

**Freinage d'urgence
motos vs voitures particulières**
Essais sur piste

Rapport

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V0	23/10/2015	Initialisation du document par le CEREMA
V1.0	25/11/2015	Suite réunion de travail CEREMA / UTAC CERAM
V2	15/12/2015	Version provisoire envoyée à la DSCR suite relectures et corrections
V3	12/01/2016	Version finale après compléments DSCR

Affaire suivie par

Eric Violette - DITM-GESM
<i>Tél. : 02 35 68 81 33 / Fax : 02 35 68 81 23</i>
<i>Courriel : eric.violette@cerema.fr</i>

Rédacteurs

Eric VIOLETTE – CEREMA / DITM-GESM
Pierre Jean LE BEC – UTAC CERAM

Relecture

Olivier FLORIS – CEREMA / DITM-GESM
Didier GILOPPE – CEREMA / DITM-GESM
Florence ROSEY – CEREMA / DITM-GESM
Nicolas DUBOS – CEREMA / DITM-GESR

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs	5
1.1 Eléments de contexte	5
1.2 Objectifs d'une expérimentation	6
1.3 Conditions pratiques de réalisation : éléments de faisabilité	7
2. Cahier des charges et déroulement des essais.....	9
2.1 Conditions générales des essais : météo et piste d'essai	9
2.2 Véhicules	10
2.3 Vitesse de conduite initiale	12
2.4 Panel de conducteurs	12
2.5 Instrumentation.....	13
2.6 Consignes et mode opératoire	15
2.7 Déroulement des essais	17
2.8 Sécurité des essais	18
3. Traitement et exploitation des mesures	19
3.1 Préparation des données	19
3.2 Mesures exploitables.....	21
3.3 Exploitation des mesures	22
3.4 Temps de perception-réaction	23
3.5 Décélération	24
3.6 Distance d'arrêt	25
4. Synthèse et conclusions	27
Références	29
Annexe 1 : Catégorisation et classification des véhicules : extraits.....	31
Annexe 2 : Temps de perception / réaction	33
Annexe 3 : Décélération	35
Annexe 4 : Distances d'arrêt	37
Annexe 5 : Test U de Mann & Whitney sur les distances d'arrêt.....	39

Ce rapport décrit les essais de freinage réalisés sur les pistes de l'UTAC CERAM afin de disposer d'une information actualisée sur les performances obtenues entre une moto¹ et une voiture particulière (VP).

Après un rappel du contexte et des objectifs, la seconde partie précise le cahier des charges et notamment les choix argumentés et retenus pour les conditions de déroulement des essais.

La troisième partie aborde les résultats obtenus en distinguant les principaux facteurs discriminants de ces essais : moto/VP et vitesse. Les résultats sont décrits par les trois principaux indicateurs : temps de perception-réaction, décélération et distance d'arrêt.

¹ La terminologie utilisée dans ce rapport est précisée en annexe.

1. Contexte et objectifs

1.1 Eléments de contexte

A la demande de la Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (DSCR), le Cerema a rédigé un rapport concernant le freinage en situation d'urgence des motos vs les véhicules particuliers (VP) afin de disposer d'un état de l'art sur ce sujet. Les paragraphes qui suivent font référence à cette étude [Violette, 2015].

La recherche bibliographique réalisée pour cette étude s'est avérée très inégale dans les sources d'informations disponibles au sujet du freinage d'urgence des motos. Par rapport au VP, la littérature scientifique est peu abondante, même si l'on identifie des publications qui convergent vers des résultats relativement robustes. Si la communauté motarde dispose de nombreux supports de communication, force est de constater que le freinage d'urgence n'apparaît pas être la principale actualité. Les comparaisons entre performances de différents types de véhicules ne sont pratiquement jamais abordées (de manière rigoureuse), rarement par les motards encore moins par les automobilistes. **D'un point de vue général, les données des caractéristiques des performances de freinage des véhicules (moto et VP) ne sont que très rarement disponibles.**

Il a été fait le choix de décomposer la distance d'arrêt comme la somme de la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction (TPR) et celle parcourue pendant le freinage.

Si la première distance dépend principalement de la vitesse initiale du véhicule et des capacités du conducteur, la littérature n'apporte pas d'élément tangible qui laisse à penser que selon que l'on conduit une moto ou un VP, les TPR seraient différents.

Concernant la distance parcourue pendant le freinage, il apparaît clairement des différences entre les 2 types de véhicules qui tiennent à la fois aux caractéristiques mêmes des véhicules et à la réalisation de l'action freinage par le conducteur en situation d'urgence.

En considérant les véhicules, les principales différences affectant les performances de freinage sont :

- **Les surfaces d'empreintes des pneumatiques au sol** qui permettent de passer la puissance de freinage. Elles constituent un facteur objectif qui limite les capacités de freinage d'urgence des motos par rapport aux VP.
- **Une moto n'a que deux roues** alors qu'un VP en possède quatre. C'est trivial mais cela permet d'augmenter la surface de contact au sol et aussi de garantir la stabilité dynamique pour les VP.
- **Le transfert de masse sur l'avant** devient un facteur important d'instabilité pour une moto alors qu'il est maîtrisé par la répartition des freins avant/arrière pour un VP. En l'absence d'ABS² pour les motos, les blocages de roues (avant ou arrière) sont fortement influencés par ce transfert.
- **Généralement, une moto dispose de deux commandes de freins** qu'il va falloir gérer en urgence alors qu'un opérateur humain est par nature mono tâche (bien que les systèmes de freinage combiné ont tendance à se multiplier). Un VP n'a qu'une pédale de frein avec un dispositif de répartition.
- Les assistances au freinage d'urgence telles que ABS et AFU³ ont largement pénétré le monde des VP alors qu'elles débutent chez les motos.
- Les cyclomoteurs et certaines gammes de scooters se situent dans la partie basse des caractéristiques des motos (faible puissance de freinage, empreinte au sol des

² ABS : Anti Blocage Système

³ AFU : Aide au Freinage d'Urgence

pneus plus faible) les pénalisant d'autant plus dans leur capacité à fortement décélérer.

En considérant l'action du freinage d'urgence à réaliser par un conducteur, elle apparaît élémentaire pour un automobiliste car elle consiste à appuyer le plus fort possible sur la pédale de frein si le véhicule est doté d'un ABS (cas pour la majorité des véhicules neufs depuis 2004⁴). Il obtiendra alors les performances maximales de décélération de son véhicule. Pour un conducteur de moto, la tâche à effectuer est bien plus complexe car elle consiste, en l'absence de freinage combiné, à gérer les deux commandes de freins en essayant d'obtenir le freinage maximal tout en conservant la stabilité de la moto (risque de blocage de roue et de chute). L'aptitude du conducteur à réaliser cette manœuvre est fortement sollicitée. Elle dépend de l'expérience et de la formation (initiale et continue). On fait l'hypothèse que le déploiement des assistances au freinage d'urgence pour les motos (ABS obligatoire à partir de 2016 ou 2017 pour les motos neuves⁵) tendra à réduire la part du conducteur les actions nécessaires pour effectuer un freinage d'urgence en permettant de mieux mobiliser les capacités du véhicule.

