

n° 2003-0025-01

juillet 2004

Dispositions à prendre pour les bandes d'arrêt d'urgence (BAU) du tunnel d'A86 ouest



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



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

Conseil Général des Ponts et Chaussées

Rapport n° 2003-0025-01

Dispositions à prendre pour les bandes d'arrêt d'urgence (BAU) du tunnel d'A86 ouest

Rapport établi par

Jean-Pierre GIBLIN, ingénieur général des ponts et chaussées

Destinataire

Le directeur des Routes

note à l'attention de

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

Monsieur le Directeur des Routes



conseil général
des Ponts
et Chaussées

La Défense, le 13 JUIL. 2004

Rapport n° 2003-0025-01

Le Vice-Président

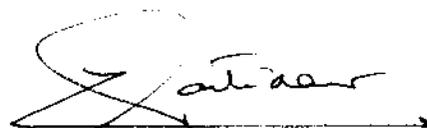
Par note du 22 janvier 2003, vous avez demandé au Conseil général des ponts et chaussées de diligenter une **mission d'expertise concernant les dispositions à prendre pour les bandes d'arrêt d'urgence (BAU) du tunnel d'A86 ouest.**

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport établi par **M. Jean-Pierre GIBLIN**, ingénieur général des ponts et chaussées.

Après une analyse des incidents dans lesquels la BAU sera utilisée et des risques correspondants, le rapport recommande l'implantation de la BAU à gauche, à proximité des escaliers de transfert, sous réserve de dispositifs et de consignes d'exploitation ad hoc.

Un retour d'expérience sur le comportement des usagers et des opérateurs devra être fait avant le passage à la deuxième phase.

Ce rapport me paraît communicable aux termes de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 modifiée, sauf objection de votre part, dans un délai de deux mois.



Claude MARTINAND

Diffusion du rapport n° 2003-0025-01

- | | |
|--|------|
| - le vice-président du CGPC | 1 ex |
| - la présidente et les présidents de section du CGPC | 6 ex |
| - les secrétaires de section du CGPC | 6 ex |
| - le coordonnateur du collège « routes » | 2 ex |
|
 | |
| - archives CGPC | 1 ex |

Sommaire

I – HISTORIQUE	4
II – CONDUITE DES TRAVAUX D’EXPERTISE	5
III –DISCUSSION ET CONCLUSIONS	6
IV – RECOMMANDATIONS FINALES	8

Annexes :

1. Lettre de mission
2. Avis du CESTR du 26 octobre 2002
3. Etude du tunnel Est de l’A86 sur simulateur dynamique de conduite
4. Rapport final COFIROUTE du 20 octobre 2003
5. Remarques de M. Claude MORET sur le rapport final COFIROUTE (23 janvier 2004)

La mission d'expertise confiée au Conseil général des ponts et chaussées (CGPC) par le directeur des routes (lettre en annexe 1) fait suite aux interrogations et recommandations du comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR), faites lors de sa séance du 09/10/2002, au sujet du positionnement de la BAU dans le tunnel Est de l'autoroute A 86 Ouest dans le sens Vélizy-Rueil.

I – HISTORIQUE

Ce tunnel de A 86 ouest a été conçu pour être exploité à 3 voies par sens sans bande d'arrêt d'urgence (BAU), réparties en 2 voies continues et une voie auxiliaire¹. Les dispositions retenues (largeur roulable de 8,72m notamment) ont fait l'objet de plusieurs documents officiels²

Dans la configuration retenue, les escaliers de transfert entre les deux niveaux du tunnel, nécessaires à la sécurité, ont été implantés sur le côté ouest de l'ouvrage, à droite dans le sens Rueil-Pont Colbert (chaussée inférieure), à gauche dans le sens inverse. A ces escaliers de transfert, sont associées des niches de sécurité dans lesquelles seront installés des postes d'appel d'urgence (PAU) dans des conditions assurant la protection de leurs utilisateurs contre les risques liés au trafic.

Le parti retenu inclut la mise en place d'un dispositif de contrôle rigoureux du trafic, basé sur une détection (par analyse d'image vidéo) de tout véhicule en difficulté, et sur une intervention rapide de neutralisation des voies (par feu rouge) jusqu'au dépannage du véhicule en cause. De plus le contrôle des flux entrants à 1700 veh/h par voie et la régulation de vitesse à 70 km/h, que l'exploitant entend faire respecter grâce à cette surveillance vidéo, permettant la mise en place d'un contrôle-sanction automatique, sont de nature à réduire très largement les risques d'accidents.

D'une manière paradoxale, le problème de sécurité lié à la position de la BAU ne se pose que parce que l'on a limité à 2 voies dans une première phase l'espace circulé dans chaque niveau en partie pour des raisons de sécurité (notamment pour éviter qu'une surcapacité n'incite les conducteurs à des vitesses trop élevées)

La décision d'exploiter le tunnel, en première phase, dans la configuration 2 fois 2 voies + BAU remonte à la décision interministérielle (DIM) du 14 avril 1995. Elle précise que « L'ouvrage est conçu pour permettre une exploitation soit avec 2 voies + BAU, soit avec deux voies + 1 voie affectée aux échanges. Cette dernière disposition permet une capacité plus grande, dont l'appréciation ne peut être faite qu'après une connaissance précise des trafics entrant et sortant de deux échangeurs successifs. En conséquence, l'ouvrage sera mis en service avec 2 voies + BAU. L'exploitation à 2 voies + 1 voie affectée, sur un ou plusieurs tronçons, sera décidée ultérieurement, en fonction des besoins du trafic ». Ces dispositions ont été reprises dans le contrat de concession de l'ouvrage.

Ni la décision, ni le rapport de la commission interministérielle n'évoquent une interrogation quelconque sur la position de cette BAU. Les schémas figurant dans le rapport de la commission montrent tous que la BAU doit servir de voie d'accélération et de décélération au(x) point(s) d'entrée intermédiaires et qu'elle se trouve située à gauche dans la chaussée supérieure (schéma p.13 du rapport de la commission).

¹En fait, les trois voies ne sont pas continues sur l'ouvrage mais sont prévues entre une entrée (ajout d'une voie) et une sortie (perte d'une voie), ce qui conduit à avoir un fonctionnement à 2 voies + voie auxiliaire

² Rapport de la commission interministérielle de sécurité de juin 1992 et la décision interministérielle (Equipement et Intérieur) du 14 avril 1995

Le CESTR, créé par la circulaire interministérielle sur la sécurité des tunnels routiers du réseau routier national du 25 août 2000 à la suite de l'accident du Mont-Blanc, a lors de sa séance du 9 octobre 2002 procédé à l'examen du dossier de sécurité du tunnel (Est) de l'autoroute A 86 ouest et a émis un avis du 26 octobre 2002 (annexe 2) contenant la recommandation suivante :

« étudier l'aménagement (signalisation horizontale et verticale, équipements à la disposition des usagers) du sens Vélizy-Rueil Malmaison, dans l'hypothèse d'une bande d'arrêt d'urgence disposée à droite et comparer les niveaux de sécurité tant en situation courante que dans le cas d'accidents ou d'incendie, pour retenir la formule la plus pertinente de positionnement de cette bande d'arrêt d'urgence ».

II – CONDUITE DES TRAVAUX D'EXPERTISE

L'expertise s'est appuyée sur un travail technique auquel ont été associés :

- M. Pierre FARRAN, ingénieur général routes MIGT 2
- M. Claude MORET, CETU
- Mme DORÉ, INRETS
- MM. BARFETY, BAUMELOU et LEGENDRE de la société COFIROUTE ainsi que des représentants des sociétés SOCATOP et INGEROP

La première réunion de travail (le 27 février 2003) a été consacrée à la méthodologie de l'analyse comparative à laquelle il convenait de procéder.

Il a été convenu de mener une analyse fonctionnelle à partir d'une typologie des incidents dans laquelle la BAU (où qu'elle soit située) devrait être utilisée. Il s'agit d'examiner dans chaque cas et de manière comparative le niveau de risque, celui-ci étant dépendant à la fois de la probabilité de l'événement et de la gravité de ses conséquences, l'un et l'autre élément étant apprécié à dire d'expert en fonction de l'expérience acquise sur d'autres ouvrages.

Les trois fonctions de la BAU ont été identifiées et analysées :

- 1 - exploitation normale
 - permettre à un usager de s'arrêter suite à un problème (panne, accident, malaise d'un passager....)
 - offrir un espace de stationnement pour les opérations de maintenance et d'entretien courant.
- 2 – accès des équipes d'intervention de l'exploitant et des services de secours
 - offrir aux services participant aux secours la possibilité d'accéder à une zone d'accident (en complément de l'accès depuis le niveau inférieur via les escaliers de transfert)
- 3 – aide à l'évacuation des usagers
 - offrir un espace de cheminement dégagé de tout véhicule pour accéder aux escaliers de transfert.

Toutefois, les caractéristiques géométriques particulières du tunnel d'A 86 ouest, sa section courante et bien sûr le positionnement de la BAU (en 1^{ère} phase) sont à l'évidence susceptibles d'influencer les réactions des conducteurs placés dans un contexte inhabituel et d'induire des comportements spécifiques notamment dans l'usage fait de cette BAU.

Aussi il est apparu nécessaire de procéder à une étude sur simulateur, elle aussi comparative (selon le positionnement de la BAU) face à différents types de situation qu'un conducteur peut rencontrer (voir annexe 3).

Le groupe s'est naturellement interrogé à ce stade sur la représentativité de la simulation, y compris dans la manière dont elle avait été conduite. En particulier le fait que les conducteurs cobayes aient été préalablement avertis de la position de la BAU (à gauche ou à droite) a été critiqué comme introduisant un « biais » dans l'expérimentation. Il a finalement été considéré que le rôle de l'exploitant serait bien d'informer les conducteurs entrant dans l'ouvrage de cette singularité et qu'au surplus les usagers réguliers (nombreux car nous sommes en zone urbaine) seraient bien informés des conditions d'exploitation.

Après débat il est apparu que cette simulation fournissait des indications utiles pour compléter l'expertise technique, certes plus qualitatives que quantitatives, permettant de mieux appréhender les comportements des usagers et pour mieux apprécier certaines situations d'exploitation.

Placer la BAU à droite pourrait avoir une incidence sur l'exploitation du tunnel en particulier sur l'aménagement de l'échangeur avec A 13. Il a donc été convenu d'examiner les conséquences d'un tel choix sur le génie civil de l'ouvrage.

L'ensemble des travaux réalisés sous notre direction par COFIROUTE (analyse des risques, simulation, impact éventuel sur le génie civil) ont été présentés et discutés lors de deux réunions de travail (les 2 juin et 10 juillet 2003).

COFIROUTE a réalisé un document de synthèse intitulé « rapport final » en date du 20/10/2003 (annexe 4) qui récapitule les travaux réalisés et les conclusions qu'en tire le concessionnaire. Il convient de souligner que ce document, s'il rend compte globalement de manière objective des travaux conduits, ne constitue pas cependant l'expression et le point de vue des personnes qui ont contribué à cette expertise dans le cadre du groupe de travail ad'hoc précité. Le CETU sous la plume de M. C.MORET a d'ailleurs fait à ma demande une note (annexe 5) consignait ses remarques sur ce rapport (en date du 23/01/2004).

III – DISCUSSION ET CONCLUSIONS

1 – Dans les situations auxquelles exploitants et usagers auront à faire face, on doit distinguer d'une part des cas rares, mais avec des enjeux de risques élevés, et d'autre part des cas plus courants, où l'enjeu est plus limité (voir à ce sujet annexe 4 – tableau p 18).

1.1 Les situations rares ou exceptionnelles sont celles qui nécessitent l'accès de secours et éventuellement l'évacuation des usagers (cas des incendies notamment). Il apparaît alors qu'une BAU à gauche, à proximité des escaliers de transfert, est plus favorable, car susceptible d'améliorer la rapidité des opérations (qui est un facteur très important en termes de sécurité des usagers) et la sécurité des interventions, l'escalier de transfert débouchant sur la BAU et non sur une voie circulée. On notera au surplus que la position des dispositifs d'évacuation à gauche du sens de circulation est courante dans les tunnels (quasi-systématique dans les ouvrages bi-tubes et pour un des sens de circulation dans les ouvrages monotubes) mais avec une BAU située à droite lorsqu'elle existe.

1.2 les situations courantes regroupent les cas d'arrêt (pour panne notamment) d'un véhicule isolé, où le risque doit prendre en compte le comportement du conducteur et des passagers après l'arrêt : on se trouve alors à devoir arbitrer entre deux natures de risques :

- dans le cas d'une BAU à gauche, le risque d'un arrêt à droite résultant du comportement réflexe des usagers en cas de problème (c'est là où se trouve en règle générale la BAU, à proximité de la «voie lente»). Un arrêt à droite pourrait entraîner une traversée des conducteurs vers les postes d'appel d'urgence avec le risque d'être renversé. La simulation a montré que ce cas n'était pas rare. Il faut, toutefois, considérer que pour des usagers réguliers un processus d'apprentissage pourra intervenir réduisant les risques de fausse manœuvre, mais il convient cependant de noter que les usagers «pendulaires» devront faire face à l'alternance des positions de BAU, ce qui joue dans l'autre sens.

- lorsque la BAU est à droite le risque de fauchage des automobilistes en détresse soit à la descente du véhicule côté trafic, soit du fait de l'absence de protection des postes d'appel d'urgence (sauf à créer des niches supplémentaires, doublant celles actuellement prévues à côté des escaliers de transfert, pour les abriter) ou celui de traversée de la chaussée, si l'on devait en rester à l'implantation actuelle des postes d'appel d'urgence (PAU) dans les escaliers de transfert. Mais la présence de boutons poussoirs d'appel d'urgence à droite réduira la tentation des usagers immobilisés de traverser la chaussée, le réflexe le plus courant étant après avoir prévenu l'exploitant d'attendre les secours dans les véhicules (cela pourrait être une consigne donnée aux utilisateurs du tunnel)

La pondération entre ces risques antagonistes doit être opérée en tenant compte des conditions très particulières de l'exploitation de cet ouvrage :

- vitesse limitée à 70 km/h, étroitement surveillée et contrôlée
- homogénéité du trafic (véhicules légers seulement)
- dispositif de détection automatique des incidents (DAI) et possibilité de neutraliser très rapidement les files de circulation par signalisation lumineuse.

En outre la simulation a fait apparaître que le positionnement de la BAU à gauche améliorerait la répartition des usagers sur les 2 voies de circulation, diminuait légèrement les vitesses maximales et surtout le différentiel de vitesse entre les deux files, au prix il est vrai, d'une augmentation elle aussi légère de la vitesse moyenne. D'une certaine manière, la différence entre voie lente et voie rapide s'estompe, ce qui est globalement un facteur d'amélioration de la sécurité.

Au total, on peut raisonnablement penser que pour autant que les modalités d'exploitation du tunnel soient bien respectées, nous aurons un ouvrage peu accidentogène, qu'il s'agisse d'accident primaire ou secondaire.

En conclusion, la position à gauche de la BAU apparaît préférable en cas de sinistre grave (donc exceptionnel) et ferait courir moins de risques aux usagers en difficulté dans le cas de panne ou d'accident mineurs à la condition expresse que les dispositifs et consignes d'exploitation permettent de faire face très rapidement au problème d'un véhicule arrêté à droite (neutralisation de la file), ce qui risque de se produire régulièrement au moins dans les premiers mois d'exploitation.

Si comme on doit l'espérer la position à gauche de la BAU se trouve validée par l'expérience, le passage à l'exploitation 2 voies + 1 voie affectée aux échanges se fera avec un minimum de modification (marquage de la chaussée) et avec aucun problème d'adaptation pour l'utilisateur (ce qui ne serait évidemment pas le cas si l'on choisissait de placer la BAU à droite).

Position de la BAU et accès intermédiaires

Au droit de l'échangeur avec A 13 et du diffuseur éventuel sur la RN 10, il faut rappeler que les bretelles d'entrée et de sortie de la chaussée supérieure seront localisées à gauche, la BAU servant alors au droit de ces points d'échange de voie auxiliaire (décélération ou accélération).

Il a d'abord été vérifié que la géométrie de l'ouvrage permettait d'assurer convenablement les échanges dans le cas où la BAU serait à droite, la BAU se transformant alors de manière progressive en voie de circulation pour conserver une capacité de deux files au droit de ces points singuliers.

Quelle que soit la position de la BAU, celle-ci disparaîtra dans les zones d'échanges, la longueur sur laquelle elle n'existera plus étant un peu supérieure au droit de l'échangeur avec A 13, si la BAU est à droite, ce qui cependant ne paraît pas dirimant.

Création des niches d'appel d'urgence avec une BAU à droite

Elle pourrait être la conséquence d'un positionnement de la BAU à droite avec l'intention de mieux protéger l'usager en détresse voulant alerter l'exploitant et on doit examiner l'hypothèse dans laquelle l'autorité concédante, sur l'avis du CESTR, considérerait cette réalisation nécessaire.

Il s'agirait de travaux de reprise de l'ouvrage qui ont un coût et un délai : COFIROUTE a estimé le surcoût à près de 40 M€ et le délai supplémentaire (retard de mise en service) entre 6 et 7 mois, ce qui représente une perte d'exploitation de l'ordre de 15 M€ supplémentaires.

Ces estimations peuvent être discutées, mais elles paraissent constituer un ordre de grandeur raisonnable. Il s'agit donc d'un surcoût important dont le concessionnaire pourrait demander dédommagement à l'autorité concédante, surtout si l'on considère que la configuration d'exploitation à 2 voies aura une durée limitée. En l'absence d'arguments décisifs pour placer la BAU à droite, ce risque d'un surcoût éventuel constitue un élément supplémentaire pour ne pas retenir cette option.

IV – RECOMMANDATIONS FINALES

1 - Nous recommandons le maintien de la disposition initiale d'implanter la BAU à gauche (dans le niveau supérieur). Il n'y a pas d'argument décisif pour inverser cette disposition même si, d'après la verbalisation des conducteurs ayant participé à la simulation, il leur paraît plus naturel qu'elle soit à droite. A l'inverse, il nous est apparu que la proximité de la BAU et des escaliers de transfert (donc à gauche au niveau supérieur) est bien préférable en cas de sinistre grave nécessitant l'intervention des véhicules de secours et (ou) l'évacuation des usagers.

2 – Pour parer au risque réel d'arrêt à droite d'usagers en difficulté avec la BAU à gauche, il convient :

- de différencier la BAU de la manière la plus visible (par marquage et peinture au sol) des voies de circulation,
- de s'assurer de la performance du dispositif de DAI et de neutralisation des voies : des essais à blanc simulants, en situation réelle, l'efficacité en cas d'arrêt intempestif à droite devraient être prévus

- de prévoir des boutons poussoirs d'appel d'urgence à droite même si la BAU est à gauche

- de prévoir des actions d'information auprès des usagers pour leur faire connaître cette disposition particulière (information générale et à l'entrée du tunnel) et leur indiquer les consignes à respecter en cas de nécessité.

3 – Un suivi précis (retour d'expérience) du comportement des usagers et des opérateurs devra être mis en place. Face aux innovations que constitue cet ouvrage tant dans sa géométrie que ses dispositifs d'exploitation, ce suivi peut être utile non seulement pour l'ouvrage lui-même mais d'une manière plus générale pour l'évolution de l'état de l'art.

4 – Il pourrait être utile à la lumière des questions qui ont été posées et de la méthodologie mise en œuvre pour la présente expertise, de procéder, préalablement au passage à l'exploitation à 2 voies + voie d'échange prévue en deuxième phase, à un réexamen de la sécurité de l'ouvrage en tenant compte du retour d'expérience évoqué précédemment.

5 – Enfin dans le cas, à mon avis fort improbable, où la position à gauche de la BAU s'avèrerait problématique, il sera toujours possible de passer à l'autre configuration sans dépense frustratoire, ce qui n'apparaît pas être à l'évidence le cas dans le scénario inverse.

ANNEXES

2003 - 0025 - 01

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



direction
des routes

sous-direction des
autoroutes et ouvrages
concedés

bureau d'opérations
autoroutières

La Défense, le 22 JAN. 2003

le directeur des routes

à

Monsieur le vice-président du
Conseil Général des Ponts et Chaussées

objet : Autoroute A 86 Ouest
Mission d'expertise du CGPC

affaire suivie par : Philippe PASCAL – R/AR-OP
tél. 01.40.81.13.91, fax 01.40.81.12.59
mél. philippe.pascal@equipement.gouv.fr

L'autoroute A 86 Ouest a été déclarée d'utilité publique par décret du 8 décembre 1995 et concédée à la société COFIROUTE par convention du 3 septembre 1999, approuvée par décret en Conseil d'Etat du 25 novembre 1999. Elle comporte le tunnel est entre Rueil-Malmaison et Versailles (Pont Colbert) – Vélizy réservé aux véhicules légers et le tunnel ouest entre Rueil-Malmaison et Bailly (A 12). Le tunnel est constitué de deux niveaux de circulation superposés s'inscrivant dans un tube et sera mis en service avec deux voies et une bande d'arrêt d'urgence par sens. Les bandes d'arrêt d'urgence sont prévues du côté des escaliers de transfert et des bretelles d'entrée-sortie, soit côté ouest du tube. Elles sont ainsi prévues à droite de la circulation dans le sens Rueil vers Vélizy et à gauche dans le sens Vélizy vers Rueil. Ces dispositions ont été validées par la décision interministérielle du 14 avril 1995.

Conformément à la circulaire du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national, la société COFIROUTE a établi le dossier de sécurité du tunnel est.

Monsieur Michel MAREC et Monsieur Pierre FARRAN m'ont remis le 8 août 2002 le rapport sur ce dossier de sécurité de la commission administrative de suivi d'A 86 Ouest.

Le Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers a examiné le dossier de sécurité lors de sa séance du 9 octobre 2002 et recommandé d'étudier l'aménagement (signalisation horizontale et verticale, équipements à la disposition des usagers) du sens Vélizy - Rueil-Malmaison, dans l'hypothèse d'une bande d'arrêt d'urgence disposée à droite et de comparer les niveaux de sécurité tant en situation courante que dans le cas d'accidents ou d'incendies, pour retenir la formule la plus pertinente de positionnement de cette bande d'arrêt d'urgence.

La société COFIROUTE doit mener les études nécessaires pour répondre à la recommandation du comité d'évaluation. Je vous demande de bien vouloir diligenter une mission d'expertise consistant à suivre ces études et à établir un avis sur les dispositions qui seraient globalement les plus adaptées au plan de la sécurité.

Arche Sud
92055 La Défense cedex
téléphone :
01 40 81 13 85
télécopie :
01 40 81 12 59
mél : AROP.DR
@equipement.gouv.fr

Je vous propose de confier cette mission à Monsieur Jean-Pierre GIBLIN, ingénieur général des ponts et chaussées, président de la 3^{ème} section du conseil général des ponts et chaussées, ancien directeur de l'INRETS.


Patrick GANDIL

**COMITE D'EVALUATION
DE LA SECURITE
DES TUNNELS ROUTIERS**

Institué par la circulaire Interministérielle
n° 2000-63 du 25 août 2000

Le Président

La Défense, le 26 OCT 2002

Monsieur le Préfet des Hauts de Seine

167-177, avenue Joliot Curie
92013 - NANTERRE cedex

fax : 01 47 25 21 21

Objet : Autoroute A 86 Ouest, tunnel Est

N/Ref. : CESTR/NG/MJ 18 /4/3/ V1
A86Ouest-tunnel Est-envoi-avis2.doc

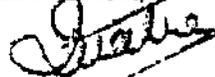
Par courrier du 9 juillet 2002, vous m'avez adressé le dossier de sécurité du tunnel Est à gabarit réduit de l'autoroute A86 Ouest, en vue de son examen dans le cadre du paragraphe I.2 de l'annexe 1 à la circulaire interministérielle n°2000-63 du 25 août 2000, relatif aux modalités d'approbation du dossier d'ouvrage d'art.

Le comité d'évaluation a examiné le dossier au cours de sa séance du 9 octobre 2002 et a émis l'avis que vous trouverez ci-joint. Il y a été tenu compte des remarques de l'expert que vous aviez signalées dans votre courrier du 9 juillet.

La plupart des réserves et recommandations formulées dans l'avis, se rapportent à l'étape préparatoire à la constitution du dossier de sécurité qui sera à réaliser pour la mise en service de l'ouvrage.

Enfin le respect des vitesses et des espacements revêtant une importance particulière pour la sécurité des usagers il va de soi que les dispositifs prochainement homologués de contrôle de sanction des écarts de conduite seront nécessaires.

Le Président,



Michel Quatre

P.J. : Avis du comité d'évaluation.

Copie (avec P.J.) :

- Monsieur le Directeur Général de COFIROUTE
6 à 10, Rue Troyon
92316 - SEVRES cedex
- Monsieur le Directeur des Projets et de la Construction de COFIROUTE
6 à 10, rue Troyon
92316 - SEVRES cedex
- Monsieur le Préfet des Yvelines
1, rue Jean Houdon
78010 – VERSAILLES
- Madame Lepage
Préfecture des Hauts de Seine
Affaires Civiles et Economiques de Défense
- Monsieur le Directeur Départemental de l'Equipement des Hauts de Seine
Centre administratif
B.P. 102
167-177 avenue Joliot Curie
92013 – NANTERRE
- Monsieur le Directeur Départemental de l'Equipement des Yvelines
35, rue de Noailles
B.P. 1115
78011 - VERSAILLES cedex
- MM. les membres du comité d'évaluation
- M. le Directeur des Routes
- Mission d'inspection spécialisée Ouvrage d'Art
144, rue Garibaldi
B.P. 6130
69469 LYON cedex 06.
- Centre d'Etudes des Tunnels (secrétariat du CESTR)
- Chrono de M. Quatre

**COMITE D'EVALUATION
DE LA SECURITE
DES TUNNELS ROUTIERS**

La Défense, le 11/10/2002

Institué par la circulaire interministérielle
n° 2000-63 du 25 août 2000

N/Ref. : A86 Ouest -Tunnel Est réservé aux véhicules légers -2-avis/NG/MJ 18/4/2/V2

**AUTOROUTE A86 OUEST
TUNNEL EST RESERVE AUX VEHICULES LEGERS**

**AVIS DU COMITE D'EVALUATION DE LA SECURITE
DES TUNNELS ROUTIERS
(Séance du 9 octobre 2002)**

> <

Nature de la saisine du Comité d'évaluation

Conformément aux dispositions de la circulaire n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national, en particulier de son annexe 1, le comité d'évaluation doit émettre un avis sur le dossier de sécurité de cet ouvrage qui lui a été transmis par M. le Préfet des Hauts-de-Seine, coordonnateur, le 9 juillet 2002.

La société Cofiroute, maître d'ouvrage, a retenu une démarche en deux temps :

Elle a d'abord constitué un premier dossier de sécurité (phase 1) en vue de l'approbation de l'APOA du génie civil du tunnel principal et des ouvrages de sécurité situés sur la section VL1. Le comité d'évaluation a examiné ce dossier le 20 décembre 2000 et a formulé son avis en précisant qu'il « ne préjuge en rien de l'avis du comité sur l'ensemble des dispositions de sécurité qui feront l'objet d'un dossier ultérieur ».

Dans un second temps, le maître d'ouvrage a constitué un nouveau dossier de sécurité (phase 2), portant sur l'ensemble des dispositions de sécurité, complétant ainsi le dossier de précédemment examiné.

Ce dernier dossier, objet du présent avis, est présenté au titre des paragraphes I.2 et III.1 de l'annexe 1 précitée, relatif aux modalités d'approbation du dossier d'ouvrage d'art pour un ouvrage au stade des études.

Rappel des demandes formulées antérieurement par le comité d'évaluation

Dans son avis transmis en janvier 2001, le comité d'évaluation a émis *un avis favorable sur les dispositions de génie civil proposées pour le tube principal sous réserve que l'interdistance des escaliers d'intercommunication entre les deux niveaux de circulation soit ramenée de 400 à 200 mètres.*

Ceci ne préjuge en rien de l'avis du comité sur l'ensemble des dispositions de sécurité qui feront l'objet d'un dossier ultérieur. Le comité recommande cependant que l'étude spécifique des dangers de ce dernier dossier ne se limite pas strictement au cas d'un incendie dégageant une puissance de 8 MW mais qu'elle prenne en considération des puissances de feu supérieures afin de tenir compte de l'évolution du parc automobile et de la présence de véhicules utilitaires légers.

Par ailleurs, le comité recommande la réalisation des investigations complémentaires suivantes :

- analyse fine du champ de température dans les corbeaux en cas d'incendie, afin de s'assurer que le ferrailage reprend correctement les efforts de console ;
- analyse fine du comportement de la cloison haute, séparant les gaines de ventilation et désenfumage, lorsque la dalle sur laquelle elle s'appuie fléchit sous l'effet d'un incendie ;
- étude de la résistance au feu de certains éléments fragiles comme, par exemple, les joints d'étanchéité de la dalle intermédiaire ;
- poursuite de l'analyse des risques d'écaillage et d'éclatement du béton, y compris au moyen d'essais.

Caractéristiques succinctes de l'ouvrage

Le tunnel Est de l'A86 Ouest, réservé aux véhicules légers est situé entre Vélizy-Villacoublay (département des Yvelines) et Rueil-Malmaison (département des Hauts-de-Seine). Il est composé d'un tunnel principal à deux niveaux superposés de circulation unidirectionnels, d'une longueur de 10100 m environ, de deux échangeurs d'extrémité situés l'un à Rueil-Malmaison au Nord, l'autre à Pont-Colbert au Sud et d'un échangeur intermédiaire de Vaucresson desservant notamment l'autoroute A13.

Le gabarit en hauteur autorisé est fixé à 2,00 m. Le système de péage est de type ouvert (postes de péage implantés aux seules entrées). La vitesse de circulation maximale autorisée est fixée à 70 km/h dans le tunnel principal et à 50 km/h dans les bretelles des échangeurs.

Le contrat de concession passé entre l'Etat et Cofiroute se rapporte à un ouvrage conçu pour permettre, à terme, une exploitation à 2 x 3 voies mais le dossier de sécurité présenté concerne un premier mode d'exploitation à 2 x 2 voies avec bandes d'arrêt d'urgence. La mise en service de l'ouvrage est prévue d'abord pour la section VL1 située entre l'échangeur de Vaucresson et l'échangeur de Rueil-Malmaison puis, quelques années plus tard, pour la section VL2.

Le trafic sera limité, si nécessaire, par un contrôle des flux entrants à 3 200 véh/h pour deux voies de circulation.

Les principales caractéristiques géométriques du tunnel principal sont données dans le tableau ci-dessous :

	Autoroute A86 Ouest Tunnel Est réservé aux véhicules légers
Longueur	10 100 m
Rayon	Supérieurs à 800 m
Largeur roulable	8,72 m en unidirectionnel correspondant à : 2 bandes dérasées latérales de 0,22 m 2 voies de 3,00 m 1 bande d'arrêt d'urgence de 2,50 m
Largeur des trottoirs	pas de trottoirs prévus mais bute-roue
Pente maximale	4,5 % au maximum, profil en forme de toit avec point bas et remontée à l'extrémité Sud
Dévers	2,5 %
Gabarit autorisé	2,00 m

Le tunnel principal dispose par ailleurs d'escaliers de transfert, implantés tous les 200 m environ, permettant le passage des usagers d'une chaussée vers l'autre. Les portes donnant sur chacun des deux

espaces de circulation forment un sas qui est pressurisé. Chaque tube du tunnel est également doté de niches de sécurité, contiguës aux escaliers de transfert, réparties tous les 200 m environ. Le tunnel est par ailleurs muni de 13 puits de secours (7 puits isolés et 6 puits associés aux unités de ventilation) permettant aux usagers d'accéder à la surface. Leur espacement moyen est de 840 m, le plus important étant de 1216 m. Tous ces équipements sont implantés côté Ouest du tunnel, c'est à dire à droite dans le sens Nord-Sud et à gauche dans le sens Sud-Nord.

L'échangeur de Rueil-Malmaison assure le raccordement des voies du tunnel principal avec la section d'A86 non concédée d'une part, et avec la RN13 d'autre part. Les postes de péage sont situés à l'intérieur mais en limite de la couverture. La bretelle de sortie donnant sur la RN13 comporte une couverture spécifique d'environ 270 m de longueur. L'échangeur comporte pour chacun des sens entrant et sortant, physiquement séparés, un espace de raccordement avec le futur tunnel Ouest, bidirectionnel, à gabarit normal. Le centre d'exploitation est situé dans son emprise.

L'échangeur de Pont-Colbert assure les liaisons entre le tunnel principal et l'autoroute A86 existante au Sud, la RN 286 et la voirie locale. Les bretelles et l'aire de péage sont à l'air libre.

Enfin l'échangeur de Vaucresson relie le tunnel principal aux deux sens de l'autoroute A13 ainsi qu'aux RD182 et 184. L'accès aux deux sens de circulation du tunnel principal est réalisé au moyen de deux bretelles souterraines physiquement séparées, d'environ 430 m de longueur. Les postes de péage sont situés à l'air libre et sont accessibles par des bretelles comportant différentes tranchées couvertes indépendantes d'une longueur maximale de 430 m. Dans le sens sortant, les deux bretelles issues de chaque sens de circulation du tunnel principal se rejoignent en un tronç commun d'environ 330 m, lequel se dédouble en deux bretelles distinctes ; les longueurs totales de couverture varient de 580 à 660 m. Les bretelles entrantes et sortantes sont conçues pour livrer passage à 2 voies de circulation (largeur minimale de 2,80 m).

Toutes les bretelles souterraines comportent des escaliers de secours rejoignant la surface et des niches de sécurité implantées tous les 200 m.

Le système de ventilation est réalisé au moyen d'un réseau de soufflage d'air frais et d'un réseau d'extraction d'air vicié ou de fumée d'incendie. Les réseaux du tunnel principal sont décomposés en plusieurs cantons, alimentés par 6 stations de ventilation. Chaque tube du tunnel principal possède sa galerie de soufflage et sa galerie de reprise, soit sous chaussée (tube inférieur) soit en faux-plafond (tube supérieur), (les bretelles souterraines des échangeurs comportant leurs réseaux spécifiques). Les galeries de soufflage sont équipées de petites bouches régulièrement réparties ; les galeries d'extraction sont pourvues de grosses trappes de désenfumage télécommandées disposées tous les 400 m dans le tunnel principal et tous les 100 m dans les bretelles des échangeurs. Des rideaux d'air sont disposés dans l'échangeur de Vaucresson pour séparer aérauliquement le tunnel principal des bretelles souterraines. Enfin, des accélérateurs sont implantés dans les zones d'entrée du tunnel principal et des bretelles souterraines.

En mode normal d'exploitation la ventilation est utilisée suivant un mode transversal partiel, sauf pour les bretelles de sorties dans lesquelles l'air vicié s'échappe naturellement vers l'extérieur.

En mode de désenfumage la ventilation est utilisée suivant un mode longitudinal : le principe consiste, en régime établi, à maintenir un courant d'air dans le sens du trafic afin d'éviter la remontée des fumées vers l'amont de l'incendie. Les fumées sont extraites par la première trappe rencontrée à l'aval. Un courant d'air frais est assuré à contre-courant au-delà de la trappe, comme prévu dans l'instruction technique.

Les fonctions de surveillance seront assurées par le poste d'exploitation et de surveillance (PC), selon le degré D4 (surveillance humaine permanente au sens du paragraphe 5.1.1 de l'instruction technique mentionnée ci-dessus).

L'intervention des services de secours extérieurs est réalisée au moyen de véhicules spéciaux, mis à leur disposition à l'entrée des trois échangeurs et par les puits de secours. Les délais d'intervention entre la réception de l'appel et l'arrivée sur les lieux de l'accident sont de l'ordre de 20 minutes pour les pompiers.

