous ont incité à faire appel à la simulation pour d'autres études. Ce fut le cas de l'étude pour la barrière Bhab qui fait l'objet du chapitre suivant.

# Chapitre 4

## Étude de la B hab

### 4.1 Généralités

Cette étude faite à l'initiative du Séra avait pour but de pouvoir disposer d'un modèle de barrière libre d'exploitation (sans droits de propriété industrielle et commerciale) dans une gamme de performance correspondant à la norme européenne EN 1317.2. Le choix du niveau H3 était rendu nécessaire par l'accroissement du volume de trafic des poids lourds et la nécessité d'assurer la sécurité tant des usagers conducteurs de ces véhicules que des tiers habitant à proximité des ouvrages.

La conception de ce modèle de barrière visait à présenter les avantages suivants :

- un élargissement de la gamme des modèles de barrières de sécurité disponibles dans ce niveau de performance ;
- une efficacité qui augmente la sécurité sur les ouvrages routiers contre la chute de poids lourds ;
- un coût concurrentiel tout à fait compatible avec le contexte du marché ;
- une large possibilité d'aménagement par des équipements complémentaires facilitant ainsi une meilleure intégration à l'aspect esthétique des ponts, éliminant ainsi les problèmes d'utilisation de barrières de sécurité agréées que l'architecte ne peut pas aménager puisque le dispositif est agréé sous une forme intangible. C'est pourquoi, comme son nom l'indique, ce modèle de barrière est conçu pour recevoir une partie "habillage" non agréée qui est laissée à l'initiative de l'architecte, sous réserve de respecter quelques règles générales.

La définition du produit a fait l'objet d'une large réflexion au sein d'un petit groupe de travail comprenant des architectes, des projeteurs d'ouvrages, des experts en matière de dispositifs de retenue et des serruriers. Une fois les principes du produit défini, l'étude du produit a fait largement appel à la simulation.

Tout d'abord pour définir la structure elle-même des composants : inertie et moments de flexion. Un programme travaillant en deux dimensions fut utilisé.

Une fois ce prédimensionnement effectué, la validation des orientations prises a été faite en réalisant un essai sur un prototype avec un choc de camion dans les conditions normalisées définies par la norme NF EN 1317-2.

Les résultats de cet essai ont été encourageants en montrant que les objectifs poursuivis étaient réalistes et du domaine possible, cependant, il est apparu qu'un certain nombre de points nécessitaient une amélioration, voire une optimisation si l'on voulait obtenir un produit valable tant techniquement qu'économiquement.

Pour cette étape, nous avons fait appel à la simulation qui nous a permis de tester différentes idées et de définir une orientation pour la composition finale du produit.

L'essai de validation a permis de confirmer que les choix ou les orientations lors de l'étude en simulation étaient corrects.

Le présent chapitre détaille les étapes de cette étude et les apports importants de la simulation.

### 4.2 Description du dispositif

La barrière est composée de supports d'entraxe 1,5m. Au début de l'étude, l'entraxe avait été proposé à 1 m mais il s'est avéré que cet entraxe poserait trop de problèmes de mise en œuvre et aurait un aspect esthétique défavorable selon les architectes.

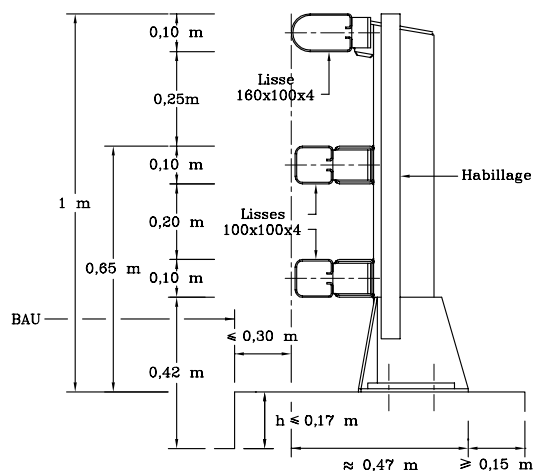
Deux types de lisses sont fixés aux supports :

- une lisse supérieure arrondie 160x100x4 ;
- une lisse inférieure 100x100x4.

Ces deux lisses sont ouvertes vers l'arrière comme pour les lisses de la BN4. Elles comportent un renforcement localisé au droit des supports afin d'éviter leur écrasement et une diminution localisée de leur inertie entraînant une perte de résistance.

Au cours de l'étude, l'ajout d'une troisième lisse de 100x100x4 en partie inférieure s'est avérée nécessaire pour pouvoir passer le test de l'essai TB 11 de la norme NF EN 1317-2 (essai dit du petit véhicule léger).

Ces éléments constituent la partie destinée à assurer la retenue des véhicules. Une autre partie est ajoutée. Elle n'est pas agréée et est destinée à assurer la sécurité des piétons, en conformité avec la norme XP P 98.405 grâce à l'apport d'un habillage permettant une meilleure intégration à l'esthétique générale de l'ouvrage, sans nuire à la fonction sécurité.



Echelle : 1/20

Coupe transversale courante de la Bhab

## 4.3 Les phases de l'étude

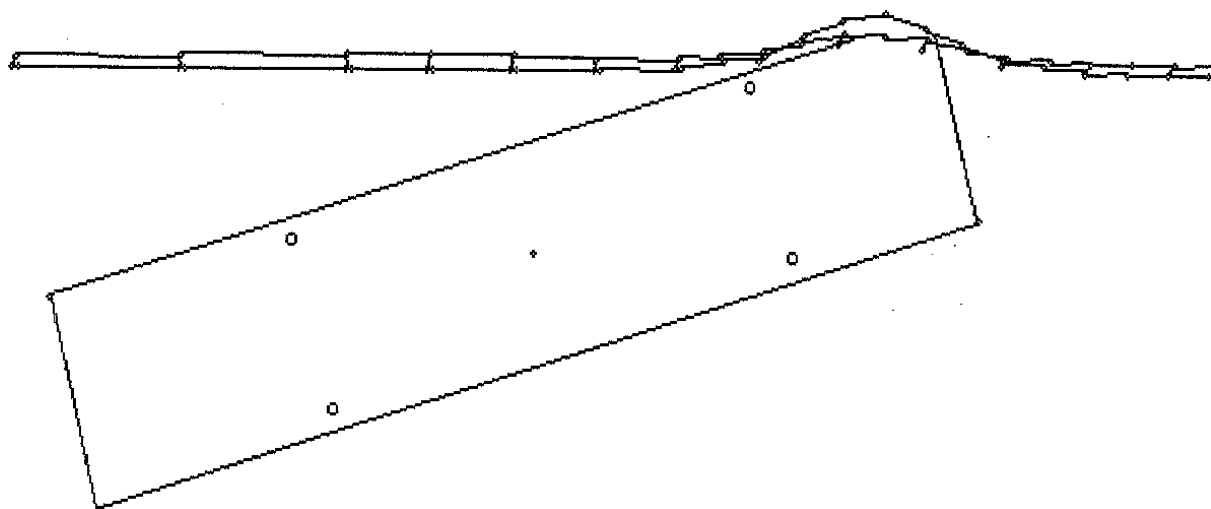
### 4.3.1 Étude de faisabilité

Cette étude a été faite à la demande du Sétra par l'Inrets en utilisant un programme basé sur un modèle mathématique Barrier VII développé par l'Université de Berkeley aux USA.

L'Inrets utilisait ce logiciel à l'époque de l'étude (1993) depuis plusieurs années et en avait une bonne expérience et en connaissait les points forts mais aussi les limites. Par ailleurs, il était associé à des logiciels utilitaires de visualisation et de transcription des données.

Le choc simulé était celui défini par la norme : véhicule de 16t à 80 km/h sous 20°. Le résultat est visible sous forme de planches montrant la trajectoire du véhicule durant l'impact (tracé toutes les 50 millisecondes) avec arrêt à 270 ms alors que le véhicule n'est plus en contact avec la barrière. La simulation du choc arrière n'a pas été effectuée pour des questions de durée de calcul (à noter que l'importance du choc arrière n'est pas négligeable).

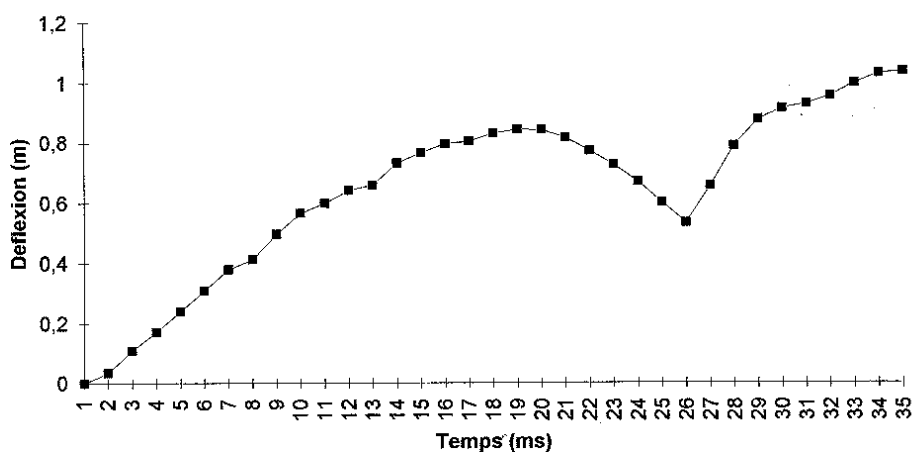




Les résultats donnent une déflexion maximum de la barrière sous l'impact avant de 66 cm à 150 ms. Il s'agit là d'un résultat satisfaisant pour envisager un comportement réel correct. En ce qui concerne la valeur des efforts maximum relevées sur les lisses, on trouve, pour la lisse supérieure, un maximum de 64 000 daN, ce qui est important mais conforme aux possibilités du produit. Par ailleurs, il faut savoir que le calcul conduit à une prédiction majorée des efforts longitudinaux transmis.

L'analyse pour un choc de petit véhicule devait être effectué mais l'analyse en est restée au niveau de l'avis expert.

**Barrière habillée - Déflexions**



### 4.3.2 Premier essai SET/BHA-01/055

Sur la base de ces résultats, un dessin du produit a été élaboré en respectant les principes définis au départ et en permettant une fabrication aisée. Un prototype a alors été fabriqué afin de subir, sur commande du Sétra, un premier test sur le site de LIER.

Les résultats de cet essai réalisé le 9.05.95 sont résumés comme suit (extraits du rapport d'essai du LIER).