1.2 Objectifs d'une expérimentation

La réalisation d'une expérimentation de freinage d'urgence moto vs VP repose sur les trois principales raisons suivantes :

- L'absence de données actualisées, précises, circonstanciées et comparables sur les performances de freinage des deux types de véhicules,
- L'idée répandue dans la communauté motarde que les motos disposent d'une capacité de freinage supérieure aux VP pouvant induire une sur confiance pour les motards face à cette situation,
- Une forte présence dans l'accidentalité de collisions moto/VP.

La DSCR a demandé au Cerema d'une part de définir le cahier des charges d'une telle expérimentation et d'autre part d'en assurer la maîtrise d'ouvrage déléguée en tenant compte des éléments de cadrage suivants :

- Conditions externes : route sèche, sur piste, en ligne droite.
- Véhicules : VP et moto > 125 cm³ milieu de gamme dotés des équipements de base définis par les constructeurs (freins, pneumatiques, pression, ...),
- Situation initiale : 50 km/h pour des raisons de sécurité des essais,
- Panel : conducteurs avec profils diversifiés,
- Réalisation : ne pas excéder une journée,
- Moyens : à définir.

A l'issue de cette expérimentation, on devra disposer de données/mesures tangibles qui permettront à la DSCR de rédiger une note d'information, destinée au grand public, sur les performances comparées des deux types de véhicules en situation de freinage d'urgence. Les informations à recueillir lors des essais de freinage doivent permettre d'estimer les indicateurs suivants :

- Distance d'arrêt,
- TPR et distance parcourue pendant ce TPR,
- Temps et distance de freinage,
- Décélération durant le freinage.

⁴ Obligatoire via l'ESC (Electronic Stability Control) depuis le 01/11/2011 pour véhicules nouveau type et depuis le 01/11/2013 pour les véhicules tout type.

⁵ ABS obligatoire à partir de 01/01/2016 pour les nouveaux types et 01/01/2017 pour tout type.

1.3 Conditions pratiques de réalisation : éléments de faisabilité

Dans ce chapitre, nous proposons de décrire plus précisément les conditions de réalisation d'une telle expérimentation en proposant des critères de choix qui tiennent compte à la fois des besoins exprimés par la DSCR et des possibilités offertes. Pour ce faire, nous avons repris l'ensemble des items initialement envisagés par la DSCR en proposant des hypothèses de travail raisonnables afin de s'assurer de la faisabilité de tels essais.

Conditions externes : elles sont définies par la piste sur laquelle est envisagée la manœuvre et par les conditions météorologiques. Pour des raisons de simplicité de tâche de conduite à réaliser, le freinage est effectué en ligne droite. Pour ce faire, il convient de disposer d'une ligne droite dégagée et suffisamment longue pour atteindre et stabiliser la vitesse d'essai. La piste retenue ne doit pas avoir de pente, ni de dévers. La qualité du revêtement ne doit pas perturber la liaison au sol des pneumatiques (uni) et l'adhérence devra être la plus constante possible pour éviter d'introduire un biais si les véhicules ne freinent pas scrupuleusement sur la même zone (déclenchement des ABS). Durant toute la durée des essais, la piste doit rester sèche afin de conserver les conditions expérimentales.

Véhicules : les essais nécessitent le choix d'au moins deux véhicules, VP et moto. Si le choix de deux véhicules de milieu de gamme semble pertinent, il convient de préciser les critères à prendre en considération pour retenir deux modèles adaptés et équivalents. Parmi ces critères, on peut citer :

- **Gamme / Usage :** véhicules de milieu de gamme pour un usage domicile/travail et loisirs.
- **Equipements :** conception récente avec ABS. La question de l'AFU se pose notamment pour les véhicules français les plus récents qui en sont dotés. Pour la moto, l'ABS est impératif. Les pneumatiques sont ceux préconisés par les constructeurs. Les freins n'ont pas subi de modification.
- **Performances de freinage :** si ce paramètre est disponible pour les véhicules envisagés, il peut constituer un critère de choix afin de s'assurer que les véhicules sont bien équivalents de ce point de vue.
- **Marques / Modèles :** le choix peut se faire en fonction de la diffusion la plus large possible dans le segment retenu d'un point de vue gamme et usage.
- **Neuf ou occasion :** les véhicules à utiliser pour les essais doivent présenter toutes les garanties quant à leur capacité de fonctionnement nominal défini par le constructeur. La vérification des caractéristiques est nécessaire, tant du point de vue technique que du point de vue juridique. Dans le cas de véhicules neufs, le vendeur (ou l'organisme qui met à disposition) peut apporter cette garantie. Dans le cas de véhicules d'occasion, une révision et un contrôle technique sont nécessaires avant le début des essais.

Vitesse de conduite initiale : pour des raisons de sécurité liées à la réalisation des essais, il est envisagé de réaliser des freinages avec une vitesse de conduite initiale de 50 km/h qui correspond, d'une part à un usage urbain des véhicules et, d'autre part à la vitesse de résistance du corps humain en cas de chute, même avec un équipement complet. Au delà de 50 km/h, il est utile de rappeler que les accidents de motos liées à une libération brutale de l'énergie cinétique emmagasinée sont souvent mortels. Avec cette vitesse de conduite, la discrimination des performances de freinage des différentes catégories de véhicules est limitée à quelques mètres, voire moins. Pour une vitesse de conduite initiale plus élevée (90 km/h par exemple), on se situe dans un usage de type rase campagne qui correspond à près de 2/3 des accidents mortels motos). La récente analyse de la base de données VOIESUR⁶ concernant la thématique des moto [Dubos et Varin, 2015] a montré que dans 56 % des accidents mortels moto, une manœuvre de freinage avait été entreprise sans

⁶ <http://voiesur.esy.es/>

succès. Réaliser une expérimentation avec une vitesse initiale plus importante tout en maîtrisant les risques permet de mieux discriminer les freinages selon les types de véhicules et de conducteurs.

Panel de conducteurs : cet élément est crucial pour la réalisation des essais. D'abord, il est illusoire de vouloir disposer d'un panel représentatif de la population des conducteurs de VP et de moto. De plus pour des raisons de biais dans les populations, il est préférable de disposer d'un panel commun pour conduire les différents types de véhicules, à savoir des conducteurs disposant des deux permis de conduire (A et B) qui sont amenés à conduire les différents véhicules. Les critères de choix du panel doivent répondre d'abord aux objectifs des essais et à sa faisabilité :

- Veut-on des profils diversifiés et obtenir une variabilité dans les performances ? Dans ce cas, les critères de sélection sont à définir et à hiérarchiser parmi des modalités telles que : sexe, age, expérience de conduite, formation spécifique aux manœuvres d'urgence, ...
- Veut-on plutôt des conducteurs experts capables de solliciter les différents véhicules afin de mieux les discriminer ? Dans ce second cas, un principal critère pourrait être l'expertise apportée par la profession de moniteur d'auto/moto école par exemple. La taille du panel dépend aussi de la nature des objectifs et de la faisabilité. Un nombre de 15 personnes apparaît être un minimum. Un tel choix tendra à optimiser les résultats obtenus du point de vue des performances obtenues sans être nécessairement représentatif de la population moyenne des motards.