Au sens de l'instruction technique mentionnée précédemment, le tunnel Est à gabarit réduit de l'A86

Qu'est se range dans la catégorie des tunnels :

- urbains ;
- à deux tubes unidirectionnels ;
- à trafic non faible ;
- de gabarit inférieur à 3,50 m ;
- interdits aux véhicules transportant des marchandises dangereuses.

Membre du comité désigné comme rapporteur du dossier de sécurité

- M. Moret
- M. Legrand

Personnalités invitées par le comité et présentes lors de la séance du 9 octobre 2002

- M. Bolotte, Directeur Départemental de l'Équipement des Hauts de Seine
- M. Barfety, COFIROUTE, maître d'ouvrage
- M. Bouteloup, COFIROUTE, maître d'ouvrage
- M. Baumelou, COFIROUTE, maître d'ouvrage
- M. Heitz, COFIROUTE, maître d'ouvrage
- M. Becker, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- M. Arlet, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- M. Dupont, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- M. Bertrand, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- M. Maire, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- M. Gastineau, SOCATOP, maîtrise d'œuvre et travaux
- Mme Bessière, INGEROP, auteur E.S.D.
- M. Cwiklinski, INERIS, expert auprès du maître d'ouvrage
- M. Fournier, INERIS, expert auprès du maître d'ouvrage
- M. Barbarin, de la Brigade des Sapeurs Pompiers de Paris
- Commandant Astruc, de la Compagnie Républicaine de Sécurité n°2

Avis

Le comité d'évaluation-prend note :

- des recommandations contenues dans le rapport des présidents de la Commission Administrative de Suivi et de ses sous-commissions Sécurité, Conception et Exploitation, en date du 8 août 2002 (document désigné, dans ce qui suit, "rapport de la CAS")
- des études réalisées par Cofiroute et la sous-commission Conception de la CAS montrant que par l'aménagement des voies de raccordement du tunnel au réseau de surface, d'une part et par la régulation du trafic envisagée tant en amont qu'en aval et par les incitations tarifaires du péage, d'autre part, l'exploitant disposera de moyens permettant d'éviter la formation d'une congestion récurrente de la circulation dans le tunnel,

Le comité d'évaluation considère :

- que l'accès à l'ouvrage limité aux seuls véhicules légers constitue un facteur de sécurité important et, par ailleurs, que le projet comporte des solutions globalement appropriées pour pallier les inconvénients liés au faible gabarit en hauteur des espaces de circulation.
- que, dans cet ouvrage déjà équipé de façon très complète, l'optimisation de la sécurité ne passe pas par la mise en œuvre d'installations supplémentaires, mais par l'amélioration des conditions d'intervention du personnel d'exploitation qui sera le premier à arriver sur les lieux d'un accident ou d'un incendie, en bénéficiant de la bande d'arrêt d'urgence.

Le comité d'évaluation émet un avis favorable :

- aux dispositions de génie civil projetées, relatives au tunnel principal et aux ouvrages de sécurité associés, à l'échangeur de Vaucresson, au raccordement de Pont-Colbert et au raccordement de Rueil-Malmaison
- au projet d'équipements présenté,

sous réserve que soient prises les mesures suivantes:

- avant l'approbation de l'Avant Projet d'Ouvrage d'Art (APOA)
 - adapter le dimensionnement de la ventilation à la nouvelle section des bretelles de l'échangeur de Vaucresson
- dans les études postérieures à l'APOA
 - garantir le non-recyclage des fumées entre les tunnels Est et Ouest, au droit du raccordement de Rueil-Malmaison
 - mettre en place un système d'asservissement rapide de la fermeture du tunnel principal à l'amont de l'échangeur de Vaucresson de manière à éviter que les usagers ne se trouvent brusquement dans la fumée lorsqu'un incendie survient dans une bretelle d'entrée,
 - concevoir et dimensionner les rideaux d'air installés dans les bretelles de l'échangeur de Vaucresson pour un feu pouvant atteindre une puissance de 10 MW et vérifier que leur fonctionnement n'entraînera pas d'effet pervers pour le bon fonctionnement du désenfumage,

En outre, le comité d'évaluation recommande :

- lors de l'exécution des travaux de génie civil, de porter une attention particulière au choix des matériaux et à leurs conditions de mise en œuvre pour assurer la tenue au feu des dispositifs d'accrochage des corbeaux, des joints d'étanchéité latéraux de la dalle médiane et les descentes d'eau métalliques
- de mettre en place le renforcement de la signalétique des escaliers de transfert et des

dispositifs facilitant le guidage des usagers dans la fumée, tels que définis dans la recommandation N° 12 du rapport de la CAS

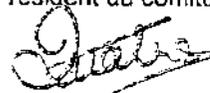
- d'étudier l'aménagement (signalisation horizontale et verticale, équipements à la disposition des usagers) du sens Vélizy-Rueil-Malmaison, dans l'hypothèse d'une bande d'arrêt d'urgence disposée à droite et de comparer les niveaux de sécurité tant en situation courante que dans le cas d'accidents ou d'incendie, pour retenir la formule la plus pertinente de positionnement de cette bande d'arrêt d'urgence
- de poursuivre les études déjà engagées pour la définition des conditions d'exploitation de l'ouvrage et d'intervention des secours, notamment :
 - en suivant les diverses "recommandations relatives à l'exploitation" déjà formulées dans le rapport de la CAS (recommandations n° 1, 2, 4, 5, 6, 7, et 13),
 - en établissant des séquences de désenfumage pré-programmées définies pour un feu pouvant atteindre une puissance de 10 MW et en élaborant un système automatisé performant d'aide à l'opérateur permettant à ce dernier d'ajuster les régimes de fonctionnement des ventilateurs aux conditions de développement de l'incendie et aux demandes éventuelles des services de secours extérieurs (y compris pour des cas exceptionnels d'incendies de puissance supérieure à 10 MW)
 - en approfondissant, dans les scénarios étudiés, notamment les scénarios "enveloppe" les conditions ambiantes susceptibles de régner à l'aval d'un incendie dans le cas exceptionnel du suraccident, avec leurs conséquences sur les conditions d'évacuation
 - en réalisant les essais visant à évaluer les risques de transmission du feu entre des véhicules proches, tels que suggérés dans la recommandation n° 9 de la CAS en ayant sélectionné les scénarios les plus représentatifs compte tenu du nombre nécessairement limité des configurations testées ;

Par ailleurs, le comité d'évaluation **recommande**, pour l'élaboration du PIS :

- de prendre en compte le principe d'interventions du personnel d'exploitation de Cofiroute par équipes constituées en binôme dès le départ,
- de poursuivre l'étude de la conception et des conditions d'utilisation des véhicules spéciaux d'intervention en liaison avec les services de secours extérieurs

Enfin, en raison des risques reconnus présentés par l'utilisation du téléphone au volant, et de leur inefficacité en cas de crise, le comité **recommande** de ne pas installer de système de transmission GSM dans le tunnel.

Le Président du comité,



Michel Quatre

La lecture de cet avis ne s'entend que concomitamment avec celle du dossier de sécurité qui a été soumis.



Expérimentations et résultats
Réf BAU/034 - 03.140/A v1.3

C OKTAL

Valutec

Etude du tunnel Est de l'A86 sur simulateur dynamique de conduite

Rapport de contrat

Valutec / LAMIH
M-Pierre Pacaux, Philippe Simon, Françoise Anceaux,
J-Christophe Popieul

OKTAL
Gilles Gallée, Aldo Texier

Juin 2003

Table des matières

1.	Contexte	3
2.	Objectifs de l'Etude.....	4
3.	Présentation des intervenants	5
3.1	Intervenants.....	5
3.2	Présentation d'OKTAL.....	6
3.3	Présentation de VALUTEC S.A.	6
3.4	Présentation de RENAULT CTS	7
4.	Protocole expérimental	9
4.1	Déroutement d'une expérimentation.....	9
4.2	Informations et consignes données aux sujets.....	11
4.3	Scénarios mis en place	14
4.3.1	Situation 0.....	16
4.3.2	Situation 1.....	18
4.3.3	Situation 2.....	21
4.3.4	Situation 3.....	23
4.3.5	Situation 4.....	25
4.3.6	Situation 5.....	27
4.3.7	Situation 6.....	29
4.3.8	Situation 7.....	31
4.3.9	Situation 8.....	33
4.4	Recueil de données	35
4.5	Profil des sujets.....	38
5.	Déroutement des expérimentations	39
5.1	Planning des expérimentations.....	39
5.2	Remarques sur la prise en main du simulateur.....	41
5.3	Remarques sur les conditions expérimentales.....	42
5.4	Remarques sur les situations	42
6.	Analyse des données	43
6.1	Test statistique utilisé.....	43
6.2	Recherche des effets d'ordre.....	44
6.3	Analyse des données issues de la cinématique du véhicule	44
6.3.1	Temps passé par le véhicule sujet sur chacune des voies	45
6.3.2	Vitesse moyenne pratiquée sur l'ensemble de la conduite	46
6.3.3	Vitesse moyenne pratiquée sur une période particulière de conduite	46
6.3.4	Vitesse maximale par voie de circulation et par scénario.....	47
6.3.5	Position latérale par voie et par scénario	48
6.4	Comportement des conducteurs sur chaque situation	49
6.5	Analyse des données subjectives	56
6.5.1	Réactions verbales des conducteurs	56
6.5.1.1	Commentaires sur le tunnel	56
6.5.1.2	Commentaires sur la position de la bande d'arrêt d'urgence	57
6.5.2	Degré de difficulté de chaque situation dans chaque scénario	58
6.6	Etude détaillée de situations critiques	61
7.	Annexes.....	63
7.1	Résultats des tests statistiques sur la recherche d'effet d'ordre	63
7.2	Expérimentation Cofiroute : Questionnaire A - Fiche conducteur.....	68
7.3	Expérimentation Cofiroute : Questionnaire B.....	70
7.4	Expérimentation Cofiroute : Questionnaire C.....	71

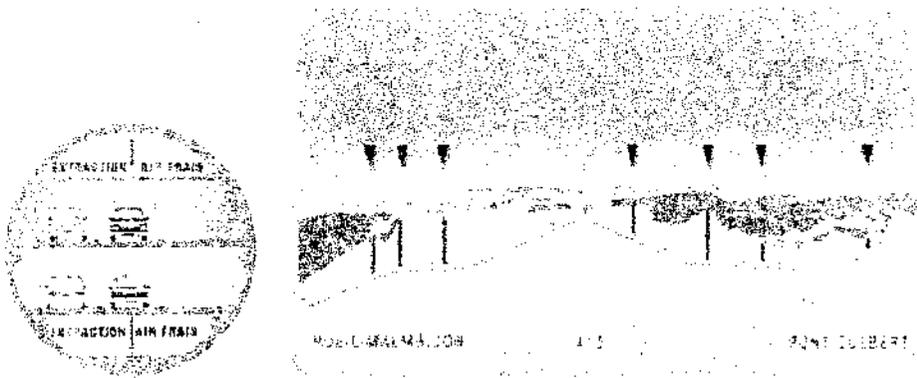
1. CONTEXTE

L'autoroute A86 est la seconde rocade d'Ile de France. Cette rocade est aujourd'hui en service sur l'ensemble de son itinéraire à l'exception de la section située entre Rueil-Malmaison et Versailles – Pont Colbert.

Pour réaliser cette dernière section, le choix s'est porté sur un projet à deux tunnels :

1. Le tunnel Est assure la liaison Nord/Sud du bouclage de l'A86 à l'Ouest de l'Ile de France. Ce tunnel est réservé aux véhicules de gabarit inférieur à 2m. Il comporte deux niveaux superposés de 2,55 m de hauteur sous plafond, offrant chacun 3 voies. Le niveau haut est affecté au sens de circulation Sud-Nord. Le niveau bas est affecté au sens de circulation Nord-Sud. Il comporte 3 échangeurs.
2. Le tunnel Ouest assure la liaison Nord-Est/Sud-Ouest. Il est accessible à tous les véhicules dont le gabarit est compatible avec une hauteur libre minimale de 4,50 m. Il est bidirectionnel à 2x1 voie.

Le tunnel Est présente des caractéristiques particulièrement innovantes : niveaux de circulation superposés, gabarit réduit (2,55 m sous plafond) sur une longueur de 10 km environ, échangeur autoroutier souterrain à mi-parcours.



D'autre part, les deux espaces trafic (niveau supérieur / niveau inférieur) ainsi que les bretelles des échangeurs, présentent des problématiques spécifiques.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'avis du comité d'évaluation de la sécurité rendu en octobre dernier a posé la question d'une étude sur l'aménagement du niveau supérieur du tunnel avec bande d'arrêt d'urgence à droite sans présupposer le comportement des usagers. Un risque est identifié concernant la probabilité que le sujet s'arrête du mauvais côté (le projet prévoit que la bande d'arrêt d'urgence soit placée à gauche).

L'étude réalisée pour COFIROUTE s'intègre dans une réflexion globale au sujet du positionnement de la BAU. Elle doit permettre notamment d'enrichir le débat sur le comportement des usagers.

En particulier, COFIROUTE souhaite travailler sur la perception qu'ont les usagers de la position de la bande d'arrêt d'urgence. Nous proposons de réaliser l'étude comparative de deux scénarios : bande d'arrêt d'urgence à gauche et bande d'arrêt d'urgence à droite.

Cette étude a été réalisée sur le simulateur dynamique de RENAULT CTS, sur des scénarios construits par OKTAL et sur un protocole expérimental bâti par VALUTEC.

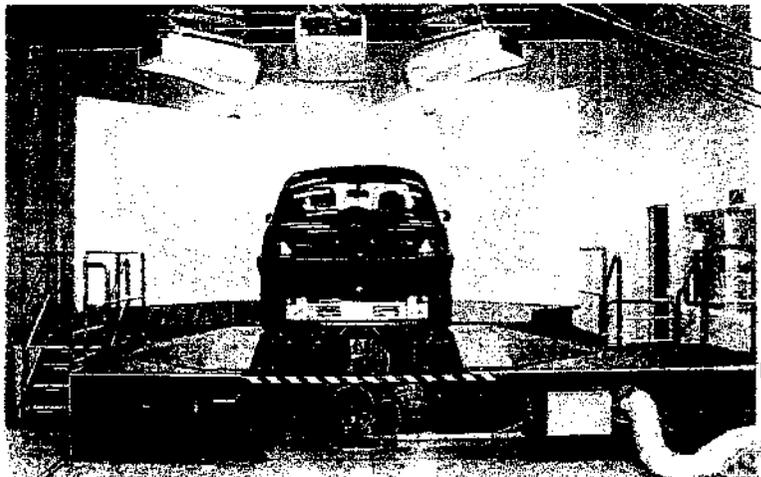


Figure 1 Simulateur dynamique de Renault

3. PRESENTATION DES INTERVENANTS

3.1 Intervenants

RENAULT CTS intervient pour :

- Mettre à disposition le simulateur dynamique et l'équipe en charge de son fonctionnement.
- Assurer la logistique de déroulement des expérimentations au Technocentre (Réserver les salles, prévoir l'accueil des sujets...).
- Relire le rapport final.
- Apporter leur expérience en matière de simulation de conduite automobile.

OKTAL intervient pour :

- Coordonner le déroulement du projet.
- Gérer le recrutement des sujets.
- Fournir les deux versions de la maquette virtuelle de l'A86.
- Réaliser les scénarios à partir de la définition du protocole expérimental.
- Réaliser des pré expérimentation sur le simulateur dynamique.
- Coordonner le déroulement de l'expérimentation (Assurer l'accueil des sujets, présenter l'expérimentation aux sujets, aider à l'apprentissage du simulateur).
- Fournir et présenter le rapport final.

VALUTEC intervient pour :

- Elaborer le protocole expérimental.
- Réaliser des pré expérimentation avec Oktal et Renault, pour valider les moyens expérimentaux (le simulateur dynamique de Renault, les scénarii, l'enregistrement des données quantitatives et qualitatives) et le protocole expérimental établi.
- Réaliser des expérimentations, avec Oktal et Renault, avec des sujets recrutés par un tiers.
- Fournir et présenter le rapport final

L'ensemble de l'étude est supervisé et validé par COFIROUTE.

3.2 Présentation d'OKTAL

Spécialisée dans les domaines de la simulation et de la réalité virtuelle, OKTAL travaille depuis 1995 pour COFIROUTE. Les références les plus anciennes sont les maquettes virtuelles simulant l'A85 (Contournement de Langeais) et la première version du tunnel A86. Récemment, OKTAL a réalisé plusieurs prestations concernant l'A86, l'objectif final étant de simuler les futurs aménagements du tunnel pour évaluer leur perception par le conducteur.

Pour d'autres clients, OKTAL réalise de nombreuses maquettes virtuelles en utilisant différents logiciels en fonction de l'exploitation souhaitée (temps réel ou hors temps réel). Dans le domaine de la simulation de conduite, OKTAL a travaillé pour de nombreux donneurs d'ordres : ASF, ATMB, le Grand Lyon, le SETRA,...

Dans le domaine de la communication, OKTAL a acquis des références comme la Mission Mont-Saint-Michel, le site archéologique de Bliesbruck, le Parc de la Découverte à Carmaux,...

3.3 Présentation de VALUTEC S.A.

Valutec SA est une filiale de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis (UVHC), créée en 1998.

Valutec SA :

- gère les contrats de recherche de l'université et assure la valorisation des résultats correspondants ;
- exploite notamment, le centre technologique en transports terrestres (C3T) ; à ce titre, Valutec SA assure des prestations technologiques dans le domaine du transport et plus particulièrement en ce qui concerne la conception, le confort et la sécurité. L'un des domaines d'intervention de Valutec dans le cadre du C3T est celui de l'ergonomie des postes de conduite, l'étude du comportement humain, l'aide à la conduite.

Pour réaliser les prestations dans le domaine de l'ergonomie et de l'aide à la conduite, Valutec SA utilise ses propres moyens ainsi que ceux du Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH) de l'UVHC.

Le LAMIH est une Unité Mixte de Recherche CNRS UMR 8530. Elle comprend 200 Personnes dont 110 permanents, et 90 doctorants. Elle développe 5 grands axes de recherche : la modélisation et conception des systèmes de production, l'optimisation, la modélisation et commande des systèmes, le génie mécanique et la modélisation et intégration des opérateurs humains dans les systèmes homme-machine qui nous intéresse plus particulièrement. Cet axe de recherche est soutenu par une équipe pluridisciplinaire. Nous retrouvons ainsi des spécialistes de la Psychologie et Ergonomie de la Cognition dans les Environnements Technologiques, du Raisonnement Automatique et Interaction Homme-Machine, de la Biomécanique, des Systèmes Homme-Machine, de la Sécurité de fonctionnement des systèmes techniques et humains, et de la Coopération Homme-Machine.

Dans le cadre de l'étude qui serait menée avec Cofiroute, quatre personnes ont participé activement au projet. Ces personnes sont Jean-Christophe Popieul et Françoise Anceaux,

Maîtres de Conférence à l'UVHC, Philippe Simon et Marie-Pierre Pacaux, Ingénieurs de recherche au LAMIH.

Pour mener ce type de recherche, le LAMIH dispose du simulateur de conduite SHERPA (PSA), d'un oculomètre ASL 4000, ainsi que d'outils de génération de bases de données visuelles. Plusieurs outils d'analyse de données ont également été développés de façon à réduire le temps de dépouillement (données vidéo synchronisées aux signaux issus du comportement dynamique du véhicule).

Trois principaux projets soulignent l'expérience acquise en terme d'étude de système homme-machine. Dans le cadre d'un contrat de recherche LAMIH / Centre d'Étude de la Navigation Aérienne, plusieurs campagnes expérimentales ont permis d'étudier la coopération entre des contrôleurs aériens et des systèmes d'aide à la régulation du trafic aérien. Les expérimentations ont pris place dans les Centres de contrôle en route de Reims et de Athis-Mons (cf. [7], [8], [11], [14]). Le contrat de recherche LAMIH / Dassault Aviation a conduit à mener une étude sur la coopération entre un pilote de chasse et d'autres acteurs du théâtre des opérations. Les expérimentations se sont également déroulées sur site, au sein des bases aériennes 116 de Luxeuil-les-Bains et 103 de Cambrai (cf. [9], [13]). La dernière est plus proche de notre problématique d'aujourd'hui puisqu'elle concerne le contrat de recherche LAMIH / Fondation Maif / PSA qui avait pour objectif l'étude et l'évaluation d'un système de diagnostic de l'état du conducteur. Les expérimentations ont été réalisées sur le simulateur de conduite SHERPA de Valenciennes (cf. [1] à [6], [10], [12]). Ces études, parce qu'elles sont les plus représentatives, et d'autres menées au LAMIH, ont permis de renforcer nos compétences quant à mener des campagnes expérimentales visant à évaluer le comportement humain dans un nouvel environnement, que ce dernier soit modifié par l'insertion d'un nouvel outil informatique, ou par l'utilisation de nouveaux concepts, tel le tunnel de l'A86.

3.4 Présentation de RENAULT CTS

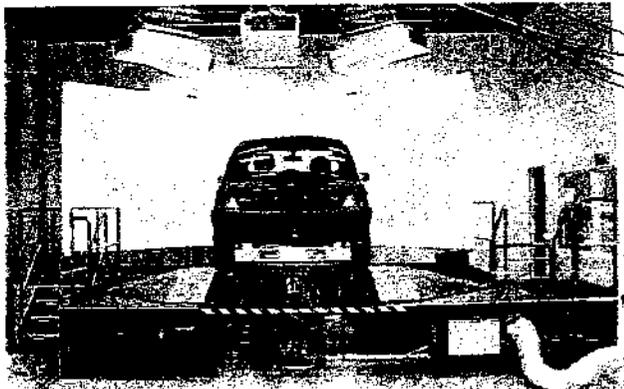
Intégré à la Direction du Développement de l'Ingénierie Véhicule de Renault, le Centre Technique de Simulation (CTS) développe et déploie des simulateurs de conduite VL et PL ainsi que des outils de maquettage virtuel depuis une dizaine d'années.

Le groupe gère également l'exploitation d'outils de visualisation virtuelle et d'un centre de simulation situé au Technocentre Renault, équipé de trois simulateurs VL. Ces simulateurs sont utilisés par les service d'ingénierie de Renault pour des expérimentations d'ergonomie, d'analyse de la perception et du comportement du conducteur, d'évaluation de systèmes de contrôle dynamique du véhicule et de systèmes ITS (Intelligent Traffic System), de confort et d'accidentologie.

Le groupe a développé le logiciel de simulation de conduite SCANeR©II aujourd'hui commercialisé par la société OKTAL, et dont une vingtaine de licences équipent des simulateurs de conduite VL et PL à travers le monde. SCANeR©II a notamment été exploité par la SAPN en 1995 au centre de simulation CISI pour l'évaluation du télépéage de l'A14. Une centaine de sujets ont participé à l'expérimentation qui a abouti à des recommandations sur la signalisation horizontale, verticale, les PMV, le type de barrières et leur logique d'animation, ainsi que la géométrie des voies.

Dans le cadre de l'étude COFIROUTE, RENAULT CTS met à disposition son simulateur dynamique (Guyancourt) :

- Cockpit Clio II complet, allégé, instrumenté et multiplexé CAN
- Restitution d'efforts au volant, levier de vitesse, frein à main, et aux 3 pédales
- Plate-forme mobile à 6 vérins électro-mécaniques, courses linéaires de ± 22 cm et angulaires de $\pm 15^\circ$, accélérations maximales de 5m/s^2 et $300^\circ/\text{s}^2$
- Génération d'images frontales par une station Silicon Graphics Onyx2 InfiniteReality2. Images anti-aliasées et texturées à une fréquence 30 à 60 Hz selon la complexité de la scène. Les images de rétrovision sont générées par 3 PC Linux équipés de cartes graphiques GeForce 4.
- Restitution visuelle frontale panoramique couvrant un champ de $150^\circ \times 40^\circ$ par 3 projecteurs Barco 808s affichant 3 canaux de 1024×768 pixels, restitution des 3 rétroviseurs par 3 Barco LCD 2100 affichant 3 canaux de 1024×768 pixels
- Logiciel de simulation SCANeR©II Release 2.2 incluant des outils de préparation de scénarios et d'enregistrement et de suivi de données en temps réel.
- Outils d'exploitation incluant 4 caméras filmant le conducteur de face, de profil, les pédales et la scène routière, magnétoscope analogique (les bandes vidéo vierges et le 2ème magnétoscope de debriefing sont à prévoir par l'expérimentateur), poste de contrôle complet équipé d'une liaison audio avec le cockpit.



Le simulateur dynamique et la salle de supervision

Cette solution permet d'immerger totalement le sujet dans le contexte de l'expérimentation.

4. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental a été construit par Valutec et Oktal, et validé par Cofiroute (réunion du 21 Mars 2003). Ce protocole permet de répondre concrètement aux objectifs de l'étude, notamment en établissant les différentes modalités à évaluer (bande d'arrêt d'urgence à droite et à gauche). Elles sont testées sur des scénarios élaborés de façon à positionner le conducteur dans des situations propices à la mise en évidence de l'influence éventuelle des variables à étudier sur son comportement. Par exemple, provoquant un ralentissement devant le véhicule sujet, il est possible de vérifier si la position de la bande d'arrêt d'urgence a bien été assimilée. Notamment si le conducteur roule sur celle-ci pour contourner le ralentissement, en la confondant avec une troisième voie.

Deux scénarios ont ainsi été construits afin de comparer leur impact sur le comportement des conducteurs, un scénario avec la bande d'arrêt d'urgence positionnée sur la droite, et l'autre, sur la gauche.

4.1 Déroulement d'une expérimentation

L'expérimentation se déroule sur environ 1h45. Chaque sujet est accueilli individuellement. Le déroulement de l'expérimentation est le suivant :

- Accueil et présentation de l'expérimentation (10mn)
- Apprentissage de la conduite en simulateur (familiarisation) (10mn)
- Entretien avec le sujet sur la phase de familiarisation (10mn)
- Déroulement d'un premier scénario (15mn)
- Réalisation d'un entretien (autoconfrontation) (15mn)
- Déroulement d'un second scénario (15mn)
- Réalisation d'un entretien (autoconfrontation) (15mn)

Les expérimentateurs commencent par présenter le projet au sujet d'une manière très générale pour ne pas influencer son futur comportement. L'objectif des expérimentations annoncé aux sujets est « le recueil des impressions des conducteurs quant à la perception du futur tunnel de l'A86 construit par Cofiroute ».

Le sujet est ensuite renseigné sur le déroulement des expérimentations : une première phase de familiarisation suivie de deux scénarios de conduite dans le tunnel.

Deux questionnaires sont complétés par le sujet. Le premier concerne ses « aptitudes » à participer aux expérimentations, notamment s'il répond au profil demandé, et s'il n'a pas d'antécédents médicaux qui ne répondent pas aux critères de sécurité du simulateur. Le deuxième est relatif à son état physique et ce avant tout passage sur le simulateur. Ce questionnaire est présenté de nouveau trois fois avant la fin de l'expérimentation : après la phase d'apprentissage, après le premier scénario et après le second. Il permet d'évaluer l'impact de la simulation sur l'état physique du conducteur.

Le sujet est ensuite formé à l'utilisation du simulateur en conduisant sur un scénario de familiarisation. Ce scénario a été élaboré par Oktal. Il permet environ 10 minutes de conduite, sur nationale, avec du trafic, et comporte une portion de tunnel (tunnel à 2 voies de circulation à double sens et de section circulaire différent de celui de l'A86). Ce scénario permet au conducteur de se familiariser avec les commandes du véhicule peut-être plus sensibles que

celles d'un véhicule réel. Il est volontairement plus difficile à parcourir que les scénarios expérimentaux.

Suite à la phase de familiarisation le sujet réalise l'expérimentation proprement dite. Il roule dans le tunnel de l'A86 suivant deux modalités, une première fois avec la bande d'arrêt d'urgence à droite, puis une seconde fois avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche, ou inversement. Un contre balancement de l'ordre de présentation des scénarios permet de contrôler les effets d'ordre et d'apprentissage. La moitié de la population commence avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche, et l'autre moitié avec la bande d'arrêt d'urgence à droite. Une analyse statistique permet de mettre en évidence s'il y a ou non un effet d'ordre (cf. paragraphe présentant les résultats). Il est en effet préférable de travailler sur des groupes de sujets appariés de façon à pouvoir réaliser des comparaisons intra sujet, et être assuré qu'une différence significative ne provienne pas d'une différence inter individuelle. Les scénarios comportent des situations incidentelles qui peuvent amener le sujet à utiliser l'ensemble des voies de circulation, notamment la bande d'arrêt d'urgence.

A la fin de chaque scénario, le sujet répond à des questions spécifiques permettant de cibler des points particuliers de l'étude dont l'accès est difficile pendant la conduite. Le sujet est donc confronté à ses propres réactions sur chaque scénario via l'enregistrement vidéo réalisé. Le sujet est ainsi capable de commenter ses agissements. L'objectif n'est pas qu'il se justifie mais de permettre à l'expérimentateur de comprendre pourquoi le sujet s'est comporté de la sorte lors des analyses. L'autoconfrontation permet aussi à l'expérimentateur d'inciter les sujets à s'exprimer sur leur perception du tunnel. Le temps accordé à l'autoconfrontation et à l'analyse ne permet pas de faire des enregistrements audio. Il est donc prévu de procéder par une prise de notes pendant l'autoconfrontation.

4.2 Informations et consignes données aux sujets

Les informations suivantes ont été communiquées au sujet avant la première passation :

- L'objectif des expérimentations annoncé aux sujets est « le recueil des impressions des conducteurs quant à la perception du futur tunnel de l'A86 construit par Cofiroute ».
- Les sujets sont informés sur les caractéristiques principales du tunnel. Il a été choisi de fournir des informations similaires à celles qu'ils recevront à l'entrée du tunnel quand il sera ouvert au public. Une plaquette élaborée par Cofiroute leur est donc présentée et lue. Une plaquette différente existe pour chaque scénario, la position de la bande d'arrêt d'urgence est une information parmi d'autres (cf. figures suivantes). L'objectif n'est pas de « piéger » le conducteur avec une nouvelle position de la bande d'arrêt d'urgence : en situation réelle, il est supposé que le conducteur percevra l'information suite à la lecture des panneaux de signalisation, et à la configuration des tracés routiers à la sortie du péage et à l'entrée du tunnel.

La consigne communiquée au sujet est de conduire normalement dans le respect du code de la route. Il lui est également demandé d'essayer, si cela ne le gêne pas, de commenter ce qui se passe et ce qu'il fait.

Enfin, un soin particulier a été apporté sur le fait de fournir la stricte même information à chacun des sujets afin de ne pas provoquer de disparité.

La sécurité du tunnel de l'A86

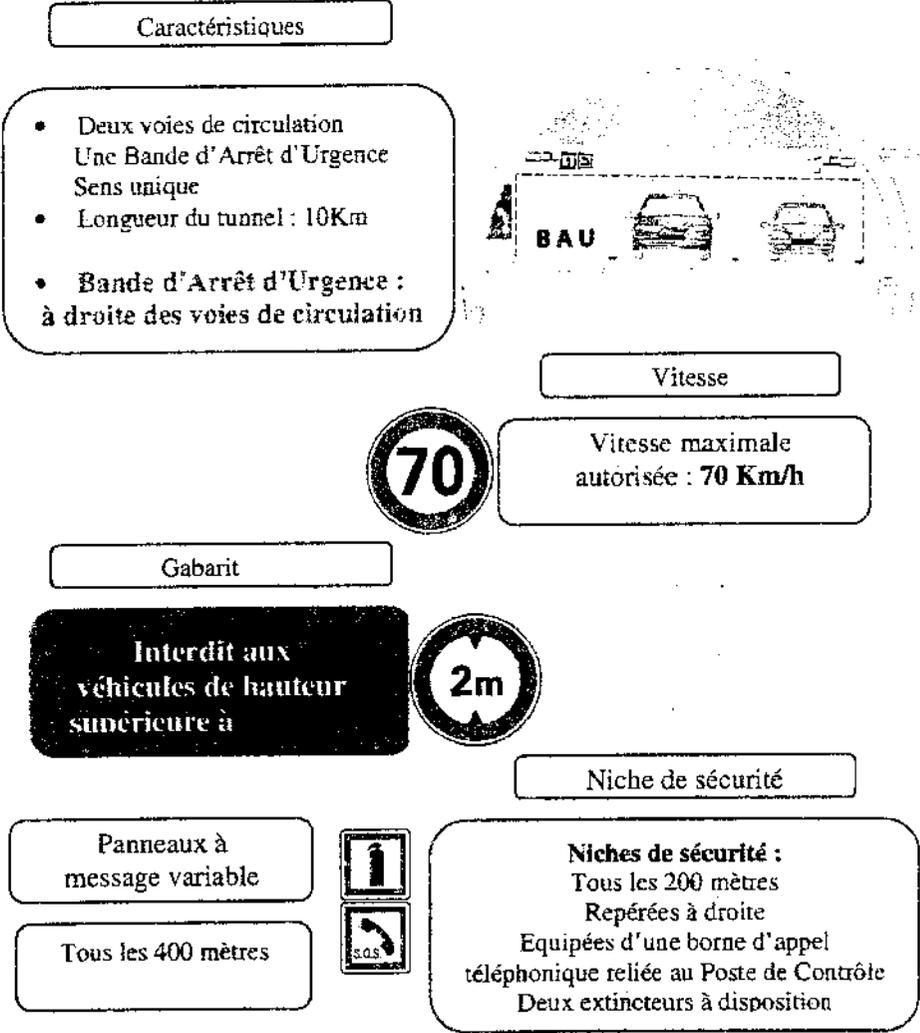


Figure 1 : Document de présentation du tunnel élaboré par Cofiroute : Bande d'arrêt d'urgence à droite

La sécurité du tunnel de l'A86

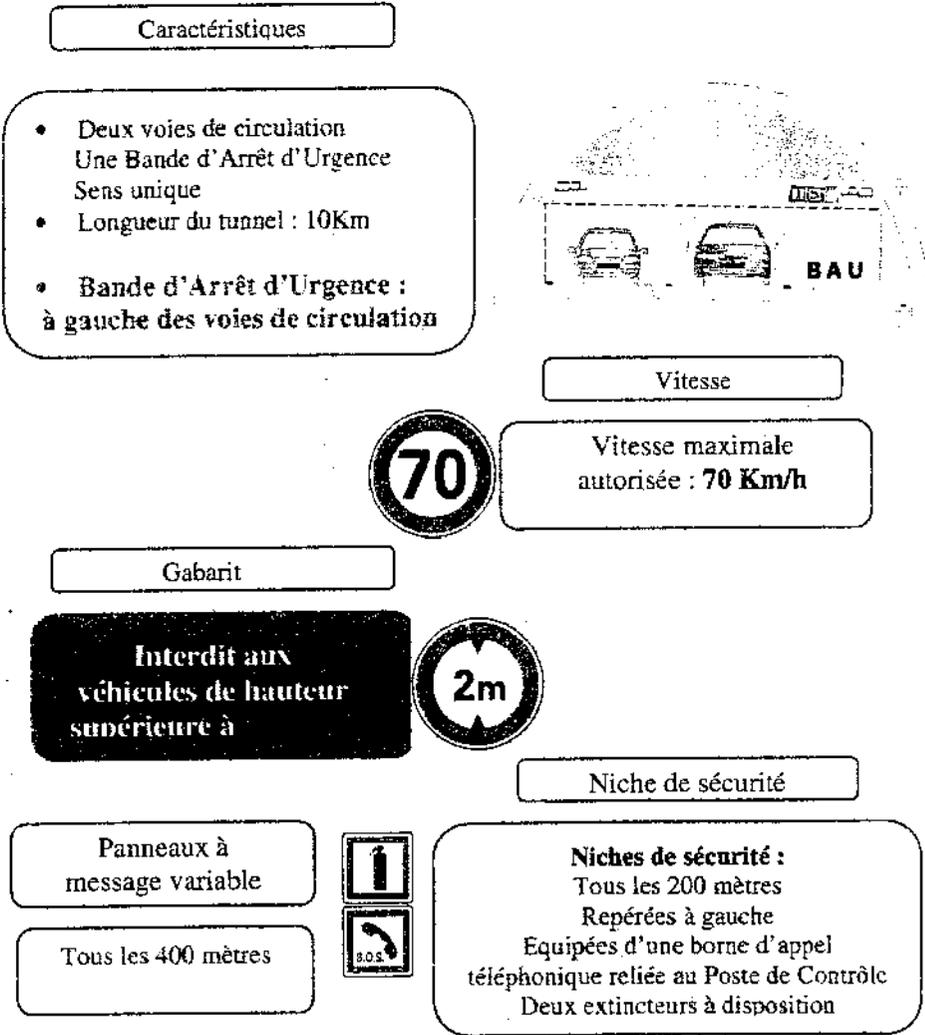


Figure 2 : Document de présentation du tunnel élaboré par Cofiroute : Bande d'arrêt d'urgence à gauche

4.3 Scénarios mis en place

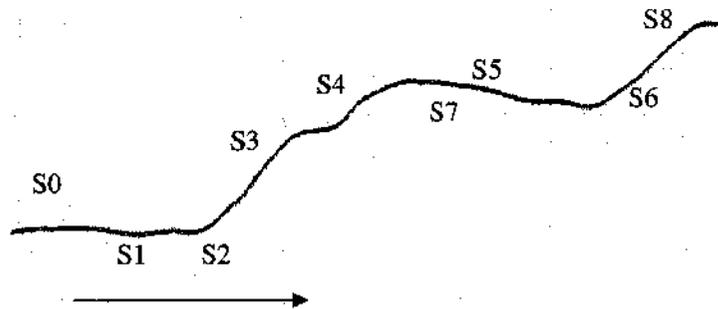
Un scénario comporte 9 situations de trafic consécutives (de S0 à S8). Elles sont présentées dans les paragraphes suivants.