Copie du rapport " Rapport d'essai Barrière habillée Sétra CTOA SET/BHLA-01/055 du LIJER"  1

#### 4. CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI

Test de la barrière habillée «B HAB» en niveau élevé de retenue H3, test d'acceptation TB61, suivant les normes européennes PrEN 1317-1 et 2 :

Vitesse théorique	80 km/h +7% -0
Angle théorique	20° ± 1,5°
Poids du véhicule	16000 kg ± 500 kg

#### 5. VEHICULE

Le véhicule utilisé pour l'essai est un camion Renault R310. Les dessins et masses sont présentés en annexe D, et photos pages 4 et 7. Les coordonnées du centre de gravité du véhicule sont dans le repère indiqué en annexe D :

$$\begin{aligned} X_g &= 3,80 \text{ m} \\ Y_g &= 0 \\ Z_g &= 1,60 \text{ m} \end{aligned}$$

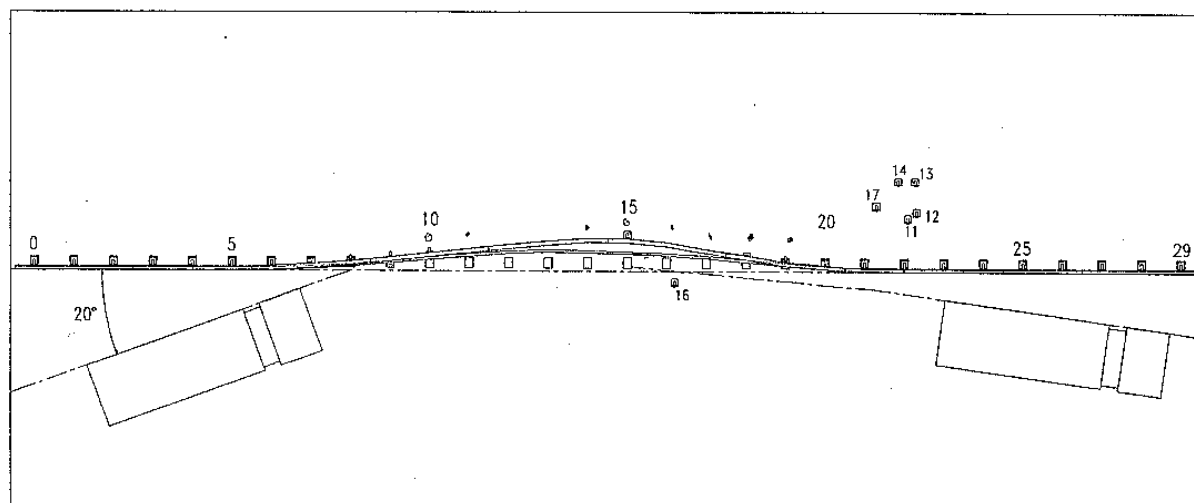
#### 6. DEROULEMENT DE L'ESSAI

L'essai a eu lieu le 28 juin 1995 à 11 h15 sur la piste d'essais de l'Inrets à SATOLAS sur la zone de choc numéro 4 (implantation essai en annexe C).

Temps chaud, sol sec.

Le véhicule radioguidé arrive sur le dispositif à une vitesse de 84,6 km/h sous un angle de 18,7°. Il percute la lisse supérieure n° 2, au niveau du support n° 8. Au passage du véhicule les supports plient (n° 8 et 9) ou sont désolidarisés des lisses (n° 10, 15, 18 et 19) ou sont éjectés (n° 11, 14, 16 et 17). Le véhicule est très vite redirigé. L'essieu arrière frappe à son tour la barrière. Le véhicule sort du dispositif en fin de lisse supérieure n° 9 sous un angle faible et finit sa course dans le lit d'arrêt en se couchant sur le côté gauche.

Trajectoire du véhicule



#### 7. RÉSULTATS

##### 7.1. Dispositif

– Il n'y a pas rupture du dispositif.

- Le choc crée une déformation dans le dispositif de longueur égale à 25,5 m de déflexions permanentes maximales :
  - lisse supérieure 0,74 m (support n° 13)
  - lisse intermédiaire 0,55 m (support n° 15)
- La hauteur maxi de la barrière après choc est : lisse supérieure 1,19 m (support n° 8)
- Les lisses sont désolidarisées des supports n° :
  - lisse supérieure 9 à 14 et 16 à 18
  - lisse intermédiaire 10 à 18
- Les pièces de raccord lisse/support soudées au support sont pliées ou/et sectionnées :
  - lisse supérieure 5 à 19
  - lisse intermédiaire 6 à 21
- Les lisses supérieures n° 1 à 7 et les lisses intermédiaires n° 2 à 5 sont déformées donc à remplacer.
- Les interfaces de liaison avec la dalle n° 7 à 20 sont plus ou moins déformés.
- Les boulons fusibles maintenant les supports n° 10 à 18 aux interfaces de liaison à la dalle d'ouvrage ont été sectionnés.
- Les supports n° 11, 12, 13, 14 et 17 sont éjectés au bas de l'ouvrage d'art. - Les bases de support n° 8 à 18 sont déformées.

#### Dégâts du dispositif



#### 7.2. Véhicule

- Le véhicule ne franchit pas le dispositif ;
- Il reste à l'intérieur de la boîte CEN ;
- Le véhicule est très endommagé.

### 8. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES MESURES

#### 8.1. Décélération maxi enregistrés dans le véhicule

Valeur en g (1 g = 9,81 m/s<sup>2</sup>). Fréquence d'échantillonnage = 10 k Hz

	DECELERATIONS	
	CHASSIS	CABINE
Décélération longitudinale CFC 60 Hz	10,8	6,1
Décélération transversale CFC 60 Hz	35,6	8,5
Décélération verticale CFC 60 Hz	20,6	23,2
Résultante CFC 60 Hz	40,9	23,5
INDICE ASI CFC 180 Hz	0,61	0,53

(Voir courbes en annexe F)

## 9. CONCLUSION

### 9.1. Fiche résumé

Type d'essai : Test de la barrière habillée «B HAB» en niveau élevé de retenue H3, essai TB61 suivant les normes européennes PrEN 1317-1 et 2.

#### Conditions initiales réelles

Vitesse	84,57 km/h
Angle d'entrée	18,7°
Masse du véhicule	15650 kg

#### Résultats

Le véhicule ne franchit pas le dispositif.

#### Résultats

Indice ASI chassis	: 0,61 à 0,090 s (valeur limite niveau A<_ 1)
Indice ASI cabine	: 0,53 à 0,123 s (valeur limite niveau A : 9 1)
Angle de sortie	: 5,5°. Le véhicule ne sort pas des limites de la boîte
Déflexion permanente maximale	: 0,74 m
Largeur de fonctionnement	: 1,21 m (Classe de déformation $W \leq 1,3$ m).

### 9.2. Commentaires

- Le comportement général de la barrière est positif, le véhicule ayant été correctement redirigé, et la barrière n'ayant pas subi de ruptures au niveau des lisses.
- Les points négatifs sont les éjections des supports, risques secondaires mais aussi absence de contrôle de la déformation des lisses, les deux lisses n'étant plus entretoisées.
- On notera par ailleurs la déformation de la pièce métallique d'interface support/ouvrage, ce qui a modifié le comportement global du support.

### 4.3.3 La simulation

A l'analyse des résultats de l'essai du premier prototype, il était évident que des améliorations étaient nécessaires. La difficulté était de faire le tri entre les différentes orientations ou options qui s'offraient à notre équipe.

C'est pourquoi, à la suite des résultats intéressants de l'étude en simulation de l'écran de retenue de chargement, nous nous sommes interrogés sur l'opportunité de faire une telle étude sur le produit Bhab.

Nous avons alors considéré que tout élément d'information, quel qu'il soit, était utile à notre réflexion et que l'analyse en simulation pouvait nous donner des orientations, même s'il était bien clair pour nous qu'il ne s'agissait pas de valider une solution technique. C'est pourquoi nous avons jugé utile de commander cette étude.

Les extraits ci-après relatent les hypothèses prises en compte, la démarche suivie et les résultats obtenus.

Copie du rapport " Simulation numérique de la collision d'un véhicule poids lourd sur une barrière de sécurité " [  3 ]

### 3. HYPOTHESES DE CALCUL

#### Maillages

Le maillage d'un élément de barrière est présenté à la figure 3.1; il comprend :

- le poteau modélisé en éléments poutres avec la représentation correcte des sections et inerties ;
- les lisses modélisées en éléments coques minces avec 11 éléments pour chaque section.

Le maillage du poids lourd est présenté à la figure 3.2 ; il est composé d'éléments coques minces et d'éléments de volumes (briques à 8 nœuds) ; la partie bleu clair de la figure 3.2 est supposée déformable alors que le reste, et en particulier toute la partie intérieure, est modélisé en corps rigide avec la position correcte du centre de gravité et introduction des inerties du camion. La déformation du camion est introduite avec une loi forfaitaire reliant la contrainte à la déformation volumique.

Le sol est modélisé avec un seul élément plaque fixe, et indéformable. Le modèle complet en position initiale est présenté sur la figure 3.3 ; un agrandissement sur le véhicule est présenté sur la figure 3.4.

#### Matériaux

La loi de matériau utilisée pour les lisses, exprimée en terme de courbe contrainte déformation (loi d'écrouissage), est présentée à la figure 3.5 ; elle correspond à celle d'un acier de type E24.

Les poteaux sont modélisés avec une loi élastique (acier) avec un module d'Young de 210 000 MPa ; l'élément de base représentant l'interface a été modélisé avec une loi spécifique calibrée à partir des résultats d'essais correspondants afin de représenter correctement la loi mesurée de variation de l'effort en fonction de la flèche, y compris la rupture de l'interface ou de l'ancrage sur la dalle.

Les résultats numériques obtenus sur la simulation locale des poteaux sont présentés sur les figures 3.6 et 3.7 respectivement pour les poteaux sur interface et les poteaux ancrés directement sur la dalle.

#### Hypothèses de calcul

La vitesse initiale du poids lourd est égale à celle de l'essai, soit 84.6 km/h.

Une loi de contact avec frottement de coulomb a été introduite entre le contour externe du véhicule et les lisses ; le coefficient de frottement utilisé est de 0.1.

Le contact entre le sol et les roues du véhicule est également pris en compte ; les lois de frottement utilisées pour les diverses variantes paramétriques sont décrites au niveau de la définition de ces variantes (§ 4 et 5).

La gravité ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) est appliquée au véhicule ; cet effort est équilibré à l'instant initial avec les efforts de contact sol/roues.

Les différentes simulations ont été effectuées avec le logiciel PAM-CRASH™ (Réf.3).

### 4. SIMULATION DE REFERENCE

La simulation du cas de référence a été effectuée sur une durée de 1 seconde.

A partir des simulations initiales, pour lesquelles l'intrusion du véhicule était beaucoup plus importante que celle mesurée ( $> 2\text{m}$  au lieu de  $1,2\text{m}$ ), le calibrage de ce modèle de référence a été effectué en agissant sur les paramètres suivants :

- la déformation du véhicule, l'inertie du véhicule ;
- et principalement le frottement des roues arrières sur le sol.

Le modèle utilisé pour le véhicule comprend effectivement les roues, mais celles-ci ne tournent pas par rapport au véhicule ; aussi le modèle de frottement à utiliser doit être directionnel, avec un faible coefficient de frottement dans

la direction du véhicule du fait de la rotation des roues, et un coefficient de friction important dans la direction normale (dérapage).

Cette friction directionnelle a été prise en compte de manière approchée en appliquant un effort latéral correspondant à un coefficient de friction de 0,75 à partir de 300 ms ; c'est effectivement à cet instant que commence le dérapage.

Cette friction directionnelle n'a pas été appliquée sur les roues avant, car l'effort qu'elles reprennent est beaucoup plus faible de par la position du centre de gravité ; elles ont de plus tendance à se mettre de travers, voire à éclater pendant la collision.

Les figures 4.1 à 4.4 présentent la cinématique de la collision entre 0 et 700 ms ; on observe d'abord le premier choc à l'avant gauche du véhicule puis le choc de l'arrière du véhicule vers 500 ms ; le véhicule commence à se renverser à partir de 300 ms dans le même sens que celui observé lors des essais.

Les figures 4.5 et 4.6 présentent l'allure de la déformée "finale" de la barrière à 800 ms ; on peut observer la rupture de 7 interfaces, et une déformation importante pour deux autres poteaux. La déformation maximale des lisses atteint 16% dans la zone d'impact.

La figure 4.7 présente l'évolution des déplacements latéraux des sommets des poteaux ; on distingue nettement les deux chocs, le premier vers 300 ms avec un déplacement max. de 1000 mm, et le deuxième vers 600 ms avec un déplacement max. de 1257 mm, puis un retour vers la flèche finale de l'ordre de 800 mm.

Les énergies de déformation des lisses, des poteaux et du véhicule sont présentées à la figure 4.8. La valeur globale de l'ordre de 800 kJ est faible comparée à l'énergie cinétique initiale du véhicule de l'ordre 4400 kJ ; la barrière n'est pas suffisante pour arrêter le véhicule, mais elle permet tout de même de le rediriger.