Réalisation et mode opératoire : le souhait de ne pas dépasser une journée n'est pas sans influence sur le mode opératoire à mettre en œuvre et les moyens à déployer lors des essais. Cependant il convient que le panel soit décomposé en n parties selon le nombre de véhicules retenus afin de contrebalancer les passages. Chaque conducteur doit conduire tous les véhicules et effectuer plusieurs freinages avec chaque véhicule afin de se garantir des aléas des essais (typiquement 3 à 5). Le mode opératoire de réalisation de la manœuvre est important tant par la consigne de conduite initiale (vitesse stabilisée la plus précise possible) que par la réalisation du freinage qui doit être réalisé à réception d'un top départ avec la consigne qui pourrait être la suivante : stopper le véhicule avec la distance la plus courte possible mais avec une marge qui permet de garder le contrôle (chute interdite durant ces essais). La manière de délivrer la consigne doit être identique quel que soit le type de véhicule.

Moyens à mettre en œuvre : les moyens à mettre en œuvre dépendent de l'ensemble des éléments constitutifs des essais. Quelques points particuliers sont à lister :

- Une piste avec une ligne droite suffisamment longue et dont le revêtement et les abords ne présentent pas de risque particulier pour la réalisation de la manœuvre de freinage,
- Des véhicules en configuration « constructeur » qu'il faudra avoir préalablement vérifiés et instrumentés avec un dispositif de type freinographe (par exemple : http://www.projetel.fr/crbst_5.html),
- Un panel de conducteurs sélectionnés selon des critères prédéfinis. Les conducteurs devront être équipés de moyens de protection individuels notamment des vêtements adaptés à la pratique de la moto ainsi qu'un gilet airbag en cas de chute,
- Une logistique matérielle sur la piste pour vérifier les vitesses et délivrer les consignes (signal lumineux, signal sonore, casques, ...),
- Une logistique humaine pour la réalisation des essais y compris des moyens de secours mobilisables en cas de chute d'un motard.

En préalable, les conditions juridiques et assurancielles d'une telle expérimentation doivent avoir été vérifiées auprès de l'ensemble des partenaires. Ce point peut d'ailleurs être bloquant pour la faisabilité des essais.

2. Cahier des charges et déroulement des essais

Dans les chapitres suivants, on propose de décrire précisément les différents facteurs qui ont été choisis pour la réalisation des essais en argumentant les choix effectués. L'UTAC CERAM a été retenu comme partenaire pour la fourniture des moyens matériels nécessaires à la réalisation des essais.

2.1 Conditions générales des essais : météo et piste d'essai

Les essais doivent impérativement se dérouler par beau temps (sans précipitations) avec une piste sèche. Elle a été réalisée sur une piste afin de contrôler l'ensemble des paramètres lors des passages des véhicules.

Le choix d'une piste doit répondre aux critères retenus concernant la manœuvre à réaliser : alignement droit, pas de pente, peu ou pas de dévers, adhérence la plus constante possible, revêtement et uni de bonne qualité. Les abords de la piste doivent être exempts d'éléments verticaux susceptibles de constituer des obstacles en cas de chute d'un motard.

A ces critères, on peut ajouter : possibilité d'effectuer un circuit simple pour réaliser plusieurs essais, dégagements pour limiter les risques en cas de perte de contrôle, locaux pour recevoir les conducteurs, atelier pour préparer et contrôler les véhicules, possibilité de travailler en exclusivité, possibilité de déployer des moyens d'observation, localisation géographique, ...

L'UTAC CERAM dispose de pistes diversifiées sur son site de Montlhéry qui ont permis d'effectuer une telle expérimentation dans les meilleures conditions de déroulement.

Le plan et la photo ci-dessous décrivent les pistes d'essais utilisées dont les principales caractéristiques sont :

- Les zones utilisées pour le freinage sont les zones B et la fin de la zone C,
- Planéité de la piste < 0.7% dans les 2 directions,
- Adhérence de la piste selon la norme ASTM1137-90, CFM=1.06+/-0.08,
- Température ambiante lors des essais entre 7°C et 13°C.

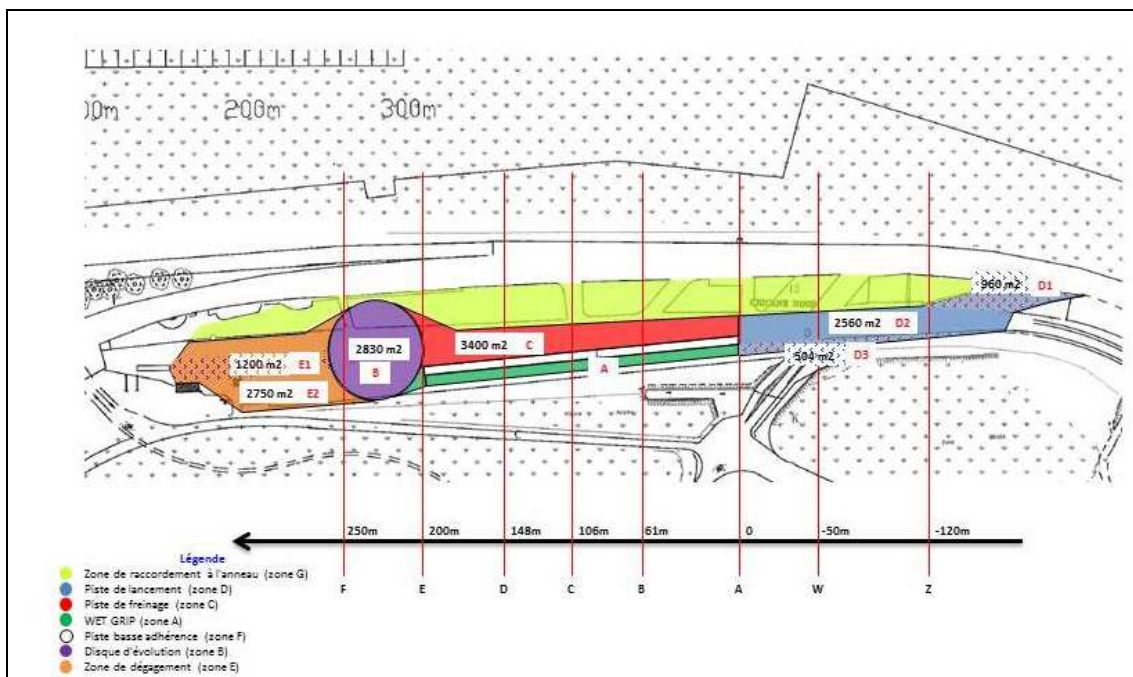


Illustration 1 : Plan synoptique des pistes de l'UTAC CERAM (Source : UTAC CERAM, 2015)



Illustration 2 : Zone de freinage (B sur le plan) (Source : UTAC CERAM, 2015)

2.2 Véhicules

En s'appuyant sur le critère d'usage pour le choix de véhicules de milieu de gamme destinés à un usage mixte (loisirs, trajets domicile/travail), les statistiques de ventes de véhicules en France montrent :

- Le trio de vente pour les VP⁷ : 1 – Clio IV, 2 – Peugeot 208, 3 – Peugeot 308,
- Le trio de vente pour les motos⁸ >125 cm³ (avec ABS en option) : 1 – Yamaha MT-07, 2 – Kawasaki ER6, 3 – Honda CB650F.