Les événements des deux scénarios de passation sont similaires mais pas identiques. Ainsi, l'enchaînement des situations est différent d'un scénario à l'autre, les points kilométriques de déclenchement des situations sont aussi différents, de même que les véhicules appartenant à une même situation. Il faut éviter que le sujet anticipe le déclenchement des événements, et faire en sorte qu'il réponde à une partie des événements de façon quasi réflexe.

Nous n'avons pu contrebalancer l'ordre d'apparition des situations à l'intérieur des scénarios de par le fait, premièrement, que certaines situations ne pouvaient être dissociées, et deuxièmement, que les scénarios auraient perdu de leur crédibilité.

Les enchaînements des situations dans les scénarios 1 et 2 sont présentés sur les tracés suivants (la position sur les tracés est approximative).

Initialement long de 10 km, le tunnel a été prolongé de 8 km (18 km au total) de façon à ce que les sujets puissent au moins y conduire pendant 15mn. La prolongation reprend la géométrie du profil en long du tunnel (dévers, pente, courbure).



*Figure 3 : Scénario 1, bande d'arrêt d'urgence à gauche
Tracé en plan du tunnel d'expérimentation et report des situations.
Les situations se parcourent depuis S0 à S8.*

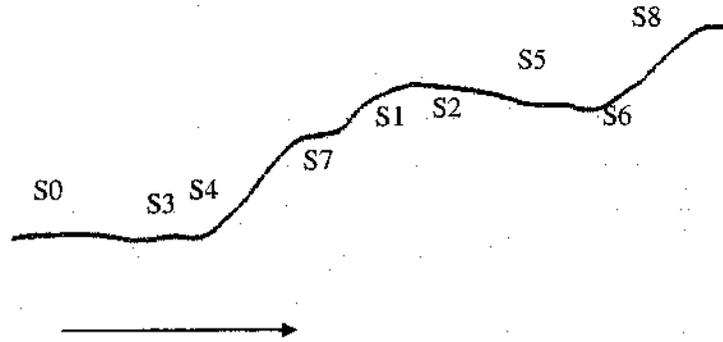


Figure 4 : Scénario 2 : bande d'arrêt d'urgence à droite
Tracé en plan du tunnel d'expérimentation et report des situations
Les situations se parcourent depuis S0 à S8 : S0, S3, S4, etc.

Les paragraphes suivants présentent les 9 situations vécues par les conducteurs. Pour chaque situation sont précisés les objectifs, et compte tenu de ceux-ci, les différentes réactions possibles des conducteurs. La réaction R0 est les cas où la situation ne se déclenche pas pour diverses raisons ; ce peut être à cause de la conduite inattendue du sujet (trop lente ou trop rapide), ou à cause d'un problème dans la gestion du trafic sur le simulateur.

4.3.1 Situation 0

Description :

La situation 0 est la situation de début de passation. Le véhicule sujet démarre de la bande d'arrêt d'urgence. Le conducteur est prévenu de cette situation avant de monter dans le véhicule. Aucun trafic ne vient perturber le sujet pendant cette phase. Le trafic apparaît progressivement par la suite. Si le sujet reste sur la bande d'arrêt d'urgence, il en est prévenu par l'expérimentateur de façon à ce que les situations du scénario se déclenchent correctement.

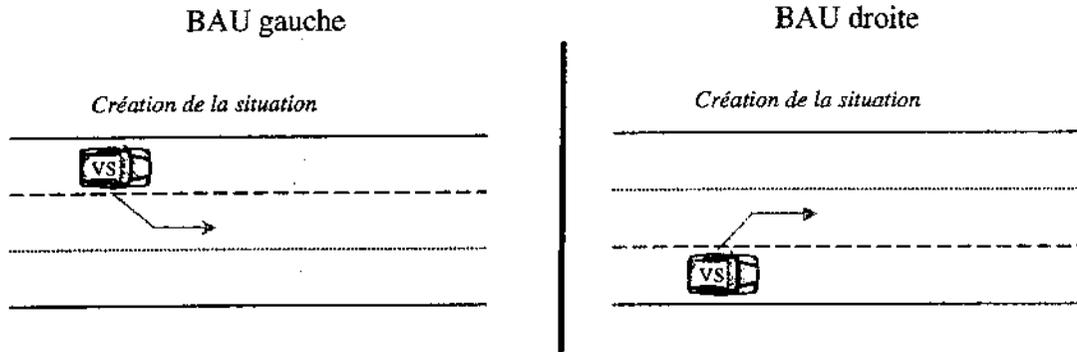


Figure 5 : Situation 0

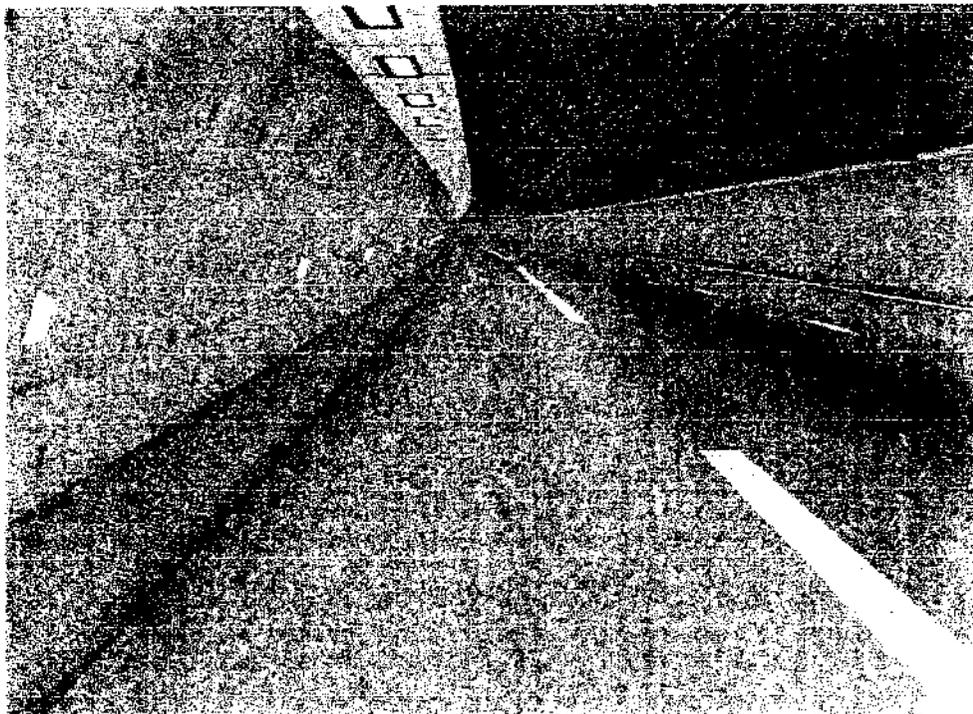


Figure 6 : Situation 0 Gauche

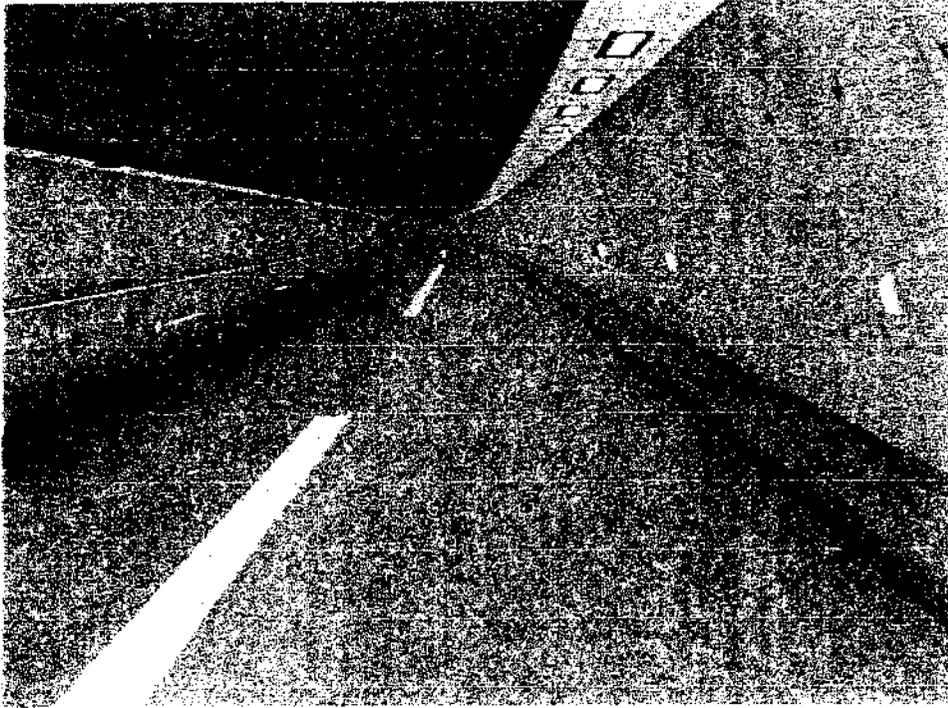


Figure 7 : Situation 0 Droite

Objectifs :

Cette situation permet de commencer le scénario. Il n'était pas possible de faire entrer les conducteurs dans le tunnel, la maquette virtuelle de l'entrée n'étant pas disponible (les données sur l'entrée du tunnel ne sont pas encore fixées). Le seul moyen étant donc de positionner les sujets à l'intérieur du tunnel, il semblait plus cohérent de les faire démarrer de la bande d'arrêt d'urgence, plutôt que sur une voie de circulation, comme s'ils repartaient d'un arrêt temporaire (problème temporaire du véhicule ou du conducteur). Cette situation nous permet aussi de savoir quelle voie les conducteurs avaient tendance à rejoindre.

Les conducteurs pouvaient :

- rester sur la bande d'arrêt d'urgence
- s'engager sur la voie de gauche
- s'engager sur la voie de droite

4.3.2 Situation 1

Description :

Situation 1 : Le véhicule sujet arrive dans une file de véhicules roulant à faible vitesse (40 Km/h).

La situation se débloque par l'accélération des véhicules du trafic si le véhicule sujet ne passe pas par la bande d'arrêt d'urgence.

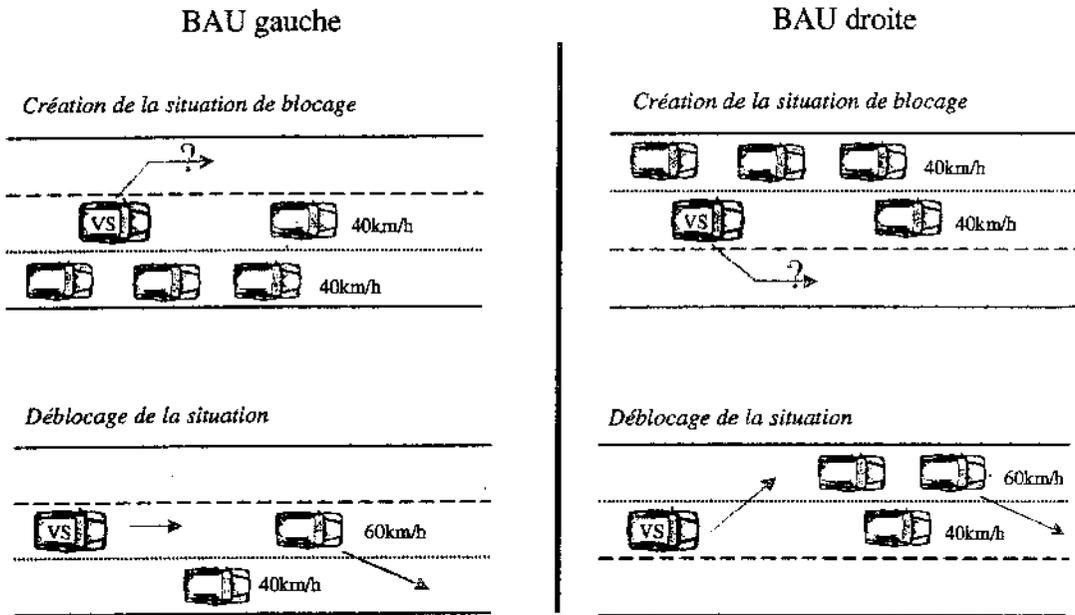


Figure 8 : Situation 1

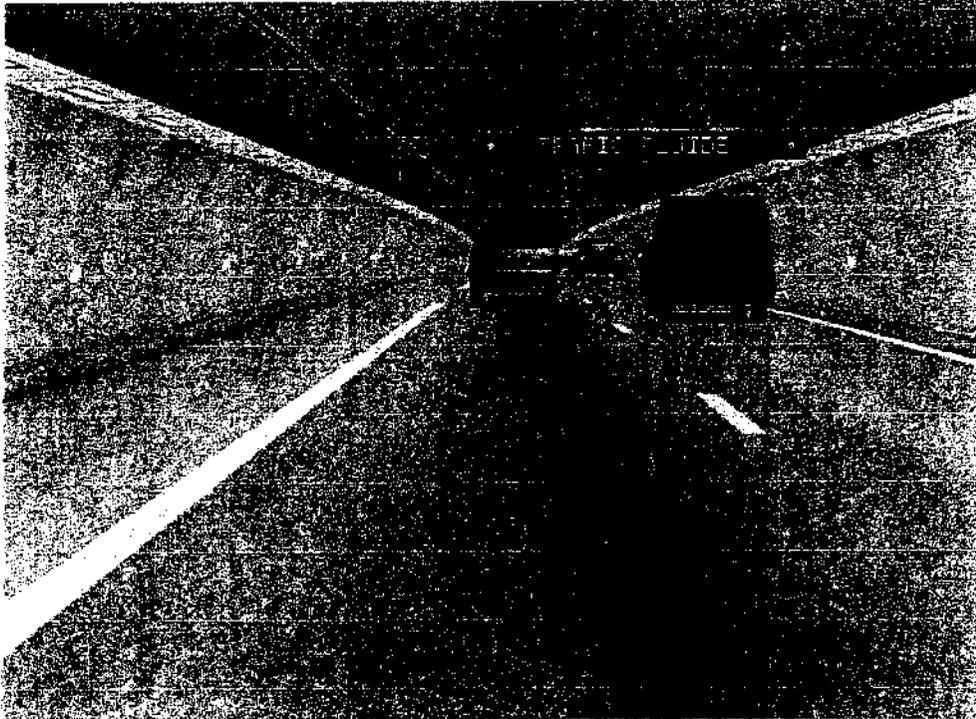


Figure 9 : Situation 1 Gauche

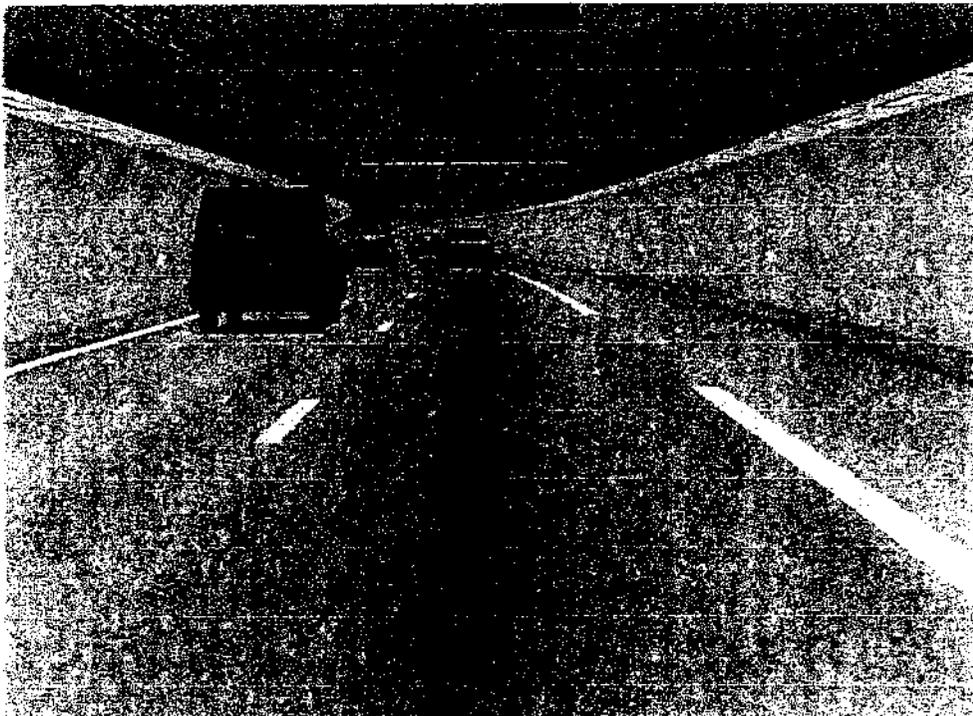


Figure 10 : Situation 1 Droite

Objectifs :

Le véhicule sujet est incité à utiliser la bande d'arrêt d'urgence. Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à gauche, il peut le faire consciemment en sachant qu'il transgresse le code de la route, ou inconsciemment en pensant utiliser la voie de circulation la plus rapide comme sur autoroute ou voie expresse. Le positionnement du véhicule sujet sur la voie de gauche ou de droite est également repéré.

Le conducteur peut adopter trois comportements différents :

- passer sur la bande d'arrêt d'urgence
- suivre sur la voie de gauche
- suivre sur la voie de droite

4.3.3 Situation 2

Description :

Situation 2 : Un véhicule précédent le véhicule sujet dans le ralentissement dépasse un autre véhicule en utilisant la bande d'arrêt d'urgence. Cette situation est liée à la situation précédente. Le véhicule sujet est toujours bloqué par des véhicules roulant à faible vitesse (40 Km/h), mais le véhicule précédent simule un conducteur nerveux qui dépasse sur la bande d'arrêt d'urgence. Ce véhicule ne met d'ailleurs pas son clignotant.

La situation se débloque par l'accélération des véhicules du trafic, si le véhicule sujet ne passe pas par la bande d'arrêt d'urgence.

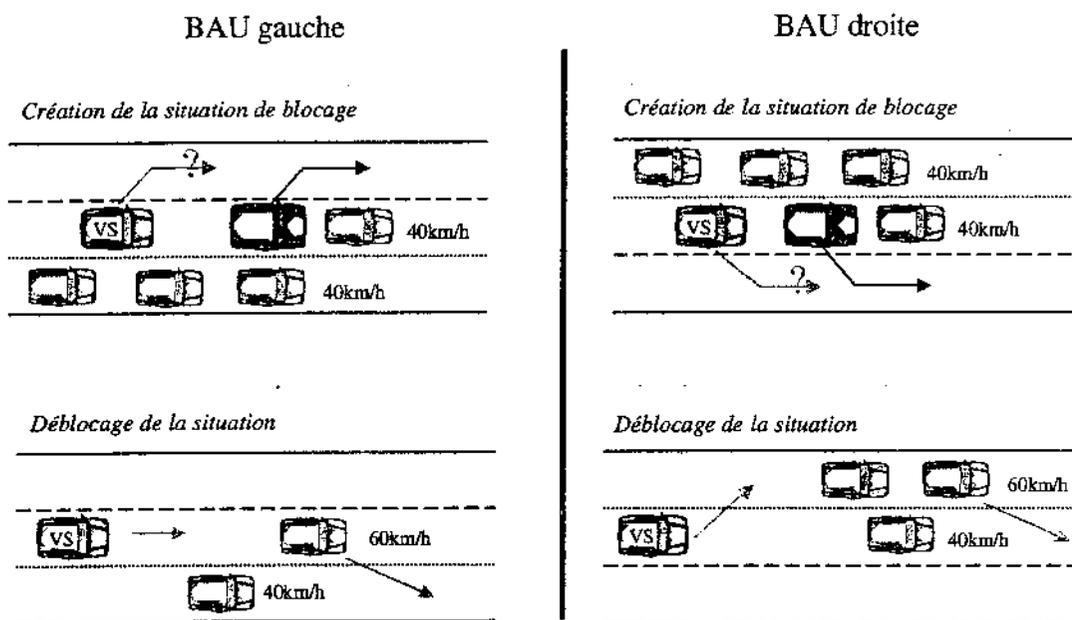


Figure 11 : Situation 2

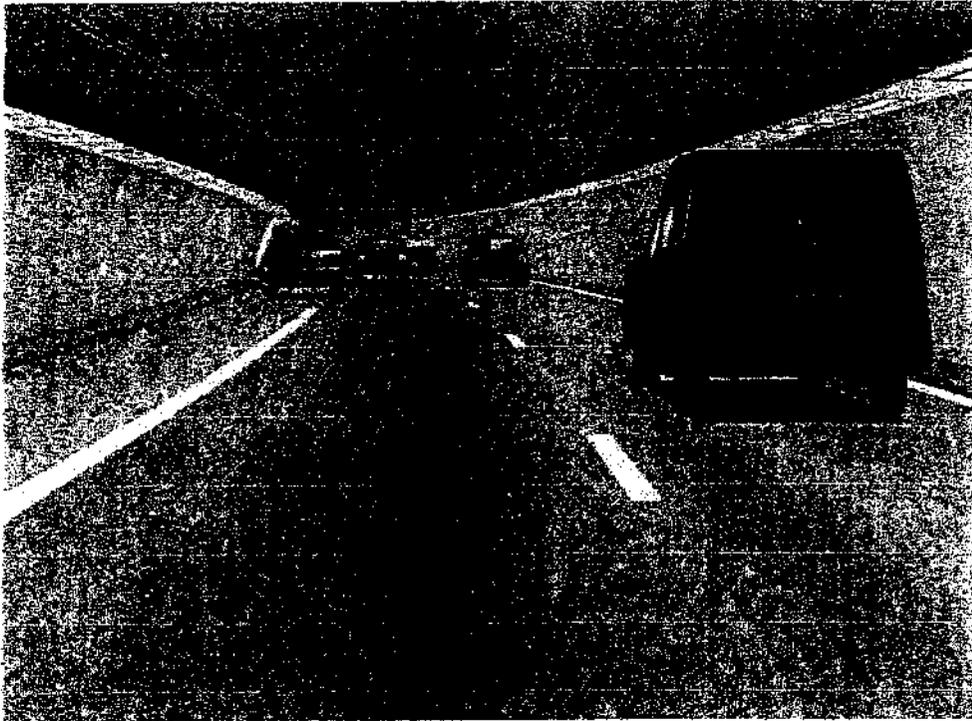


Figure 12 : Situation 2Gauche

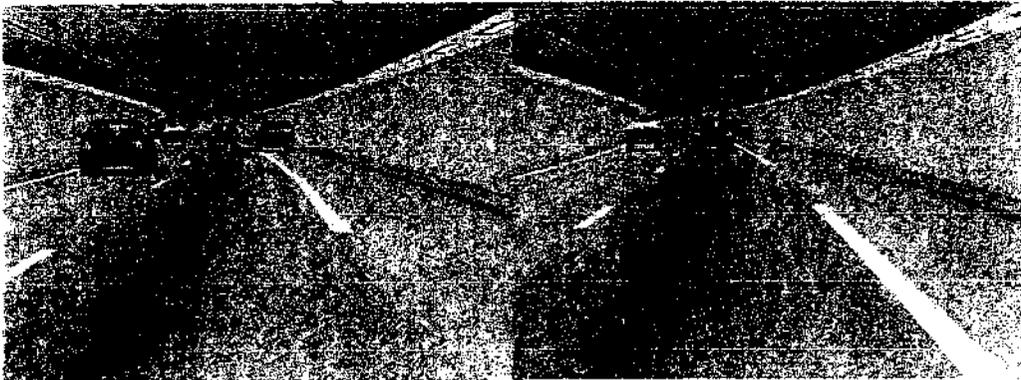


Figure 13 : Situation 2Droite

Objectifs :

Cette situation vise à inciter plus fortement le conducteur à utiliser la BAU comme une voie de circulation, (en montrant le « mauvais exemple »). Pour cette situation, l'autoconfrontation permet également de savoir si l'infraction a été perçue par le conducteur. Elle permet aussi de savoir si le sujet a eu envie de suivre le véhicule en infraction.

Le conducteur peut adopter deux comportements différents :

- Passer sur la bande d'arrêt d'urgence
- Suivre sur sa voie

4.3.4 Situation 3

Description :

Situation 3 : Le véhicule sujet est bloqué par des véhicules roulant à faible vitesse (40 Km/h). Un véhicule du trafic le dépasse l'ensemble du ralentissement en utilisant la bande d'arrêt d'urgence (pas de clignotant). Cette situation est similaire aux deux situations précédentes. La situation se débloque par l'accélération des véhicules du trafic si le véhicule sujet ne passe pas par la bande d'arrêt d'urgence.

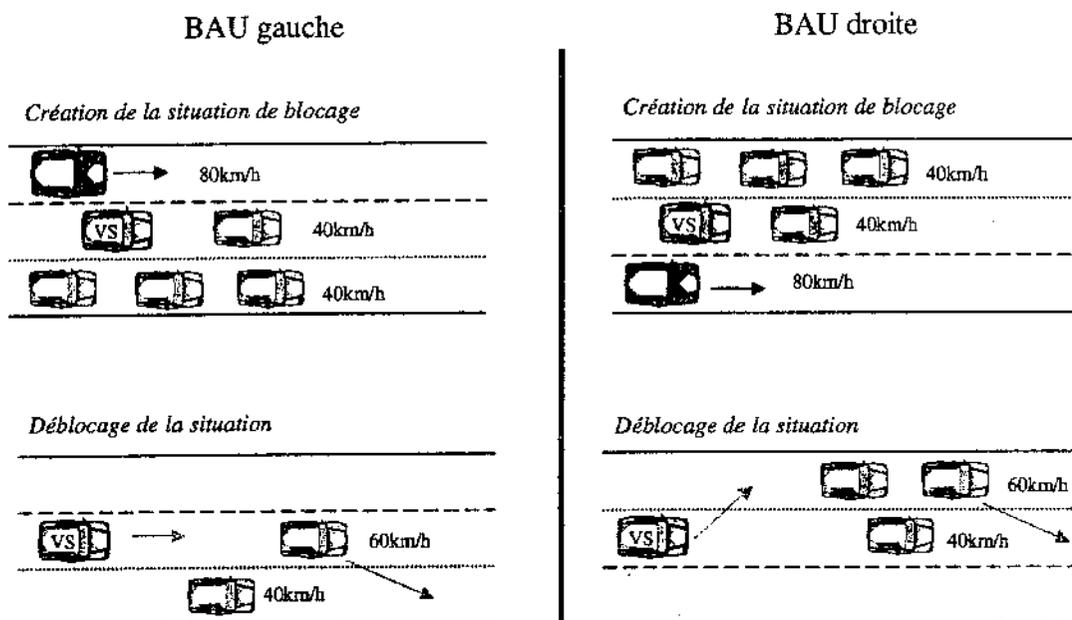


Figure 14 : Situation 3

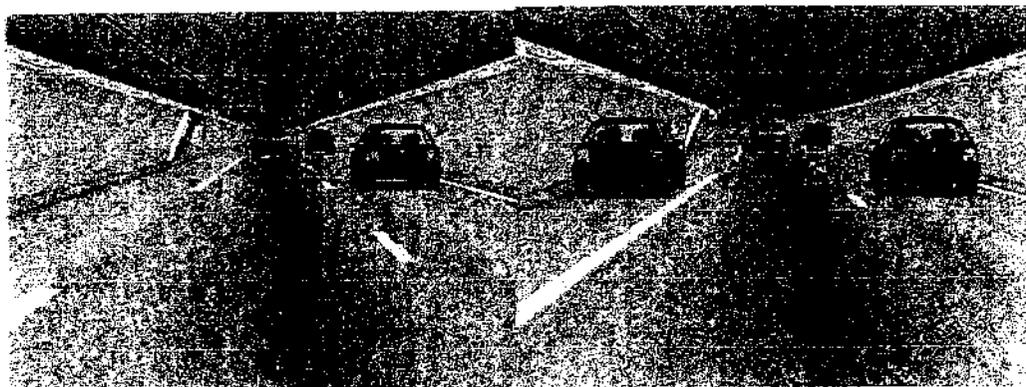


Figure 15 : Situation 3 Gauche

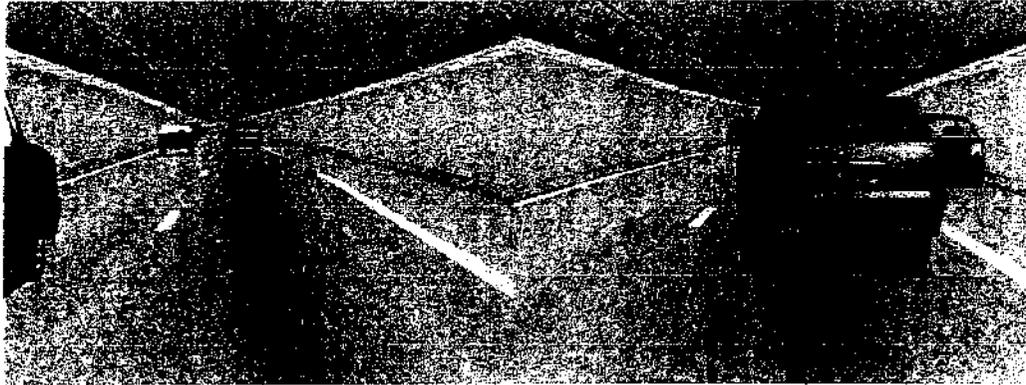


Figure 16 : Situation 3 Droite

Objectifs :

Cette situation vise à susciter les commentaires des sujets pendant la passation ou pendant l'autoconfrontation afin de savoir si le sujet a détecté l'infraction et s'il a eu envie de suivre le véhicule.

Le conducteur peut adopter trois comportements différents :

- Suivre le véhicule qui vient de doubler et passer sur la bande d'arrêt d'urgence
- Changer de voie
- Suivre sur la même voie

4.3.5 Situation 4

Description :

Situation 4 : Un véhicule du trafic est immobilisé sur la bande d'arrêt d'urgence (véhicule en panne ou véhicule de service). Cette situation est liée à la situation précédente. Le véhicule du trafic, qui a dépassé sur la bande d'arrêt d'urgence, s'arrête au niveau d'une niche de sécurité. La situation se débloque par l'accélération des véhicules du trafic si le véhicule sujet ne passe pas par la bande d'arrêt d'urgence.

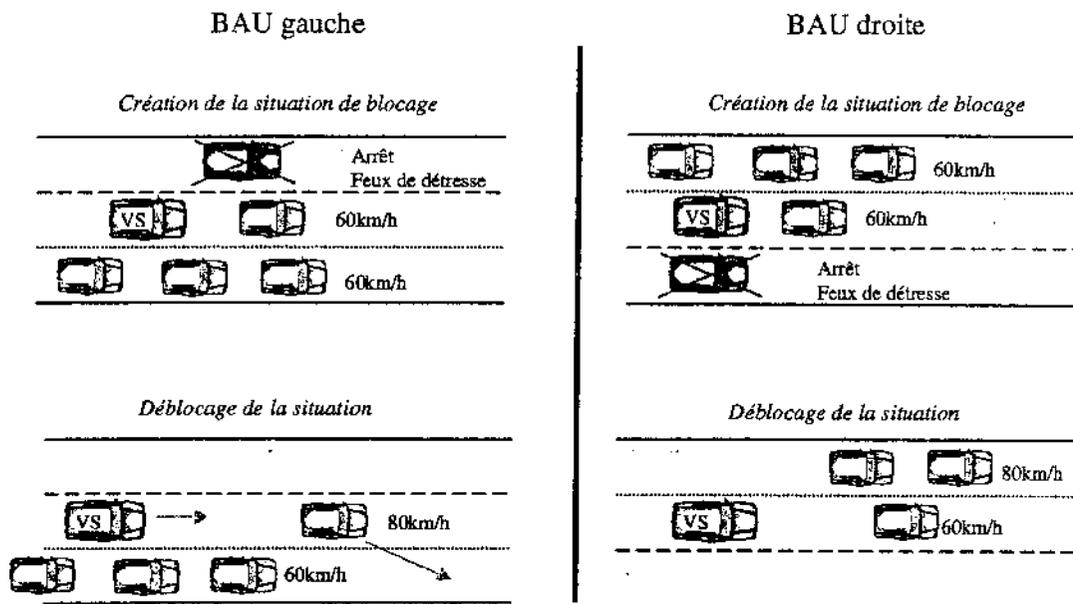


Figure 17 : Situation 4

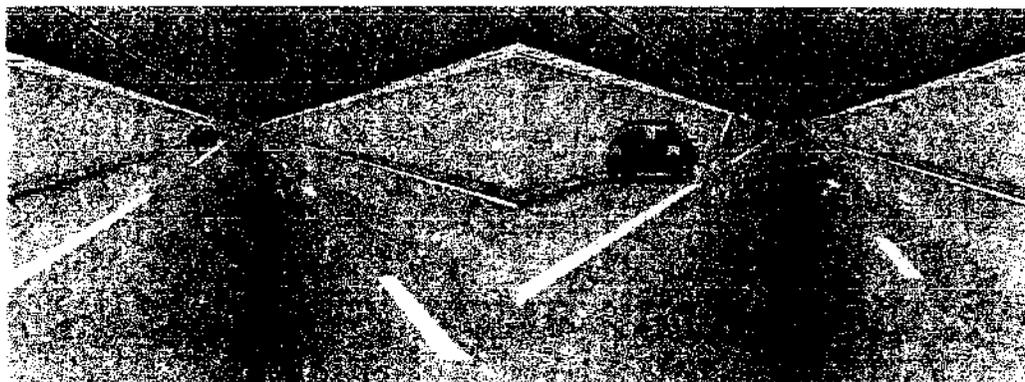


Figure 18 : Situation 4Gauche

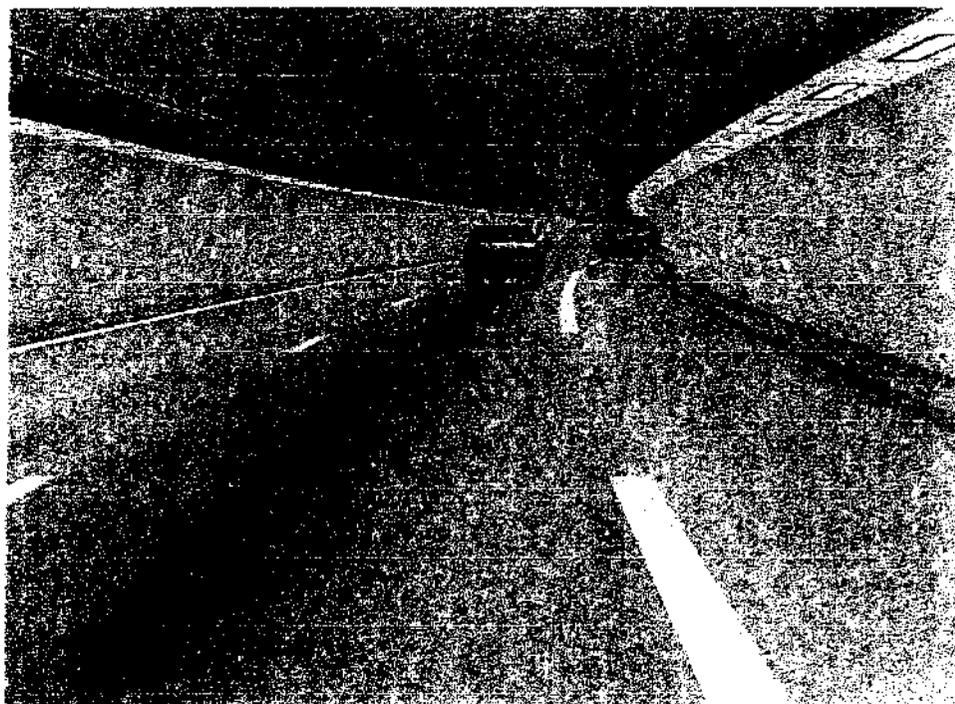


Figure 19 : Situation 4Droite

Objectifs :

Cette situation vise à confronter les sujets à un véhicule en panne afin d'observer les éventuelles réactions. Les sujets commentent cette situation en donnant leurs impressions sur la détection du véhicule arrêté (surprise éventuelle), notamment le comportement qu'ils ont adopté pour répondre à cet événement (déport éventuel sur sa voie, déport sur la voie la plus éloignée).