L'énergie de déformation dans les lisses est globalement quatre fois supérieure à l'énergie absorbée par les poteaux.

La courbe d'absorption du véhicule fait apparaître des discontinuités qui ont probablement une origine numérique et non physique ; L'énergie absorbée par le véhicule est du même ordre de grandeur que celle absorbée par la lisse inférieure ou la lisse supérieure ; le modèle déformable forfaitaire du véhicule permet d'absorber une quantité d'énergie non négligeable dans le véhicule.

La norme de l'effort de contact entre le véhicule et les lisses est présentée à la figure 4.9 ; la valeur maximale est de l'ordre de 180 000 N soit 18 tf.

L'accélération du centre de gravité du véhicule est présentée sur la figure 4.10 ; l'accélération dans la direction latérale atteint 1,6 g au début du deuxième choc vers 400 ms. Ces accélérations oscillent assez peu compte tenu de la masse et des inerties du véhicule globalement rigide.

L'accélération d'un point à l'avant de la cabine dans la partie déformable est beaucoup plus oscillante (Fig. 4.11) ; même filtrée la valeur maximale atteint 5g. L'indice ASI correspondant atteint une valeur maximale de 0.45 vers 50 ms (Fig. 4.12).

L'évolution des efforts longitudinaux dans les lisses pour 6 positions est présentée sur la figure 4.13. La valeur maximale atteint 180 000 N soit 18 tf, ce qui correspond à une contrainte moyenne de l'ordre de 100 MPa.

La figure 4.14 illustre la déformation du véhicule ; l'intrusion est certes limitée, inférieure à 200 mm, mais l'énergie absorbée est importante.

La figure 4.15 présente l'évolution des positions relatives du véhicule au cours du temps ; la figure 4.16 présente l'évolution des déformations des lisses.

## 5. SIMULATIONS PARAMETRIQUES

### LISSE SUPERIEURE 4MM

La première des variantes paramétriques consiste à diminuer l'épaisseur de la lisse supérieure à 4 mm au lieu de 5 mm ; tous les autres paramètres sont identiques à ceux de la simulation de référence.

Les résultats sont présentés sur les figures 5.1.1 à 5.1.8.

Les résultats sont très voisins de ceux de la simulation de référence ; la cinématique semble identique; les déplacements des poteaux sont comparables à quelques cm près.

L'énergie de déformation du véhicule est plus faible, l'énergie de déformation de la lisse supérieure est également plus faible, alors que l'énergie de déformation de la lisse inférieure est plus élevée.

### SUPPRESSION DE L'INTERFACE

Les interfaces utilisés lors de l'essai n'ont pas résisté ; aussi cette variante paramétrique permet d'estimer le comportement réel d'une barrière dont les poteaux sont encastrés directement sur la dalle.

Les résultats sont présentés sur les figures 5.2.1 à 5.2.8.

Comme pour la variante précédente, les résultats sont très proches des résultats de la simulation de référence. La flèche du choc initial est plus faible de 2 cm, mais la flèche liée au second choc est supérieure de quelques mm.

Les énergies de déformation des lisses sont également similaires ; les énergies de déformation du véhicule et des poteaux sont inférieures.

La déformation plastique maximale dans les lisses est légèrement supérieure (19%).

### VARIANTES ROUES ARRIERES BLOQUEES

Deux variantes complémentaires appelées "roues bloquées" ont été effectuées, l'une avec un coefficient de friction de 0,75 dans la direction du mouvement relatif des roues par rapport au sol, et l'autre avec un coefficient de friction quasi nul (roues bloquées sur verglas).

Les résultats sont présentés respectivement sur les figures 5.3.1 à 5.3.8 et 5.4.1 à 5.4.8 pour les variantes "freins bloqués" et "verglas".

On observe une augmentation modérée de la flèche lors du premier impact, mais surtout une augmentation très importante de la flèche liée au second impact, supérieure à 2700 mm pour le cas sans friction. On observe également que le véhicule n'a plus tendance à se renverser. Le renversement observé dans les variantes précédentes était probablement dû aux efforts de frottement appliqués à la base des roues qui appliquent un moment de renversement important, compte tenu de la position élevée du centre de gravité du véhicule. L'effort appliqué par les lisses sur le véhicule est insuffisant pour le renverser.

L'ensemble des énergies de déformation est fortement augmenté excepté l'énergie de déformation du véhicule sur verglas.

Le nombre de poteaux sectionnés a augmenté fortement ainsi que la longueur de la poche et la déformation plastique maximale dans les lisses.

### CAMION RIGIDE

Une variante effectuée avec un véhicule infiniment rigide (figures 5.5.1 à 5.5.8) ne modifie que faiblement la flèche maximale liée au second impact. La flèche liée par contre au premier impact est fortement augmentée (1100 mm au lieu de 1000 mm).



L'énergie de déformation des lisses est sensiblement augmentée ainsi que les déformations plastiques correspondantes. L'effort de contact est également nettement plus important.

## SYNTHESE

La synthèse des différents résultats relative au cas de référence et aux variantes paramétriques est présentée dans le tableau suivant.

calcul	réf.	var.1	var.2	var.3	var.4	var.5
titre	référence	lisse 4mm	Poteau encastré	Freins bloqués	verglas	Camion rigide
Camion déformable	oui	oui	oui	oui	oui	non
épaisseur (mm) lisse supérieure	5	4	5	5	5	5
ancrage poteau rigide	non	non	oui	non	non	non
Friction directionnelle roues arrières	oui	oui	oui	non	non	oui
friction sol/roues arrières	0.75/0.05	0.75/0.05	0.75/0.05	0.75	0.05	0.75/0.05
dmax premier choc (mm)	1000	1030	980	1070	1030	1100
numéro poteau	9	9	9	9/10	9/10	9
temps (ms)	300	300	300	330/400	300/370	300
dmax deuxième choc (mm)	1257	1238	1262	>2000	>2700	1273
numéro poteau	8	8/9	8	10	il	8/9
temps (ms)	600	600/650	580	>800	>800	620/660
Ei camion (kj)	200	170	120	>300	>110	0
Ei lisse bas (kj)	220	240	215	>300	>340	290
Ei lisse haut (kj)	240	210	260	>250	>320	280
Ei poteau (kj)	110	110	65	>170	>220	115
F contact PL/lisses (tf)	18	17	19	19	22	24
Nb poteaux sect.	7	7	8	>10	>11	8
long. poche (m)	16	16	16	>20	>23	16
rotation Rx P.L. (renversement)	oui	oui	oui	non	non	oui
Déformation plastique % lisses	16	15	19	40	40	23

## 6. ANALYSE LOCALE DE LA LIAISON LISSE SUPERIEURE POTEAU

Les essais réalisés ont mis en évidence une désolidarisation rapide de la liaison entre les poteaux et la lisse supérieure ce qui peut être dangereux car chaque poteau désolidarisé constitue un projectile qui franchit la barrière.

L'analyse locale présentée dans ce chapitre a pour but de quantifier l'amélioration de conception apportée par la géométrie modifiée et proposée par Sétra.

### 6.1. ANALYSE DE LA LIAISON DE REFERENCE

La géométrie de référence est présentée à la figure 6.1.1 ; le maillage correspondant est présenté à la figure 6.1.2.

Il comprend la pièce de liaison d'épaisseur 8mm, ainsi qu'une pièce intermédiaire d'épaisseur également 8 mm, soudée directement sur le poteau.

La liaison soudée entre les deux pièces est supposée rigide.

Les calculs ont été effectués avec deux hypothèses de chargement :

Hypothèse 1 : les trous de passage des boulons de fixation des lisses sont supposés rigides ; un déplacement imposé est appliqué sur le centre de gravité de ce corps rigide.

Hypothèse 2 : le déplacement est imposé sur le bord du trou, mais le trou est déformable.

Les résultats correspondants sont présentés sur les figures 6.1.3 à 6.1.1 6.1.1.2. Ils comprennent l'évolution des efforts en fonction du déplacement, et l'évolution des déformées avec isodéformations plastiques.

## 6.2. ANALYSE DE LA GEOMETRIE AMELIOREE

La géométrie améliorée à tester est présentée à la figure 6.2.1 ; le maillage correspondant est présenté à la figure 6.2.2.

Il comprend la pièce de liaison d'épaisseur 8 mm, ainsi qu'un tube intermédiaire d'épaisseur 5 mm, soudé directement sur le poteau.

La liaison soudée entre les deux pièces est supposée rigide.

Les calculs ont été effectués avec les deux même hypothèses de chargement décrites précédemment.

Les résultats correspondants sont présentés sur les figures 6.2.3 à 6.2.12.

## 6.3. COMPARAISON DES RESULTATS

La quantification de l'amélioration apportée par la nouvelle conception de la liaison est effectuée avec l'hypothèse de chargement N° 2 la plus réaliste.

Compte tenu des résultats, on peut définir deux niveaux d'efforts : pour le premier le niveau de plastification devient important en membrane ; pour le second il y a un risque certain de déchirure quand la plastification en membrane devient étendue. Sur ces critères, la comparaison entre les deux géométries est présentée dans le tableau ci-dessous, pour l'hypothèse de chargement n° 2.

	Géométrie référence	Géométrie améliorée
Effort de plastification membrane (tf)	7	12
Déplacement de plastification membrane (mm)	20	10
Effort de déchirure (tf)	17	31
Déplacement de déchirure (mm)	50	30

Ces résultats montrent que la géométrie améliorée est beaucoup plus rigide que la géométrie de référence ; l'effort limite qui risque d'entraîner la déchirure du support ou la désolidarisation est globalement deux fois plus élevé avec la géométrie améliorée.

## 7. CONCLUSION

....

La simulation de référence, avec prise en compte de la déformation du véhicule et d'une friction directionnelle pour les roues arrières, permet d'obtenir des résultats comparables à ceux des essais expérimentaux, du point de vue cinématique du choc (mouvement du véhicule, renversement, rupture des interfaces) et également du point de vue de la flèche de la barrière.

La prise en compte de lisses supérieures d'épaisseur 4 mm, au lieu de 5 mm ne modifient que faiblement les résultats d'ensemble.

De même, la suppression des interfaces de liaison entre la dalle et les poteaux, qui n'ont pas résistés lors de l'essai, ne modifierait que faiblement les résultats d'ensemble.

Les simulations paramétriques complémentaires réalisées avec l'hypothèse des roues arrière bloquées, voire d'une friction faible sur le sol (condition de "verglas") mettent en évidence une pénétration importante du véhicule dans la barrière, voire un franchissement de celle-ci.

L'analyse numérique locale de la liaison lisse supérieure/poteau montre que la nouvelle géométrie proposée par le Sétra améliore fortement la tenue de la liaison et devrait réduire fortement les risques de désolidarisation des poteaux au cours du choc ; l'effort global avant rupture est globalement deux fois plus élevé.