Rang	Modèle	Ventes	Parts de Marché
1	Yamaha MT-07	5691	5,99 %
2	Kawasaki Z800	3578	3,77 %
3	Kawasaki ER-6	3524	3,71 %
4	Yamaha Tmax 530	3489	3,67 %
5	Yamaha MT-09	3080	3,24 %
6	Suzuki GSR750	2897	3,05 %
7	BMW R1200RT	2163	2,28 %
8	BMW R1200GS	2098	2,21 %
9	Honda CB500F	1660	1,75 %
10	Triumph Street Triple 675	1640	1,73 %
11	BMW R1200GS Adventure	1320	1,39 %
12	Suzuki Gladius	1239	1,3 %

⁷ <http://www.largus.fr/actualite-automobile/la-renault-clio-toujours-reine-des-ventes-6106384.html>

⁸ http://www.lerepairedesmotards.com/actualites/2015/actu_150119-ventes-motos-2014-classement-modeles.php

13	Honda CB650F	1174	1,24 %
14	Kawasaki Z1000	1127	1,19 %
15	Suzuki Burgman 650	1090	1,15 %
16	Yamaha XJ6	968	1,02 %
17	Harley Davidson Sportster 883 Iron	890	0,94 %
18	Yamaha FZ8	879	0,93 %
19	BMW R NineT	863	0,91 %
20	Harley Davidson Sportster 48	838	0,88 %

Tableau 1 : Statistiques des ventes de motos >125 cm³ en France pour l'année 2014
(Source : lerepairedesmotards.com, 2015)

Pour être représentatif de l'usage et des ventes actuelles, nous avons retenu les deux modèles classés en premier respectivement pour la voiture (**Clio IV**) et la moto (**Yamaha MT-07**). Concernant la Clio IV, il a été fait le choix d'une motorisation et d'une finition plutôt basiques. Pour la moto, l'option ABS a été impérative.

Pour l'obtention des véhicules, les solutions suivantes ont été mises en œuvre :

- Pour la Clio IV : location d'un véhicule neuf,
- Pour la Yamaha : prêt d'un véhicule de démonstration par Yamaha Moteur France.

Les autres types de deux-roues motorisés n'ont pas été retenus pour cette expérimentation pour les principales raisons suivantes [ONISR] :

- Les cyclomoteurs sont en très forte diminution du point de vue de leur usage et leur implication dans l'accidentalité moto est de plus en plus faible (21% des tués moto),
- Les motocyclettes légères dont la cylindrée est inférieure à 125 cm³ sont faiblement impliquées dans l'accidentalité des motos (8% des tués moto),
- Pour ces 2 catégories de moto, l'évolution des accidents mortels poursuit une tendance à la baisse supérieure aux objectifs attendus par la DSCR en termes de réduction des accidents à l'horizon 2020.

Le véhicule de catégorie administrative M1⁹ utilisé est une voiture particulière de marque Renault, de type 5RSN0A, de type commercial CLIO4 ZEN, n° de série VF15RSN0A53187647 :

- Freinage hydraulique (disque à l'avant et tambour à l'arrière) avec ABS et AFU,
- Motorisation essence 1149 cm³, 54kW,
- Boite de vitesse : 5 rapports et 1 marche arrière,
- Pneumatique : marque Continental, type EcoContact 5, dimension 195/55 R 16 (87H)
- PTAC 1566kg, Poids à vide 977kg,
- Pesée avec accompagnateur et matériel de mesures, essieu avant 725kg, essieu arrière 491kg, total 1216kg.

Le véhicule de catégorie administrative L3¹⁰ utilisé est une moto de marque Yamaha, de type RM042, genre MTT2, type L3EYAMM20000542, type commercial MT-07, n° de série JYARM042000017863 :

- Freinage hydraulique avec double disque à l'avant et simple disque à l'arrière et ABS
- Motorisation essence 2 cylindres 689cm³, 55kW,
- Boite de vitesse : 6 rapports,

⁹ Catégorie M1 = véhicule conçu et construit pour le transport de personnes et comportant, outre le siège du conducteur, huit places assises au maximum.

¹⁰ Catégorie L3 = Véhicule à 2 roues avec un moteur dont la cylindrée est supérieure à 50 cm³. Cette catégorie intègre les motocyclettes légères (= <125 cm³) et les motocyclettes (>125 cm³).

- Pneumatique : marque Michelin, type Pilot Road3, dimension avant 120/70 ZR 17 (58W), dimension arrière 180/55 ZR 17 (73W),
- PTAC 355kg, Poids à vide 172kg,
- Pesée sans pilote et avec matériel de mesures, essieu avant 87kg, essieu arrière 95kg, total 182kg,
- Pesée avec pilote UTAC CERAM et avec matériel de mesures, essieu avant 112kg, essieu arrière 153kg, total 265kg.

2.3 Vitesse de conduite initiale

La réalisation de la manœuvre de freinage d'urgence, même encadrée dans une expérimentation contrôlée, peut présenter des risques notamment pour la moto. Le choix de la vitesse initiale pour cette manœuvre est conditionné par les facteurs suivants :

- Choisir une vitesse qui discrimine les véhicules et les conducteurs,
- Choisir une vitesse qui représente une part sensible de l'accidentalité des moto,
- Choisir une vitesse qui minimise les risques pour les conducteurs en cas de chute.

Les deux premiers critères incitent à proposer une vitesse élevée à choisir parmi les vitesses maximales autorisées (VMA) de 70 à 130 km/h. En effet plus la vitesse initiale est importante, plus longue sera la distance parcourue pendant le TPR et de freinage. Pour affiner le choix, l'analyse des accidents de la base MAIDS 2009¹¹ relativement à la vitesse montre que pour les motos du segment L3, les vitesses pratiquées avant accident sont :

- Vitesse pratiquée moyenne avant accident : 65.3 km/h,
- Vitesse pratiquée médiane avant accident : 60.0 km/h.

En considérant le dernier critère pour limiter les risques de blessures en cas de chute, il a été proposé de retenir la **vitesse initiale de 50 km/h**. Cette vitesse correspond à la VMA en milieu urbain ainsi que celle retenue pour les essais de la circulation inter-file.

Cependant, les récents travaux d'analyse des accidents effectués à partir de la base de données VOIESUR suggèrent, notamment pour les motos, que les vitesses initiales avant accident présentent des valeurs élevées en particuliers dans le cas des accidents mortels. Dans ce cas, pour les routes limitées à 90 km/h, les vitesses initiales pratiquées par les motos sont :

- En cas d'accident mortel : 96.2 km/h,
- En cas d'accident corporel : 81.4 km/h.

En conséquence, il a été proposé, en complément, d'effectuer des freinages d'urgence avec **une vitesse initiale de 90 km/h**. Toutefois, ces freinages ont été soumis à l'approbation préalable des conducteurs, notamment vis-à-vis de la faisabilité de réaliser cette manœuvre en toute sécurité. La vitesse de 90 km/h présente en outre l'intérêt de plus fortement discriminer les différents passages.

D'un point de vue pratique pour la réalisation des essais, cela signifie que les conducteurs ont du effectuer des freinages avec les deux véhicules (Clio et Yamaha) et avec deux vitesses initiales préalablement ont été stabilisées (50 et 90 km/h). Ce point a été dimensionnant pour l'ensemble des essais. Il a conditionné le nombre de conducteurs à retenir ainsi que le nombre de freinages à effectuer.