Le conducteur peut adopter trois comportements différents :

- Passer sur la bande d'arrêt d'urgence
- Passer à côté du véhicule en arrêt
- Se mettre sur la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence

4.3.6 Situation 5

Description :

Situation 5 : Le véhicule sujet est bloqué par des véhicules fortement ralentis, ou arrêtés sur les deux voies. Un panneau à message variable indique le bouchon.
La situation incidentelle est levée par le démarrage des véhicules en arrêt ou par le passage du véhicule sujet par la BAU.

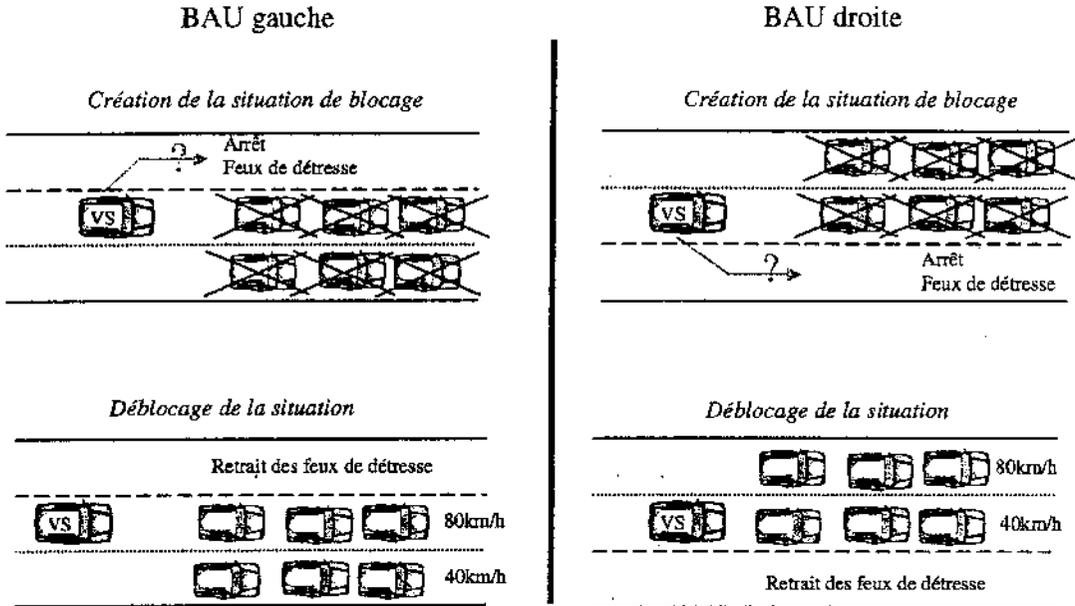


Figure 20 : Situation 5

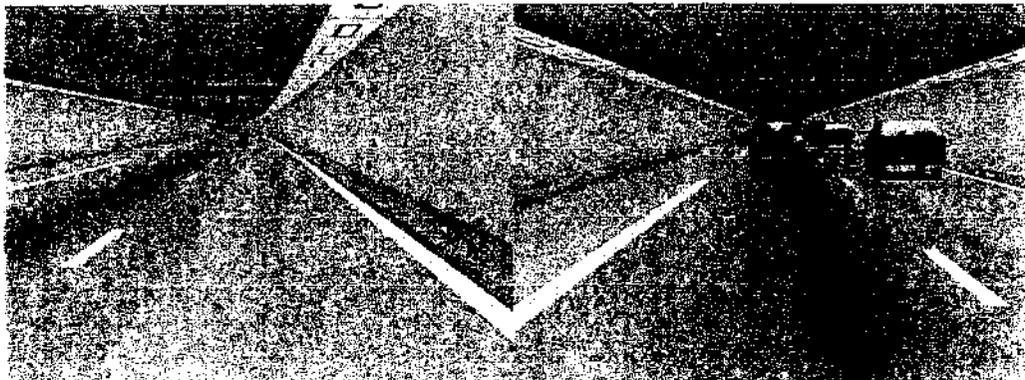


Figure 21 : Situation 5 Gauche

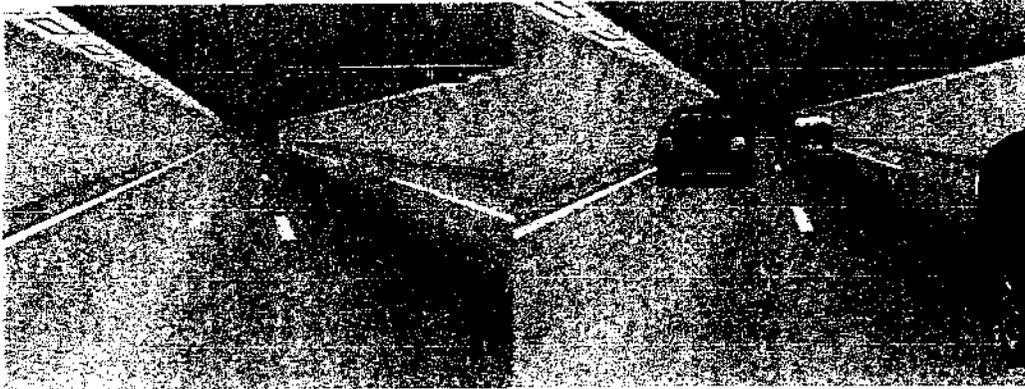


Figure 22 : Situation 5 Droite

Objectifs :

L'objectif de cette situation est similaire à ceux des situations 1 à 3 à savoir si le sujet utilise la bande d'arrêt d'urgence intentionnellement ou non, comme une voie de circulation.

Le conducteur peut adopter deux comportements différents :

- Passer sur la bande d'arrêt d'urgence
- Rester derrière les véhicules en arrêt

4.3.7 Situation 6

Description :

Situation 6 : Un véhicule du trafic tombe en panne sur la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence et rejoint la bande d'arrêt d'urgence. Le véhicule sujet doit arriver au moment où le véhicule sujet est en train de se rabattre.

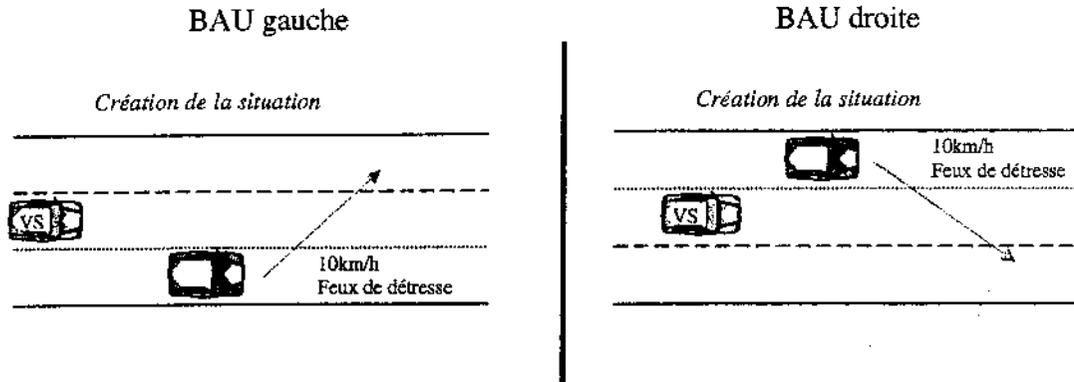


Figure 23 : Situation 6

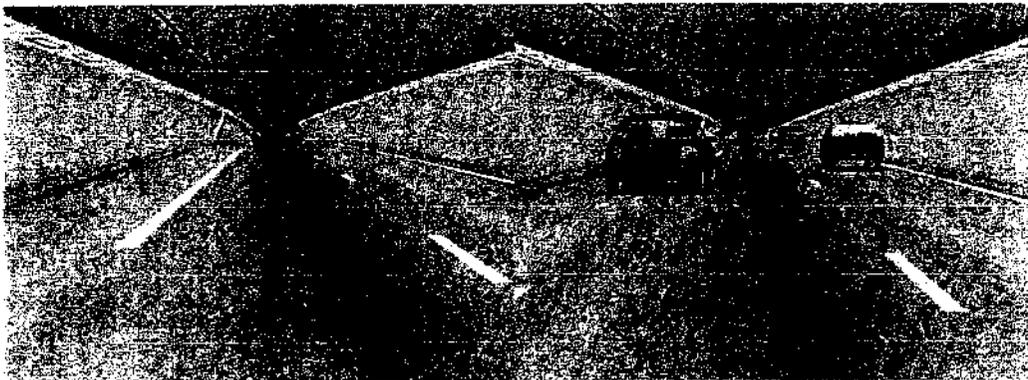


Figure 24 : Situation 6 Gauche

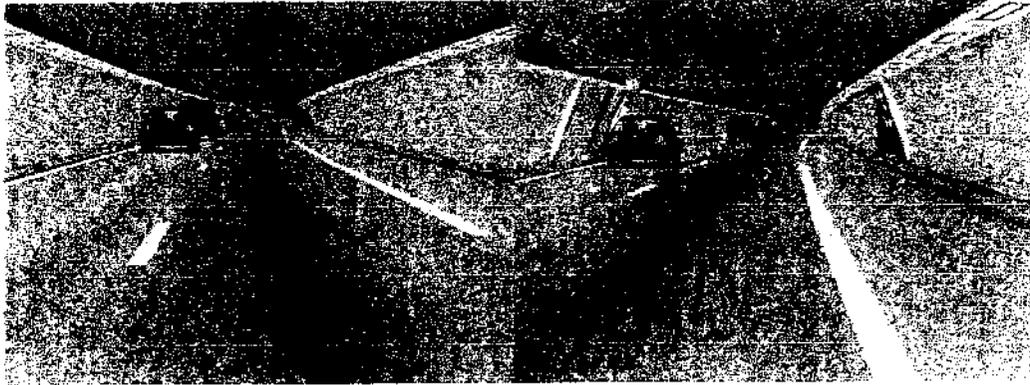


Figure 25 : Situation 6 Droite

Objectifs :

Cette situation permet de savoir si le sujet a bien compris les intentions du véhicule en détresse, et s'il facilite le rabattement de ce dernier. Cette situation permet notamment de savoir si le sujet a anticipé le déplacement du véhicule en détresse de la droite vers la gauche, quand la bande d'arrêt d'urgence est à gauche, ou de la gauche vers la droite, si la bande d'arrêt d'urgence est à droite.

Les conducteurs peut adopter trois comportements différents :

- Faire obstruction au rabattement du véhicule
- Faciliter le rabattement du véhicule en freinant
- Faciliter le rabattement en changeant de voie

4.3.8 Situation 7

Description :

Situation 7 : Un véhicule du trafic s'arrête progressivement sur la voie proche de la bande d'arrêt d'urgence. L'incident est trop proche du véhicule sujet pour que la signalisation puisse le prévenir.

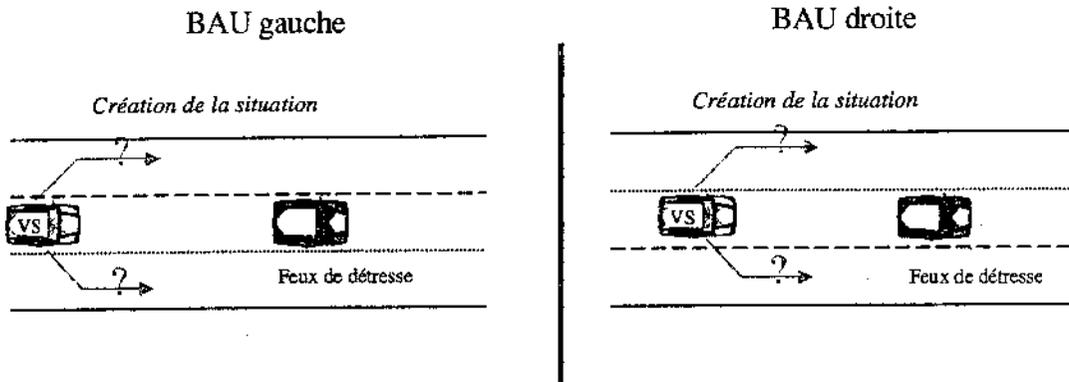


Figure 26 : Situation 7

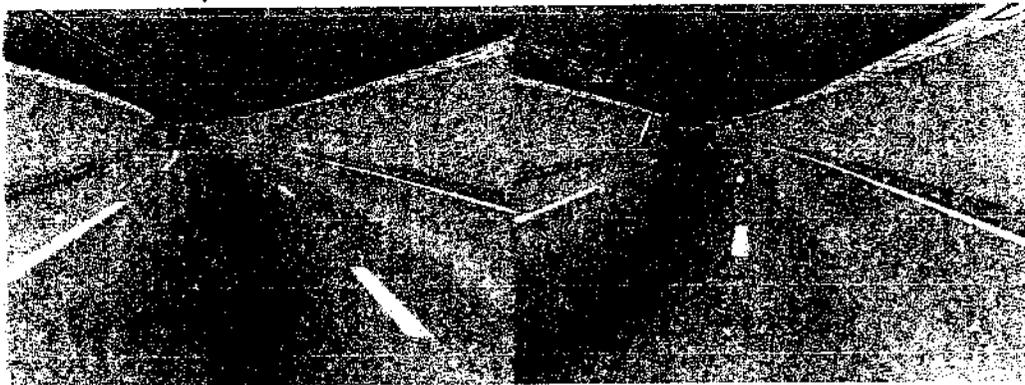


Figure 27 : Situation 7 Gauche

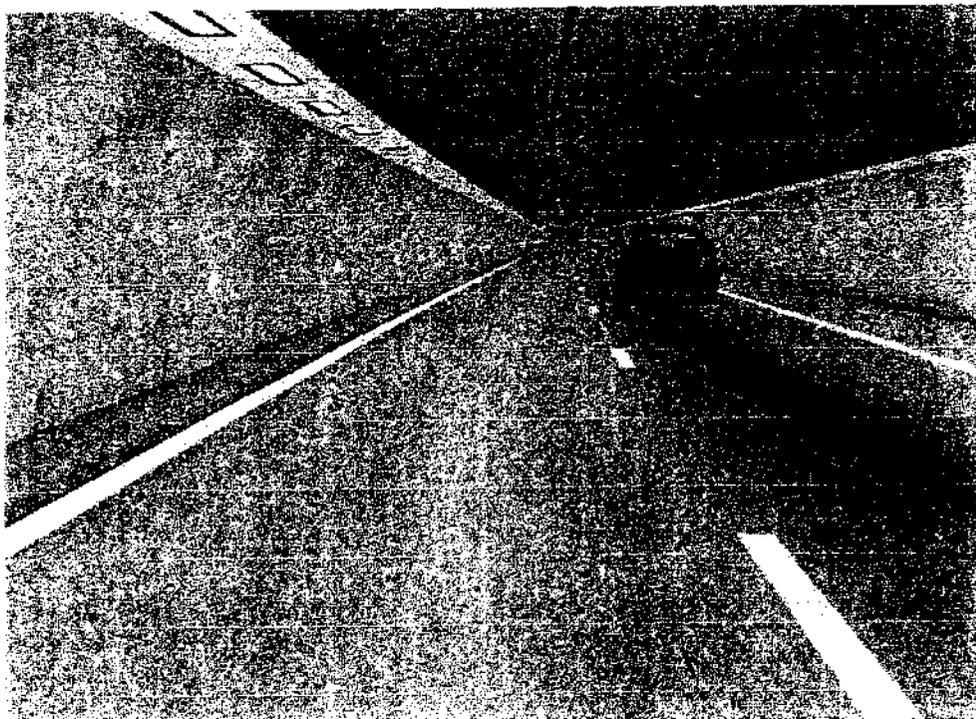


Figure 28 : Situation 7Droite

Objectifs :

Comme pour la situation 6, l'objectif est d'évaluer la compréhension de la situation par le sujet et les stratégies mises en œuvre pour y faire face, notamment en utilisant la BAU. Les commentaires des sujets permettent de savoir s'ils ont détecté l'incident, et de quelle façon ils répondent à cet incident.

Le conducteur peut adopter deux comportements différents :

- Dépasser le véhicule par la bande d'arrêt d'urgence
- Dépasser le véhicule par la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence

4.3.9 Situation 8

Description :

Situation 8 : Le véhicule sujet tombe en panne et doit rejoindre la bande d'arrêt d'urgence. La panne est indiquée par un message vocal incitant le sujet à s'arrêter. Le message est le suivant : « Anomalie détectée, veuillez-vous arrêter ! ». Si le sujet ne s'arrête pas l'expérimentateur répète et explique le message.

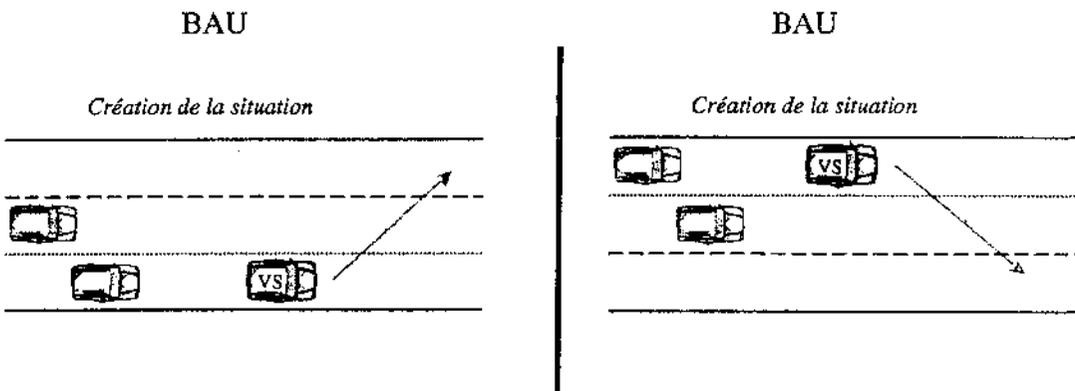


Figure 29 : Situation 8

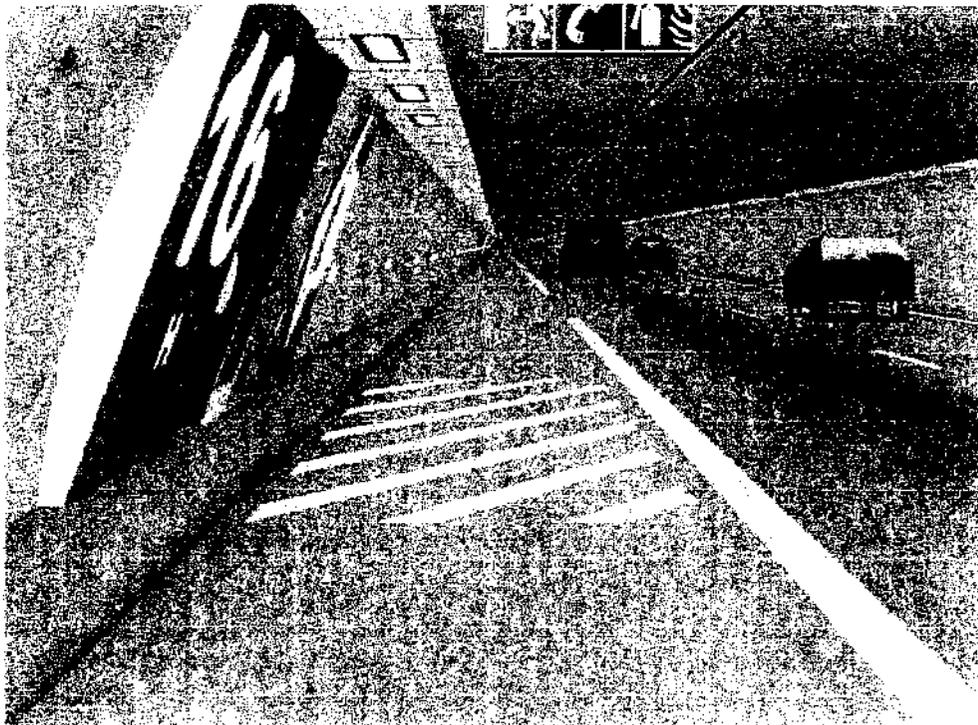


Figure 30 : Situation 8 Gauche

Objectifs :

Cette situation permet de savoir si le sujet a le réflexe de rejoindre la bande d'arrêt d'urgence, auquel cas s'il se dirige du bon côté, et dans le cas contraire, d'en connaître la raison.

Le conducteur peut adopter trois comportements différents :

- S'arrêter sur la bande d'arrêt d'urgence
- S'arrêter sur la voie de droite
- S'arrêter sur la voie de gauche

4.4 Recueil de données

Le recueil de données comprend un enregistrement de données objectives (capteurs sur l'environnement, sur le véhicule et sur le sujet) et subjectives (enregistrement audio et vidéo des réactions verbales et comportementales du sujet).

Les passations font l'objet d'enregistrements de données issues du simulateur à la fréquence de 20 Hz :

- temps simulateur,
- abscisse curviligne ou point kilométrique,
- position latérale sur la voie (distance entre le bord droit du véhicule et le bord droit de la voie empruntée),
- position de la pédale d'embrayage (entre 0 et 1),
- position de la pédale de frein (entre 0 et 1),
- position de la pédale d'accélération (entre 0 et 1),
- angle au volant (entre -1 et 1),
- vitesse (en km/h),
- rapport engagé,
- clignotants,
- feux de détresse,
- voie de circulation,
- collision,
- tâche en cours (situation).

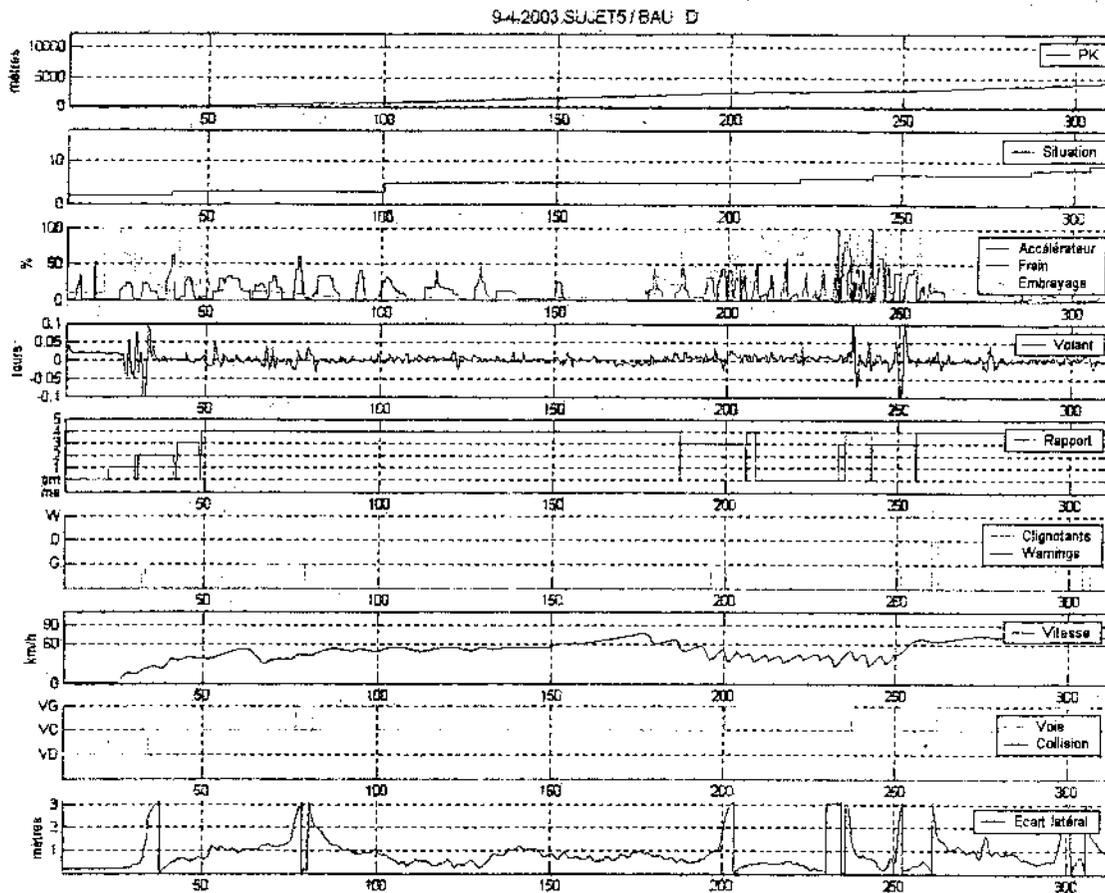


Figure 31 : Données recueillies sur SCANeR®II

Les passations font aussi l'objet :

- d'enregistrements vidéo du buste du conducteur (profil, position des mains sur le volant et sur le levier de vitesse), des scènes avant et arrière vues par le conducteur, et de l'heure de simulation (pour synchroniser les données vidéo et celles issues du simulateur),
- d'enregistrement audio permettant de recueillir les verbalisations durant la conduite.

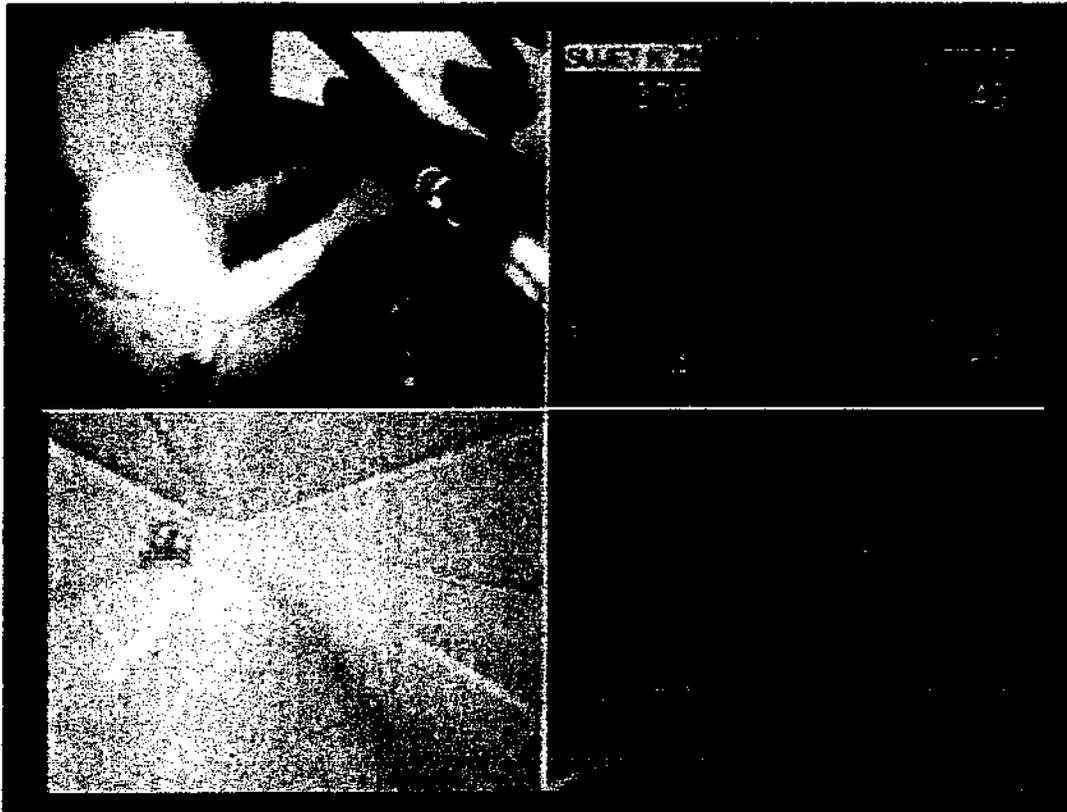


Figure 32 : Enregistrement vidéo des expérimentations

4.5 Profil des sujets

Le profil des sujets a été défini par Cofiroute. Il correspond au profil actuel des abonnés au télépéage sur le réseau Cofiroute. Il a été considéré que ce profil d'utilisateur constitue une bonne approximation du profil des futurs usagers des tunnels (population majoritairement constituée d'abonnés et d'habités). Les critères de sélection des sujets sont, par ordre de priorité :

- Gros rouleurs (60% > 25 000 Km par an ; 54% des trajets sur autoroute)
- Habitant dans les régions parisiennes (80%)
- Actifs (75%)
- Des hommes (70%)
- De niveau fin d'études supérieures (60%)
- D'âge mûr (51 ans en moyenne) (50%)
- De CSP + (61%)

Le profil finalement obtenu par la société de recrutement A2S est le suivant :

- Kilométrage parcouru par an :
 - $5000 < x \leq 15000$ Km/an : 21,9 %
 - $15000 < x \leq 25000$ Km/an : 40,6 %
 - $25000 < x$ Km/an : 37,5 %
- Habitant dans les régions parisiennes : 100 %
- Activité professionnelle :
 - Recherche d'emploi ou retraité : 18,7 %
 - Actif : 81,3 %
- Homme : 71,8 % ; Femme : 28,2 %
- Age :
 - $27 \text{ ans} \leq x < 40 \text{ ans}$: 31,2 %
 - $40 \text{ ans} \leq x < 50 \text{ ans}$: 34,4 %
 - $50 \text{ ans} \leq x < 60 \text{ ans}$: 34,4 %

5. DEROULEMENT DES EXPERIMENTATIONS

Une pré-expérimentation d'une journée était nécessaire pour valider le déroulement du protocole expérimental (vérification des scénarios, des questionnaires, et surtout du temps nécessaire à une passation). Cette journée initialement prévue les 31 mars et/ou 1 avril 2003, s'est vue reportée le 7 avril après midi, demi journée initialement prévue pour commencer les expérimentations. Les sujets programmés le 7 avril ont été reportés ou annulés. Les 31 mars, 1, 4 et 7 avril ont servi à mettre en place les scénarios construits par Oktal sur le simulateur dynamique de Renault.

Les expérimentations se sont donc déroulées du 8 au 11 avril et du 22 au 25 avril 2003. Les paragraphes suivants présentent quelques remarques quant aux modifications apportées par rapport au programme expérimental prévu initialement.

5.1 Planning des expérimentations

38 sujets ont participé aux expérimentations. Cependant, 6 sujets ont ressenti le besoin d'arrêter la conduite sur le simulateur, à la familiarisation ou au premier scénario, parce qu'ils se sentaient mal à l'aise. 5 sujets ont été malades, mais 2 sujets étaient venus à jeun. Le sixième sujet a été incapable de se mettre en situation de conduite et de conduire le véhicule parce que trop nerveux à son arrivée au technocentre. 32 sujets ont réalisé complètement les expérimentations. Cependant, les données du sujet 10 ont été partiellement perdues (problème sur une des machines du simulateur), et le sujet 1 n'a rencontré aucune des 7 situations de trafic étudiées à cause d'une vitesse trop faible perturbant le déroulement du scénario. 30 sujets sont donc exploitables complètement (données quantitatives et qualitatives). 2 sujets sont exploitables partiellement.

	Heure	Présence au test	Validité des données	Numéro de sujet
MARDI 8 AVRIL				
	08h15 à 09h45	NON enfant malade		
	09h45 à 11h15	OUI	OUI	Sujet 1
	11h15 à 12h45	OUI	OUI	Sujet 2
	13h30 à 15h00	NON bras cassé		
	15h00 à 16h30	NON		
MERCREDI 9 AVRIL				
	08h15 à 09h45	OUI	OUI	Sujet 3
	09h45 à 11h15	OUI	OUI	Sujet 4
	11h15 à 12h45	OUI mais malade		
	13h30 à 15h00	OUI	OUI	Sujet 5
	15h00 à 16h30	NON panne de voiture		
JEUDI 10 AVRIL				
	08h45 à 10h30	OUI	OUI	Sujet 6
	10h15 à 12h00	OUI	OUI	Sujet 7
	12h45 à 14h30	OUI	OUI	Sujet 8
	14h15 à 16h00	OUI mais inapte		
	15h45 à 17h00	OUI	OUI	Sujet 9
	16h45 à 18h30	OUI	NON données perdues	Sujet 10

Expérimentations et résultats
Réf BAU/034 - 03.140/A v1.3

VENDREDI 11 AVRIL

08h15 à 9h45	OUI	OUI	Sujet 11
09h45 à 11h15	OUI	OUI	Sujet 12
11h15 à 12h45	OUI mais malade		
13h30 à 15h00	OUI	OUI	Sujet 13
15h00 à 16h30	OUI	OUI	Sujet 14
16h15 à 18h00	OUI	OUI	Sujet 15

MARDI 22 AVRIL

08h45 à 10h30	OUI	OUI	Sujet 16
10h15 à 12h00	OUI	OUI	Sujet 17
12h45 à 14h30	OUI mais malade		
14h15 à 16h00	OUI	OUI	Sujet 18
15h45 à 17h00	OUI	OUI	Sujet 19

MERCREDI 23 AVRIL

08h45 à 10h30	OUI	OUI	Sujet 20
10h15 à 12h00	OUI	OUI	Sujet 21
12h45 à 14h30	OUI	OUI	Sujet 22
14h15 à 16h00	OUI	OUI	Sujet 23
15h45 à 17h00	OUI mais claustrophobe		

JEUDI 24 AVRIL

08h45 à 10h30	OUI mais malade		
10h15 à 12h00	OUI	OUI	Sujet 24
12h45 à 14h30	OUI	OUI	Sujet 25
14h15 à 16h00	OUI	OUI	Sujet 26
15h45 à 17h30	OUI	OUI	Sujet 27

VENDREDI 25 AVRIL

08h45 à 10h30	OUI	OUI	Sujet 28
10h15 à 12h00	OUI	OUI	Sujet 29
12h45 à 14h30	OUI	OUI	Sujet 30
14h15 à 16h00	OUI	OUI	Sujet 31
15h45 à 17h30	OUI	OUI	Sujet 32

Soit :

- sujets absents : 4
- sujets inaptes : 6
- erreurs de manip : 2
- total « sujets exploitables » complètement : 30

5.2 Remarques sur la prise en main du simulateur

L'adaptation des sujets au simulateur a été très variable. Certains sujets ont immédiatement retrouvé leurs habitudes de conduite, tandis que d'autres ont éprouvé beaucoup de difficultés à conduire, que ce soit pour le passage des vitesses ou pour les situations de freinage. Les situations de conduite qui impliquaient de maintenir un régime bas (10 ou 20 Km/h) étaient difficiles à contrôler, de même que le maintien d'une vitesse de consigne, du fait d'une mauvaise perception de la vitesse à partir du défilement des images (commentaires des conducteurs) et de l'absence de modélisation du frein moteur au niveau du simulateur. Il a donc été nécessaire, pendant les passations, de rappeler à certains conducteurs la consigne de vitesse du tunnel (70 Km/h).