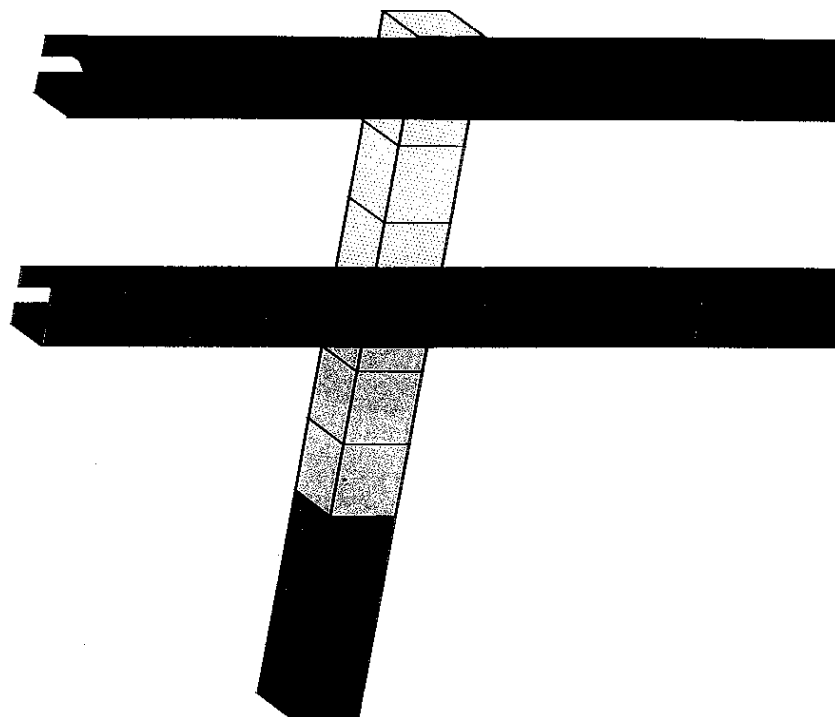


Fig 3.1 : Maillage de la barrière

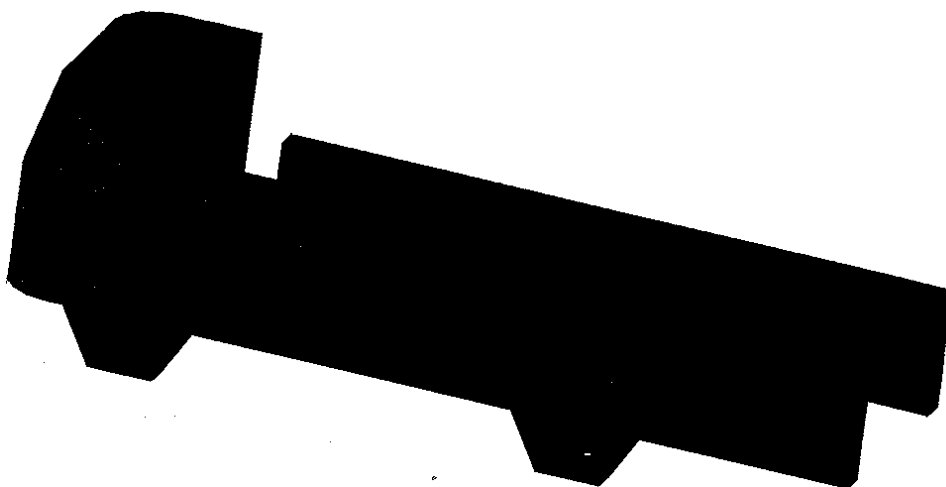
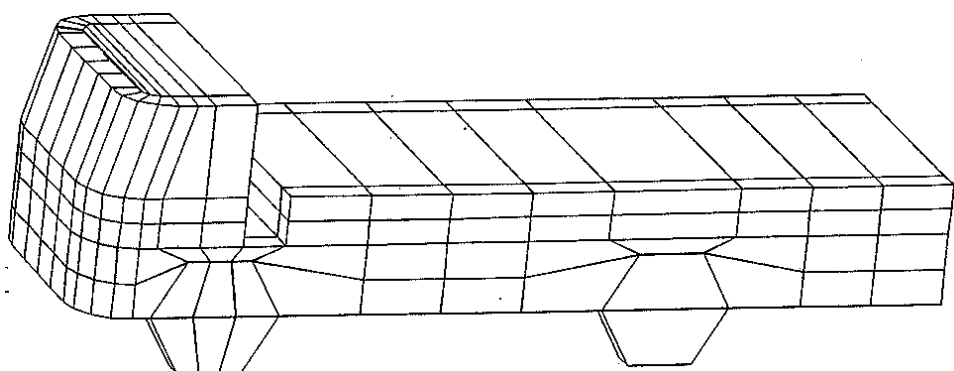


Fig 3.2 : Maillage du véhicule avec zone déformable.

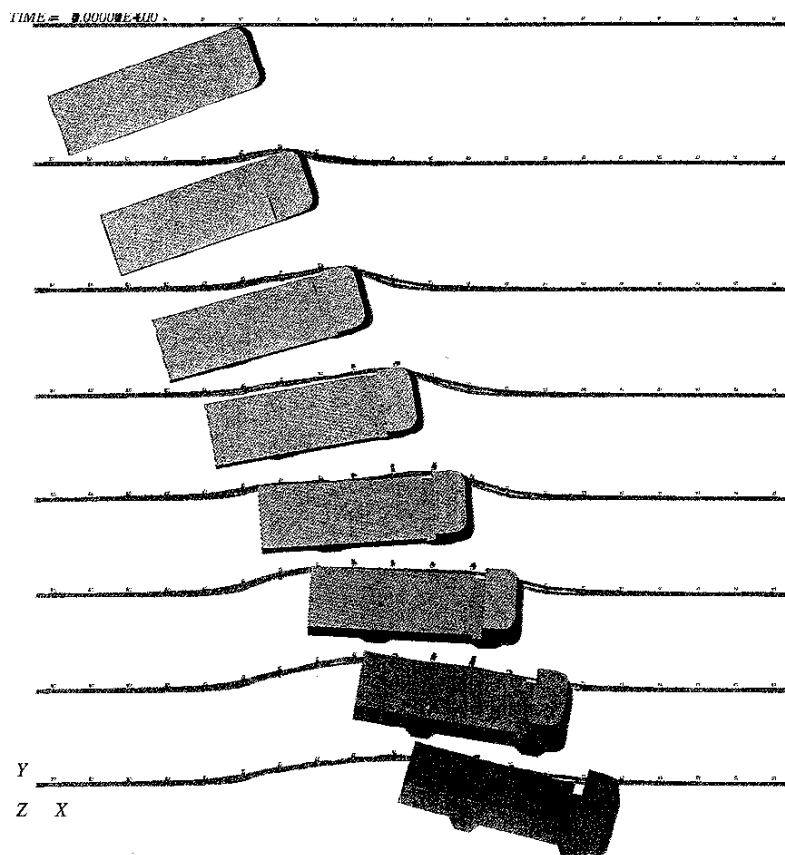


Fig 4.1 : Calcul de référence –Friction directionnelle roues arrières. Evolution des déformées – Vue de dessus  
0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

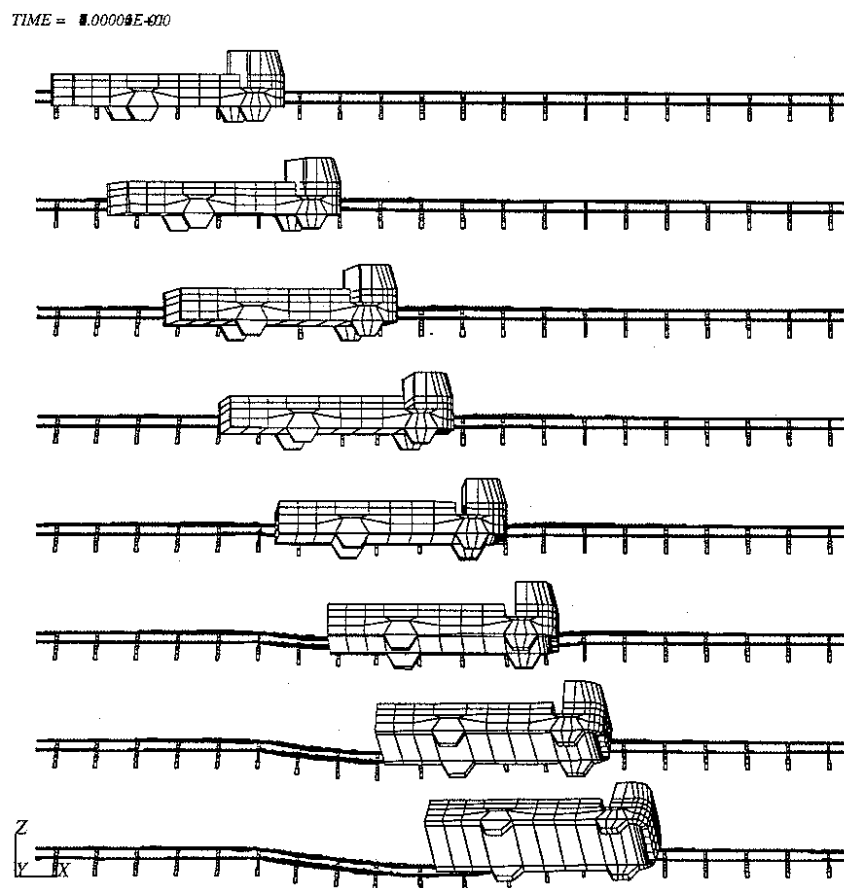


Fig 4.2 : Calcul de référence –Friction directionnelle roues arrières. Evolution des déformées  
Vue du côté route 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

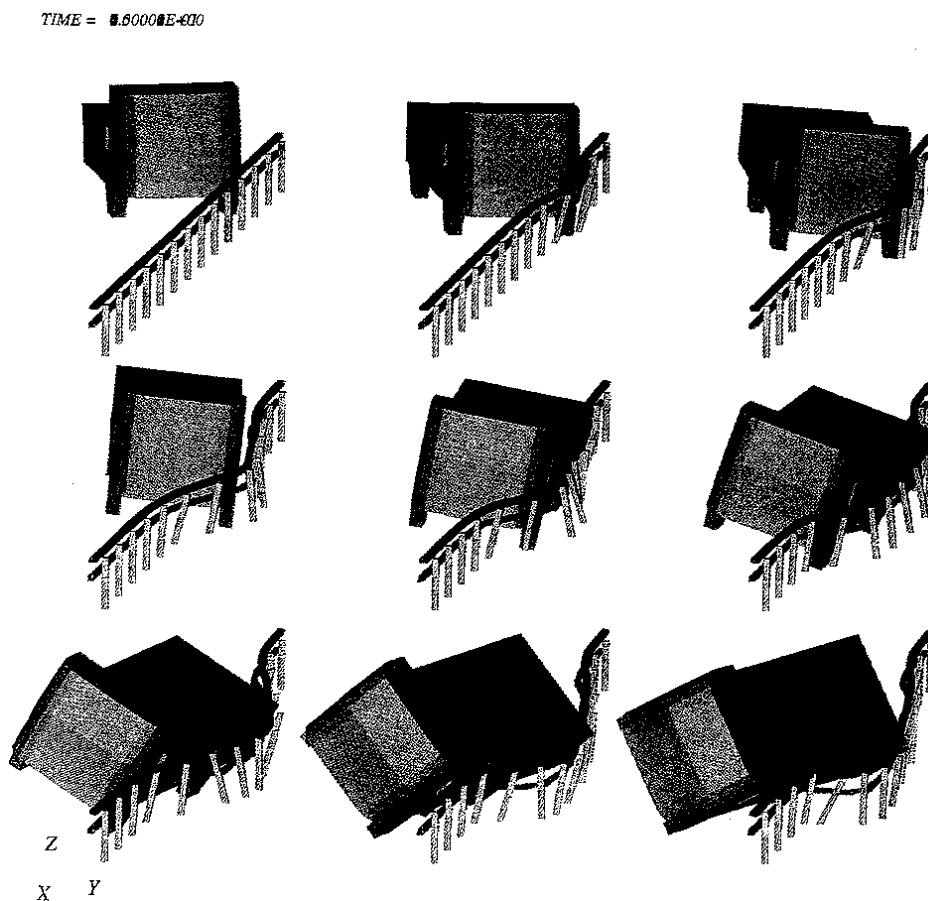


Fig 4.4 : Calcul de référence –Friction directionnelle roues arrières. Evolution des déformées  
Vue en perspective 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