2.4 Panel de conducteurs

Puisque les essais ont pour principal objectif de discriminer des performances de typologies

¹¹ <http://www.maids-study.eu/>

de véhicules, il a été fait le choix de retenir un panel de professionnels¹² qui possèdent des aptitudes similaires pour ces différentes catégories de véhicules. Initialement, il était envisagé des moniteurs de moto/auto école qui constituent un vivier pertinent. Cependant, il a été fait appel à des formateurs/instructeurs de la conduite moto et des essayeurs pour les principales raisons suivantes :

- L'aptitude à solliciter fortement les véhicules en freinage d'urgence, notamment la moto,
- L'aptitude à effectuer cette manœuvre en respectant les consignes de sécurité (chute interdite à moto),
- L'aptitude à réaliser cette manœuvre dans une pratique professionnelle qui ne nécessite pas une assurance particulière.

Ainsi, le recrutement des conducteurs basé sur le volontariat et la disponibilité s'est effectué auprès des organismes suivants :

- UTAC CERAM : 2 essayeurs moto,
- Centre formation gendarmerie nationale : 1 instructeur,
- Centre formation police nationale : 2 instructeurs,
- ZEBRA moto école : 2 moniteurs,
- Association pour la Formation des Motards : 2 moniteurs,
- Société HELITE¹³ : 2 motards expérimentés.

Tous les conducteurs qui ont réalisé les essais étaient des hommes.

2.5 Instrumentation

En fonction des indicateurs à produire et de l'exigence de disposer des mêmes données pour les deux types de véhicules, l'UTAC CERAM a défini et développé une instrumentation identique qui a pu être intégrée dans les deux véhicules sans apporter de gêne à la conduite ni présenter de risque particulier lors de la manœuvre de freinage d'urgence. Cette instrumentation a eu pour objectif de recueillir la cinématique longitudinale du véhicule depuis la réception du top de déclenchement de la manœuvre jusqu'à l'arrêt du véhicule. Les actions sur les commandes de freins ont aussi été mesurées.

Les véhicules utilisés ont été instrumentés (illustrations 3 et 4) avec différents types de capteurs et les signaux enregistrés à une fréquence de 2000Hz avec un système d'acquisition de fabrication UTAC CERAM sur tablette PC.

L'équipement utilisé pour chaque véhicule a été le suivant :

- Des électroniques d'acquisition et de traitement de marque UTAC CERAM type EVA4, de références EVA0002 et EVA0003, fournissant la distance d'arrêt et la vitesse initiale et permettant, de plus, de calculer la décélération moyenne en régime entre deux seuils de vitesse (MFDD) lors des essais de freinage.
- Des capteurs de type GPS (résolution 1 top pour 2 cm), de marque RACELOGIC, de type VBOX-3, de références DDV0173 (Clio) et DDV0169 (Yamaha), pour la mesure de la vitesse longitudinale du véhicule et de la distance parcourue.
- Des contacts disposés sur la pédale de frein (Clio) et en parallèle sur le levier au guidon et la pédale de frein (Yamaha) pour déterminer l'instant initial du freinage.
- Des systèmes spécialement développés par l'UTAC CERAM pour cet essai avec un émetteur et un récepteur par véhicule pour la délivrance du top de freinage et le déclenchement des mesures.

¹² Le recrutement d'un panel de non professionnels se serait heurté à des difficultés méthodologiques importantes notamment en raison du risque encouru lors des freinages moto. La nécessaire sécurisation de la moto (roues stabilisatrices, dispositif anti-chute) aurait apporté un biais important dans la réalisation de la manœuvre.

¹³ <http://helite.com/> : équipementier fabriquant des airbags pour motard.

En complément, un thermomètre digital Infrarouge de référence THE0066 a été utilisé pour la mesure des températures des freins et de la piste.



Illustration 3 : Yamaha instrumentée (Source Cerema, 2015)



Illustration 4 : Clio instrumentée (Source Cerema, 2015)

L'instrumentation développée intégrait aussi la fonction de délivrance d'un signal visuel d'origine du freinage d'urgence. Le top était délivré manuellement par un opérateur dans une zone prédéfinie de la piste d'une longueur d'environ 100m. Ce top était transmis via un signal radio au véhicule et il était délivré aux conducteurs par l'allumage d'une double rampe de 3 led rouges (illustration 5). C'est ce top qui a constitué l'origine des mesures.



Illustration 5 : top visuel 2x3 leds rouges et indicateur de vitesse installés sur la Yamaha (Source Cerema, 2015)

2.6 Consignes et mode opératoire

Les consignes et le mode opératoire pour la réalisation des freinages ont été transmis en considérant les séquences suivantes :

- Lors de l'invitation à participer, les conducteurs ont reçu des éléments du cahier des charges des essais afin de prendre conscience de ce qui était attendu d'eux. Il était notamment stipulé la nécessité de venir avec leur propre équipement de motard et que pour des raisons de sécurité un gilet airbag serait fourni par les organisateurs.
- Un briefing collectif de présentation des objectifs des essais a été réalisé à l'arrivée des conducteurs. Les consignes précises sur le déroulement des essais ont été données. Parmi ces consignes, il convient de signaler :
 - La manœuvre attendue est un freinage d'urgence dont l'origine est délivrée par un signal visuel dans une zone prédéfinie de la piste,
 - Les conducteurs doivent arriver dans la zone à vitesse stabilisée avec le rapport de boîte de vitesse imposé (qui dépend de la vitesse et du véhicule). Pour la Yamaha¹⁴, les rapports de boîte préconisés sont : 4^{ème} pour 50 km/h et 5^{ème} pour 90 km/h. Pour la Clio, les rapports de boîte préconisés sont : 3^{ème} pour 50 km/h et 4^{ème} pour 90 km/h,
 - Lors des essais avec la Clio, l'usage du régulateur n'est pas autorisé et les conducteurs doivent réguler leur vitesse à l'aide du pied droit,
 - Lors des essais avec la Yamaha, les conducteurs ne doivent avoir ni la main droite ni le pied droit sur les commandes de frein. Cependant, pour ceux qui

¹⁴ La Yamaha dispose d'une indication sur le tableau de bord du rapport de boîte enclenché.

ont l'habitude d'avoir un ou deux doigts prêts à actionner la poignée de frein, cette pratique est admise afin de ne pas déstabiliser le conducteur par rapport à sa pratique habituelle,

- Lors de la réception du top visuel, la consigne à appliquer est de stopper le véhicule le plus rapidement possible avec les contraintes suivantes : pour la Yamaha, la maîtrise de la trajectoire du véhicule est impérative, la chute est interdite et les deux roues avant et arrière doivent rester en contact avec le sol et le *stoppie*¹⁵ en fin de freinage n'est pas autorisé. Cependant, la manière la plus appropriée de freiner est laissée à l'initiative des conducteurs : usage des différentes commandes dont l'embrayage et le rapport de boîte de vitesses, position du corps et direction du regard,
 - A la fin de chaque freinage, le dispositif de mesure est redémarré et la nouvelle consigne de vitesse est donnée pour le freinage suivant.
- Une prise en main de la Yamaha a été proposée aux conducteurs qui l'ont acceptée.
 - Les essais se sont déroulés selon un ordre pré établi par les organisateurs afin d'obtenir un contre balancement selon les deux principaux paramètres : vitesse initiale et type de véhicule. Ainsi certains conducteurs ont réalisé leur premier freinage avec la Yamaha à 90 km/h tandis que d'autres débutaient avec la Clio à 50 km/h.