Les réponses aux multiples présentations du questionnaire B permettent de percevoir l'impact qu'a pu avoir la conduite en simulateur sur l'état physique des conducteurs.

Le graphique suivant montre l'évolution de la fatigue physique, du mal de tête, de la fatigue visuelle, du « mal au cœur » et du stress, depuis le commencement du scénario de familiarisation jusqu'à la fin de la passation du dernier scénario.

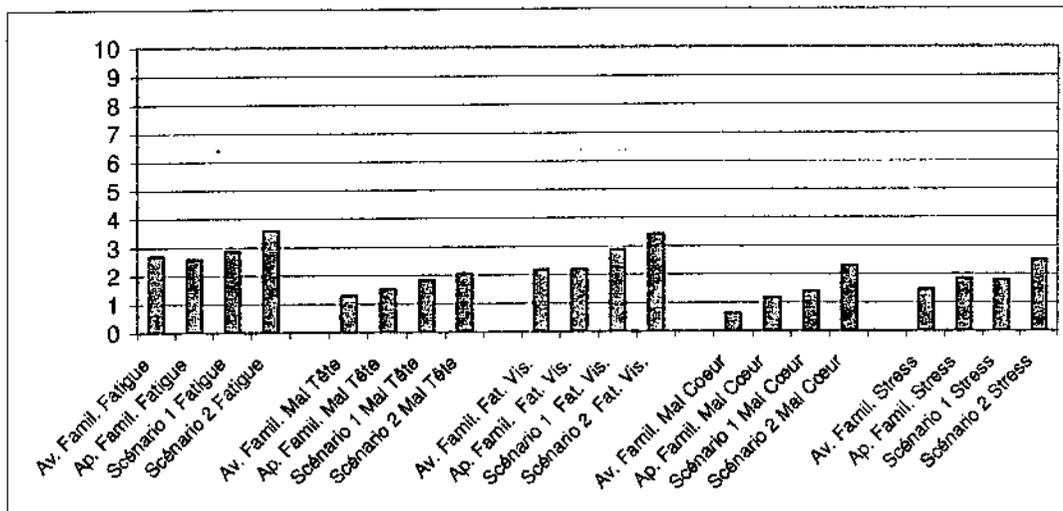


Figure 33 : Moyenne des indicateurs sur l'état physique du sujet avant la familiarisation, après la familiarisation, après le premier scénario passé et après le second scénario passé.

L'analyse de ces réponses montre que la fatigue physique, la fatigue visuelle, le « mal de cœur » et le stress augmentent de manière significative, et ce surtout sur le dernier scénario (premier passage sur le simulateur vs dernier passage sur le simulateur : (2,69 vs 3,46 ; $t = 2,25$; $dl = 30$; $p < 0,03$) (2,20 vs 3,30 ; $t = 2,72$; $dl = 30$; $p < 0,01$) (0,62 vs 2,20 ; $t = 3,84$; $dl = 30$; $p < 0,0006$) (1,87 vs 2,51 ; $t = 2,81$; $dl = 30$; $p < 0,008$)). L'indice de stress n'augmente pas de façon significative. (Une description des indicateurs statistiques est faite dans le paragraphe 4).

Ces résultats montrent que la conduite en simulateur a un impact sur l'état physique des sujets mais l'échelle de réponse allant de Très faible à Très élevé, ils montrent également que la moyenne est en dessous de la moitié du maximum proposé.

5.3 Remarques sur les conditions expérimentales

Dans ce type d'expérimentation, la vigilance des conducteurs est naturellement intensifiée par le contexte expérimental. Bien qu'ils soient prévenus que l'objectif n'est pas de les piéger par des situations de trafic dangereuses ni d'évaluer leur conduite, les conducteurs se sentent observés, et ce malgré la mise en place d'une relation de confiance entre le conducteur et les expérimentateurs pendant la phase de familiarisation et les passations.

Dans cette expérimentation, le niveau de vigilance était particulièrement accru en raison de certains comportements adoptés par les véhicules du trafic.

En effet, pour les expérimentations nous avons essayé de reproduire les conditions de trafic que rencontreront une majorité d'usagers. Un volume de trafic de 1300 véh/h correspondant au trafic en heure normale à l'horizon 2010 du tronçon le plus chargé a été retenu. Des véhicules ont donc été introduits dans la simulation pour se rapprocher de cette estimation.

La fonctionnalité « essais de véhicules » du simulateur a été utilisée pour introduire ce trafic entre les situations (pour accroître le réalisme, sans perturber l'étude). Cependant, ces véhicules autonomes ont parfois adopté des comportements surprenants (déboîtements intempestifs, freinages brusques, ...) qui ont accru la méfiance du conducteur à l'égard du trafic. Ceci a contribué à renforcer la vigilance et l'anticipation des conducteurs qui ont gardé une marge de sécurité suffisante pour ne pas être surpris.

5.4 Remarques sur les situations

Parmi les 9 situations de conduite proposées, 3 ne se sont pas toujours produites correctement (situations 2, 3 et 6). Le bon déroulement de ces situations était fortement dépendant de la vitesse pratiquée par les sujets, ainsi que du comportement des véhicules autonomes cités précédemment.

La situation 3, pendant laquelle un véhicule du trafic dépasse le véhicule sujet sur la bande d'arrêt d'urgence, s'est souvent produite alors que le véhicule sujet n'était pas dans une phase de ralentissement. Le sujet a alors eu une perception différente de l'infraction.

La situation 2 a souvent été occultée par des véhicules autonomes, ou s'est déclenchée dans un virage sur la gauche ce qui la rendait non perceptible par le sujet.

La situation 6 était soit occultée par les véhicules autonomes, soit terminée quand le véhicule sujet passait à côté du véhicule en détresse. De plus, ce véhicule ne rejoignait pas complètement la bande d'arrêt d'urgence, mais restait positionné sur la ligne de signalisation de la bande d'arrêt d'urgence. Ce comportement était mal perçu par les sujets.

6. ANALYSE DES DONNEES

Les données ont été analysées avec un outil développé au LAMIH sous MatLab (cf. figure 14) pour formater, regrouper, présenter et réaliser des premiers calculs.

Un second outil, Statistica (logiciel du commerce), a été utilisé pour construire les analyses statistiques.

6.1 Test statistique utilisé

Pour l'ensemble des données analysées, nous avons utilisé *le t de student*, qui est la statistique la plus courante pour évaluer la significativité des différences de moyenne entre deux groupes. Les valeurs indiquées à chaque test sont les moyennes, les écart-types, la valeur du t (différence de moyenne entre les deux groupes, standardisée par la dispersion des données), le dl (le degré de liberté), et le p (le niveau de significativité statistique). Le niveau p reporté dans un test représente la probabilité d'erreur associée à l'acceptation d'une hypothèse de recherche concernant l'existence d'une différence. 0,05 est considéré comme une « limite » acceptable d'erreur ; il indique qu'il existe une probabilité de 5% pour que la relation entre les variables trouvées dans l'échantillon soit une « coïncidence » ou « due à la chance ».

Le t de student pour des échantillons indépendants est utilisé pour comparer deux groupes d'observation constitués de sujets différents. Dans notre cas, il a permis d'étudier les effets d'ordre éventuels. Ce test a permis de comparer deux groupes de sujets, l'un des groupes comportait les sujets ayant commencé les expérimentations avec le scénario bande d'arrêt d'urgence à droite, l'autre groupe comportait les sujets ayant commencé les expérimentations avec le scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche.

Le t de student pour des échantillons appariés est utilisé pour comparer deux groupes d'observation constitués des mêmes sujets. Pour l'ensemble des sujets, ce test permet de savoir si les éventuelles différences observées entre des données obtenues avec le scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche, et celles obtenues avec le scénario bande d'arrêt d'urgence à droite, sont significatives.

6.2 Recherche des effets d'ordre

Avant toute analyse sur les groupes de sujets appariés, nous regardons s'il existe un effet de l'ordre de présentation des scénarios expérimentaux sur les données recueillies : réponses aux questionnaires présentant une échelle, données issues de l'enregistrement automatique de la dynamique du véhicule sujet, ainsi que les réactions des conducteurs aux diverses situations.

Sur environ deux cents mesures, cinq effets d'ordre seulement ont pu être constatés (cf. Annexe, §7.1).

Le premier concerne la durée totale du scénario BAU à gauche, qui est plus faible lorsque ce scénario est positionné en seconde place dans le déroulement du protocole (Scénario BAU à gauche : ordre BAU à gauche puis BAU à droite : moyenne : 929,67 secondes vs ordre BAU à droite puis BAU à gauche : moyenne : 874,69 secondes ; $t = 3,49$, $dl = 29$, $p < 0,001$).

Le deuxième concerne la position latérale du véhicule sujet sur la voie de gauche pendant la passation du scénario BAU à gauche. Le véhicule sujet est plus à gauche sur la voie de gauche lorsque le scénario BAU à gauche est passé en premier (Scénario BAU à gauche : ordre BAU à gauche puis BAU à droite : moyenne : 0,99 cm vs ordre BAU à droite puis BAU à gauche : moyenne : 0,91 cm ; $t = 2,17$, $dl = 29$, $p < 0,038$).

Les trois derniers effets d'ordre concernent les réactions des sujets aux situations 1, 3 et 4 pendant le scénario BAU à gauche. Pendant la situation 1, 7 sujets ayant passé le scénario BAU à gauche en premier contre 14 ayant passé ce scénario en second suivent sur la voie de gauche (Scénario BAU à gauche : $X^2 : 4,50$, $dl = 1$, $p < 0,03$). Pendant la situation 3, 8 sujets ayant passé le scénario BAU à gauche en premier contre 15 ayant passé ce scénario en second restent sur la même voie (Scénario BAU à gauche : $X^2 : 4,80$, $dl = 1$, $p < 0,03$). Pendant la situation 4, 8 sujets ayant passé le scénario BAU à gauche en premier contre 15 ayant passé ce scénario en second passent à côté du véhicule en arrêt (Scénario BAU à gauche : $X^2 : 4,80$, $dl = 1$, $p < 0,03$). Ces effets sont au nombre de 3 sur 90 analyses menées sur l'ensemble des réactions des conducteurs aux différentes situations de conduite pendant les deux scénarios, nous les considérons donc comme négligeables.

6.3 Analyse des données issues de la cinématique du véhicule

Ces résultats portent sur l'analyse des données issues du simulateur relatives à la cinématique du véhicule sujet.

6.3.1 Temps passé par le véhicule sujet sur chacune des voies

La durée totale d'utilisation de chacune des trois voies a été calculée (en %). Des différences significatives apparaissent entre la durée d'utilisation des voies de droite et de gauche suivant la position de la bande d'arrêt d'urgence (voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 46,70, écart type : 18,99 ; voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 68,13, écart type : 13,65 ; $t = 7,09$, $dl = 30$, $p < 0.0001$; voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 48,21, écart type : 17,65 ; voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 25,80, écart type : 13,37 ; $t = 7,68$, $dl = 30$, $p < 0.0001$).

Ces données sont reportées sur l'histogramme suivant.

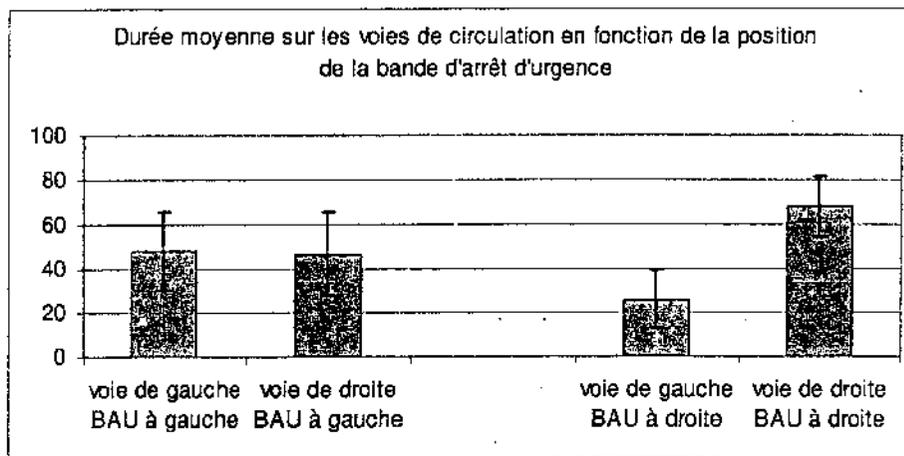


Figure 34 : Effet de la position de la bande d'arrêt d'urgence sur la durée moyenne d'utilisation des voies de circulation

L'histogramme souligne que la voie de droite est plus utilisée lorsque la bande d'urgence est positionnée sur la droite, et *a contrario* la voie de gauche est plus utilisée lorsque la bande d'arrêt d'urgence est positionnée sur la gauche.

Lorsque l'utilisation des voies de circulation est analysée par scénario, aucune différence significative n'apparaît entre la voie de droite et la voie de gauche lorsque la bande d'arrêt d'urgence est à gauche. Les deux voies sont à peu près autant utilisées. A l'opposé, une différence significative apparaît si une comparaison est faite entre les deux voies lorsque la bande d'arrêt d'urgence est à droite ($t = 8,74$, $dl = 30$, $p < 0.0001$). La voie de droite est beaucoup plus utilisée que la voie de gauche.

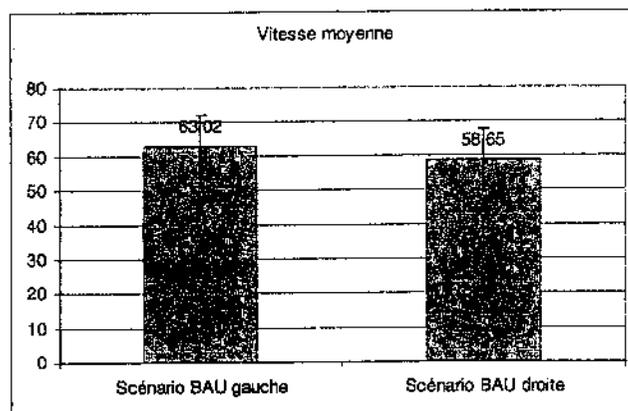
Ces résultats laissent donc supposer que les sujets auraient tendance à utiliser « la voie centrale ».

6.3.2 Vitesse moyenne pratiquée sur l'ensemble de la conduite

Aucune différence significative n'apparaît. Ce résultat est probablement dû au trafic qui ne permettait pas au conducteur de garder une allure stable. Les situations de trafic provoquaient des ralentissements, mais des freinages ont aussi été induits par les véhicules autonomes.

6.3.3 Vitesse moyenne pratiquée sur une période particulière de conduite

La vitesse moyenne a été calculée sur une période de conduite identifiée comme présentant une vitesse à peu près constante. Les instants de début et de fin de la portion étudiée sont définis à partir de la représentation graphique du signal « vitesse » sous le logiciel Matlab développé. Cette période commence à la fin de la situation 7 pour le scénario BAU à gauche, à la fin de la situation 2 pour le scénario BAU à droite, et se finit pendant la situation 5, lorsque le véhicule sujet arrive sur le bouchon. Les distances parcourues, et les temps de cette période sont différentes d'un sujet à l'autre. Le seul point commun entre les sujets est que sur cette période « calme », la vitesse est quasi constante.



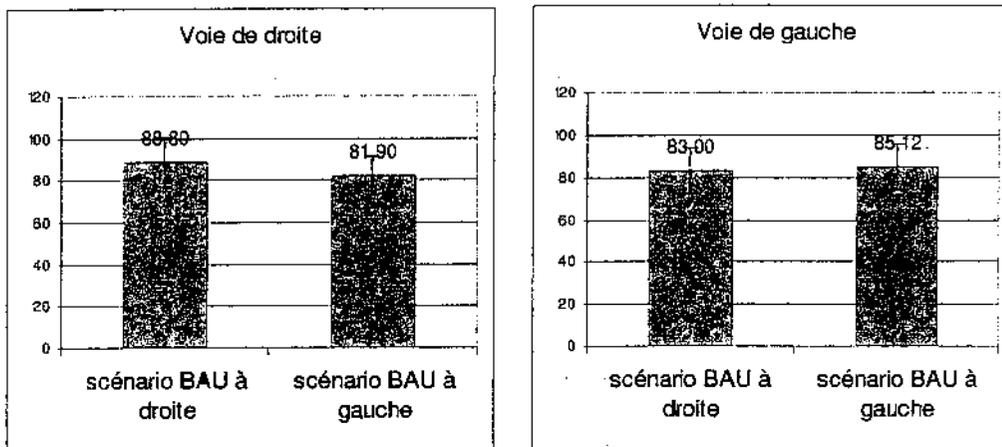
Différence significative

Figure 35 : Vitesse moyenne sur les deux scénarios

La différence entre les deux vitesses moyennes pratiquées sur les deux scénarios est significative (scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 63,02, écart type : 8,98; scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 58,64, écart type : 8,99; $t = 3,04$, $df = 30$, $p < 0,00482$). La vitesse moyenne pratiquée pendant le scénario BAU à gauche est plus importante que la vitesse moyenne pratiquée pendant le scénario BAU à droite, sur la période sélectionnée.

6.3.4 Vitesse maximale par voie de circulation et par scénario

Une différence significative apparaît sur la vitesse maximale pratiquée sur la voie de droite suivant la position de la bande d'arrêt d'urgence (voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 81,90, écart type : 9,15 ; voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 88,80, écart type : 12,08 ; $t = 3,34$, $dl = 30$, $p < 0,002$). Aucune différence n'apparaît quant à la vitesse maximale pratiquée sur la voie de gauche (voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 85,12, écart type : 10,90 ; voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 83,00, écart type : 10,92).



Différence significative

Différence non significative

Figure 36 : Effet de la position de la bande d'arrêt d'urgence sur la vitesse maximale pratiquée

Les conducteurs adoptent, sur la voie de droite, une vitesse maximale supérieure quand la bande d'arrêt d'urgence est à droite.

6.3.5 Position latérale par voie et par scénario

Une différence significative apparaît sur la position latérale du véhicule sur la voie de droite suivant la position de la bande d'arrêt d'urgence (par convention, la position latérale est la distance entre le bord droit du véhicule et le bord droit de la chaussée), (voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 0,854, écart type : 0,154 ; voie de droite et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 0,806, écart type : 0,137 ; $t = 2,45$, $dl = 30$, $p < 0,002$).

La différence entre les deux scénarios n'est pas significative pour la voie de gauche (voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 0,947, écart type : 0,109 ; voie de gauche et scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 0,999, écart type : 0,168). L'un des deux effets d'ordre relevés concerne la position latérale sur la voie de gauche, de plus la différence n'est pas significative, aucune conclusion ne peut donc être tirée concernant la voie de gauche.

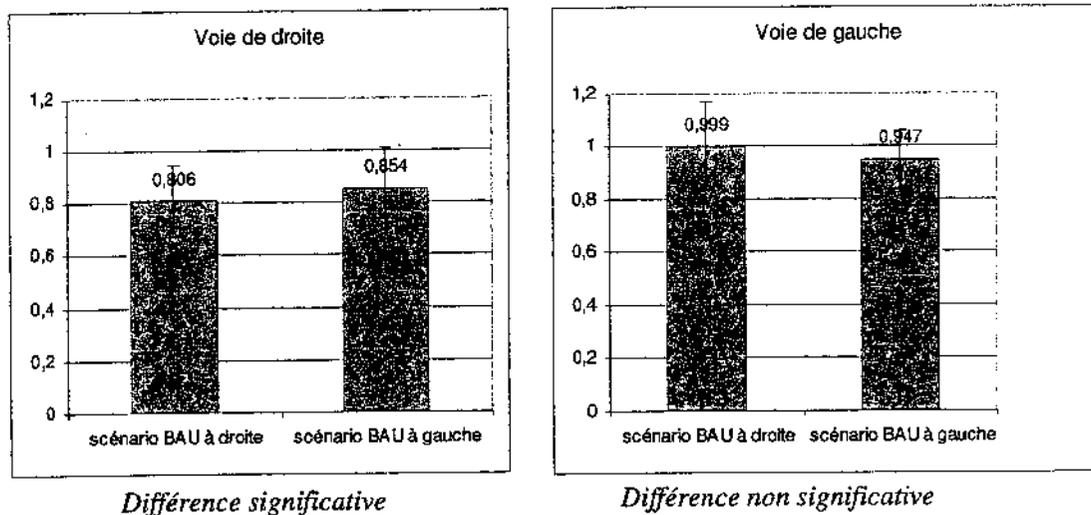


Figure 37 : Effet de la position de la bande d'arrêt d'urgence sur la position latérale du véhicule

Les données révèlent que les sujets conduisent plus à gauche sur la voie de droite lorsque la bande d'arrêt d'urgence est à gauche. Les conducteurs auraient donc tendance à s'écarter de la paroi de droite du tunnel.

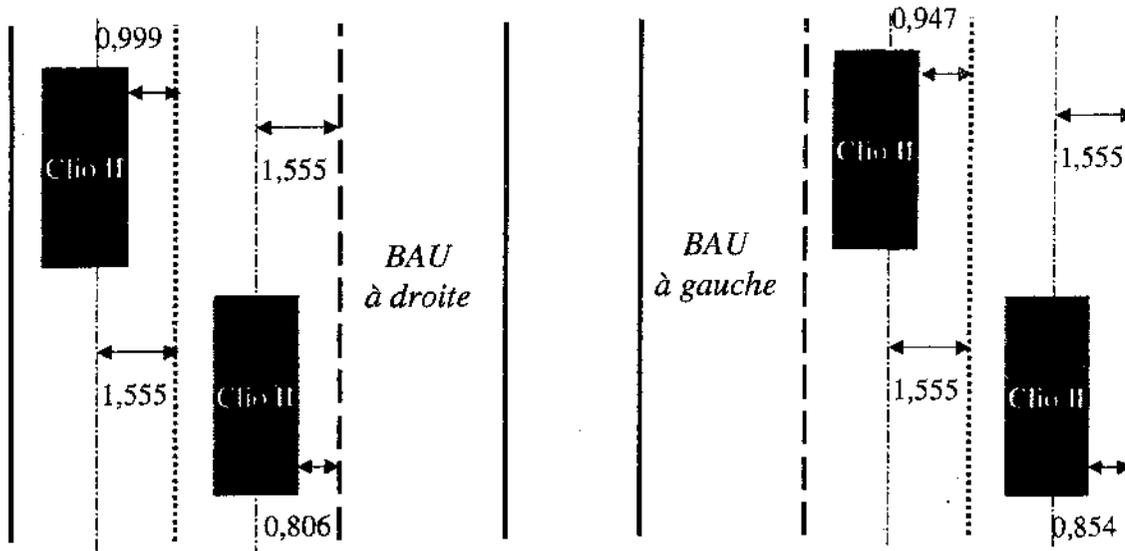


Figure 38 : Position du véhicule sujet sur les voies de circulation (largeur de voie : 311 cm ; largeur du véhicule sujet : 164 cm ; largeur du marquage : 15 cm)

6.4 Comportement des conducteurs sur chaque situation

Les réactions du conducteur sur chaque situation (R0 à R5) sont repérées par l'expérimentateur pendant les passations. Elles servent de support à l'autoconfrontation. Ces données fournissent des résultats quantitatifs sur l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence en fonction de l'incident produit.

Codage des réactions des conducteurs :

Les différents comportements des conducteurs ont été codés de façon à obtenir des données quantitatives, et pour présenter des résultats objectifs.

Situation 0 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet avance sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet s'engage sur la voie de gauche
- R3 : le véhicule sujet s'engage sur la voie de droite
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 1 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet passe sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet suit sur la voie de gauche
- R3 : le véhicule sujet suit sur la voie de droite
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 2 :

- R0 : la situation ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet passe sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet suit sur sa voie
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 3 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet passe aussi sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet change de voie
- R3 : le véhicule sujet suit sur la même voie
- R4 : se déclenche hors ralentissement
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 4 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet passe sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet passe à côté du véhicule en arrêt
- R3 : le véhicule sujet se met sur la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 5 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet passe sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet reste derrière les véhicules en arrêt
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 6 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet fait obstruction au rabattement du véhicule
- R2 : le véhicule sujet facilite le rabattement du véhicule en freinant
- R3 : le véhicule sujet facilite le rabattement en changeant de voie
- R4 : le véhicule en détresse est déjà arrêté
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 7 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet dépasse le véhicule par la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet dépasse le véhicule par la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence
- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Situation 8 :

- R0 : elle ne se déclenche pas
- R1 : le véhicule sujet s'arrête sur la bande d'arrêt d'urgence
- R2 : le véhicule sujet s'arrête sur la voie de droite
- R3 : le véhicule sujet s'arrête sur la voie de gauche

- R5 : échec, le simulateur est arrêté

Les résultats sont présentés sur les graphiques suivants. Ils présentent la fréquence des réactions en fonction des situations. Les réactions et les situations sont celles décrites précédemment dans le rapport (§ 3).

La réaction R5 permet de noter s'il y a eu un arrêt du simulateur pendant une phase de conduite. Ce cas ne s'est jamais produit, de part la fiabilité du simulateur.

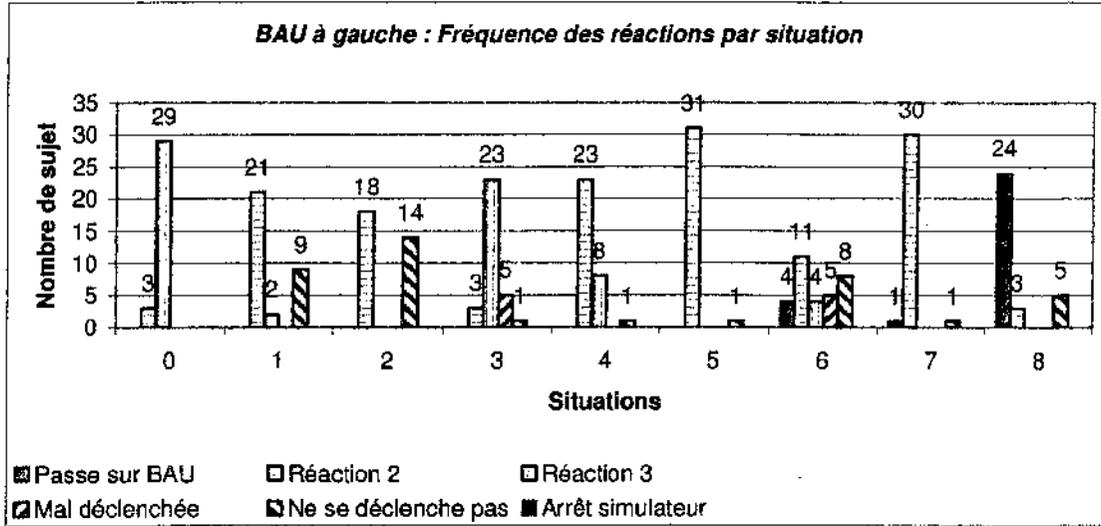


Figure 39 : Histogramme des réactions des sujets avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche

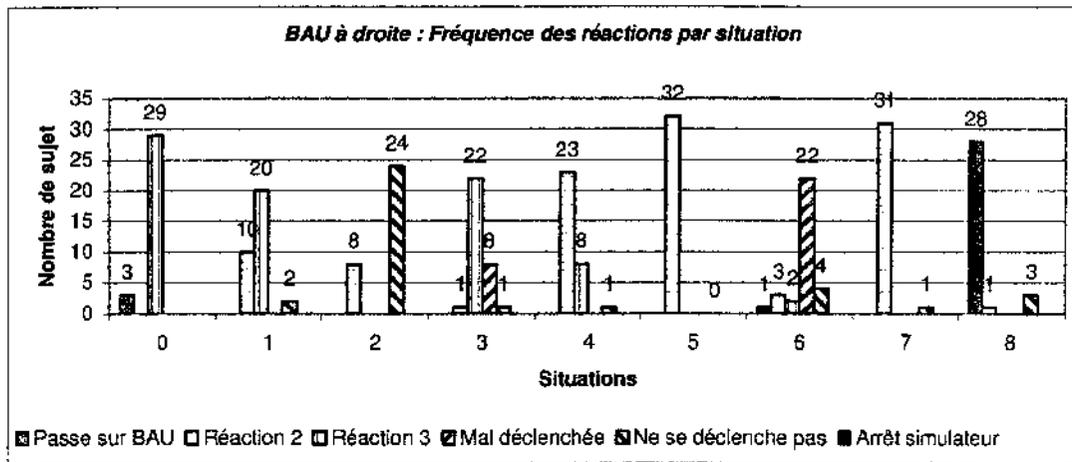


Figure 40 : Histogramme des réactions des sujets avec la bande d'arrêt d'urgence à droite

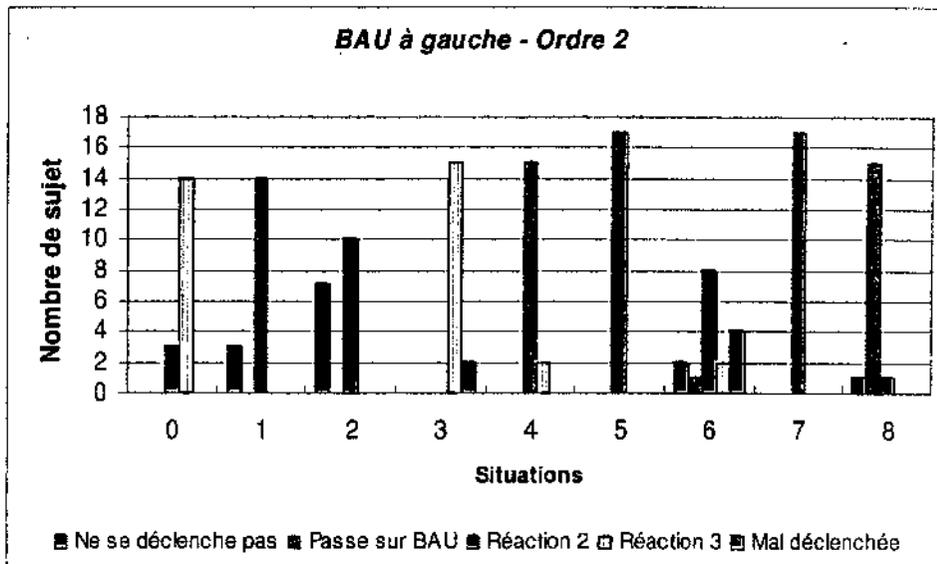
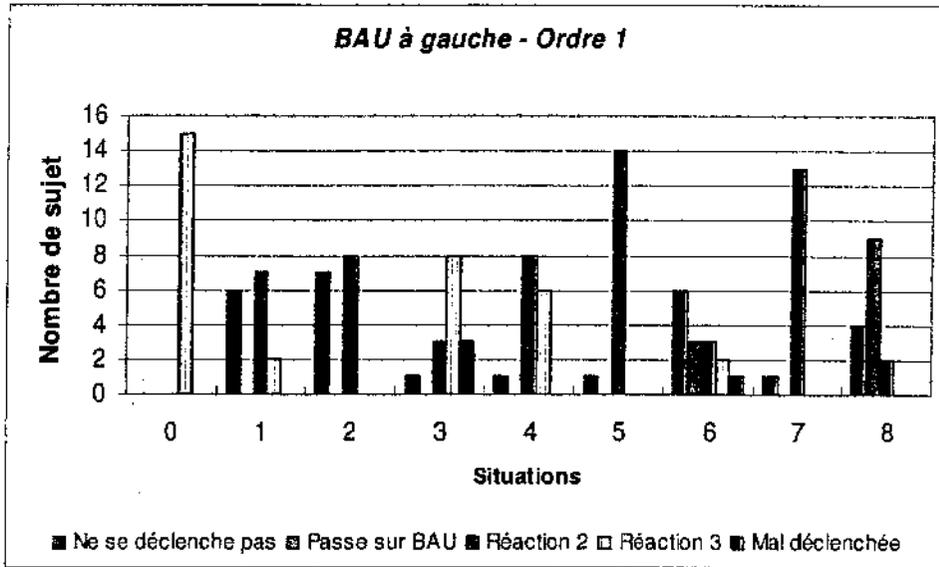


Figure 41 : Histogrammes des réactions des sujets avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche, dans les deux ordres de passage

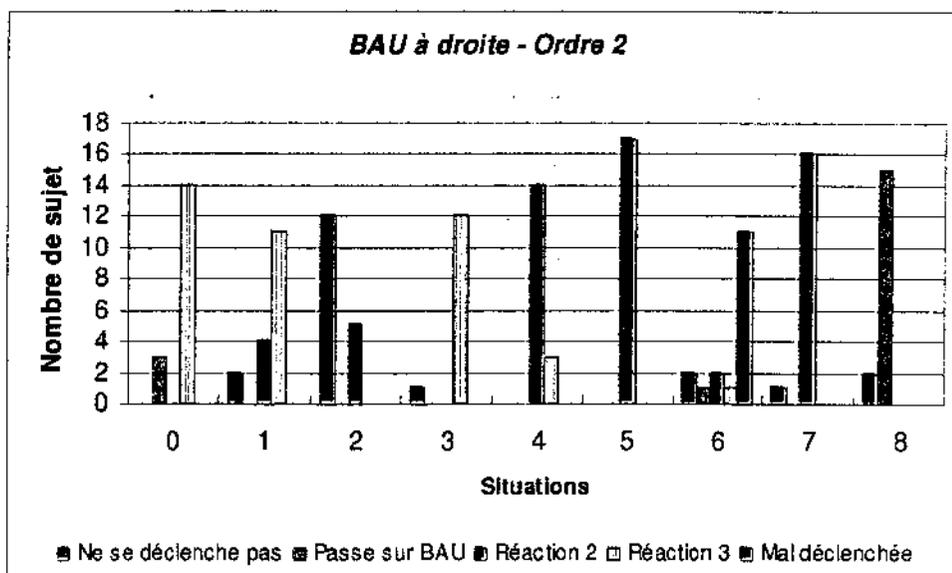
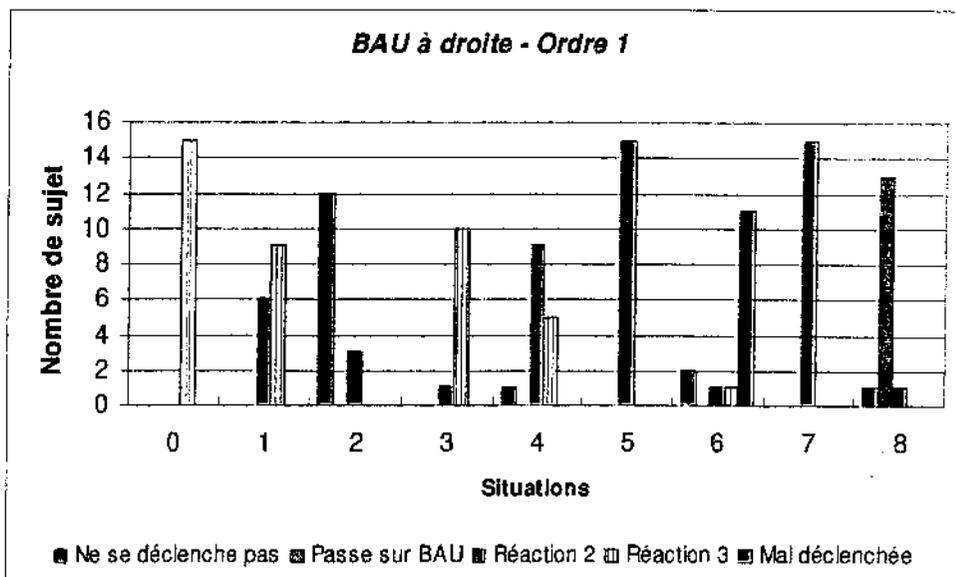


Figure 42 : Histogrammes des réactions des sujets avec la bande d'arrêt d'urgence à droite, dans les deux ordres de passage

Ces graphiques mettent en évidence que certaines situations ne se sont pas déclenchées ou se sont déclenchées mais n'ont pas été perçues par les sujets. C'est surtout le cas des situations 2 et 6 (60 % de situations non exploitables). Les résultats portent donc sur un effectif réduit.