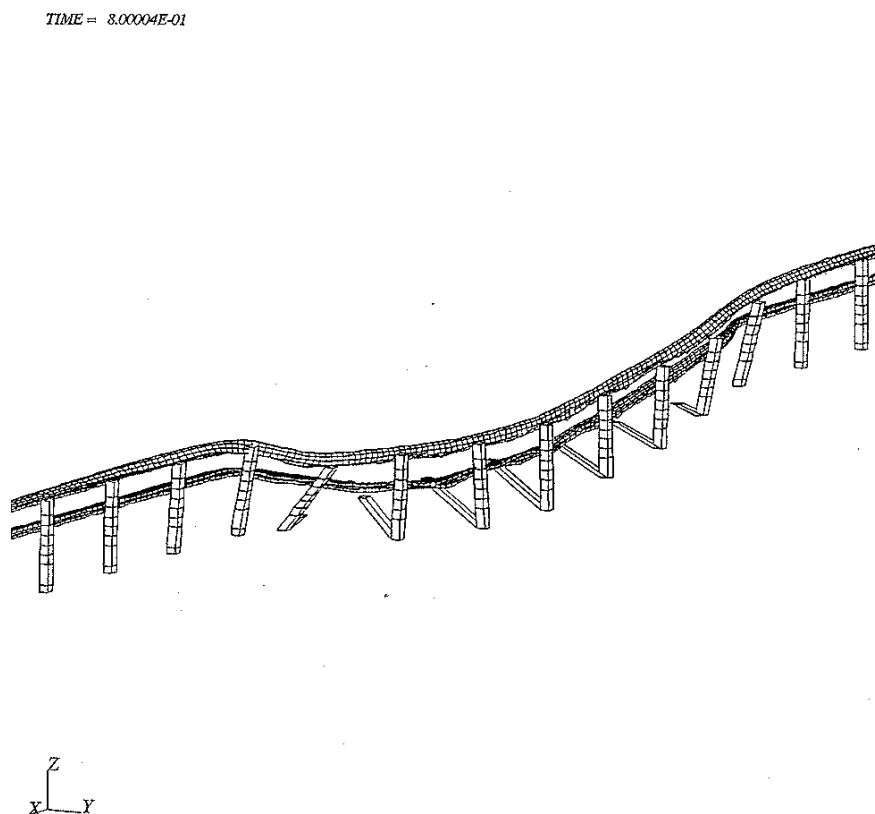


Fig 4.5 : Calcul de référence –Friction directionnelle roues arrières. Déformée finale de la barrière (800 ms)

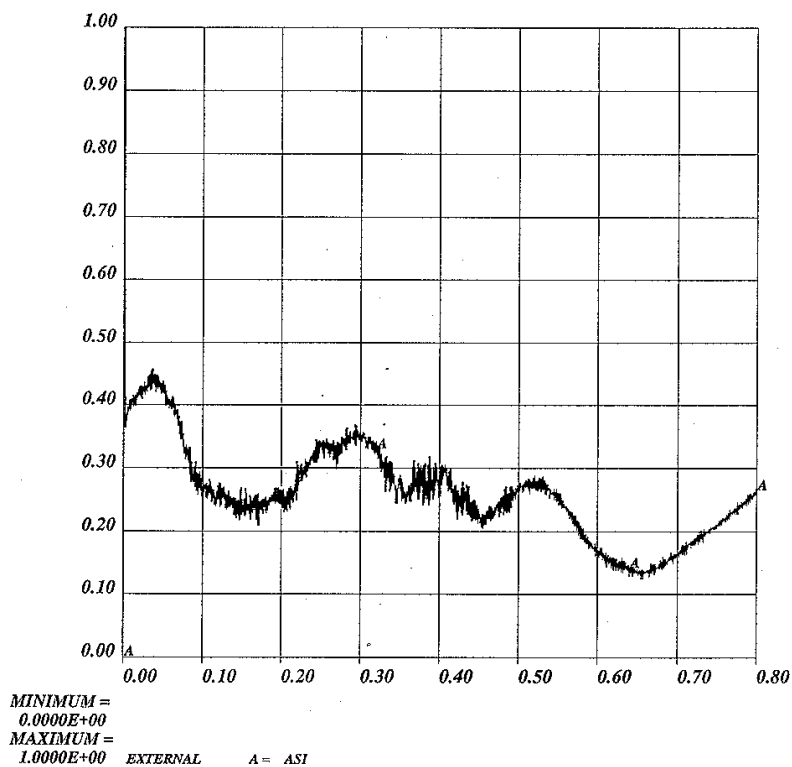


Fig 4.12 : Calcul de référence –Friction directionnelle roues arrières. Indice ASI d'un point à l'avant de la cabine (temps(s) ; indice)

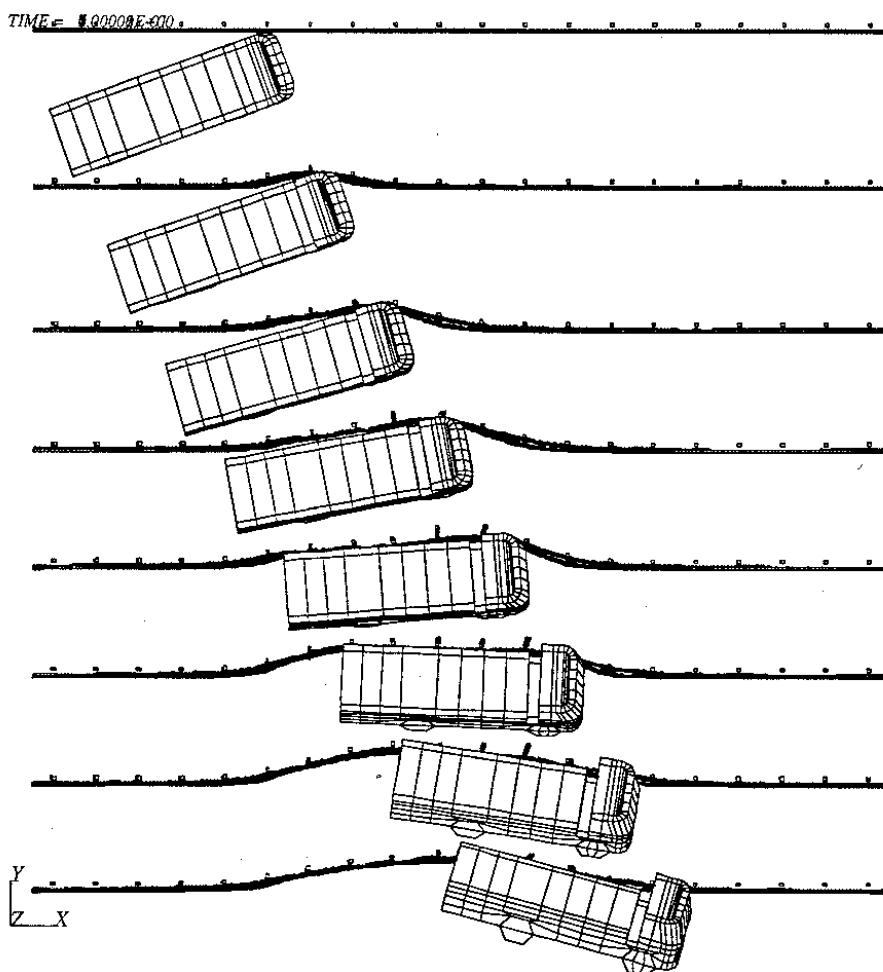
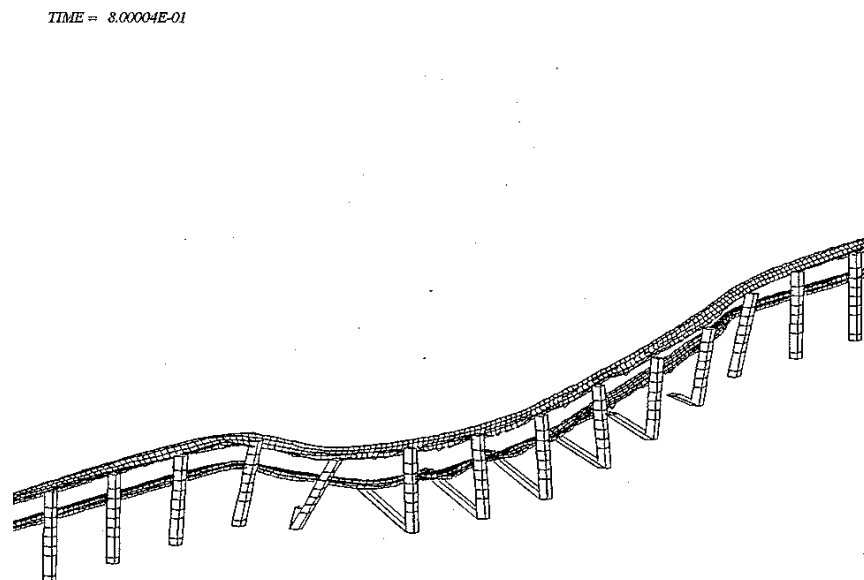
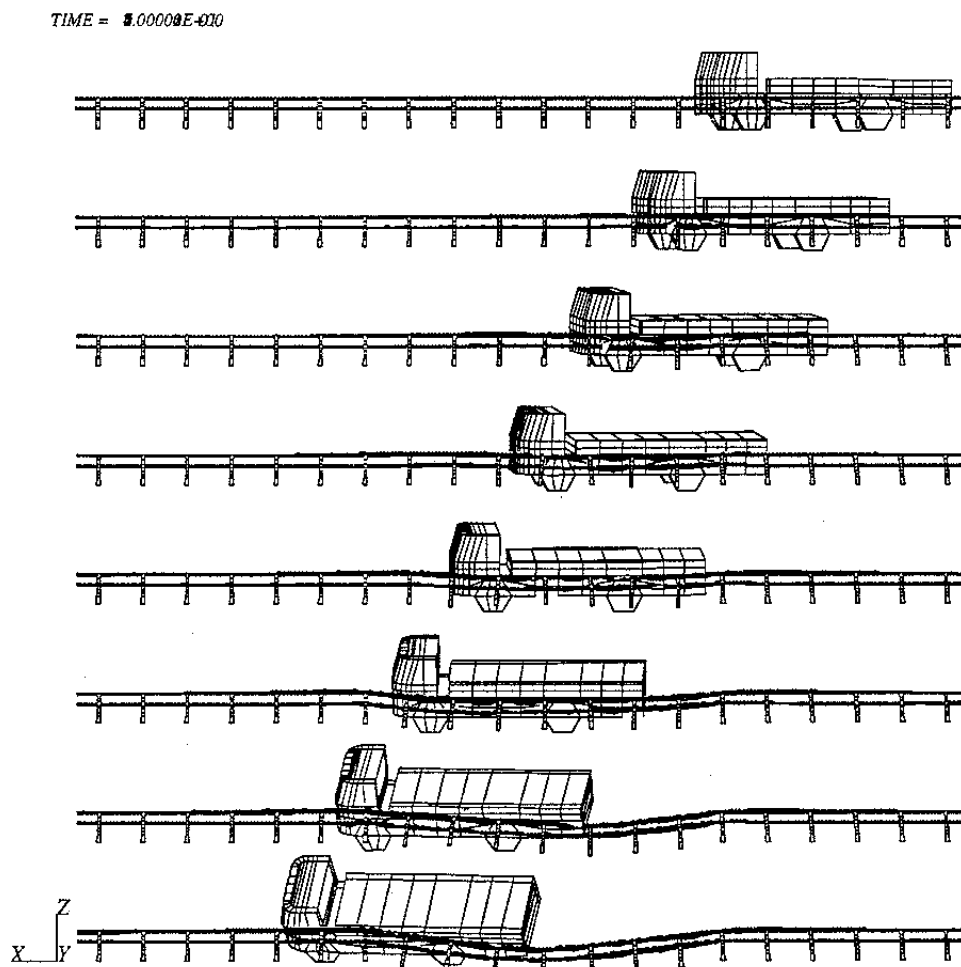