¹⁵ Freinage intense sur la roue avant qui permet de soulever la roue arrière.
<http://www.toutsurlamoto.com/lestoppie.htm>.

2.7 Déroulement des essais

Le déroulement initialement prévu des essais compte globalement la réalisation de 132 freinages : 11 conducteurs x 2 véhicules x 2 vitesses x 3 freinages. Ainsi, chaque conducteur a effectué 6 freinages avec la Yamaha (3 à 50 km/h et 3 à 90 km/h) et 6 freinages avec la Clio (3 à 50 km/h et 3 à 90 km/h). Le nombre de 132 freinages a permis de disposer de données en quantité suffisante pour le traitement et l'exploitation, à savoir :

- 33 freinages Yamaha à 50 km/h,
- 33 freinages Yamaha à 90 km/h,
- 33 freinages Clio à 50 km/h,
- 33 freinages Clio à 90 km/h.

Afin de rester dans la contrainte d'une journée de mesures, les essais avec les deux véhicules ont été entrelacés en respectant des règles strictes de sécurité d'évolution sur la piste. De plus, afin de garantir les performances nominales de freinage pour les deux véhicules, la température des freins a été relevée lors des changements de conducteurs.

Afin d'éviter des biais de mesure, l'ordre de freinage a été contrebalancé selon le type de véhicule et la vitesse initiale. Le tableau ci-dessous précise les ordres des passages effectués.

Essai	Conducteur	Véhicule	Vitesse consigne	Conducteur	Vitesse consigne	Conducteur	Vitesse consigne	Conducteur	Vitesse consigne	Conducteur	Vitesse consigne	Conducteur	Vitesse consigne
1	1	MOTO	90	3	90	5	50	7	50	9	90	11	90
2	2	VL	90	4	90	6	50	8	50	10	90	12	90
3	1	MOTO	50	3	50	5	90	7	90	9	50	11	50
4	2	VL	50	4	50	6	90	8	90	10	50	12	50
5	1	MOTO	90	3	50	5	50	7	90	9	90	11	50
6	2	VL	90	4	50	6	50	8	90	10	90	12	50
7	1	MOTO	50	3	90	5	90	7	50	9	50	11	90
8	2	VL	50	4	90	6	90	8	50	10	50	12	90
9	1	MOTO	50	3	50	5	90	7	90	9	50	11	50
10	2	VL	50	4	50	6	90	8	90	10	50	12	50
11	1	MOTO	90	3	90	5	50	7	50	9	90	11	90
12	2	VL	90	4	90	6	50	8	50	10	90	12	90
13	1	VL	90	3	90	5	50	7	50	9	90	11	90
14	2	MOTO	90	4	90	6	50	8	50	10	90	12	90
15	1	VL	50	3	50	5	90	7	90	9	50	11	50
16	2	MOTO	50	4	50	6	90	8	90	10	50	12	50
17	1	VL	90	3	50	5	50	7	90	9	90	11	50
18	2	MOTO	90	4	50	6	50	8	90	10	90	12	50
19	1	VL	50	3	90	5	90	7	50	9	50	11	90
20	2	MOTO	50	4	90	6	90	8	50	10	50	12	90
21	1	VL	50	3	50	5	90	7	90	9	50	11	50
22	2	MOTO	50	4	50	6	90	8	90	10	50	12	50
23	1	VL	90	3	90	5	50	7	50	9	90	11	90
24	2	MOTO	90	4	90	6	50	8	50	10	90	12	90

Tableau 2 : Organisation des essais de freinage selon le type de véhicule et la vitesse initiale
(Source Cerema, 2015)

D'un point de vue timing, les essais se sont déroulés le mardi 20 octobre 2015 entre 9h30 et 16h00. Les conditions météo ont été stables durant la période : pas de précipitation, pas de vent, nuageux à variable, température extérieure comprise entre 7°C et 13°C, très léger brouillard le matin (sans dégradation de la visibilité).

Des aléas de fonctionnement du système de mesure durant les essais du matin ont sensiblement perturbé l'agenda initialement prévu. Ainsi, à l'issue de la journée d'essais, on dispose des mesures synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Conducteurs	Yamaha	Clio
1		3+3
2	3+3	3+3
3		3+3
4		3+3
5	3+3	3+3
6	3+3	3+3
7	3+3	3+3
(8)		
9	3+3	3+3
10	3+3	3+3
11	3+3	3+3
12	3+3	3+3
TOTAL	48	66

Tableau 3 : Mesures effectuées (3+3 = 3 mesures à 50 km/h + 3 mesures à 90 km/h)
(Source Cerema, 2015)

2.8 Sécurité des essais

Pour la réalisation de cette expérimentation, les critères de sécurité suivants sont pris en compte :

- Le panel des conducteurs était exclusivement constitué de professionnels de la conduite moto/voiture. Ces conducteurs connaissaient les consignes de conduite. Ils étaient libres de refuser de réaliser les essais. Ils ont participé aux essais avec leur tenue professionnelle appropriée à la conduite moto. Des gilets airbag filaires ont été mis à disposition par la société HELITE.
- Lors de la préparation et du briefing préalable, l'avis des participants a été sollicité sur la faisabilité des freinages moto avec une vitesse initiale à 90 km/h. De l'avis général des conducteurs, cette vitesse ne leur a pas posé de problème particulier.
- Durant la réalisation des essais, des contrôles réguliers de la température des freins ont été effectués afin de s'assurer de la capacité nominale de freinage des deux véhicules et de la condition règlementaire de freinage à froid (température < 100°C).
- Les pistes ont été réservées en exclusivité pour cette expérimentation garantissant ainsi l'absence de toute évolution d'autre véhicule sur la zone.
- Les rotations des véhicules ont été organisées pour n'avoir sur la zone de freinage qu'un seul véhicule présent.
- Le nombre de personnes présentes sur les abords de la piste a été limité au strict nécessaire, à savoir les participants et les organisateurs (moins de 15 personnes).