Les histogrammes montrent que la bande d'arrêt d'urgence a été très peu utilisée, qu'elle soit à droite ou à gauche, sauf évidemment au cours de la situation 8, c'est-à-dire lorsqu'une panne du véhicule est annoncée au sujet. La situation ne s'est pas déclenchée si les sujets ont

compris un arrêt de simulation et non une panne véhicule (8 cas d'erreur sur 32). Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à gauche, 3 sujets se sont volontairement arrêtés sur la voie de droite car ils estimaient qu'il était dangereux de rejoindre la bande d'arrêt d'urgence en coupant la voie de gauche. Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à droite, une seule personne s'est arrêtée sur la voie de droite. Celle-ci a avoué qu'ayant passé le scénario avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche en premier, sur le second scénario avec la bande d'arrêt d'urgence à droite, elle ne savait plus ce qu'il fallait faire, et que son premier réflexe était encore de partir sur la gauche.

Sur la situation 0 où les conducteurs démarraient de la bande d'arrêt d'urgence, 3 sujets partant de la bande d'arrêt d'urgence à droite ont continué à rouler sur celle-ci. L'expérimentateur a dû intervenir pour leur faire prendre conscience de leur position. Cet incident n'est jamais arrivé avec un démarrage de la bande d'arrêt d'urgence à gauche. D'une manière générale, les sujets se positionnaient sur la voie droite. S'ils partaient de la bande d'arrêt d'urgence à gauche, ils procédaient en deux étapes : ils surveillaient le trafic sur la voie de gauche, puis ils s'inséraient, ils surveillaient le trafic sur la voie de droite, puis ils s'inséraient. Seuls 3 sujets sont restés sur la voie de gauche, alors qu'ils sont restés sur la voie de droite lorsque la bande d'arrêt d'urgence était à droite. L'un de ces sujets a fait la remarque qu'il pensait que la voie lente était celle proche de la bande d'arrêt d'urgence, donc ici la voie de gauche.

La situation 1 est la situation de ralentissement du trafic devant le véhicule sujet. Les véhicules roulent à environ 40 km/h. Cette situation s'est mal déclenchée dans 11 cas sur 32 pour les deux scénarios. Ceci est dû au fait que les sujets démarraient les scénarios avec une vitesse très faible. La situation se déclenchait mais sans que le véhicule sujet soit à proximité. Aucun sujet n'est passé par la bande d'arrêt d'urgence pour contourner le ralentissement. La bande d'arrêt d'urgence était bien perçue, qu'elle soit à droite ou à gauche. Les histogrammes ci-dessus soulignent que les sujets ont tendance à suivre sur la voie proche de la bande d'arrêt d'urgence.

La situation 2 s'est souvent mal déclenchée (38 cas sur 64). Elle fait suite à la situation 1, où l'un des véhicules circulant au ralenti devant le véhicule sujet passe sur la bande d'arrêt d'urgence. Aucun conducteur n'a suivi sur la bande d'arrêt d'urgence. Tous les conducteurs ayant rencontré cette situation ont détecté l'infraction, que la bande d'arrêt d'urgence soit à droite ou à gauche, et ont quelquefois avoué qu'ils avaient eu envie de le suivre.

La situation 3 provoquait un dépassement du véhicule sujet par un véhicule du trafic, ce dernier étant sur la bande d'arrêt d'urgence. Les comportements des conducteurs sont similaires sur les deux scénarios. Les réactions ont surtout été verbales. Seulement 4 sujets ont changé de voie de circulation pour s'écarter du véhicule sur la bande d'arrêt d'urgence.

Le résultat est identique pour la situation 4. Aucune différence ne distingue les deux scénarios. Les sujets essaient en général de se positionner sur la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence, pour éviter de passer à côté du véhicule à l'arrêt.

La situation 5 contraint le conducteur à suivre un bouchon. Tous les conducteurs ont attendu patiemment que le bouchon se résorbe.



La situation 6 ne s'est souvent pas ou mal déclenchée. Elle présentait le cas d'un véhicule en détresse qui partait de la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence pour rejoindre cette dernière. Le véhicule en détresse était souvent déjà arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence quand le véhicule sujet passait à proximité. Seulement 6 sujets ont pu connaître cette situation dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à droite, contre 19 dans l'autre scénario. Les deux scénarios sont donc difficilement comparables.

Dans la situation 7, un véhicule en détresse roule lentement à côté de la bande d'arrêt d'urgence. La quasi totalité des sujets est passée sur la voie opposée à la bande d'arrêt d'urgence. Un seul sujet est passé sur la bande d'arrêt d'urgence dans le scénario « BAU à gauche », mais c'était volontaire parce que le trafic était dense et qu'il ne pouvait doubler le véhicule en détresse. C'était pour lui plus sécuritaire de passer sur la bande d'arrêt d'urgence que de rester derrière le véhicule en détresse.

6.5 Analyse des données subjectives

6.5.1 Réactions verbales des conducteurs

Les commentaires présentés ci-après proviennent des verbalisations des conducteurs pendant les passations et au cours des autoconfrontations. L'autoconfrontation consiste à remettre le sujet en situation en le confrontant à ce qu'il a fait via les enregistrements vidéo. La vidéo est arrêtée sur les situations incidentelles (repérées par l'expérimentateur pendant la passation), et le sujet est amené à commenter son comportement face à cette situation, ainsi qu'à répondre à quelques questions.

Les commentaires des conducteurs concernent le tunnel dans sa globalité. C'est la consigne qui leur est donnée avant la réalisation du premier scénario. S'ils commencent les expérimentations avec le scénario « bande d'arrêt d'urgence à gauche », les conducteurs émettent également des commentaires sur la position de la bande d'arrêt d'urgence. Sinon ces commentaires sont recueillis lors du second scénario. Il est donc possible de classer les commentaires en deux grandes catégories : le tunnel, et la position de la bande d'arrêt d'urgence.

6.5.1.1 Commentaires sur le tunnel

Tous les sujets n'ont pas réagi sur les mêmes éléments. Ce paragraphe ne fait donc que reporter certaines remarques. Aucune statistique ne peut être construite, les chiffres sont donnés à titre indicatif.

Les premières remarques concernaient souvent l'esthétique et la luminosité du tunnel. 7 sujets ont noté que le tunnel était beau, reposant, confortable, agréable, contre 1 sujet qui le trouve similaire aux autres types de tunnel. 5 sujets ont fait la remarque que le tunnel semblait spacieux, 4 sujets ont notamment fait la remarque qu'il n'était pas angoissant et qu'ils n'avaient pas de sensation d'oppression. 1 seul sujet s'est senti enfermé dans un espace confiné. Pour 17 sujets contre 2, le tunnel est très lumineux.

6 conducteurs demandent à avoir des informations sur la progression de la traversée du tunnel. Ces informations sont la durée ou le kilométrage restant à parcourir avant la sortie du tunnel. Pour 8 conducteurs, le tunnel semble monotone, long à traverser. Pour casser la monotonie, ils souhaiteraient qu'il y ait davantage de couleurs, des changements de lumière, de décor, qu'il y ait plus d'informations à lire, par exemple sur les villes, ou encore des renseignements sur ce qu'il y a en surface. 2 sujets ont noté que les panneaux lumineux étaient trop répétitifs ; 5 sujets contre 2 ont noté qu'il n'y avait pas assez de signalisation. Elle permettrait notamment de maintenir les conducteurs vigilants. 4 conducteurs ont d'ailleurs réclamé des panneaux de rappel de la limitation de vitesse. 3 sujets pensent qu'il est gênant de séparer la signalisation des niches de sécurité de celle des bornes d'appel. Lorsque les éléments sont séparés, la signalisation paraît plus confuse, moins visible.

Concernant la bande d'arrêt d'urgence, 3 conducteurs souhaiteraient qu'elle soit mieux signalée, par un marquage hachuré, par des bandes rugueuses sonores. 1 sujet a mentionné que le câble rayonnant placé sur le plafond pouvait servir d'indicateur sur la position de la bande d'arrêt d'urgence. 1 conducteur a précisé qu'il serait judicieux de positionner par

endroit des petits dos d'âne de façon à limiter son utilisation comme troisième voie. 6 sujets ont fait la remarque qu'ils avaient confiance dans le système de surveillance du tunnel et espéraient une pénalisation des conducteurs en infraction.

6.5.1.2 Commentaires sur la position de la bande d'arrêt d'urgence

Les réponses aux questionnaires ont permis de chiffrer à 23 le nombre de sujets souhaitant que la bande d'arrêt d'urgence soit sur la droite, à 3 le nombre de conducteurs préférant une position de bande d'arrêt d'urgence à gauche, et à 9 le nombre de conducteurs n'ayant pas de préférence et / ou imaginant des avantages ou des inconvénients dans les deux cas.

Arguments contre le positionnement de la bande d'arrêt d'urgence à gauche :

Les remarques sont souvent relatives aux habitudes de conduite. Le positionnement à droite de la bande d'arrêt d'urgence apparaît donc comme plus logique, plus naturel pour 11 sujets.

L'ensemble des conducteurs considère que la voie de gauche est la voie la plus rapide et la voie de droite la plus lente. De ce fait, 15 sujets évaluent comme dangereux de repartir d'une bande d'arrêt d'urgence positionnée sur la gauche. Le conducteur doit s'insérer sur une voie considérée plus rapide et rejoindre la voie de droite nécessite plus de temps. 21 conducteurs doublant un véhicule roulant ou arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence positionnée sur la gauche ont eu peur que ce véhicule déboîte pour se remettre sur les voies de circulation. La vitesse sur la voie de gauche étant considérée plus importante, le temps disponible pour freiner en cas de danger est moindre que celui qu'un conducteur pourrait avoir sur la voie de droite.

En partant toujours du principe que les véhicules sur la voie de gauche ont une vitesse souvent supérieure à celle pratiquée sur la voie de droite, certains sujets ont noté qu'il pouvait être plus dangereux pour un piéton d'être sur la bande d'arrêt d'urgence sur la gauche, car le déplacement d'air y était plus important et qu'il pouvait être davantage surpris par l'arrivée d'un véhicule.

13 sujets estiment également qu'il est dangereux de s'arrêter sur une bande d'arrêt d'urgence positionnée sur la gauche parce qu'il y a deux voies de circulation à surveiller plutôt qu'une (si on part de la voie de droite). La traversée de la voie de gauche demande donc plus d'effort, plus de vigilance. Les conducteurs pensent à leur propre manoeuvre mais aussi aux actions potentielles des autres usagers du tunnel. Un conducteur peut oublier qu'un véhicule en détresse puisse couper la voie de gauche pour rejoindre la bande d'arrêt d'urgence ; ou encore tous les conducteurs n'auront peut-être pas le réflexe de s'arrêter sur la gauche, et de ce fait perturberont le trafic.

Pour 10 conducteurs, une bande d'arrêt d'urgence positionnée sur la gauche risque d'être perçue comme troisième voie de circulation. 4 sujets estiment que positionnée à gauche, les conducteurs peuvent être incités à l'utiliser pour doubler, le code de la route et les habitudes de conduite étant de doubler par la gauche. Pour ces mêmes raisons, les conducteurs ont l'habitude de contourner un ralentissement ou d'éviter un véhicule par la gauche. Ce principe permet notamment aux véhicules en détresse de rejoindre la bande d'arrêt d'urgence (à droite). Si la bande d'arrêt d'urgence est sur la gauche ces réflexes devraient être changés (remarque faite par 4 conducteurs).

D'un point de vue confort de conduite, certains sujets ont exprimé le fait qu'il était plus confortable de conduire sur la voie centrale du tunnel, c'est-à-dire la voie de droite si la bande d'arrêt d'urgence est à droite, la voie de gauche si la bande d'arrêt d'urgence est à gauche. Ces conducteurs étaient en effet gênés par la proximité des parois du tunnel. Une position à gauche de la bande d'arrêt d'urgence inciterait donc les conducteurs à rouler sur la voie de gauche, donc plus vite.

Du point de vue réglementation, 3 conducteurs se sont posés la question de savoir si la voie de droite était toujours la voie lente. Ils ont souligné qu'il serait peut-être préférable de préciser que la voie lente est celle à proximité de la bande d'arrêt d'urgence. Ces conducteurs préféreraient rester à gauche pour pouvoir dégager facilement sur la bande d'arrêt d'urgence positionnée à gauche en cas de problème.

Concernant la position des niches de secours, les conducteurs jugent qu'elles doivent être du même côté que la bande d'arrêt d'urgence (7 sujets), de préférence à droite (4 sujets). Si la bande d'arrêt d'urgence est à droite et les niches de secours à gauche, alors le trafic doit être arrêté pour que les piétons puissent traverser (2 sujets).

Arguments pour le positionnement de la bande d'arrêt d'urgence à gauche :

6 sujets ont mentionné le fait que le tunnel semblait plus spacieux lorsque la bande d'arrêt d'urgence était positionnée sur la gauche. Le conducteur étant positionné à gauche dans le véhicule, conduire sur la voie de gauche avec une bande d'arrêt d'urgence à droite implique que le conducteur est très proche de la paroi, ainsi que des éclairages au plafond, ce qui peut l'indisposer.

7 conducteurs estiment avoir une meilleure détection de l'information lorsque celle-ci est positionnée sur la gauche (contre 6 conducteurs qui supposent mieux percevoir à droite). Ils pensent qu'ils ont plus tendance à surveiller ce qui se passe sur la gauche, et donc voient un intérêt dans le positionnement de la bande d'arrêt d'urgence sur la gauche.

2 conducteurs ont fait la remarque qu'un véhicule immobilisé sur la bande d'arrêt d'urgence à gauche permettait au conducteur de descendre du côté de la paroi du tunnel et non du côté de la voie de circulation.

6.5.2 Degré de difficulté de chaque situation dans chaque scénario

Les réponses au questionnaire C sur chaque situation permettent de connaître le degré de difficulté de chaque situation dans chaque scénario.

Les conducteurs ont donc positionné une croix sur une ligne de 10 cm en fonction de leur évaluation de l'effort requis pour réaliser une situation particulière d'un scénario, puis pour évaluer le degré de stress résultant de la situation, puis le degré de satisfaction à l'égard de leur performance.

Seuls les tests portant sur l'effort requis par situation montrent une différence significative entre les deux scénarios (scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 2,89, écart

type : 1,79, scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 2,04, écart type : 1,62, $t = 2,68$, $df = 30$, $p < 0,011$), et ce quelque soit l'ordre de présentation des scénarios.

L'histogramme suivant présente l'effort requis pour réaliser chaque situation et dans chaque scénario.

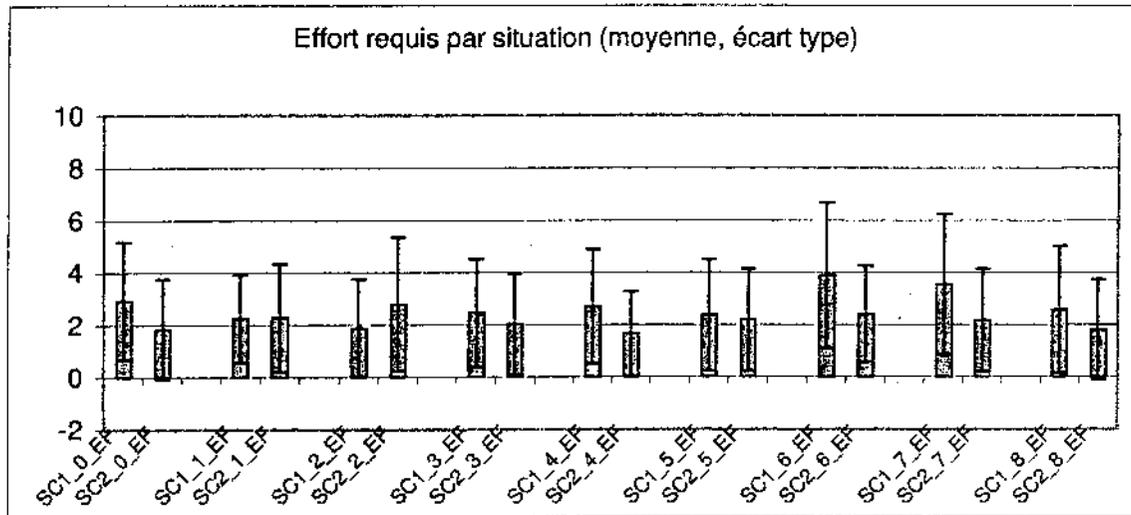


Figure 43 : Effort requis par situation (de 0 à 8) et par scénario (sc1 : BAU à gauche et sc2 : BAU à droite)

En ce qui concerne les indices stress et satisfaction, les différences entre les deux scénarios ne sont pas significatives (Stress : scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 2,96, écart type : 1,85, scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 2,33, écart type : 1,89. Degrés de satisfaction : scénario bande d'arrêt d'urgence à gauche : moyenne : 2,43, écart type : 1,67, scénario bande d'arrêt d'urgence à droite : moyenne : 2,23, écart type : 1,65). L'histogramme suivant présente le stress résultant de la gestion de chaque situation et dans chaque scénario.

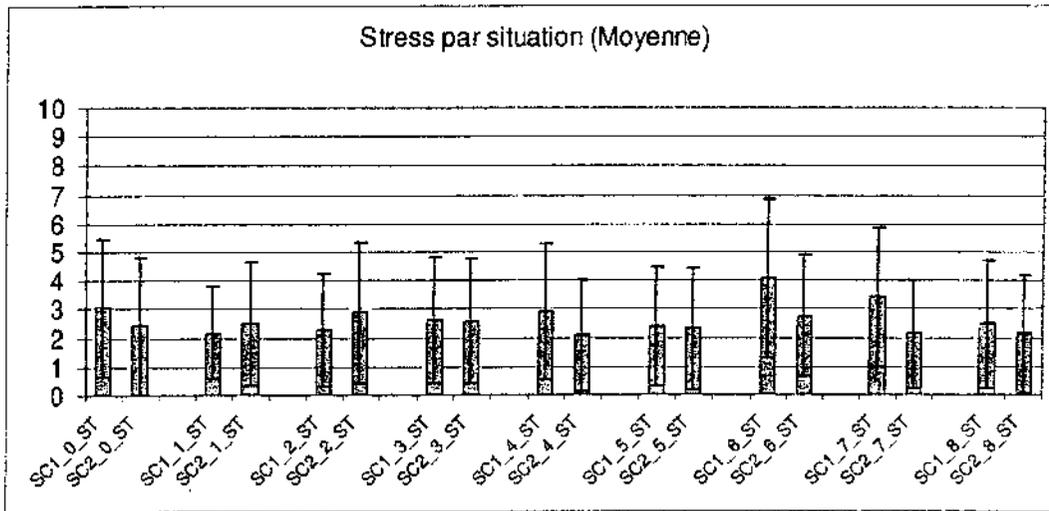


Figure 44 : Stress par situation (de 0 à 8) et par scénario (sc1 : BAU à gauche et sc2 : BAU à droite)

L'histogramme suivant présente le degré de satisfaction résultant de la gestion de chaque situation et dans chaque scénario.

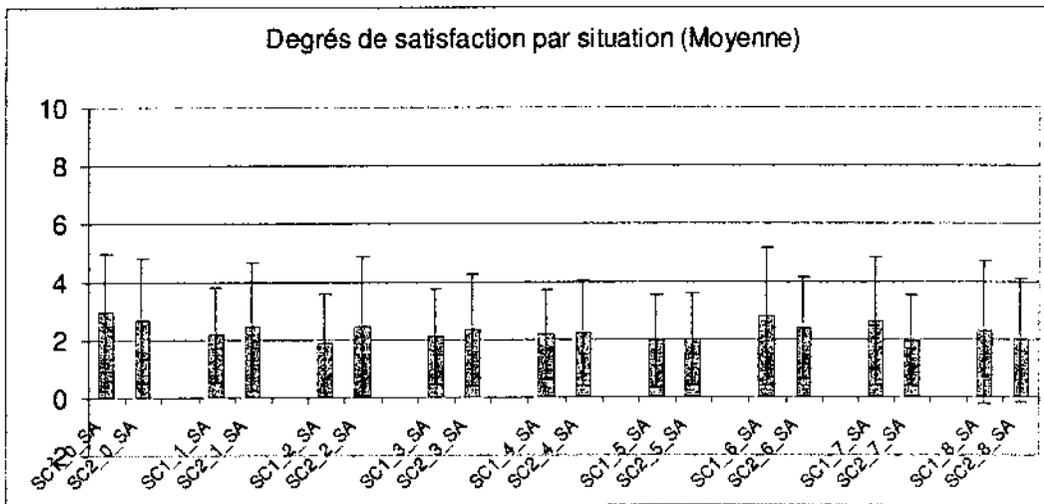


Figure 45 : Degré de satisfaction par situation (de 0 à 8) et par scénario (sc1 : BAU à gauche et sc2 : BAU à droite)

Les données mettent en évidence que pour 7 situations sur 9, le scénario 1, soit la conduite avec la bande d'arrêt d'urgence positionnée à gauche, demande plus d'effort dans la gestion des situations.

6.6 Etude détaillée de situations critiques

Très peu de conducteurs ont eu à réagir dans l'urgence (cf. § 4 :

Déroulement des expérimentations). Cependant, les quelques comportements de ce type qui ont pu apparaître laissent supposer qu'ils ne sont pas à négliger, et que dans la réalité, ils pourraient peut-être être plus fréquents. Les situations 6 et 8 sont les situations qui ont été les plus à même de surprendre le conducteur.

Pendant la situation 6, un véhicule du trafic tombe en panne sur la voie de droite et rejoint la bande d'arrêt d'urgence.

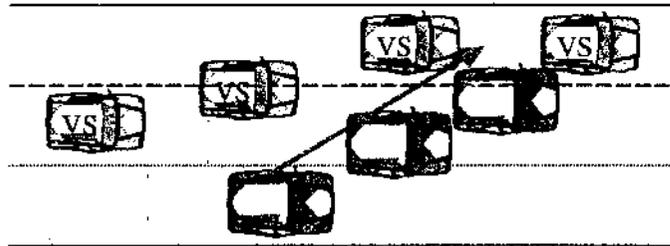


Figure 46 : Situation 6

Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à gauche, 4 sujets sur les 19 qui ont rencontré cette situation ont fait obstruction au rabattement du véhicule en détresse en passant sur la bande d'arrêt d'urgence. Deux d'entre eux estiment qu'ils avaient mal perçu que le véhicule en détresse allait se déplacer de droite à gauche pour rejoindre la bande d'arrêt d'urgence sur la gauche. 1 sujet ne savait plus comment comprendre les voies de circulation (voie lente / voie rapide), et de ce fait ne savait pas quel comportement il était préférable d'adopter. Le dernier des 4 sujets pense que ce comportement n'est pas du à la position de la bande d'arrêt d'urgence sur la gauche. Les 4 conducteurs ont rejoint les voies de circulation aussitôt le dépassement réalisé.

Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à droite, un seul sujet a fait obstruction au rabattement du véhicule en détresse, mais il avait estimé qu'il avait « le droit » et le temps de passer sur la bande d'arrêt d'urgence sans gêner le rabattement.

Pendant la situation 8, le véhicule sujet tombe en panne et le conducteur doit rejoindre la bande d'arrêt d'urgence.

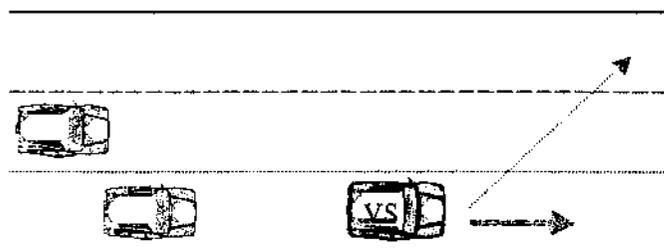


Figure 47 : Situation 8

Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à gauche, 3 sujets sur 29 qui ont rencontré cette situation se sont volontairement arrêtés sur la voie de droite, car ils estimaient qu'il était dangereux de rejoindre la bande d'arrêt d'urgence en coupant la voie de gauche.

Dans le cas de la bande d'arrêt d'urgence à droite, une seule personne s'est arrêtée sur la voie de droite. Celle-ci a avoué qu'ayant passé le scénario avec la bande d'arrêt d'urgence à gauche en premier elle ne savait plus ce qu'il fallait faire, et que son premier réflexe était encore de partir sur la gauche.

7. ANNEXES

7.1 Résultats des tests statistiques sur la recherche d'effet d'ordre

Recherche d'un éventuel effet d'ordre sur l'évaluation par le conducteur de l'effort requis pour réaliser une situation du degré de stress généré par la situation et du degré de satisfaction à l'égard de sa performance. Les valeurs présentées sont les moyennes calculées par groupe. Les groupes étant constitués en fonction de l'ordre de présentation des scénarios (ordre de présentation 1 : BAU à gauche puis BAU à droite ; ordre de présentation 2 : BAU à droite puis BAU à gauche).

			Ordre 1	Ordre 2	Valeur t	dl	p	Significativité
Scénario 1	Situation 0	Effort	2,60	3,20	-0,73	29	0,47	NS
		Stress	2,88	3,21	-0,38	29	0,71	NS
		Satisfaction	3,63	2,43	1,66	28	0,11	NS
	Situation 1	Effort	2,48	2,09	0,52	20	0,61	NS
		Stress	2,20	2,16	0,05	20	0,96	NS
		Satisfaction	2,66	1,81	1,21	20	0,24	NS
	Situation 2	Effort	1,86	1,88	-0,02	16	0,98	NS
		Stress	2,05	2,44	-0,40	16	0,69	NS
		Satisfaction	1,74	1,96	-0,27	16	0,79	NS
	Situation 3	Effort	2,76	2,23	0,69	27	0,50	NS
		Stress	2,48	2,72	-0,28	28	0,78	NS
		Satisfaction	2,38	1,87	0,83	28	0,41	NS
	Situation 4	Effort	2,57	2,80	-0,28	27	0,78	NS
		Stress	2,55	3,20	-0,72	27	0,48	NS
		Satisfaction	2,26	2,08	0,30	27	0,77	NS
	Situation 5	Effort	2,72	2,11	0,77	28	0,45	NS
		Stress	2,63	2,21	0,54	28	0,59	NS
		Satisfaction	2,14	1,78	0,60	28	0,55	NS
	Situation 6	Effort	3,77	3,97	-0,17	22	0,87	NS
		Stress	3,08	4,71	-1,41	22	0,17	NS
		Satisfaction	2,33	3,05	-0,70	22	0,49	NS
	Situation 7	Effort	4,33	2,93	1,42	27	0,17	NS
		Stress	3,84	3,12	0,79	28	0,44	NS
		Satisfaction	3,02	2,30	0,89	28	0,38	NS
	Situation 8	Effort	2,25	2,83	-0,60	25	0,55	NS
		Stress	2,31	2,59	-0,32	25	0,75	NS
		Satisfaction	2,94	1,76	1,23	25	0,23	NS

			Ordre 1	Ordre 2	Valeur t	df	p	Significativité
Scénario 2	Situation 0	Effort	1,81	1,86	-0,08	29	0,93	NS
		Stress	2,09	2,69	-0,69	29	0,49	NS
		Satisfaction	2,59	2,77	-0,23	29	0,82	NS
	Situation 1	Effort	2,56	2,01	0,72	27	0,48	NS
		Stress	2,75	2,27	0,59	27	0,56	NS
		Satisfaction	2,75	2,11	0,76	27	0,45	NS
	Situation 2	Effort	4,47	1,80	1,57	6	0,17	NS
		Stress	4,40	1,98	1,44	6	0,20	NS
		Satisfaction	4,13	1,44	1,72	6	0,14	NS
	Situation 3	Effort	1,95	2,11	-0,22	28	0,83	NS
		Stress	2,39	2,73	-0,41	28	0,68	NS
		Satisfaction	2,69	1,97	1,02	28	0,32	NS
	Situation 4	Effort	1,90	1,48	0,70	27	0,49	NS
		Stress	2,18	2,00	0,24	27	0,81	NS
		Satisfaction	2,35	2,09	0,38	27	0,71	NS
	Situation 5	Effort	2,54	1,91	0,87	28	0,39	NS
		Stress	2,53	2,12	0,52	28	0,60	NS
		Satisfaction	2,04	1,92	0,19	28	0,85	NS
	Situation 6	Effort	2,77	2,03	0,99	23	0,33	NS
		Stress	3,06	2,42	0,75	23	0,46	NS
		Satisfaction	2,52	2,25	0,38	23	0,71	NS
	Situation 7	Effort	2,34	2,03	0,42	28	0,68	NS
		Stress	2,28	1,99	0,41	28	0,69	NS
		Satisfaction	2,17	1,74	0,75	28	0,46	NS
	Situation 8	Effort	1,84	1,76	0,11	25	0,91	NS
		Stress	2,01	2,23	-0,27	25	0,79	NS
		Satisfaction	2,00	1,93	0,09	25	0,93	NS

Recherche d'un éventuel effet d'ordre sur les variables enregistrées et/ou calculées : vitesses moyenne et max, durées totale et sur chaque voie, distance totale, angle au volant moyen, changements de voie, position latérale moyenne sur chacune des trois voies.

		Ordre 1	Ordre 2	Valeur t	dl	p	Significativité
Scénario 1	Durée totale	929,67	874,69	3,49	29	0,00	S
	Distance totale	12911,90	12902,15	0,02	29	0,98	NS
	Durée sur BAU	4,72	5,37	-0,78	29	0,44	NS
	Durée sur voie droite	52,85	41,64	1,69	29	0,10	NS
	Durée sur voie gauche	42,42	52,99	-1,71	29	0,10	NS
	Vitesse sur BAU	6,51	10,18	-1,55	29	0,13	NS
	Vitesse sur voie droite	52,97	55,92	-0,89	29	0,38	NS
	Vitesse sur voie gauche	54,49	57,16	-1,49	29	0,15	NS
	Vitesse max sur BAU	36,64	47,23	-1,57	29	0,13	NS
	Vitesse max sur voie droite	83,41	80,65	0,83	29	0,41	NS
	Vitesse max sur voie gauche	83,67	86,31	-0,66	29	0,51	NS
	Position latérale sur BAU	2,68	2,45	1,41	29	0,17	NS
	Position latérale sur voie droite	0,82	0,88	-1,10	29	0,28	NS
	Position latérale sur voie gauche	0,99	0,91	2,17	29	0,04	S
	Angle au volant sur BAU	-0,02	-0,02	0,08	29	0,93	NS
	Angle au volant sur voie droite	0,00	0,00	1,36	29	0,18	NS
	Angle au volant sur voie gauche	0,00	0,00	0,75	29	0,46	NS
Scénario 2	Durée totale	892,25	887,34	0,27	29	0,79	NS
	Distance totale	12623,24	12510,39	0,27	29	0,79	NS
	Durée sur BAU	5,73	6,34	-0,81	29	0,42	NS
	Durée sur voie droite	65,61	70,21	-0,93	29	0,36	NS
	Durée sur voie gauche	28,66	23,44	1,08	29	0,29	NS
	Vitesse sur BAU	8,74	11,32	-0,92	29	0,37	NS
	Vitesse sur voie droite	54,74	53,64	0,39	29	0,70	NS
	Vitesse sur voie gauche	54,45	56,54	-1,16	29	0,26	NS
	Vitesse max sur BAU	47,26	43,79	0,61	29	0,54	NS
	Vitesse max sur voie droite	88,52	89,02	-0,11	29	0,91	NS
	Vitesse max sur voie gauche	82,15	83,71	-0,39	29	0,70	NS
	Position latérale sur BAU	0,45	0,37	0,92	29	0,37	NS
	Position latérale sur voie droite	0,78	0,83	-1,17	29	0,25	NS
	Position latérale sur voie gauche	0,96	1,03	-1,03	29	0,31	NS
	Angle au volant sur BAU	0,00	0,00	0,27	29	0,79	NS
	Angle au volant sur voie droite	0,00	0,00	-0,22	29	0,83	NS
	Angle au volant sur voie gauche	0,00	0,00	-0,08	29	0,93	NS

Recherche d'un éventuel effet d'ordre sur la vitesse moyenne par scénario.

	Ordre 1	Ordre 2	Valeur t	dl	p	Significativité
Scénario 2	57,6530214	59,4705353	-0,55314297	29	0,58440494	NS
Scénario 1	60,3380214	65,2315353	-1,54329599	29	0,1336022	NS

Recherche d'un éventuel effet d'ordre sur les réactions des conducteurs au cours des 9 situations rencontrées, sur les scénarios 1 (BAU à gauche) et 2 (BAU à droite), en fonction de l'ordre de passage.

	Situation	Réaction	Ordre 1 (effectif=15)	Ordre 2 (effectif=17)	X ²	p	Significativité
Scénario 1	0	0	0	0			
		1	0	0			
		2	0	3	2,92	0,08	NS
		3	15	14	0,23	0,6	NS
		4	0	0			
	1	0	6	3	1,97	0,16	NS
		1	0	0			
		2	7	14	4,5	0,03	S
		3	2	0	1,88	0,17	NS
		4	0	0			
	2	0	7	7	0,1	0,75	NS
		1	0	0			
		2	8	10	0,1	0,75	NS
		3	0	0			
		4	0	0			
	3	0	1	0	1,17	0,28	NS
	1	0	0				
	2	3	0	3,75	0,06	NS	
	3	8	15	4,8	0,03	S	
	4	3	2	0,41	0,52	NS	
4	0	1	0	1,17	0,28	NS	
	1	0	0				
	2	8	15	4,8	0,03	S	
	3	6	2	3,39	0,07	NS	
	4	0	0				
7	0	1	0	1,17	0,28	NS	
	1	0	0				
	2	13	17	2,42	0,12	NS	
	3	0	0				
	4	0	0				
5	0	1	0	1,17	0,28	NS	
	1	0	0				
	2	14	17	1,17	0,28	NS	
	3	0	0				
	4	0	0				
6	0	6	2	3,39	0,07	NS	
	1	3	1	1,65	0,19	NS	
	2	3	8	3,13	0,08	NS	
	3	2	2	0,02	0,89	NS	
	4	1	4	1,72	0,19	NS	
8	0	4	1	2,61	0,1	NS	
	1	9	15	3,39	0,07	NS	
	2	2	1	0,52	0,47	NS	
	3	0	0				
	4	0	0				

	Situation	Réaction	Ordre 1 (effectif=15)	Ordre 2 (effectif=17)	X ²	p	Significativité
Scénario 2	0	0	0	0			
		1	0	3	2,92	0,08	NS
		2	0	0			
		3	15	14	2,92	0,08	NS
	3	0	0	1	0,91	0,33	NS
		1	0	0			
		2	1	0	1,17	0,28	NS
		3	10	12	0,06	0,81	NS
	4	0	1	0	1,17	0,28	NS
		1	0	0			
		2	9	14	1,97	0,16	NS
		3	5	3	1,05	0,3	NS
	7	0	0	1	0,91	0,33	NS
		1	0	0			
		2	15	16	0,91	0,33	NS
		3	0	0			
	1	0	0	2	1,88	0,17	NS
		1	0	0			
		2	6	4	0,6	0,44	NS
		3	9	11	0,08	0,78	NS
	2	0	12	12	0,38	0,54	NS
		1	0	0			
		2	3	5	0,38	0,54	NS
		3	0	0			
	5	0	0	0			
		1	0	0			
		2	15	17			
		3	0	0			
	6	0	2	2	0,02	0,89	NS
		1	0	1	0,91	0,33	NS
		2	1	2	0,2	0,65	NS
		3	1	1	0,01	0,92	NS
	8	0	11	11	0,28	0,59	NS
		1	1	2	0,24	0,62	NS
		2	13	15	0,02	0,89	NS
		3	1	0	1,17	0,28	NS
		0	0	0			
		4	0	0			



7.2 Expérimentation Cofiroute : Questionnaire A - Fiche conducteur

Pouvez-vous répondre à ce questionnaire qui concerne votre conduite habituelle ?