Fig 5.1.1 : Calcul variante 1 – Lisse supérieure 4 mm. Evolution des déformées – Vue de dessus  
 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms



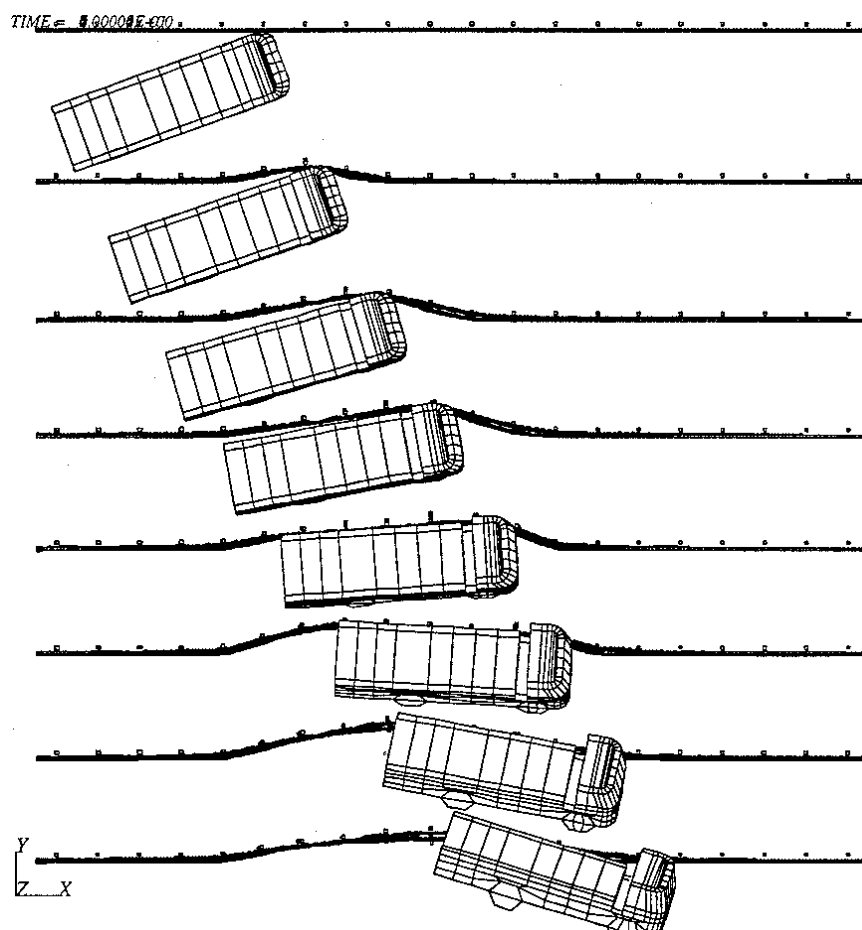


Fig 5.2.1 : Calcul variante 2 – Poteau encastré sur dalle. Evolution des déformées – Vue de dessus  
0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

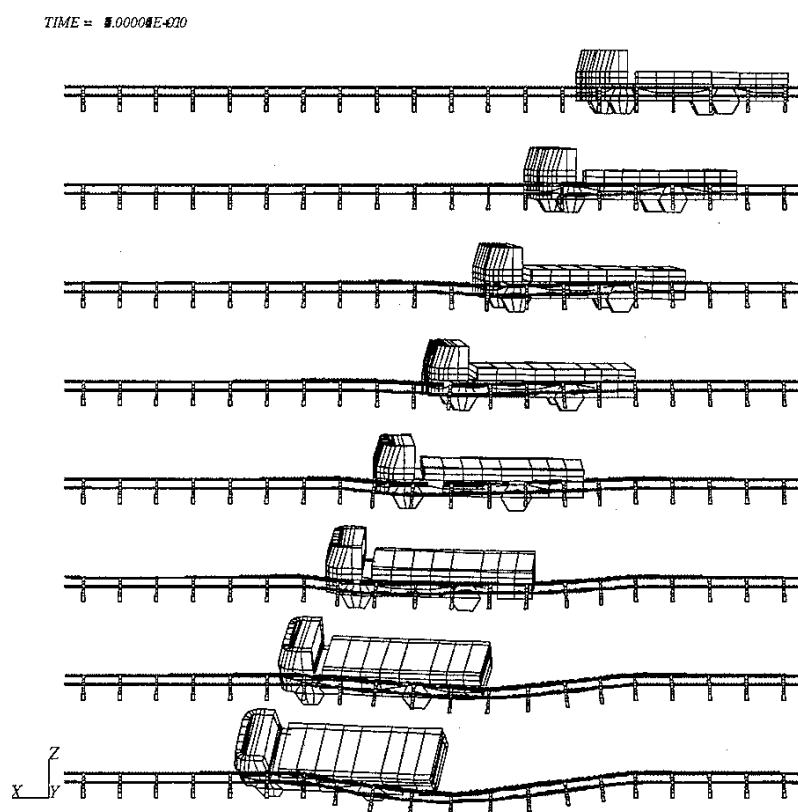
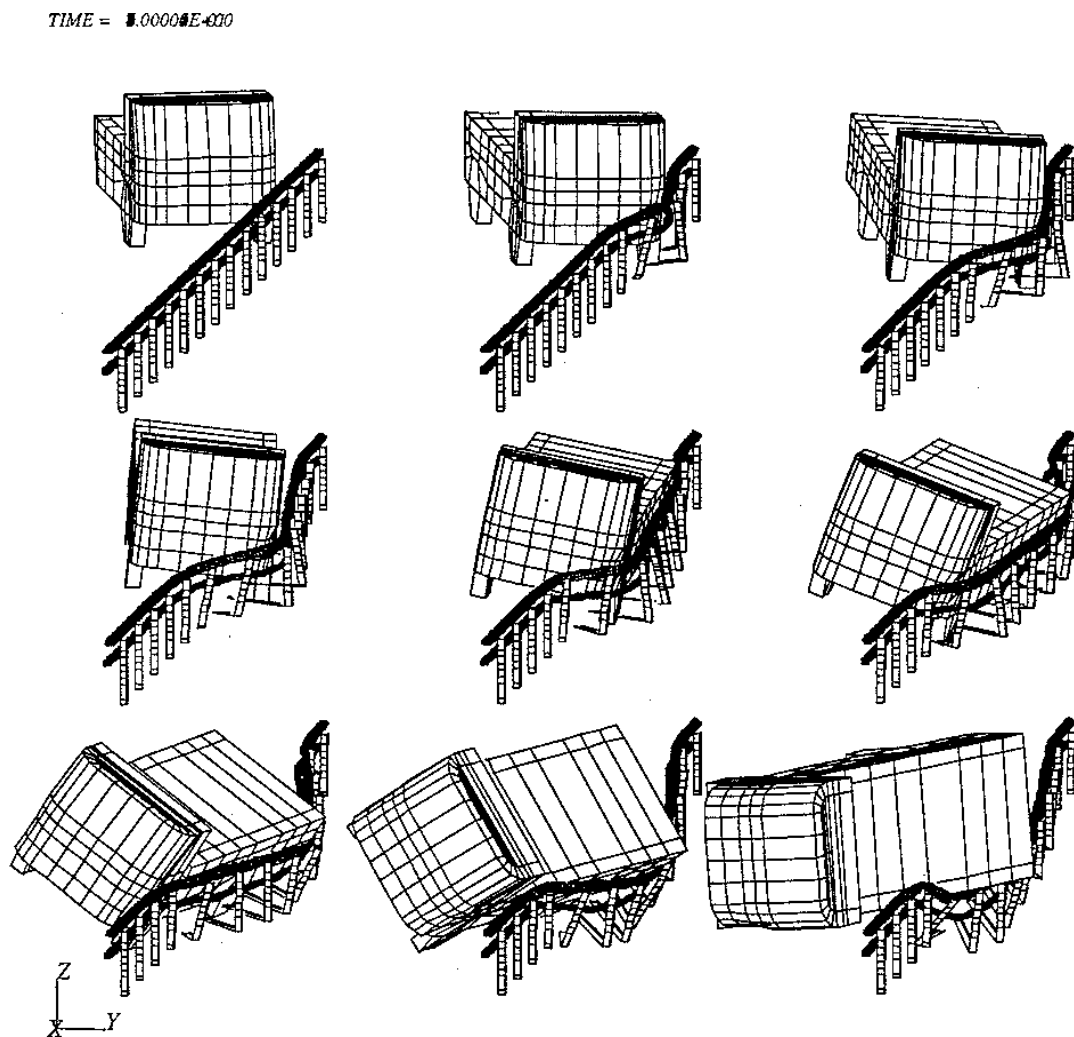
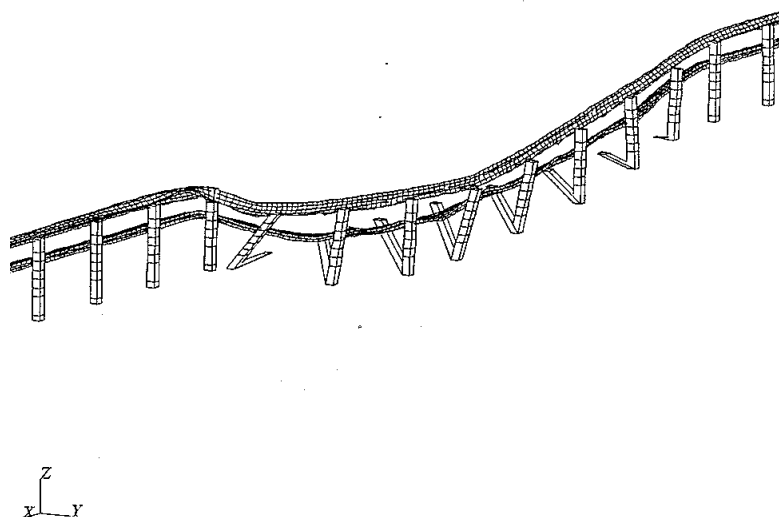


Fig 5.2.2 : Calcul variante 2 – Poteau encastré sur dalle. Evolution des déformées – Vue du côté externe  
0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms





TIME = 3.00001E-01



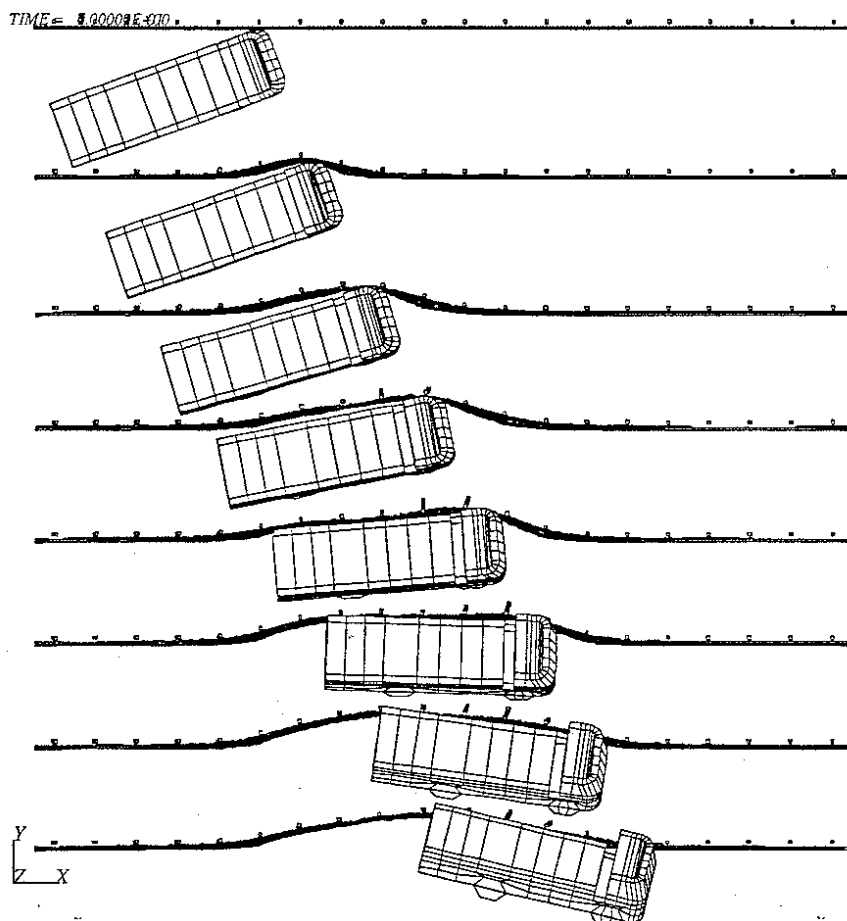


Fig 5.5.1 : Calcul variante52 – Véhicule rigide. Evolution des déformées – Vue de dessus  
0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