3. Traitement et exploitation des mesures

3.1 Préparation des données

Pour chaque freinage ont été enregistrés la vitesse du véhicule, la distance parcourue et le temps. A partir de ces enregistrements, les informations suivantes ont été relevées et les calculs suivants ont été effectués :

- La vitesse de début d'évènement, vitesse du véhicule à la réception du signal lumineux (temps t_0),
- La vitesse initiale, vitesse du véhicule au début de l'actionnement du frein (temps t_1),
- La vitesse maximale déterminée depuis t_0 ,
- Le TPR = $t_1 - t_0$,
- La distance de réaction, distance parcourue pendant le TPR,
- La distance d'arrêt, distance parcourue entre t_1 et l'arrêt du véhicule ($t(v=0)$),
- La distance d'arrêt totale est la somme de la distance de réaction et de la distance d'arrêt,
- La distance d'arrêt totale corrigée est la distance d'arrêt totale calculée pour les vitesses consignes de 90 km/h ou 50 km/h et en considérant un maintien de la vitesse consigne pendant le TPR selon la formule suivante :

$$D_{tc} = (D_a * (V_c^2 / V_i^2)) + ((V_c/3.6)*Tr)$$

Avec :

D_{tc} = distance d'arrêt totale corrigée

D_a = distance d'arrêt

V_c = vitesse consigne 90 ou 50 km/h suivant les cas

V_i = vitesse initiale du véhicule

Tr = temps de réaction

- Le temps d'arrêt, temps entre t_1 et l'arrêt du véhicule ($t(v=0)$),
- La décélération déterminée selon la méthode du règlement mondial harmonisé R13H¹⁶ est égale à :

$$\gamma = \frac{V_{80}^2 - V_{10}^2}{2D}$$

Avec :

V_{80} = 80 % vitesse initiale de freinage en m/s

V_{10} = 10 % vitesse initiale de freinage en m/s

D = distance parcourue entre V_{80} et V_{10} en m

γ = décélération longitudinale moyenne en régime en m/s^2

L'illustration 6 ci-après montre la variation de la vitesse pratiquée lors du freinage d'urgence de l'essai n°12 avec la Clio. Les repères indiquent les instants utilisés pour effectuer le calcul des différents paramètres énumérés précédemment.

¹⁶ https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/updates/R13hr3e_.pdf

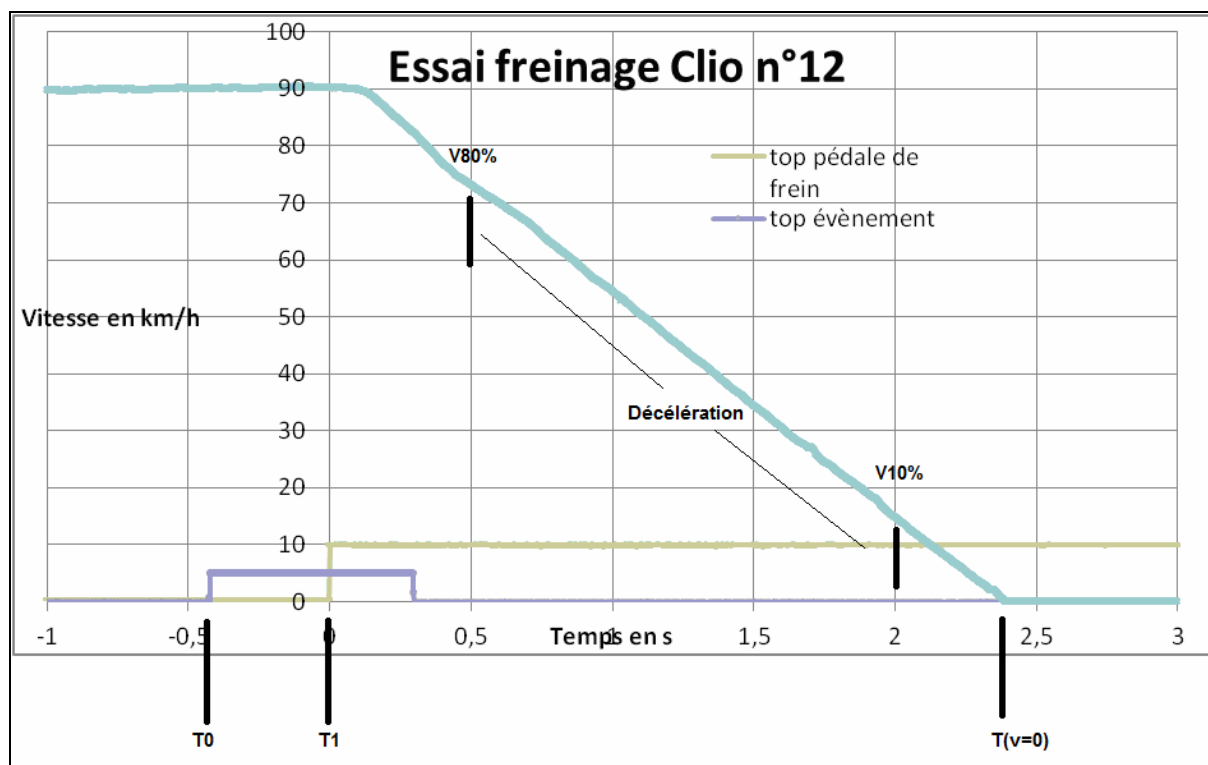


Illustration 6 : Variation temporelle de la vitesse pour l'essai n°12 Clio
(Source UTAC-CERAM, 2015)

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous illustre les grandeurs calculées pour un essai effectué avec la Yamaha pour la vitesse consigne de 50 km/h et pour un essai effectué avec la Clio pour la vitesse consigne de 90 km/h.

Fichier acquisition		YAM_1	CLIO_43
Conducteur		2	11
Commentaires			
Vitesse Initiale	km/h	48,7	89,8
Vitesse maximale	km/h	52,3	89,9
Distance d'arrêt	m	12,5	32,0
Temps d'arrêt	s	3,5	3,2
Décélération $V2-V1/T$	m/s ²	-7,8	-10,5
Décélération $V2^2-V1^2/2D$	m/s ²	-7,2	-10,3
Temps réaction évènement	s	0,52	0,41
Dist réaction évènement	m	7,1	10,3
Vitesse début évènement	km/h	48,7	89,8
Distance d'arrêt totale	m	19,6	42,3
Distance arrêt recalculée/vi	m	20,4	42,5

Tableau 4 : Exemple d'indicateurs calculés pour chaque essai.
En gras, figurent ceux qui ont été analysés dans ce rapport.
(Source Cerema, 2015)

3.2 Mesures exploitables

Les mesures exploitables sont rappelées dans le tableau ci-dessous. Quelques passages ont été éliminés suite à des anomalies relevées dans les mesures effectuées principalement pour les essais avec la Yamaha (problème de déclenchement, échantillons erronés, ...).

Conducteurs	Yamaha	Clio
1		3+3
2	2+2	3+3
3		3+3
4		2+3
5	3+3	2+3
6	3+3	3+3
7	3+3	3+3
8		
9	3+3	3+3
10	2+4	2+3
11	3+2	3+3
12	2+3	3+2
TOTAL	44	62

Tableau 5 : Mesures disponibles pour l'exploitation
(Source Cerema, 2015)

A partir des essais disponibles, les indicateurs ont été calculés pour les deux populations de conducteurs :

- L'ensemble des conducteurs qui ont participé aux essais, soit 8 conducteurs pour la Yamaha et 11 conducteurs pour la Clio,
- Les seuls conducteurs qui sont des professionnels de la conduite des motos (formateurs et essayeurs) soit 6 conducteurs pour la Yamaha et 9 conducteurs pour la Clio.

Finalement, on a disposé, pour le calcul des indicateurs, du nombre total d'essais suivants :

- Yamaha / 50 km/h : tous = 21 et pro = 16,
- Yamaha / 90 km/h : tous = 23 et pro = 16,
- Clio / 50 km/h : tous = 30 et pro = 25,
- Clio / 90 km/h : tous = 32 et pro = 26.