Nom et prénom :

Date de la passation :

Profession :

Age :

A-1 Véhicule(s) couramment utilisé(s) : _____

A-2 Nombre d'années de conduite : _____

A-3 Kilomètres parcourus par an : _____

A-4 Quel type de route utilisez-vous habituellement ? avec quelle fréquence ?

A-5 Utilisez-vous des autoroutes payantes ?

OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-6 Si oui, êtes-vous abonnés ?

OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-7 Avez-vous l'habitude de conduire en région parisienne ?

OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-8 Quelles vitesses pratiquez-vous habituellement ?

A-8a En ville: _____

A-8b Sur départementale / nationale: _____

A-8c Sur autoroute: _____

A-9 Avez-vous déjà été victime d'accidents ?

OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-10 Si oui, dans quelles circonstances : _____

A-11 Eprenevez-vous fréquemment certaines gênes en conduisant (mal au dos, aux yeux ...) ?



OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-12 Si oui, lesquelles : : _____

A-13 Comment caractérisez-vous votre conduite ?

NERVEUSE NORMALE ECONOMIQUE

(rayer la mention inutile)

A-14 Avez-vous déjà conduit en simulateur ?

OUI NON

(rayer la mention inutile)

A-15 Si oui le(s)quel(s) ? _____

A-16 Jouez-vous à des jeux de simulation de conduite type "PC" ou "console de jeux" ?:

JAMAIS RAREMENT PARFOIS SOUVENT (rayer la mention inutile)

A-17 En général, en conduite en file, avez-vous tendance à suivre de très près le véhicule de devant ou avez-vous tendance à garder vos distances ?

A-18 En général, sur autoroute ou voie expresse, avez-vous tendance à faire beaucoup de manœuvres (changements de file et dépassements) ?

A-19 Si la route comporte plusieurs voies, quelle voie avez-vous tendance à occuper ?

A-20 Si vous avez la possibilité de choisir entre rouler sur une route ouverte qui prolonge votre temps de conduite et un tunnel qui le réduit, que choisissez-vous ?

A-21 Avez-vous l'habitude de traverser des tunnels ? si oui, lesquels ?

A-22 Avez-vous des remarques à formuler qui vous semblent importantes à propos de cette expérimentation ? _____

7.3 Expérimentation Cofiroute : Questionnaire B

Il est proposé quatre fois, avant et après la familiarisation, après chaque passation.

Nom et prénom :

Date de la passation :

Pourriez-vous SVP évaluer votre état physique à l'aide de ce questionnaire ?
Vous positionnerez votre sentiment par une croix sur la ligne

B1-1. Pouvez-vous évaluer votre niveau actuel de fatigue physique ?

Très faible

Très Elevé

B1-2. Pouvez-vous évaluer votre mal de tête éventuel ?

Très faible

Très Elevé

B1-3. Pouvez-vous évaluer votre fatigue visuelle ?

Très faible

Très Elevé

B1-4. Pouvez-vous évaluer votre « mal de cœur » éventuel ?

Très faible

Très Elevé

B1-5. Pouvez-vous évaluer votre niveau de stress ?

Très faible

Très Elevé

7.4 Expérimentation Cofiroute : Questionnaire C.

Nom et prénom :

Date de la passation :

Situation :

Pourriez-vous SVP répondre à ce questionnaire concernant votre passation sur le simulateur ?

D-1. Pouvez-vous évaluer l'effort requis par la situation en positionnant votre sentiment par une croix sur la ligne ?

Très faible

Très Elevé

Pouvez-vous évaluer le degré de stress résultant de la situation en positionnant votre sentiment par une croix sur la ligne ?

Très faible

Très Elevé

Pouvez-vous évaluer votre degré de satisfaction à l'égard de votre performance dans cette situation en positionnant votre sentiment par une croix sur la ligne ?

Très élevé

Très faible

Vous rappelez-vous de ce que vous avez fait ? Pourquoi avez vous effectué ces actions ?

Répondez oralement

Qu'auriez-vous fait en situation réelle de conduite si une telle situation était survenue ?

Répondez oralement

Que pensez-vous du positionnement de la bande d'arrêt d'urgence (à gauche ou à droite) dans ce type de situation ?

Répondez oralement

20/10/2003

« A86 A L'OUEST » - TUNNEL EST

**Etudes relatives au positionnement de la BAU
au niveau de l'espace trafic supérieur**

Rapport final

Sommaire

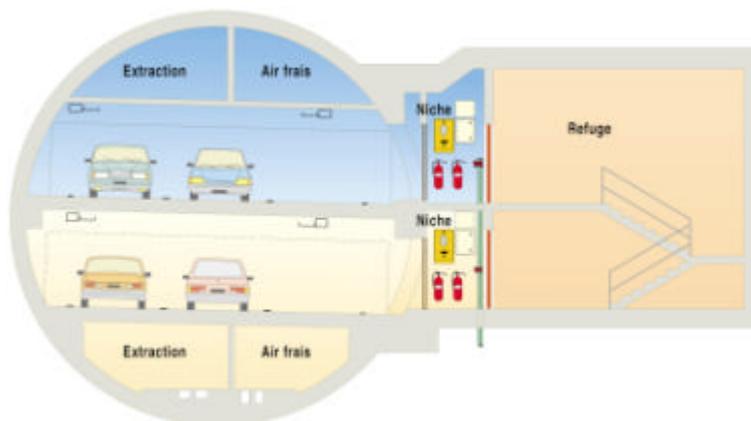
I. Introduction.....	3
A Rappel des dispositions générales	3
B Résumé et conclusions du rapport de la CIS	4
C Décisions notifiées à COFIROUTE et objet des études.....	8
II. Méthodologie des études	10
III. Présentation des résultats	11
A Analyse technique et étude de faisabilité	11
1- Rappel de la configuration des voies en tunnel	11
2- Incidence sur le projet d'une B.A.U. à droite.....	12
2-1 Génie-Civil.....	12
2-2 Equipements.....	12
3- Synthèse	13
B Analyse fonctionnelle : identification du rôle de la BAU et étude comparative	14
1- Cas Courants	14
1-1 Usager cherchant à s'arrêter pour cause de panne ou de malaise.....	14
1-2 Usager arrêté sur la BAU pour cause de panne ou d'accident matériel :	15
2- Cas rares.....	16
2-1 Accès et intervention des secours :.....	16
2-2 Auto - évacuation des usagers :	17
3- Synthèse	17
C Simulations du comportement des usagers face à la bande d'arrêt d'urgence	18
1- Principes de l'étude	18
2- Les enseignements	19
2-1 Réactions face aux situations	19
2-2 Le comportement des usagers	20
2-3 Verbalisation, commentaires.....	21
3- Synthèse	21
D Evaluation des impacts en cas de réalisation de niches de sécurité côté est du tunnel	22
1- Détermination du coût pour la section Est 1	22
1-1 Génie civil.....	22
1-2 Cintrage métallique	22
1-3 Surcoût matériel.....	22
1-4 Impact sur les dalles du tunnel.....	23
1-5 Etudes.....	23
1-6 Equipements.....	23
2- Détermination du coût pour la section Est 2	24
2-1 Génie civil.....	24
2-2 Cintrage métallique	24
2-3 Surcoût matériel.....	24
2-4 Impact sur les dalles du tunnel.....	24
2-5 Etudes.....	25
2-6 Equipements.....	25
3- Délais	25
4- Synthèse	25
IV. Conclusion Générale	27
Annexe : liste des documents cités.....	28

I. Introduction

A Rappel des dispositions générales

Le tunnel Est de l'A86 présente des dispositions géométriques spécifiques.

- La section courante du tunnel est constituée de deux niveaux de circulation superposés autorisant l'accès aux véhicules de gabarit inférieur à 2m.
- Ces deux niveaux de circulation sont reliés, tous les 200m, par des escaliers de communication. Les niches de sécurité sont associées à l'entrée des escaliers, l'ensemble constituant un ouvrage unique situé à l'extérieur et du côté ouest du tube. Au niveau supérieur du tunnel, dans le sens de circulation sud - nord, ces niches sont donc situées à gauche des voies de circulation.
- De la même manière, compte tenu de la configuration de l'ouvrage, les entrées et les sorties des échangeurs seront situées sur la gauche de la chaussée au niveau supérieur du tunnel.
- Enfin, dans la configuration à 2 X 3 voies, la voie d'échange affectée aux entrées et aux sorties dans la zone de l'échangeur, est également située à gauche au niveau supérieur du tunnel. Dans la configuration à 2 X 2 voies, cette voie d'échange est considérée comme faisant office de BAU.



Cet ouvrage n'a pas de précédent dans le monde. Il est unique à ce jour, en particulier du fait de l'homogénéité des véhicules qui l'emprunteront, et de la disparition des notions de « voie rapide » et de « voie lente » (basée sur le retour d'expérience des autoroutes américaines).

B Résumé et conclusions du rapport de la CIS

A l'issue de plus de 30 réunions de travail auxquelles ont participé plus de 60 personnes, les membres de la Commission Interministérielle de Sécurité (CIS) créée pour examiner le projet de bouclage de A86 par un ouvrage à gabarit réduit, ont abouti à des conclusions unanimes, qui sont rappelées ci-après.

Nota : dans la suite de ce chapitre, les parties en italique correspondent à des extraits du rapport de la CIS.

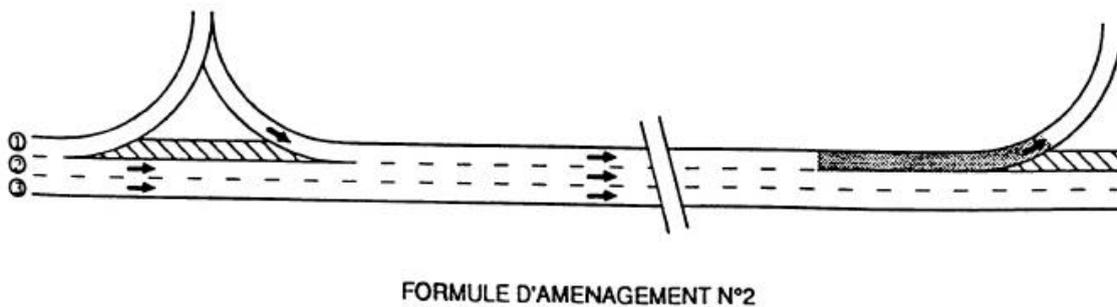
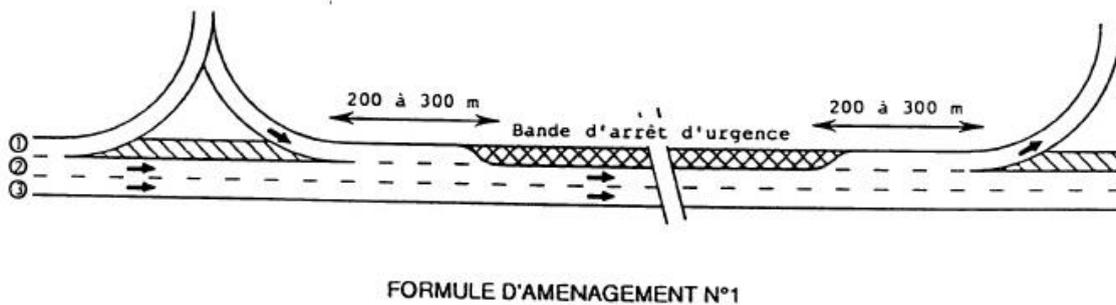
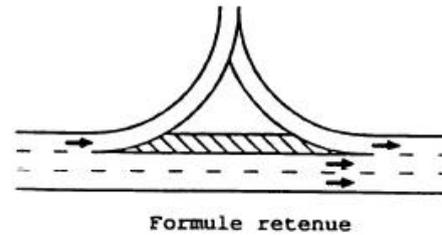
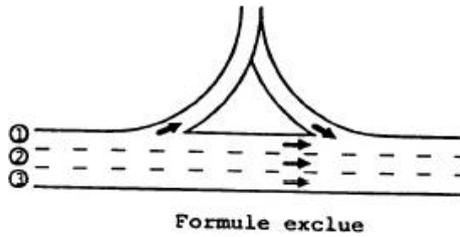
« *Chapitre II Principes d'aménagement de la chaussée – Comparaison entre 2 formules d'exploitation : 2 voies continues + BAU et 2 voies continues + 1 voie d'échange* »

Les schémas spécifiques au niveau où les entrées- sorties sont à gauche sont présentés page 13 du rapport et sont reproduits page suivante.

La BAU y est clairement figurée à gauche.

AMENAGEMENT DE LA CHAUSSEE

SCHEMAS AVEC ENTREES ET SORTIES A GAUCHE



Les 8 pages d'argumentaire de la comparaison entre les deux formules d'exploitation ne différencient pas les niveaux de circulation.

Les arguments que l'on peut relever sont :

- *Les accidents survenant à proximité ou au droit des zones d'échange représentent 30 à 40 % de la totalité des accidents sur autoroutes ou voies rapides urbaines, et cette proportion atteint près de 50 % sur le Boulevard Périphérique Parisien (page 10).*
- *Dans la formule d'exploitation à 2 voies + voie d'échange, la section courante à 3 voies ne pourra physiquement jamais être saturée en dehors des cas d'accident ou d'incident (page 8).*
- *Dans l'état actuel des connaissances la formule « 2 voies continues + 1 voie d'échange » paraît préférable sur le plan de la sécurité globale dès que le trafic approche ou a fortiori excède la capacité d'une chaussée à 2 voies qui se situe aux alentours de 3 400 véh/heure (page 12)*
- *Dans la formule « 2 voies continues + BAU » en cas de circulation élevée l'excès de demande par rapport à la capacité offerte devrait donc se reporter en surface où les risques d'accidents mortels sont en moyenne 5 fois plus élevés par kilomètre parcouru (page 11).*

« Chapitre III Vitesses admissibles dans l'ouvrage »

Du fait des contrôles, il faut notamment s'attendre à une très grande homogénéité des vitesses pratiquées, et donc à une très faible fréquence des manœuvres de dépassement (page15).

« Chapitre IV Caractéristiques géométriques de la section courante »

- **Effet de paroi** = *L'expérience montre que les conducteurs des véhicules circulant à proximité d'une paroi s'écartent instinctivement de celle-ci. En fonction des connaissances disponibles, la distance moyenne entre les véhicules circulant au sein d'une file proche d'une paroi et cette dernière a été évaluée à 1,20 m à hauteur du visage du conducteur (qui est à 1 m du sol en moyenne) (page 16).*

Page 19 = L'effet de paroi aura pour conséquence que les 2 voies latérales ne seront pas utilisées sur toute leur largeur.

- **Monotonie – Confort / Sécurité**

Page 19 = Le tunnel étant de grande longueur et risquant d'engendrer la monotonie dans le cas de longs parcours, les conditions d'ambiance intérieure devront être de grande qualité : très bon niveau d'éclairage, conception soignée de tous les éléments, recherche d'un maximum de diversité et de lisibilité, en particulier sur les zones d'échange etc..

- **Accès et sorties à gauche**

Page 19 = Les entrées et les sorties seront situées tantôt sur la gauche, tantôt sur la droite de la chaussée suivant le niveau de l'ouvrage qui sera emprunté.

Cette situation, qui est inhabituelle en France, est de pratique courante aux Etats-Unis, où les vitesses de circulation sur les différentes voies d'une autoroute sont

égales, de telle sorte que la **notion de «voie rapide» et de «voie lente»** y est inexistante, sauf cas particulier.

Ce même type de situation pourra prévaloir dans l'ouvrage souterrain envisagé, ce qui pourra nécessiter une adaptation du code de la route pour autoriser à doubler aussi bien par la droite que par la gauche.

L'expérience des Etats-Unis permet en tout cas d'affirmer que le fait que les entrées sorties soient indifféremment situées à droite ou à gauche ne posera pas de problème notable, après éventuellement une **courte période d'adaptation**.

« Annexes »

▪ **Annexe 3 – Equipements liés à la sécurité = BPAU**

Des boîtiers d'alarme avec retour d'information ou des postes d'appel disposés en applique, complétant le réseau d'appel d'urgence, seront implantés tous les 40 mètres, sur le piédroit du même côté que les niches de sécurité, lorsque les rameaux d'entrée et de sortie sont raccordés à droite, et sur les deux côtés en face à face, entre les niches de sécurité disposées sur le piédroit gauche d'une part, et sur le piédroit opposé d'autre part, lorsque les raccordements des rameaux se font à gauche.

▪ **Annexe 4 – Rapport du sous groupe : Scénarios d'arrivée des secours – Implantation des puits de secours**

Ce rapport ne traite que des accidents graves.

Il fait apparaître clairement que **les puits de secours sont une demande forte de la BSPP** qui, s'appuyant sur son expérience opérationnelle en milieu souterrain (lignes RER et Métro, gares souterraines), envisage en cas d'accident grave d'accéder d'emblée sur les lieux aussi bien par les puits que par les chaussées et ceci simultanément.

Le SDIS 78 n'entend engager ses moyens par les puits qu'en dernier ressort.

L'existence éventuelle d'une BAU, et son intérêt n'est nullement traitée dans ce document.

▪ **Annexe 4 – Rapport du sous groupe : Pannes et accidents**

Le rapport précise pages 2 et 3 la fréquence des événements à prendre en compte :

- *Cas des pannes = 3 par jour pour les 2 sens réunis (en moyenne 19 par semaine dans le tunnel principal et 1 dans les rameaux)*
- *Accidents matériels = 1 par semaine pour les 2 sens réunis*
- *Accidents graves = 1 par semestre pour les 2 sens réunis (dont 1 sur 4 connaîtra une issue mortelle)*
- *Incendies = 3 débuts d'incendie par an pour les 2 sens confondus (moins de 1 incendie de plus de IVL après collision tous les 10 à 20 ans)*

En outre le rapport indique que :

- *Une augmentation même faible des vitesses moyennes peut avoir des répercussions substantielles en terme de sécurité.*
- *Les effets des variations de vitesse sont plus perceptibles sur les accidents graves et mortels que sur les accidents bénins.*

Sur la base des expériences suédoises *les implications d'une baisse de vitesse de 100 à 90 km/h se traduisent en une réduction de 34 % du taux des accidents mortels, de 27 % du nombre de blessés et de 19 % du taux des accidents.*

Il est certain que le resserrement de la plage de vitesse pratiquée participera à la réduction des taux d'accidents d'une part, et du degré de gravité de ceux-ci d'autre part.

L'explication est dans la diminution du nombre de manœuvre, imprévues ou tardives, causées par des écarts de vitesse entre les véhicules.

Les facteurs différenciant le Bouclage de A86 des tunnels autoroutiers normaux sont le contrôle très strict des vitesses pratiquées avec verbalisation automatique des contrevenants, et l'homogénéité des véhicules (absence de 2 roues et de poids lourds, dont l'impact est estimé à 10 à 30 % sur le taux d'accidents matériels, 20 à 40 % sur le taux d'accidents corporels).

En ce qui concerne la BAU, le rapport (page 8) ne traite que de son absence. Il mentionne les risques encourus par un piéton cheminant sur une voie.

C Décisions notifiées à COFIROUTE et objet des études

- L'annexe S au Cahier des charges du Contrat de Concession, traitant des conditions relatives à la sécurité et à l'exploitation, rappelle clairement en préambule que le rapport de la CIS a servi de base à la Décision Interministérielle du 14 avril 1995 (DIM) qui figurait dans les textes de référence pour l'élaboration du projet.

Les modifications éventuelles de ces dispositions, demandées par l'Etat par Décision Ministérielle (DM), doivent être traitées dans le cadre de l'article 9.2 du Cahier des charges.

- La DM du 2 avril 2001, approuvant l'APOA du Génie civil du tunnel principal, spécifie clairement :

La dérogation concernant l'implantation des niches de sécurité à gauche de la circulation au niveau supérieur a fait l'objet d'un avis favorable de la commission administrative de suivi.

En effet, compte tenu de la configuration du tunnel, cette implantation est meilleure car les niches de sécurité sont situées du même côté que :

- *Les escaliers de communication,*
- *Les accès aux puits de secours,*
- *La bande d'arrêt d'urgence lorsque la circulation se fait sur 2 voies seulement,*
- *Les entrées et sorties des bretelles de l'échangeur avec A13.*

Cette implantation est cohérente avec l'implantation des aménagements pour l'évacuation des usagers et incite l'automobiliste à s'arrêter sur la BAU lors de la 1^{ère} phase, lorsque l'ouvrage est exploité à 2 voies. Pour le cas néanmoins où un automobiliste s'arrêterait à droite, il convient de prévoir un dispositif lui permettant d'avoir un dialogue avec le PC,

sur le côté situé à la droite du sens de circulation, tous les 40 m. Votre proposition de substituer aux boîtiers poussoirs d'alarme des postes téléphoniques sera, dans ce sens, instruite dans le cadre de l'APOA des équipements.

Au total, l'ensemble de ces dispositions apporte un niveau de sécurité globalement au moins équivalent à celui qu'apporterait l'application stricte de la circulaire, s'agissant des niches.

- Le CESTR (Comité d'Evaluation de la Sécurité des Tunnels Routiers du réseau national) a été conduit à s'interroger sur la position de la bande d'arrêt d'urgence dans son avis d'octobre 2002 sur le dossier de sécurité d'ensemble du tunnel Est.

Il a ainsi demandé au concessionnaire « d'étudier l'aménagement (signalisation horizontale et verticale, équipements à la disposition des usagers) du sens Vélizy - Rueil-Malmaison, dans l'hypothèse d'une bande d'arrêt d'urgence disposée à droite et de comparer les niveaux de sécurité tant en situation courante que dans le cas d'accidents ou d'incendie, pour retenir la formule la plus pertinente de positionnement de cette bande d'arrêt d'urgence.

La présente note a pour objet de présenter les études menées pour répondre à la demande du CESTR.

Ces études sont transmises à monsieur GIBLIN, ingénieur général des ponts et chaussées, président de la troisième section du Conseil Général des Ponts et Chaussées, auquel le Directeur des Routes a confié une mission d'expertise sur le sujet du positionnement de la bande d'arrêt d'urgence.

II. Méthodologie des études

- Suite à la demande du CESTR, COFIROUTE a commencé par engager **une analyse technique de faisabilité**. Cette analyse porte sur l'examen de la géométrie routière du tunnel et en particulier les raccordements des zones d'échanges (à 3 voies sans bande d'arrêt d'urgence) et des zones courantes (à 2 voies et bande d'arrêt d'urgence). Cette analyse conclue à la faisabilité du positionnement de la bande d'arrêt d'urgence à droite et évalue les conséquences immédiates de cette modification sur les équipements et la géométrie des voies. Elle prévoit qu'une partie des équipements de la niche de sécurité doit être déplacée à droite des voies de circulation si la bande d'arrêt d'urgence est placée à cet endroit.

En complément à cette première analyse, une étude comparative entre BAU à droite et BAU à gauche a été lancée. Les principes généraux de cette étude ont été définis le 2 décembre 2002 lors d'une réunion de travail en présence de Mrs. GIBLIN, FARRAN et du concessionnaire.

Les axes d'analyses ci après ont été définis lors de cette réunion:

- **Une analyse fonctionnelle globale**
Cette analyse doit permettre d'identifier toutes les fonctions attendues de la «bande d'arrêt d'urgence» dans le contexte spécifique du tunnel. Elle doit apporter un éclairage objectif sur les avantages et les inconvénients de l'une ou l'autre des solutions vis-à-vis de chacune des fonctions.
- **Une simulation du comportement des usagers face à la bande d'arrêt d'urgence**
Les usagers sont habitués à ce que la bande d'arrêt d'urgence soit placée à droite des voies. Un positionnement à gauche des voies pourrait induire des comportements imprévus.
En l'absence de retour d'expérience, il a été décidé de comparer les comportements des usagers dans les deux situations de BAU à droite et à gauche, dans un simulateur de conduite.

Ces analyses ont été menées sous le pilotage de Mr Giblin et en coordination avec Mme Dore de l'INRETS, Mr Farran, ingénieur général des ponts et chaussées en charge du suivi de l'A86, et de Mr Moret du CETU.

Elles ont donné lieu aux réunions de présentation tenues les 2 juin et 10 juillet 2003.

Enfin à la demande de Mr GIBLIN lors de la réunion du 10 juillet 2003, une **évaluation des impacts de l'implantation éventuelle de niches de sécurité à droite** du tunnel a été établie.

C'est l'ensemble de ces résultats qui est présenté au chapitre III ci-après.

III. Présentation des résultats

A Analyse technique et étude de faisabilité

1- Rappel de la configuration des voies en tunnel

En préalable, il est utile de rappeler la répartition des voies en tunnel et le marquage associé.

La largeur roulable de 8.72 m en tunnel a été proposée dans le rapport final de la Commission Interministérielle de Sécurité de 1992 (Rapport "Gérondeau"). Elle respecte les préconisations de la D.I.M. du 14 avril 1995 et de l'annexe S du contrat de concession. Cette largeur roulable de 8.72 m a été confirmée dans la DM du 2 avril 2001 et dans l'avis du CESTR du 25 octobre 2002.

La largeur roulable de l'ouvrage est conçue pour permettre une exploitation à 3 voies : 2 voies de circulation continues + 1 voie d'échange.

La mise en service de l'ouvrage sera cependant effectuée dans le cadre d'une exploitation à 2 X 2 voies + BAU.

En section courante, la répartition des voies proposée est la suivante :

- 1 bande dérasée latérale de 0.22 m
- 2 voies de 3.00 m
- 1 bande d'arrêt d'urgence de 2.50 m

En zone d'échange, la répartition des voies est modifiée localement pour permettre l'apparition de la voie de sortie en pseudo affectation :

- 2 bandes dérasées latérales de 0.16 m
- 3 voies de 2.80 m

Ces dispositions ont été validées par la CAS dans son rapport du 8 Août 2002 et par le CESTR dans son avis du 25 octobre 2002.

Le marquage au sol fera l'objet d'une approbation dans le cadre de l'instruction de l'APOA Equipements de la route et de l'instruction du projet par la CAS : sous - commission Signalisation.

Par ailleurs le marquage au sol fait partie des paramètres participants à "l'Ambiance Tunnel" au même titre que la couleur de la chaussée et des parois. Il est donc envisagé qu'un marquage particulier soit mis en œuvre.

Au stade actuel de niveau APOA, il a été décidé de garder les types et largeurs de bandes réglementaires.

2- Incidence sur le projet d'une B.A.U. à droite

2-1 Génie-Civil

Le déplacement de la BAU de gauche à droite dans l'espace trafic supérieur du tunnel aurait pour conséquence :

- De rallonger le dispositif de sortie en amont de l'échangeur A13, pour réaliser le basculement des 2 voies de gauche à droite, avant la création de la 3ème voie de sortie en pseudo-affectation.
- De rallonger le dispositif d'entrée en aval de l'échangeur A13, pour réaliser le basculement des 2 voies de droite à gauche, après la disparition de la 3ème voie d'entrée en insertion à gauche.
- De raccourcir le dispositif de sortie en amont du raccordement de Rueil-Malmaison, car le positionnement des 2 voies à gauche est déjà effectué avant la création de la 3ème voie de sortie à droite en pseudo-affectation.
- De créer ultérieurement un dispositif de dévoiement des voies en amont et en aval de l'insertion future RD10

Les plans montrant les dispositions décrites ci-dessus figurent au dossier référencé C SMC 00K401 A.

2-2 Equipements

Le déplacement de la BAU de gauche à droite dans l'espace trafic supérieur du tunnel n'aurait de conséquence sur les équipements que sur la signalisation verticale et les équipements mis à la disposition des usagers.

Signalisation verticale

Le positionnement de la signalisation verticale (PMV, SAV) et des divers équipements de surveillance et gestion du trafic est tributaire de la disposition des voies. Il conviendra donc de la définir avant les études détaillées des équipements, qui interviendront après la DM d'approbation de l'APOA Equipements.

Sans attendre ces études, on peut déjà dire que le positionnement de la signalisation verticale pourrait s'adapter à la BAU à droite au niveau supérieur, car ce serait alors une configuration similaire à celle de l'espace inférieur.

RAU, extincteurs et signalétique associée

En cas de BAU à droite au niveau supérieur, il faudrait prévoir en face de l'escalier de transfert, tout les 200m, un équipement particulier de communication (RAU) au bord de la BAU et y adjoindre les 2 extincteurs.

La niche de sécurité contiguë à l'escalier de transfert deviendrait alors une niche réservée uniquement pour les services de secours, avec les prises pompiers et le réseau incendie (RIA). La signalétique devrait alors clairement indiquer aux usagers le poste RAU en extérieur coté BAU.

Cette implantation du RAU dans l'espace trafic pose des problèmes d'audibilité qui peuvent se résoudre par la mise en place d'un téléphone spécial. Cette question a fait l'objet de la note P GRA ONT022 A qui conclut que l'implantation de RAU directement dans l'espace trafic est possible sur les plans de l'audibilité, de l'hygiène et de la pérennité des équipements. Toutefois l'utilisateur serait dans des conditions inconfortables pour réaliser son appel.

Les 2 extincteurs seraient placés dans une armoire vitrée sous le poste RAU.

Boutons poussoirs (BPAU)

Les BPAU seraient à prévoir uniquement du côté de la BAU à droite, afin d'éviter que les usagers ne soient tentés de traverser les voies.

3- Synthèse

L'implantation de la BAU à droite au niveau supérieur du tunnel n'aurait pas d'incidence majeure sur le génie civil du tunnel dans la mesure où l'on ne créerait pas de niches de sécurité à droite, ni de dispositifs de protection latérale (glissière ou bute-roues?). L'incidence de la BAU à droite porterait alors seulement sur le marquage au sol.

Les débranchements des voies qu'occasionnerait la nouvelle géométrie ne semblent pas devoir avoir un impact sur le confort et la sécurité de conduite de l'utilisateur.

L'incidence sur les équipements serait plus importante :

- Il conviendrait de déplacer les dispositifs de sécurité pour les usagers, RAU et extincteurs à placer sur le piédroit droit du côté de la BAU;
- Les niches à gauche ne deviendraient plus que des niches « incendie » et la signalétique de sécurité serait à déplacer en conséquence.

Par ailleurs il faut noter que l'utilisateur cherchant à utiliser ces équipements serait positionné sur la BAU, ce qui l'expose à la circulation lors de l'utilisation de la borne RAU ou des extincteurs. Ceci pourrait conduire à remettre en cause la largeur roulable du tunnel validée par la DM du 2 avril 2001 et modifier de ce fait l'implantation et la largeur des voies.

Sur le plan du processus des études, le choix de la BAU à gauche ou à droite devra être fait avant les études détaillées des Equipements.

B Analyse fonctionnelle : identification du rôle de la BAU et étude comparative

Les fonctions attendues de la BAU dans l'ouvrage spécifique du tunnel de l'A86 sont les suivantes :

1- Fonctions d'exploitation normale :

- Permettre à un usager de s'arrêter et stationner son véhicule suite à un problème (panne ou accident matériel) ;
- Offrir un espace de stationnement pour les opérations de maintenance et d'entretien.

2- Fonction d'aide aux services de secours :

- Offrir une voie d'accès pour les services de secours (Cofiroute – Pompiers - SAMU) pour accéder à une zone d'accident. Il faut noter que les services de secours disposent d'un accès par l'autre niveau via les escaliers de communication tous les 200m et par les puits de secours tous les 1km environ.

3- Fonction d'aide à l'évacuation des usagers :

- Offrir un espace naturel de cheminement, dégagé de tout véhicule, pour les usagers-piétons cherchant soit à accéder aux escaliers de transfert pour gagner un abri, soit à se mettre à l'abri dans l'espace trafic supérieur, quand l'espace trafic inférieur est sinistré.

Une analyse préliminaire des risques de ces différentes situations a été réalisée.

La méthodologie de cette analyse a été présentée lors de la réunion du 2 juin 2003 à travers le document référencé C ING 00T404 A.

Ses résultats quantitatifs ont ensuite été présentés dans la note sous référence C ING 00T400 A transmise et commentée lors de la réunion du 10 juillet 2003.

Le résultat de ces analyses est résumé ci-après en n'extrayant des analyses exhaustives, et de manière qualitative, que les fonctions pour lesquelles une différence significative est relevée dans la comparaison entre les deux positions possibles de la BAU.

Il apparaît quatre situations déterminantes pour la sécurité des usagers dans le positionnement de la BAU (deux cas courants et deux cas rares).

1- Cas Courants

1-1 Usager cherchant à s'arrêter pour cause de panne ou de malaise

L'étude du comportement des usagers établie lors des tests de conduite sur simulateur montre que, la BAU étant à gauche, 10% du panel des conducteurs ont le comportement réflexe de

se porter sur la droite lors d'un incident obligeant le conducteur à s'arrêter (et de ce fait s'arrêtent sur la voie de droite).

De ce fait la BAU à droite correspond plus à l'attente des usagers pour pouvoir s'arrêter.

Il est à noter que cette situation a été intégrée dans la conception du projet avec BAU à gauche puisque des boutons poussoirs d'appel d'urgence ont été placés à droite et que la Détection Automatique d'Incident permet immédiatement la fermeture de la voie concernée si un automobiliste s'y est arrêté.

1-2 Usager arrêté sur la BAU pour cause de panne ou d'accident matériel :

Dans cette configuration, considérée comme quotidienne, l'utilisateur doit accéder aux équipements de sécurité pour demander de l'assistance.

✓ BAU à droite :

Le positionnement de la BAU à droite fait apparaître trois événements redoutés :

- Dans cette configuration, les équipements de sécurité (poste d'appel d'urgence et extincteurs), positionnés du côté de la BAU, ne sont pas dans une niche. Ils offrent, par conséquent, des conditions d'audibilité et de confort d'utilisation réduites. L'utilisateur est en effet situé sur l'espace neutralisé que constitue la BAU mais ne bénéficie pas d'une protection physique, et d'une protection sonore, ce qui rend plus difficile la communication lorsqu'il demande assistance.
- Dans le cas d'un arrêt dû à une panne ou à un accident matériel, l'utilisateur a accès coté BAU aux équipements de sécurité nécessaires pour demander de l'assistance. Cependant il est possible que l'utilisateur veuille traverser les deux voies adjacentes pour accéder aux escaliers de transfert, dans lesquels il se sentira plus en sécurité.
- Par ailleurs, lorsqu'il descend de son véhicule, le conducteur est exposé à un risque de renversement. Néanmoins on peut penser que cet événement devrait être rare du fait de la vigilance des usagers du tunnel, avertis par la signalisation et la radio de la présence d'un véhicule à l'arrêt.

✓ BAU à gauche :

Le positionnement de la BAU à gauche présente beaucoup moins de risque :

- il offre des conditions de sécurité et de confort meilleures du fait de la présence d'une niche contiguë à l'escalier de transfert. pour l'utilisation des équipements de sécurité.
- Il réduit le risque d'une traversée des deux voies, du fait de la présence de son véhicule à l'arrêt sur la BAU à gauche. Seuls les usagers s'étant arrêtés sur la voie de droite risquent en effet de traverser la voie de gauche ; mais ils ont les boutons poussoirs à leur disposition à droite.