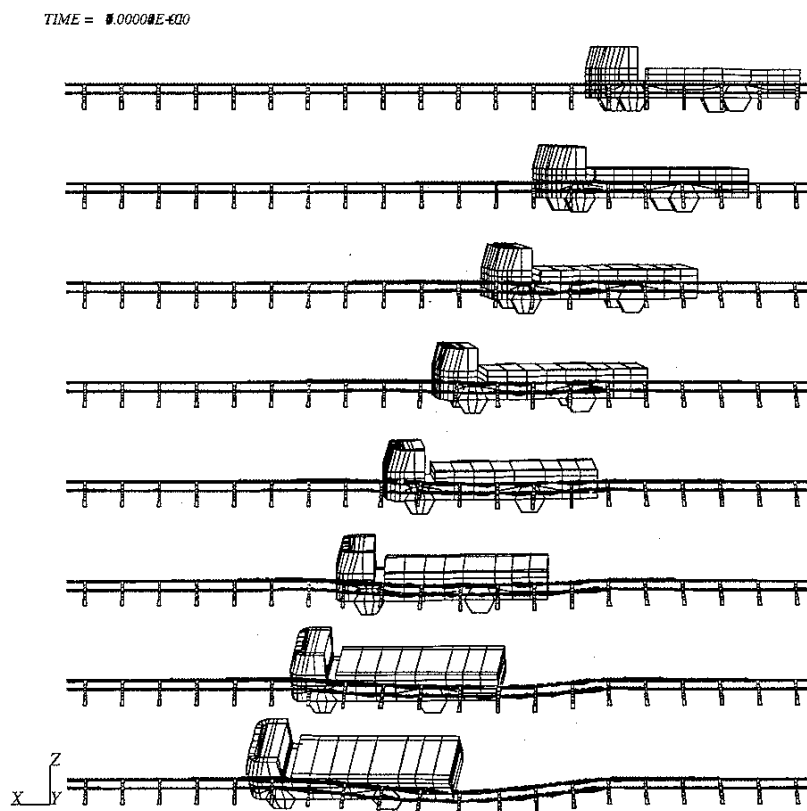


Fig 5.5.2 : Calcul variante5 – Véhicule rigide. Evolution des déformées – Vue du côté externe  
0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

TIME = 8.000000E-01

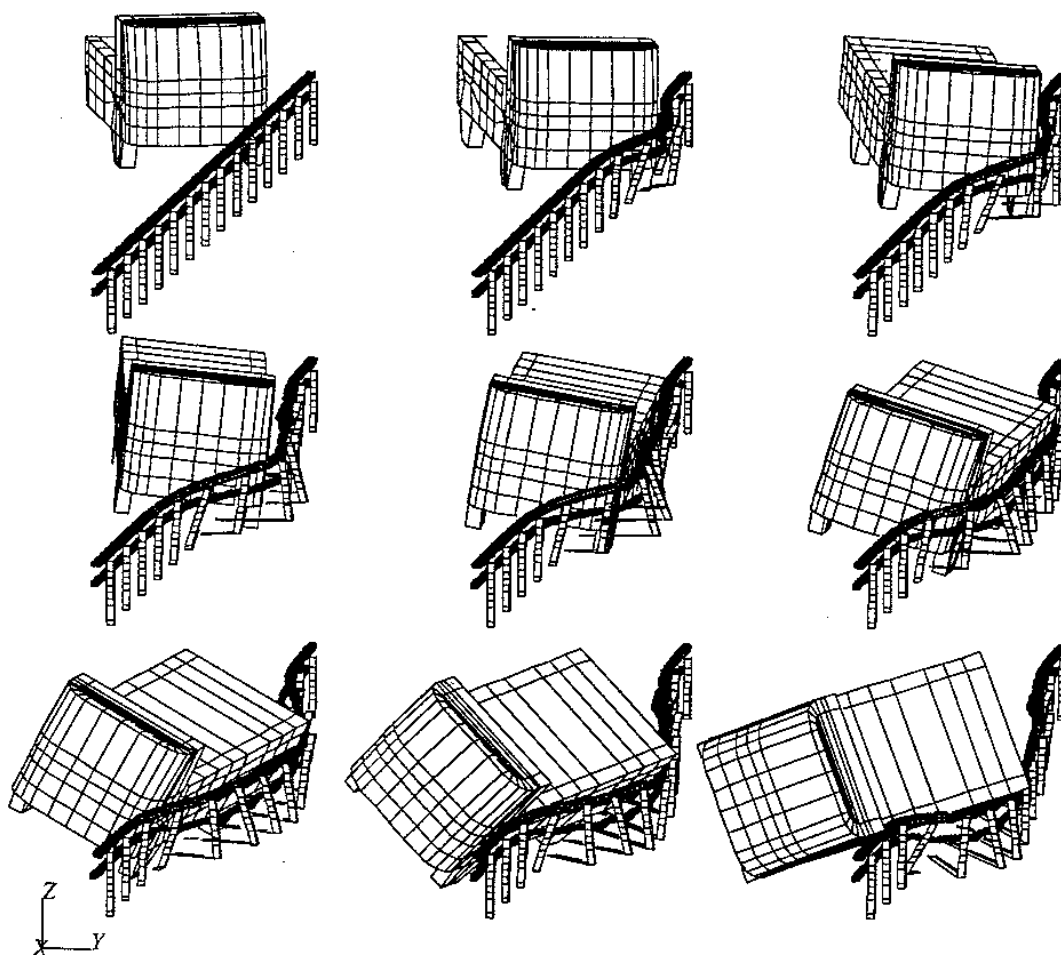


Fig 5.5.3 : Calcul variante 5 – Véhicule rigide. Evolution des déformées – Vue en perspective 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 et 700 ms

TIME = 8.000000E-01

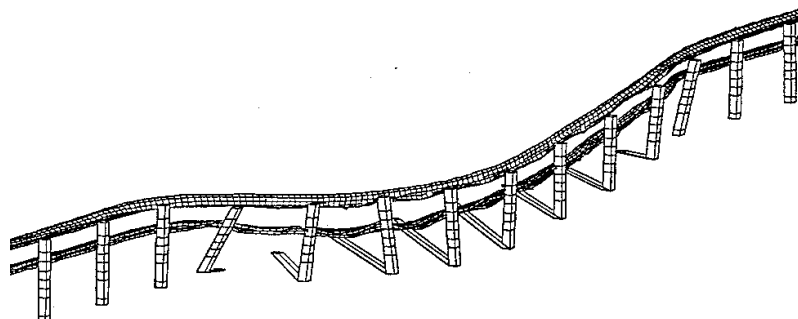


Fig 5.5.4 : Calcul variante 4 – Véhicule rigide. Déformée finale de la barrière (800 ms)

### 4.3.4 L'essai de validation SET/BHA-02/140

Copie du rapport " Rapport d'essai Barrière habillée SETRA CTOA SET/BHA-02/140 du LIER " [[LIER 2](#)]

## 4. CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI

Test de la barrière habillée «B HAB» en niveau élevé de retenue H3, test d'acceptation TB61, suivant les normes européennes PrEN 1317-1 et 2 :

Vitesse théorique	80 km/h +7%,0
Angle théorique	20° +1.5°,-1°
Poids du véhicule	16000 kg ± 500 kg

## 5. VEHICULE

Le véhicule utilisé pour l'essai est un camion DAF 2500 Turbo. Les dessins et masses sont présentés en annexe D, et photos pages 4 et 8. Les coordonnées du centre de gravité du véhicule sont dans le repère indiqué en annexe D

$X_g = 3,01$  m  $Y_g = 0$

$Z_g = -1,61$  m.

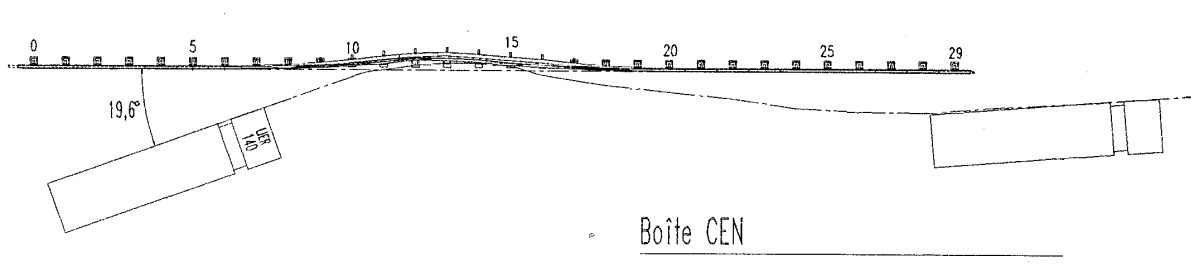
## 6. DEROULEMENT DE L'ESSAI

L'essai a eu lieu le 30 octobre 1996 à 11 h35 sur la piste d'essais de l'Inrets à SATOLAS sur la zone de choc numéro 4 (implantation essai en annexe C).

Temps ensoleillé, sol sec.

Le véhicule radioguidé arrive sur le dispositif à une vitesse de 81,7 km/h sous un angle de 19,6°. Il percute la lisse supérieure n° 2, entre les supports 10 et 11. Au passage du véhicule les vis fusibles fixant les supports à l'interface sont sectionnées (supports n° 8 à 18). Les supports désolidarisés du sol reculent, une poche se crée. Le véhicule est très vite redirigé. L'essieu arrière frappe à son tour la barrière. Le véhicule sort du dispositif au niveau du support n° 19 sous un angle d'environ 6° et finit sa course dans le lit d'arrêt.

### Trajectoire du véhicule

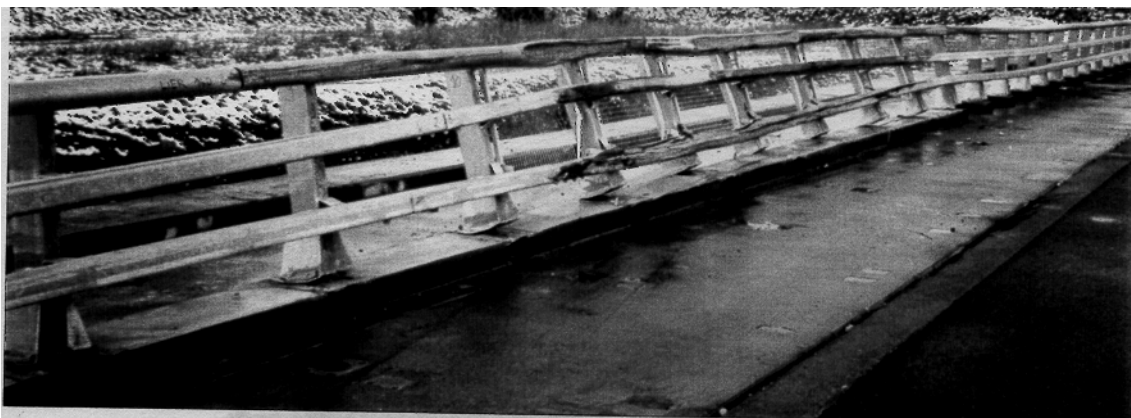


## 7. RÉSULTATS

### 7.1. Dispositif

- Il n'y a pas rupture du dispositif
- Le choc crée une déformation dans le dispositif de longueur égale à 21 m de déflexions permanentes maximales :
  - lisse supérieure 0,66 m (support n° 13)
  - lisse intermédiaire 0,53 m (support n° 13)
  - lisse inférieure 0,43 m (support n° 12)

- La hauteur maxi de la barrière après choc est : lisse supérieure 1,07 m
- Les supports n° 10 à 17 sont désolidarisées des interfaces (les 4 boulons fusibles sont sectionnés, les plats sont éjectés), pour les supports 8, 9 et 18 seuls deux boulons sont sectionnés
- Les pièces de raccord lisse/support soudées au support sont pliées ou/et sectionnées.
  - lisses intermédiaires 10 à 17
  - lisses inférieures : 9 à 15
- Les lisses supérieures n° 2 à 6, les lisses intermédiaires n° 2 à 4 et les lisses inférieures n° 1 à 3 sont déformées.
- Les bases de support n° 8 à 18 sont déformées.



*Dégâts sur le dispositif*

## 7.2 – Véhicule

- Le véhicule ne franchit pas le dispositif
- Il reste à l'intérieur de la boîte CEN
- Le véhicule est sérieusement endommagé

## 8. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES MESURES

### 8.1. Décélérations maxi enregistrées dans le véhicule

Valeur en g ( $1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$ ). Fréquence d'échantillonnage = 2 kHz

	DECELERATIONS CABINE
Décélération longitudinale CFC 60 Hz	17,4
Décélération transversale CFC 60 Hz	18,0
Décélération verticale CFC 60 Hz	16,4
Résultante CFC 60 Hz	24,0
INDICE ASI CFC 180 Hz	0,8

(Voir courbes en annexe F).

## 9. CONCLUSION

### 9.1. Fiche résumé

Type d'essai : Test de la barrière habillée «B HAB» en niveau élevé de retenue H3, essai TB61 suivant les normes européennes Pr EN 1317-1 et 2.

#### Conditions initiales réelles

- Vitesse 81,7 km/h
- Angle d'entrée 19,6°
- Masse du véhicule 16200 kg

#### Résultats

Le véhicule ne franchit pas le dispositif.

Angle de sortie : 6°. Le véhicule ne sort pas des limites de la boîte CEN.

Déflexion permanente maximale : 0,66 m

Largeur de fonctionnement : 1,13 m (Classe de déformation W4 < 1,3 m)

### 9.2. Commentaires

Bon comportement général de la barrière qui retient et redirige le véhicule d'une façon satisfaisante. Tous les critères d'acceptation sont satisfaits.

### 4.3.5 Comparaison simulation / essai

Les résultats de l'essai de validation étaient tout à fait conformes à ce qui est demandé par les spécifications de la norme NF EN 1317-2 et cela a permis de demander l'homologation du produit.

On notera que le comportement du véhicule et du produit étaient très similaires entre la simulation et l'essai de validation. On notera que la valeur de l'indice ASI tel qu'il ressortait de l'analyse numérique était, en cabine, estimé à 0,45 vers 50 ms pour 0,8 mesuré en cabine lors de l'essai, ce qui représente une distorsion importante qu'il n'a pas été possible d'analyser mais que l'on doit attribuer à l'imperfection des modèles de déformation des véhicules et/ou des dispositifs de retenue.

Dans le même ordre d'idée, la valeur de la déformée des lisses était estimée à 1000/1257 mm dans la simulation pour une valeur de 0,66 m en déformation permanente et une valeur de W de 1,13 m.

Ces légères variations montrent qu'il reste encore beaucoup à faire pour que la simulation soit représentative de la réalité des essais sur prototype.

Il faut cependant noter que l'étude en simulation avait mis en évidence l'intérêt de certaines modifications : changement de la nuance de l'acier qui passe de la nuance S232 lors du premier essai et lors de la simulation en acier de nuance E420, renforcement de la zone d'attache de la lisse supérieure sur le support, renfort des lisses, etc.

### 4.3.6 Conclusions

L'étude en simulation a constitué pour l'étude de la barrière Bhab un outil très intéressant pour nous permettre d'optimiser le produit et comparer différentes solutions techniques proposées par l'équipe en charge du projet.

Elle a permis l'économie d'au moins un essai dynamique ainsi qu'un raccourcissement des délais pour la mise au point du produit pour un coût correspondant à environ la moitié d'un essai dynamique : à ce titre, l'étude en simulation est très rentable. Il a aussi donné d'utiles informations sur les comportements des camions lors des chocs et l'importance de certains paramètres comme l'adhérence des roues sur le sol qui ne sont pas suffisamment pris en considération lors des essais de validation (pluie ou sol sec).

Un autre point à noter est que l'analyse de la simulation permet de bien faire ressortir les points faibles du dispositif et relever les zones où l'on risque d'avoir une concentration d'efforts qui pourrait, lors d'un choc réel, constituer un point faible de la barrière et donc permettre au concepteur d'y apporter les remèdes adéquats.

Enfin et surtout, nous disposons d'une base qui peut servir à toute amélioration ou recherche sur la barrière pour des applications particulières.





## Chapitre 5

# Conclusions générales

L'objet du présent rapport était double :

- montrer les étapes et les évolutions en matière d'étude en simulation ;
- constituer une synthèse de la situation des études sur ce sujet en matière de barrières de sécurité sur les ponts.

Nous espérons que ceci a bien transparu dans les documents fournis.

Nous sommes persuadés que la simulation en matière d'études des dispositifs de retenue se développera dans les prochaines années et les actions actuelles ne constituent que des étapes de pionniers. Il importe de codifier, voire normaliser, ce qui pourra être simulé et les limites de l'emploi de la solution.

Pour notre part, nous considérons que c'est un outil sans rival au stade de l'étude de mise au point mais qu'il ne doit pas être, en l'état actuel de nos connaissances, un outil de validation.

Grâce à la simulation, nous avons pu mettre au point un nouvel écran de retenue de chargement des poids lourds plus esthétique et adapté à un autre modèle de barrière que celui de la solution de base.

Toujours en utilisant des programmes de simulation, nous avons pu définir les grandes lignes d'un nouveau modèle de barrière et, ensuite, procéder à une simulation d'un essai pour pouvoir apporter les perfectionnements sur les points du produit que l'étude en simulation détectait comme à risque.

L'intérêt de la simulation est principalement économique puisque, par rapport aux essais dynamiques, les études en simulation ont permis d'économiser entre 2 et 6 fois le coût de l'essai dynamique.

Cet aspect économique est primordial mais non unique : grâce à la simulation, les durées d'études sont raccourcies même si le temps de calcul reste encore important en terme d'ordinateurs mais ils sont sans commune mesure avec notre échelle de travail pour réaliser un essai dynamique.

Toujours grâce à la simulation, on peut tester plusieurs solutions et mettre en relief les points "limites" du produit dans le but de les améliorer.

Enfin, la simulation permet de disposer de la numérisation effectuée lors de l'étude quand on voudra procéder à des modifications sur des points particuliers du produit (modification de l'espacement des supports, changement d'un mode d'exécution d'un support, changement de géométrie des lisses, etc.).

Sur ce dernier point, les normes et les instances d'homologation sont encore timides face à l'emploi de la simulation comme outil d'information et d'aide à l'avis d'expert. On ne doit pas le négliger et il importe de faire en sorte que les conditions et les limitations d'emploi de ces logiciels soient définies tant au niveau national qu'euro péen.



## Références et bibliographie

- [📖] 1] Rapport d'essai Barrière habillée Sétra CTOA SET/BHA-01/055 du LIER (sur commande Sétra)
- [📖] 2] Rapport d'essai Barrière habillée Sétra CTOA SET/BHA-02/140 du LIER (sur commande Sétra)
- [📖] 3] Simulation numérique de la collision d'un véhicule poids lourd sur une barrière de sécurité. Rapport final de décembre 1995 par ESI (Références CS 5<sup>E</sup> 1135 600 95565) (sur commande Sétra)
- [📖] 4] Analyse numérique du dispositif combiné rehausse anti-déversement anti-bruit sur BN2. Rapport technique de janvier 1996) (Références CS5E1131) (sur commande Scetauroute)
- [📖] 5] Circulaire Bhab n°98.09 du 6.01.98.
- [📖] 6] Guide GC, fascicule "Barrières pour la retenue des PL. Barrières de niveau H2 ou H3, septembre 1999. Sétra/CTOA. Référence : F9916
- [📖] 7] Rapport d'essai ONSER n° 393 57-BLE-02 du 16.03.76 (sur commande DDE de la Moselle)

## Adresses

- ESI            Engineering Systems International.  
99 Rue des Solets. SILIC 112. 94513 - RUNGIS Cédex.  
Téléphone : 01 49 78 28 00 - Télécopie : 01 46 87 72 02
- INRETS       Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité  
LCB 25, Avenue François Mitterrand 69675 - BRON Cedex  
Téléphone : 04 72 36 23 00 - Télécopie : 04 72 37 68 37
- LIER           Laboratoire d'essais Inrets Equipements de la Route.  
D29, Route de Crémieu - BP 352 - 69125 LYON SATOLAS Aéroport.  
Téléphone : 04 72 48 37 30 - Télécopie : 04 72 48 37 37
- AREA           Société des autoroutes Rhône-Alpes  
260 avenue Jean Monnet - BP48 - 69671 BRON Cedex



46 avenue  
Aristide Briand  
BP 100  
92225 Bagneux cedex  
France  
téléphone :  
33 (0)1 46 11 31 31  
télécopie :  
33 (0)1 46 11 31 69  
internet : [www.setra.  
Equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

## Note de contexte

La mise au point des dispositifs de retenue nécessite la réalisation d'essais de chocs avec des véhicules sur des prototypes à l'échelle 1. Les investissements et la difficulté de faire varier la composition du dispositif de retenue et de pouvoir appréhender l'influence de tel ou tel composant font que cette approche est coûteuse et ne permet que de lentes évolutions des produits.

Cette approche expérimentale tient à la difficulté de calculer le comportement de ces dispositifs souvent complexes sous les effets dynamiques des chocs.

Depuis quelques années, les concepteurs de ces produits ont recherché des solutions passant par des simulations de chocs à l'aide de modèles de calcul appropriés.

L'objet du présent rapport est de faire le point sur les étapes de cette démarche telle qu'elle a été abordée à l'occasion de différentes études. Il constitue un état des lieux afin de préparer le passage à l'étape suivante qui consisterait à codifier ce mode de mise au point d'un dispositif de retenue dans le cadre de la refonte de la norme EN 1317, partie 1 notamment.

### Rédacteur

Michel **Fragnet** - Sétra – téléphone : 33 (0) 1 46 11 32 13 – télécopie : 33 (0) 1 46 11 33 52  
mél : [michel.fragnet@equipement.gouv.fr](mailto:michel.fragnet@equipement.gouv.fr)

avec l'assistance de :

Jean-Pierre **Gilcart** - Sétra – téléphone : 33 (0) 1 46 11 32 15 – télécopie : 33 (0) 1 46 11 33 52  
mél : [jean-pierre.gilcart@equipement.gouv.fr](mailto:jean-pierre.gilcart@equipement.gouv.fr)

Ce rapport est consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>
- I<sup>2</sup> (réseau intranet du ministère de l'Équipement) : <http://intra.setra.i2>

**Le Sétra appartient  
au Réseau Scientifique  
et Technique  
de l'Équipement**