- Il annule les risques dus à la descente coté conducteur du véhicule. En revanche la circulation du piéton sur la BAU à gauche peut être estimée plus dangereuse du fait du caractère inhabituel de cette situation pour le conducteur moyen.

2- Cas rares

Ce chapitre présente deux cas rares, dont la probabilité d'apparition reste très faible :

- accident grave nécessitant une intervention des secours.
- sur - accident ou accident avec incendie nécessitant l'auto évacuation des usagers.

Le positionnement de la BAU dans ces deux situations est pris en compte quelque soit l'espace trafic sinistré :

- ✓ quand l'espace trafic inférieur est sinistré, l'espace trafic supérieur devient alors un moyen d'accès pour les secours et une destination d'évacuation pour les usagers (qui peut encore être sous trafic pour un usager qui évacue très rapidement).
- ✓ Quand l'espace trafic supérieur est sinistré, l'espace trafic inférieur devient alors un moyen d'accès pour les secours et une destination d'évacuation pour les usagers (qui débouche sur la BAU).

Dans les deux cas, les secours proviennent simultanément des deux espaces trafics.

2-1 Accès et intervention des secours :

✓ BAU à droite :

Compte tenu du positionnement à gauche de la BAU dans les bretelles au niveau de l'échangeur avec l'A13, l'accès des véhicules de secours **depuis l'espace trafic supérieur** nécessite la traversée des deux voies dans le tunnel en cisillant la circulation pour accéder au lieu du sinistre, ce qui risque de rallonger le temps d'intervention de l'ordre d'une trentaine de secondes, et pourrait être plus difficile en cas de congestion.

Pour les secours qui viennent **de l'espace trafic inférieur**, par l'escalier de transfert ils débouchent directement dans l'espace trafic supérieur le long des voies et donc potentiellement dans un espace congestionné.

L'accès aux escaliers de transferts pour une utilisation comme poste de premiers secours nécessite la traversée de deux voies de circulation depuis la BAU.

✓ BAU à gauche:

Le positionnement de la BAU à gauche dans l'espace trafic supérieur sécurise l'accès des secours venant par les escaliers de transfert **depuis l'espace trafic inférieur**. La BAU à gauche **dans l'espace trafic supérieur** évite le cisaillement des voies lors de l'accès des

véhicules de secours par l'échangeur avec l'A13. L'accès aux escaliers de transferts est plus aisé par la BAU lors de leur utilisation comme poste de premiers secours.

2-2 Auto - évacuation des usagers :

✓ BAU à droite :

- Quand l'espace trafic supérieur est sinistré, les usagers à pied en auto - évacuation **vers l'espace trafic inférieur** utiliseront de préférence la BAU pour atteindre l'escalier de transfert. Ils devront donc traverser les deux voies au droit de l'escalier de transfert dans des conditions difficiles lorsque le tunnel est enfumé. Les autres usagers chemineront entre les véhicules, ce qui rallongera leur temps d'évacuation.
- Quand l'espace trafic inférieur est sinistré, L'évacuation **vers l'espace trafic supérieur** s'effectuera directement sur les voies de circulation qui pourraient encore être sous trafic si l'évacuation est rapide.

✓ BAU à gauche:

- Le positionnement de la BAU à gauche facilite l'auto - évacuation des usagers qui utiliseront un cheminement piéton libre menant directement jusqu'aux escaliers de transfert **vers l'espace trafic inférieur** et sans traversée des voies de circulation.
- L'évacuation **depuis l'espace trafic inférieur est également** plus sécurisée du fait de la présence de la BAU au débouché de l'escalier de transfert.

3- Synthèse

Le tableau ci joint présente une synthèse des éléments précédemment décrits, avec une qualification du risque propre à chaque position de la BAU.

La quantification des risques initialement proposée a mis en lumière que la valeur donnée à une probabilité d'occurrence de l'événement redouté ainsi que la gravité de cet événement pouvaient prêter à discussion. C'est pourquoi il a été convenu lors de la réunion du 10 juillet 2003 de n'évaluer que qualitativement les situations.

Toutefois dans le tableau il a été mentionné à titre d'information:

- qu'une panne ou un arrêt de véhicule pouvait se produire une fois par jour ;
- que l'accès des secours (assimilé à un accident grave) pouvait se produire une fois par an
- qu'une auto - évacuation qui correspondrait à un accident très grave (sur - accident avec incendie), pouvait avoir lieu au maximum une fois tous les 50 ans.

Situations		Probabilité d'occurrence de la situation	Evènement redouté	Niveau de risque avec BAU à droite	Niveau de risque avec BAU à gauche
Cas Courants	Usagers cherchant à s'arrêter	1 / jour	Risque de ne pas s'arrêter sur la BAU	-	+
	Usagers arrêtés	1 / jour	Fauchage en sortie du véhicule	+	-
			Fauchage pendant l'appel de secours	++	--
			Fauchage en cheminement sur la BAU	=	=
			Arrivée des secours retardée du fait des conditions d'audibilité et de communication	+	-
Traversée dangereuse de l'usager pour accéder aux ET	++	--			
Cas Rares	Accès des secours	1 / an	Accès des Personnels de Secours depuis le niveau inférieur ralenti car ils débouchent directement sur l'espace trafic encombré	+	-
			Accès des Véhicules de Secours au même niveau ralenti au droit de l'échangeur avec l'A13 (cisaillement de la circulation)	+	-
	Auto évacuation	1 / 50 ans	Les usagers ne trouvent pas l'escalier de transfert vers l'espace inférieur	+	-
			Les usagers débouchent sur l'espace trafic depuis le niveau inférieur	++	--

Nota : de -- : risque très faible, à ++ : risque très fo

C Simulations du comportement des usagers face à la bande d'arrêt d'urgence

L'objectif des simulations a été de comparer le comportement des usagers dans le tunnel avec bande d'arrêt d'urgence à droite et avec bande d'arrêt d'urgence à gauche.

Les simulations ont été confiées à un groupement constitué des sociétés suivantes : OKTAL pour la réalisation de la maquette et des images de l'intérieur du tunnel, VALUTECH (Université de Valenciennes) pour la mise au point du protocole et l'analyse, RENAULT pour la mise en œuvre du simulateur dynamique de conduite.

1- Principes de l'étude

Le protocole des études a été défini conjointement entre les sociétés du groupement, le concessionnaire et son maître d'œuvre. Ce protocole est le document référencé BAU/034 – 03.71/A v2 remis lors de la réunion du 2 juin 2003.

Le principe des simulations a été le suivant :

- le nombre de candidats soumis aux tests a été de 40. Sur les 40 sujets convoqués aux expérimentations, 30 ont fourni des résultats directement exploitables.
- les candidats ont été soumis à deux scénarios de conduite : scénario correspondant au tunnel avec bande d'arrêt d'urgence à droite et scénario correspondant au tunnel avec bande d'arrêt d'urgence à gauche. Pour chacun des scénarios le candidat roule dans le tunnel pendant environ 15 minutes.
- Au cours de chaque scénario, les candidats ont rencontré plusieurs « évènements » de conduite particuliers conçus pour induire un comportement spécifique vis-à-vis de la bande d'arrêt d'urgence.
- A l'issue de chaque scénario les candidats ont été interrogés et confrontés à leurs propres réactions face aux différents évènements.

Les simulations se sont globalement bien déroulées. Elles ont eu lieu entre le 8 et le 25 avril 2003. Les conclusions de ces expérimentations ont fait l'objet d'un rapport détaillé des sociétés Oktal et Valutech en juin 2003. La dernière version de ce rapport, référencée BAU/034 – 03.140 /A v1.3 a été remise lors de la réunion du 10 juillet 2003.

2- Les enseignements

2-1 Réactions face aux situations

On peut distinguer trois types de situations mises en œuvre: des situations où le candidat était témoin d'une infraction ou d'un comportement anormal, des situations où le candidat était conduit à réagir et à éviter un obstacle, et enfin une situation où le candidat était invité à s'arrêter.

De manière générale, les candidats n'ont pas été mis en situation de réagir de façon réflexe et parfaitement spontanée à chacune de ces situations. Ceci est lié d'une part à la nature même de l'expérimentation et à l'usage d'un simulateur de conduite, d'autre part au choix d'un protocole qui prévoyait un certain conditionnement des candidats (information sur le positionnement de la BAU notamment).

Ce conditionnement a été voulu pour traduire le fait que les usagers qui emprunteront l'ouvrage seront en grande majorité des usagers « informés ». Cette information sera transmise directement aux clients abonnés. Elle sera diffusée aux clients ponctuels à travers une signalisation spécifique en entrée de tunnel et une signalisation particulière de la BAU.

Dans ce contexte, les candidats ont bien réagi aux situations d'évitement proposées et ont correctement détecté les comportements anormaux dont ils étaient témoins. A contrario l'étude réalisée ne permet pas d'évaluer le comportement de clients qui découvriraient entièrement le tunnel ou qui ne seraient pas réceptifs aux informations transmises. Des comportements aberrants ne peuvent être exclus.

Le cas particulier de la simulation de panne pour lequel les usagers sont invités à s'arrêter en urgence mérite une interprétation spécifique. Trois candidats se sont arrêtés à droite dans le cas où la BAU était située à gauche des voies. Ce risque, qui avait été pris en compte en son temps par la CIS de 1992, semble donc se confirmer.

En conclusion, il nous semble impératif de rester prudent quant à l'interprétation des réactions des usagers face aux différentes situations rencontrées. Pour rester factuels, les enseignements suivants nous semblent pouvoir être tirés :

- Avec une information forte en entrée de tunnel et pour une population « attentive », le fonctionnement de l'ouvrage avec BAU à gauche des voies de circulation ne fait pas apparaître de risque particulier.
- Des comportements aberrants ne peuvent être exclus dans la mesure où les habitudes de conduite sont perturbées.
- En cas de bande d'arrêt d'urgence située à gauche, le risque d'arrêt de certains usagers à droite des voies de circulation qui avait été pressenti par la CIS de 1992, existe.

2-2 Le comportement des usagers

Au-delà de l'interprétation de la réaction des candidats devant les différentes situations de trafic, l'étude fournit des enseignements nombreux concernant le comportement de conduite des usagers en fonction du positionnement de la BAU.

On observe précisément que le fait de placer la BAU à gauche des voies de circulation conduit à :

- Une meilleure répartition des usagers sur les deux voies de circulation ;
- Une légère diminution des vitesses maximales mesurées sur les deux voies circulées ;
- Une légère diminution du différentiel de vitesse entre les deux voies circulées (vitesses maximales) ;
- Une légère augmentation de la vitesse moyenne estimée ;
- Une vigilance et un effort de conduite accrus.

Ces éléments confirment que le comportement de conduite dans l'ouvrage pourrait être différent de celui observé traditionnellement sur les Voies Rapides Urbaines. L'utilisateur ne fait pas de véritable différence entre les voies. Malgré des écarts faibles entre les deux configurations du tunnel, les statistiques indiquent une plus grande homogénéité des vitesses pratiquées.

Seul le paramètre relatif à la vitesse moyenne pratiquée paraît défavorable au positionnement de la BAU à gauche. Pour tous les autres paramètres, ce positionnement semble constituer un élément « régulateur » du comportement des conducteurs.

Par ailleurs, il nous semble qu'un effort accru et une vigilance renforcée de la part du conducteur est un gage de sécurité. Ce principe est déjà, dans le cas particulier du tunnel, à l'origine de certains choix de conception structurants, notamment le profil en travers et l'alternance des courbes du tunnel. Un confort de conduite trop important peut induire une baisse de la vigilance et n'est pas toujours souhaitable.

En conclusion, pour ce qui concerne le comportement de conduite des usagers en dehors de tout événement particulier, les expérimentations révèlent un caractère favorable du positionnement de la BAU à gauche en vue d'une conduite « apaisée ».

2-3 Verbalisation, commentaires

Les verbalisations dégagent une préférence en faveur de la BAU à droite. Il est difficile néanmoins de savoir si les usagers expriment des opinions générales ou un véritable ressenti.

Il n'est pas étonnant que les usagers expriment une certaine surprise et une gêne dans la mesure où la situation dans laquelle ils sont plongés est manifestement inhabituelle. Faut-il pour autant interpréter les craintes exprimées sachant qu'on ne retrouve pas dans les faits, la préférence qui semble se dégager des mots ?

3- Synthèse

En conclusion, les expérimentations réalisées sur simulateur de conduite nécessitent une interprétation très précise et souvent délicate.

En admettant que l'on soit capable de fournir une information suffisante en amont du tunnel (signalisation) et avant même le voyage des futurs clients (préparation au voyage, publicité, mailings etc.), le positionnement de la BAU à gauche des voies circulées ne semble pas de nature à induire des dangers particuliers.

Au contraire, ce positionnement semble aller dans le sens d'une amélioration du comportement de conduite des usagers. Ce positionnement paraît cohérent avec le reste des actions menées sur cet ouvrage pour la promotion d'une conduite « apaisée ».

Par contre, certains comportements réflexes tenaces sont à craindre. C'est le cas notamment de l'arrêt des usagers sur la voie de droite quel que soit l'emplacement de la BAU. Ce risque, identifié et accepté en 1992 par la CIS, est à considérer au vu des moyens spécifiques mis en oeuvre pour y faire face : boutons poussoirs d'appel d'urgence situés à droite, Détection Automatique d'Incident, fermeture dynamique et immédiate des voies etc.

Au vu de cette seule étude, le choix du positionnement de la BAU revient donc à comparer d'une part le gain induit par une amélioration globale des conditions de circulation, qui n'est qu'esquissée à ce stade mais qui pourrait se traduire par une moindre fréquence des accidents courants en tunnel, et d'autre part le risque précis lié à l'arrêt de certains usagers en dehors de la BAU en cas d'urgence.

D Evaluation des impacts en cas de réalisation de niches de sécurité côté est du tunnel

Lors de la réunion du 10 juillet 2003, il a été demandé d'évaluer quels pourraient être les impacts sur le projet de la création de niche côté est du tunnel, c'est-à-dire du côté de la BAU, si celle-ci était positionnée à droite dans l'espace de trafic supérieur.

L'évaluation qui est donnée ci-après a été réalisée de manière assez macroscopique, pour répondre à l'objectif qui était de donner un ordre de grandeur de ces impacts éventuels.

La situation de départ est celle du tunnel dont le tube est achevé au plan du génie civil, les escaliers de transfert n'étant pas encore réalisés, et a fortiori, les équipements non plus.

Le coût unitaire d'une niche de sécurité simple, c'est-à-dire sur un seul niveau, représente 77 % du coût d'une niche de sécurité sur deux niveaux. Ce pourcentage a été calculé à partir des prix unitaires du marché d'entreprise, corrigés au prorata des volumes et des durées d'exécution. A également été prise en compte l'importance prédominante des travaux en 1/2 section supérieure par rapport à la 1/2 section inférieure des niches de sécurité.

1- Détermination du coût pour la section Est 1

La section Est 1 comporterait 22 niches.

1-1 Génie civil

Le prix du marché de 10 niches complètes est de 5,7 M€H.T.

Le prix d'une niche supérieure serait donc égal à : $5,7 \text{ M€} / 10 \times 77 \% = 0,44 \text{ M€H.T.}$
Pour 22 niches, le coût du Génie Civil serait de : $22 \times 0,44 \text{ M€} = \mathbf{9,68 \text{ M€H.T.}}$

1-2 Cintrage métallique

Les séquences des anneaux, au droit des éventuelles niches simples à droite, n'ayant pas été déterminées à l'avance pour satisfaire les contraintes du confortement habituel du tunnel, un cintrage métallique systématique serait nécessaire, dont le coût unitaire est évalué à 65,3 k€ soit pour 22 niches : $22 \times 65,3 \text{ k€} = \mathbf{1,44 \text{ M€H.T.}}$

1-3 Surcoût matériel

La part du matériel de niches supérieures est calculée de la façon suivante :

- Dans le Marché, le Génie Civil des niches correspond à 12,3 % (25,6 M€/208,7 M€H.T.) du Génie Civil du Tunnel Est – Tronçon 1
- La part du matériel des niches est donc de : $12,3 \% \times 51,5 \text{ M€} = 6,3 \text{ M€H.T.}$
- La part des niches simples, par rapport aux niches complètes est de : $9,68 \text{ M€} / 25,6 \text{ M€} = 38 \%$
- La hausse de 38 % du Génie Civil des niches entraîne une augmentation du matériel des niches de : $38 \% \times 6,3 \text{ M€} = \mathbf{2,40 \text{ M€H.T.}}$

1-4 Impact sur les dalles du tunnel

L'absence de mesures conservatoires, au droit des éventuelles niches à droite au niveau supérieur, conduirait à la démolition de la dalle basse, à l'installation d'un platelage métallique, à sa dépose et à la reconstruction de cette dalle sur une longueur moyenne de 8 mètres environ par niche.

L'impact sur la dalle basse est estimé à 158 k€ par niche, soit pour 22 niches :
 $22 \times 158 = \mathbf{3,48 \text{ M€H.T.}}$

L'ajout de niches à droite aurait également des conséquences sur les planchers hauts et médians du tunnel VL1. Le surcoût est estimé à 40 k€ par niche, soit pour 22 niches :
 $22 \times 40 = \mathbf{0,88 \text{ M€H.T.}}$

1-5 Etudes

Une part d'études supplémentaires, pour ces nouveaux ouvrages, est également comptée.

En effet ce sont des ouvrages qui n'ont pas été prévus à l'origine et ne sont donc pas étudiés dans la continuité et l'enchaînement normal des travaux. Leur réalisation nécessiterait des reprises d'ouvrages existants et engendrerait des surcoûts d'études pour un montant estimé de : $\mathbf{0,50 \text{ M€H.T.}}$

En résumé, le montant hors taxes du surcoût du génie civil de niches simples à droite au niveau supérieur pour la Section Est 1 est de $\mathbf{18,38 \text{ M€H.T.}}$

1-6 Equipements

Seuls les équipements RAU et extincteurs seraient déplacés de la niche à gauche vers la niche à droite. Les équipements colonne incendie et prises pompier resteraient dans la niche à gauche.

Le surcoût viendrait de l'éclairage supplémentaire à prévoir pour les niches à droite et des signalisations complémentaires à installer.

Le montant hors taxe du surcoût des équipements de niches à droite pour la Section Est 1 est estimé de : 0,50 M€H.T.

2- Détermination du coût pour la section Est 2

La section Est 2 comporterait 27 niches.

2-1 Génie civil

Le prix du marché de 13 niches complètes est de 8,3 M€H.T.

Le prix pour 27 niches supérieures serait donc égal à :
 $27 \times 8,3 \text{ M€} / 13 \times 77 \% = \mathbf{13,27 \text{ M€H.T.}}$

2-2 Cintrage métallique

Bien que le tunnel VL2 ne soit pas creusé, il n'est pas envisageable de bloquer les séquences d'anneaux à proximité immédiate des niches de sécurité et escaliers de transfert. Le cintrage métallique systématique est conservé, dont le coût serait pour 27 niches de : $27 \times 65,3 \text{ k€} = \mathbf{1,76 \text{ M€H.T.}}$

2-3 Surcoût matériel

La part du matériel de niches supérieures est calculée comme pour le tunnel VL1 :

- Dans le Marché, le Génie Civil des niches correspond à 16,1 % (29,3 M€ / 181,9 M€H.T.) du Génie Civil du Tunnel Est – Tronçon 2
- La part du matériel des niches est donc de : $16,1 \% \times 4,4 \text{ M€} = 0,7 \text{ M€H.T.}$
- La part des niches simples, par rapport aux niches complètes est de : $13,28 \text{ M€} / 29,3 \text{ M€} = 45 \%$
- La hausse de 45 % du Génie Civil des niches entraîne une augmentation du matériel des niches de : $45 \% \times 0,7 \text{ M€} = \mathbf{0,32 \text{ M€H.T.}}$

2-4 Impact sur les dalles du tunnel

L'impact sur la dalle se limite à l'installation d'un platelage métallique et à sa dépose, estimés par niche à 77 k€, soit pour 27 niches :
 $27 \times 77 = \mathbf{2,08 \text{ M€H.T.}}$

L'impact sur les planchers hauts médians est conservé avec le même coût de 40 k€ par niche, soit pour 27 niches :

$27 \times 40 = 1,08 \text{ M€H.T.}$

2-5 Etudes

La part études est également conservée, et légèrement supérieure au prorata des travaux : **0,60 M€H.T.**

En résumé, le montant hors taxes du surcoût du génie civil de niches simples à droite au niveau supérieur pour la Section Est 2 est de 19,11 M€H.T.

2-6 Equipements

Le montant hors taxe du surcoût des équipements de niches à droite pour la Section Est 2 est estimé de : 0,70 M€H.T.

3- Délais

L'analyse de l'impact de ces travaux supplémentaires sur le planning a été faite en supposant la réalisation globale de toutes les niches et non un démarrage du chantier de niches simples supérieures décalé.

- Impact planning pour la Section Est 1 : 36 mois au lieu de 29,5 mois soit + 6,5 mois ;
- Impact planning pour la Section Est 2 : 38 mois au lieu de 31 mois soit + 7 mois.

Le coût est de 1,1 M€par mois de délai supplémentaire pour Est 1 et Est 2.

4- Synthèse

Le tableau ci-après récapitule les surcoûts qu'engendrerait la réalisation de niches à droite au niveau de l'espace de trafic supérieur :

Désignation	SECTION EST 1		SECTION EST 2	
	M€ H.T.	Mois	M€ H.T.	Mois
Coûts travaux de Génie Civil	18,4		19,1	
Coûts Equipements	0,5		0,7	
Délais globaux		+ 6,5		+ 7
Coûts délais	7,1		7,7	
TOTAL M€H.T.	26		27,5	
TOTAL GENERAL M€H.T.	53,5			

IV. Conclusion Générale

Le projet de bouclage de l'A86 à l'ouest a été conçu pour fonctionner avec trois voies de circulation dans chaque sens, comme cela est mentionné à l'article 3 du titre premier « objet et nature de la concession » du cahier des charges de la concession liant Cofiroute à l'Etat

L'annexe S du contrat de concession introduit une phase transitoire à deux voies plus bande d'arrêt d'urgence. Il convient de veiller tout particulièrement à ce que les dispositions transitoires soient en cohérence avec la phase normale d'exploitation.

Dans cette phase transitoire, la voie neutralisée dans chacun des espaces joue le triple rôle de bande d'arrêt d'urgence, de voie d'accès pour les secours et de voie de service.

Les expérimentations réalisées sur simulateur ont apporté des éclairages sur le comportement des usagers face au positionnement de cette voie, dans sa fonction de bande d'arrêt d'urgence, et plus particulièrement en ce qui concerne :

- le comportement de conduite courant constaté en tunnel (position des véhicules sur la chaussée, position des véhicules sur les voies, vitesses observés etc.). L'étude confirme le fonctionnement spécifique de l'ouvrage sans notion de « voie lente » et « voie rapide » quand la BAU est à gauche.
- les risques réduits d'arrêt des usagers hors de la BAU, ou de confusion des voies liés au positionnement de la BAU.

Les analyses fonctionnelles montrent quant à elles un résultat favorable à la position à gauche, au niveau supérieur, pour l'analyse des risques quand l'utilisateur est devenu par force piéton, et pour les opérations de maintenance et d'entretien.

La modification des principes fondateurs du projet consistant à mettre la BAU à droite au niveau supérieur est techniquement réalisable, mais présenterait des impacts considérables s'ils conduisaient pour être cohérent avec ces principes, à créer des niches de sécurité également du côté droit.

Au vu des résultats de la présente étude, le concessionnaire recommande que la BAU prévue en première phase transitoire d'exploitation, soit maintenue à gauche dans l'espace supérieur de circulation, comme le précise la décision ministérielle du 2 avril 2001.

Annexe : liste des documents cités

- Dossier de plans référence C SMC 00K401 A: vues en plan et coupe de l'exploitation à 2 X 2 voies + BAU, remis lors de la réunion du 2 juin 2003.
- Note référence C ING 00T404 A : étude comparative BAU à gauche/ BAU à droite au niveau supérieur, outil d'analyse paramétrique, remise lors de la réunion du 2 juin 2003.
- Note référence BAU/034 – 03.71/A v2 : étude du tunnel Est de l'A86 sur simulateur de conduite : proposition de protocole expérimental, remise lors de la réunion du 2 juin 2003.
- Note référence P GRA 0NT022 A : positionnement des PAU dans l'espace trafic : impact sur la spécification des PAU, remise lors de la réunion du 10 juillet 2003.
- Note référence C ING 00T400 A : étude comparative BAU à gauche/ BAU à droite au niveau supérieur : synthèse des situations déterminantes pour le piéton, remise en réunion du 10 juillet 2003.
- Note référence BAU/034 – 03.140 /A v1.3 : étude du tunnel Est de l'A86 sur simulateur de conduite : rapport de contrat.



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



direction
des Routes
Centre d'Etudes
des Tunnels

Cetu

Bron, le 23 janvier 2004

Note à l'attention de
Monsieur GIBLIN, IGPC, Président de la 3^{ème}
section du CGPC
Monsieur FARRAN, IGPC, MIGT2

Autoroute A.86 à l'Ouest – Tunnel Est

Etudes relatives au positionnement de la B.A.U. au niveau de l'espace de trafic supérieur

Remarques sur le rapport final Cofiroute

1 – Introduction

La présente note est produite au vu du rapport final élaboré par Cofiroute, avant que les services d'intervention publics aient été consultés. Elle comprend deux parties :

- la première comprend des remarques sur le contenu du rapport Cofiroute,
- la seconde se rapporte à mon appréciation sur le choix concerné

2 – Remarques sur le rapport Cofiroute

2-1- Généralités

Ce rapport intègre des remarques qui ont été formulées lors des réunions de concertation avec Cofiroute mais il demeure une pièce produite par le concessionnaire et traduisant son point de vue sur le sujet.

Les remarques formulées dans la présente note portent sur l'introduction, en particulier le résumé et conclusions du rapport de la C.I.S. qui y tient une large place et, pour ce qui concerne la présentation des résultats des études, sur l'analyse fonctionnelle principalement et, de manière plus succincte, sur la synthèse des simulations du comportement des usagers face à la bande d'arrêt d'urgence.

Quant aux autres parties du rapport, l'analyse technique et l'étude de faisabilité montrent que, dans ce domaine, la position de la B.A.U dans l'espace de trafic supérieur ne constitue pas un enjeu ; par ailleurs, si l'estimation du coût de la réalisation de nouvelles niches de sécurité disposées à droite du niveau supérieur apparaît difficile à vérifier, son ordre de grandeur (qui est plausible) est suffisamment éloquent pour ne pas appeler de commentaire particulier.

Ces remarques ne sont données que pour rétablir une présentation à mon sens encore trop orientées.

2-2 Remarques sur le sous chapitre I.B – Résumé et conclusions du rapport de la CIS

Ce sous-chapitre a le mérite de rappeler certains éléments spécifiques à l'ouvrage que la C.I.S avait dégagés : homogénéité des vitesses et très faible fréquence des manœuvres de dépassement, fréquences d'occurrence des divers types d'incidents ...etc. Mais la tonalité dégagée par le premier paragraphe est trompeuse : *« A l'issue de plus de 30 réunions de travail auxquelles ont participé plus de 60 personnes, les membres de la commission.... ont abouti à des conclusions unanimes qui sont rappelées ci-après »*. En effet, la grande majorité des conclusions mentionnées ne se rapportent pas au sujet concerné ; ainsi :

- *« Chapitre II – Principes d'aménagement de la chaussée – Comparaison entre 2 formules d'exploitation : 2 voies continues + B.A.U. et 2 voies continues + 1 voie d'échange »* : s'il est vrai que, dans les schémas explorés à l'époque, la B.A.U. était clairement figurée à gauche, il faut préciser que le problème traité ne visait pas du tout la position optimale de la B.A.U. mais il s'agissait de savoir s'il valait mieux utiliser le 3^{ème} couloir de circulation en tant que B.A.U. ou en tant que 3^{ème} voie. Les quatre arguments développés en haut de la page 6 ne portent d'ailleurs que sur l'accidentologie au droit des zones d'échange et sur des aspects de capacité des voies.
- *« Chapitre IV – Caractéristiques géométriques de la section courante »*. Qu'il s'agisse de l'effet de paroi, de l'aspect confort/sécurité ou des accès et sorties à gauche, les trois points ayant fait l'objet de conclusions unanimes ne concernent pas la position de la B.A.U.
- *« Annexes »* : là encore, le choix de la position optimale de la B.A.U. dans une première phase d'exploitation à 2 voies n'est pas concerné.

2-3- Remarques sur l'analyse fonctionnelle

Cette partie du rapport tient compte des demandes formulées lors des réunions de travail tenues avec Cofiroute. En particulier le fait d'indiquer dans le tableau de synthèse, comme demandé, les probabilités d'occurrence des situations rencontrées, constitue une amélioration importante.

Il reste, à mon avis, que le corps du rapport et ce même tableau de synthèse déforment le poids relatif des risques, comme indiqué ci-après:

- *Usager arrêté sur la B.A.U pour cause de panne ou d'accident matériel*

B.A.U à droite

- Il est normal de signaler le risque de fauchage des usagers pendant l'appel de secours mais il faut le tempérer par le fait que, grâce au système de D.A.I particulièrement performant qui sera mis en place, le pupitreur pourra activer très rapidement la signalisation de danger ou interdire la voie de droite au droit de l'incident.
- L'argument selon lequel, en cas d'un arrêt dû à une panne ou à un accident matériel, il est possible que l'usager veuille traverser les deux voies adjacentes pour accéder aux escaliers de transfert dans lesquels il se sentira plus en sécurité ne peut représenter qu'un risque de probabilité d'occurrence infime. Dans tous les retours d'expérience relatifs aux cas d'incidents ou d'accidents mineurs on ne relève jamais d'utilisation des issues de secours.

B.A.U à gauche

- Le risque que les usagers qui se sont arrêtés sur la voie de droite (et qui ne représentent certes qu'une faible proportion) veulent traverser la voie de gauche pour rejoindre la niche de sécurité malgré la présence des boutons-poussoirs mériterait d'être signalé car ces niches sont équipées de panneaux lumineux de signalétique bien visibles.
- De même, pour le risque couru par les usagers circulant sur la B.A.U et susceptibles d'être exposés à la réaction tardive d'un usager qui, par réflexe, déboîtera par la gauche (il faut rappeler que, dans les simulations réalisées, les candidats n'ont pas été mis en situation de réagir de façon réflexe et parfaitement spontanée).

- *Cas rares*

- *Accès et intervention des secours*

Les services de sécurité donneront directement leur position.

- *Auto-évacuation des usagers - B.A.U à droite*

« *Quand l'espace de trafic supérieur est sinistré, les usagers à pied en auto-évacuation vers l'espace de trafic inférieur utilisent de préférence la B.A.U pour atteindre l'escalier de transfert dans des conditions difficiles lorsque le tunnel est enfumé* ». C'est vrai, mais il ne s'agit que d'une traversée ponctuelle, sans véritable impact sur le temps global d'évacuation compte tenu de l'intervalle de 200m séparant les escaliers de transfert. Par ailleurs, quand il est ajouté « *Les autres usagers cheminent entre les véhicules ce qui rallongera leur temps d'évacuation* » il faut garder à l'esprit que le seul cas d'évacuation dans lequel la vie des usagers est mise en danger correspond à l'incendie survenant en queue d'un bouchon ; cette évacuation s'effectuera alors dans de l'air enfumé qui ne permettra pas de percevoir de loin l'escalier de transfert ; que la BAU soit à droite ou à gauche, le cheminement des usagers se fera alors dans des conditions identiques ; ce n'est qu'après avoir

perçu l'escalier que certains usagers pourraient préférer serpenter entre les véhicules plutôt que de continuer à utiliser la BAU sur laquelle ils se trouvent déjà .

« *Quand l'espace de trafic inférieur est sinistré, l'évacuation vers l'espace de trafic supérieur s'effectuera directement sur les voies de circulation qui pourraient encore être sous trafic si l'évacuation est rapide* » : il ne saurait être question de cela. La circulation sera également coupée dans le tube non incendié et, outre la fermeture de tête, la signalisation d'arrêt disposée tous les 800 m sera activée. Le déverrouillage des escaliers de transfert dans le sens de la sortie ne devrait être déclenché qu'après vérification, par l'exploitant, de l'absence de circulation dans le tube d'accueil.

2-4 Simulations du comportement des usagers face à la bande d'arrêt d'urgence

Ce chapitre apparaît bien rédigé, avec les nuances nécessaires ici ou là ; mais la synthèse finale est habilement orientée vers le sens souhaité par le concessionnaire : son dernier paragraphe fait état du « *gain induit par une amélioration globale des conditions de circulation, qui n'est qu'esquissé à ce stade* » alors que le comportement des usagers, tel que décrit précédemment, présente des aspects positifs et d'autres négatifs, le tout en termes de tendances légères. Une neutralité serait sans doute plus appropriée.

3 – Appréciation générale

A l'issue des études réalisées et avant de connaître la position des services de sécurité, mon appréciation générale est la suivante :

- le choix de l'implantation de la BAU dans l'espace de trafic supérieur aboutit principalement à une opposition entre deux natures de risque pouvant se présenter au quotidien:
 - o ceux touchant aux « comportements réflexes tenaces » de certains usagers (surtout, à mon avis, de ceux des habitués effectuant un parcours domicile-travail, qui subiront l'alternance de la position de la B.A.U. entre le parcours du matin et le parcours du soir) ; ils pourront être atténués par des mesures d'information renforcées ;
 - o ceux découlant de l'absence de protection des postes d'appel d'urgence ; ils pourront être atténués par l'usage du système de DAI et de la signalisation dynamique ;
- il n'y a fait pas d'enjeu de sécurité majeur : la limitation de vitesse naturellement observée par les usagers en raison du faible gabarit ou imposée et renforcée par les contrôles qui seront effectués, de même que l'homogénéité de cette vitesse sur les deux voies, s'inscriront dans une logique de conduite apaisée très favorable ; simplement, la solution de la BAU à gauche présente, me semble-t-il, un peu plus d'incertitudes sur le plan de l'impact du comportement des usagers et « heurtera » certainement davantage le public que la solution de la BAU à droite ;
- l'idée que l'Etat puisse avoir à engager une dépense supplémentaire d'une cinquantaine de millions d'euros pour l'aménagement de nouvelles niches de sécurité n'est évidemment pas supportable ; si l'implantation à droite de la

B.A.U. dans l'espace de trafic supérieur apparaissait préférable, il me semble que ce choix devrait conduire à la production d'un dossier de sécurité complémentaire (au stade de la conception) qui exposerait clairement qu'il s'agit d'utiliser au mieux l'ouvrage tel que construit, sans qu'il soit question de le modifier (hors aménagements secondaires) ; l'avis du préfet sur ce dossier, au vu de l'avis du comité d'évaluation, permettrait de prendre une position ferme sur ce choix (c'est le sens de la procédure définie par la circulaire n° 2000-63 du 25 août 2000 qui soumet à l'avis du préfet le dossier de sécurité relatif à la conception afin que celle-ci ne soit pas remise en cause par la suite) ; reste à savoir si cette procédure peut être jugée suffisamment sûre quant aux risques financiers courus ;

- il faut enfin rappeler que la commission interministérielle de sécurité avait souligné que, s'agissant d'un ouvrage de conception nouvelle, il serait nécessaire de tirer les enseignements des premières phases d'exploitation afin d'en tenir compte, si besoin était, pour améliorer les dispositions initialement prévues. En l'absence de critère de choix déterminant sur l'implantation de la BAU, une solution pourrait consister à laisser à Cofiroute le soin de définir, en premier lieu pour la tranche VL1, la disposition qui pourrait être modifiée le plus facilement si l'expérience en faisait ressentir la nécessité.

SIGNE

Claude Moret

Secrétariat général
Bureau
Rapports
et Documentation
TOUR PASCAL B
92055 LA DEFENSE CÉDEX
Tél. : 01 40 81 68 12/ 45