3.3 Exploitation des mesures

L'exploitation des mesures a été réalisée selon la décomposition habituelle d'une manœuvre de freinage d'urgence :

- TPR et distance parcourue pendant cette période. On a privilégié le temps (par rapport à la distance) car il est révélateur de l'intention des conducteurs.
- Temps de freinage et distance parcourue pendant cette action. En fait, c'est la valeur de la décélération correspondante (exprimée en m/s^2) qui est la plus révélatrice de cette action.
- Distance d'arrêt qui additionne les distances parcourues pendant le TPR et pendant l'action de freinage jusqu'à l'arrêt du véhicule. Cette distance d'arrêt a été normalisée à la valeur de la vitesse consigne pour pouvoir être comparée en tenant compte des légères variations dans les vitesses pratiquées (Cf. §3.1)

Concernant le TPR, l'analyse de ce paramètre a été effectuée en considérant les questions suivantes :

- Le type de véhicule a-t-il une influence sur le TPR au freinage ?
- La vitesse à laquelle doit s'effectuer le freinage d'urgence influe-t-elle sur le TPR au freinage ?

Le fait d'avoir eu pratiquement la même population qui conduisait les 2 types de véhicules pour les deux vitesses initiales permet de tenter d'y répondre. Cependant, il convient de signaler que les valeurs mesurées ne sont pas celles qu'on rencontrerait dans la réalité avec des panels de conducteurs diversifiés.

Concernant l'action de freinage, on a cherché ici à estimer les capacités à décélérer pour les deux types de véhicules en posant les questions suivantes :

- La décélération maximale est-elle différente selon les deux types de véhicules ?
- La décélération maximale varie-t-elle selon la vitesse ?

En complément, une attention particulière a été portée à la dispersion éventuelle que l'on pourra observer pour cette grandeur. De même, autant le freinage d'urgence d'un VP ne fait pas appel à une compétence particulière, autant celui d'une moto mobilise un réel savoir faire.

Concernant la distance d'arrêt, elle constitue une résultante des deux éléments unitaires précédents. S'il est trivial que la distance d'arrêt est plus grande pour la vitesse de 90 km/h par rapport à 50 km/h, on a cherché, pour une vitesse fixée, à discriminer les performances obtenues avec les deux types de véhicules.

Les chapitres suivants décrivent et commentent les résultats obtenus lors des essais réalisés en distinguant les deux véhicules (moto, VP), les deux « vitesses consigne » (50 km/h, 90 km/h) et les deux populations de conducteurs (tous et professionnels seulement).

Les tableaux de résultats précisent les valeurs moyennes, la dispersion autour de la moyenne (écartypes), les valeurs min et max. En annexe, des graphes présentent visuellement l'ensemble des passages réalisés.

3.4 Temps de perception-réaction

Les deux tableaux ci-dessous décrivent les TPR mesurés lors des essais pour les deux populations considérées.

Essais	Moyenne (seconde)	Ecartype (seconde)	Minimum (seconde)	Maximum (seconde)
Yamaha / 50 km/h	0.45	0.10	0.26	0.57
Yamaha / 90 km/h	0.45	0.09	0.29	0.62
Yamaha / 50+90 km/h	0.45	0.09	0.26	0.62
Clio / 50 km/h	0.44	0.07	0.31	0.60
Clio / 90 km/h	0.43	0.06	0.35	0.57
Clio / 50+90 km/h	0.43	0.06	0.31	0.60

Tableau 6 : TPR moyens pour l'ensemble des conducteurs
(Source Cerema, 2015)

Essais	Moyenne (seconde)	Ecartype (seconde)	Minimum (seconde)	Maximum (seconde)
Yamaha / 50 km/h	0.47	0.07	0.34	0.58
Yamaha / 90 km/h	0.44	0.08	0.29	0.57
Yamaha / 50+90 km/h	0.45	0.07	0.29	0.58
Clio / 50 km/h	0.43	0.07	0.31	0.60
Clio / 90 km/h	0.44	0.06	0.35	0.57
Clio / 50+90 km/h	0.44	0.07	0.31	0.60

Tableau 7 : TPR moyens pour les conducteurs professionnels
(Source Cerema, 2015)

Les TPR mesurés lors de ces essais montrent des valeurs relativement faibles et homogènes. En effet, les valeurs calculées, de l'ordre de la demi-seconde, sont bien inférieures aux valeurs communément admises. Pour les actions de communication vers le grand public, c'est généralement la valeur de 1 seconde qui est utilisée [Violette, 2015]. Par contre, dans les guides de conception ou d'aménagement routier, c'est la valeur de 2 secondes qui est choisie [Violette, 2015].

Cependant les valeurs mesurées présentent l'intérêt de pouvoir être analysées selon les deux paramètres suivants : le type de véhicule et la vitesse. Concernant le type de véhicule, il apparaît clairement qu'il n'influence pas les valeurs de ce paramètre tant en niveau (0.45 seconde) qu'en dispersion (0.10 seconde). Ce sont les mêmes valeurs pour la Yamaha et pour la Clio. Ainsi, les conducteurs du panel réagissent de manière identique à la sollicitation demandée. On note cependant une moindre dispersion chez les conducteurs professionnels par rapport à l'ensemble du panel.

En comparant les mesures effectuées avec d'autres expérimentations, il apparaît que celles obtenues à l'UTAC CERAM sont similaires à celles déjà observées précédemment, notamment dans le cas de la moto.

- L'étude effectuée en 2002 par la fondation Promocycle [Promocycle1, 2003] sur simulateur de conduite (avec moto statique) durant le salon de la moto et du VTT de Québec et le salon de la moto de Montréal en 2002 auprès de plusieurs centaines de motards a abouti à des valeurs relativement proches. Dans le cas des motards homme seulement, les valeurs moyennes mesurées étaient de 0.462 seconde (à comparer avec 0.453 seconde à l'UTAC CERAM).
- L'étude de Ecker réalisée en 2001 [Ecker et al, 2001] à l'aide d'une Honda CB500 instrumentée avec un panel de 278 conducteurs a abouti à une valeur moyenne de BRT (*Brake Reaction Time*) de 0.450 seconde, identique à la valeur mesurée à l'UTAC CERAM avec un panel réduit de conducteurs professionnels.

3.5 Décélération

Les tableaux ci-dessous décrivent les valeurs des décélérations moyennes et la dispersion calculées à partir de chacun des freinages effectués lors des essais en considérant les deux populations de conducteurs.

Essais	Décélération Moyenne (m/s ²)	Ecartype (m/s ²)	Minimum (m/s ²)	Maximum (m/s ²)
Yamaha / 50 km/h	-8.2	0.67	-6.6	-9.1
Yamaha / 90 km/h	-8.6	0.59	-7.1	-9.5
Yamaha / 50+90 km/h	-8.4	0.65	-6.6	-9.5
Clio / 50 km/h	-10.2	0.44	-9.1	-10.8
Clio / 90 km/h	-10.5	0.28	-9.6	-10.9
Clio / 50+90 km/h	-10.3	0.40	-9.1	-10.9

Tableau 8 : Décélérations lors de la période de freinage pour l'ensemble des conducteurs (Source Cerema, 2015)

Essais	Décélération Moyenne (m/s ²)	Ecartype (m/s ²)	Minimum (m/s ²)	Maximum (m/s ²)
Yamaha / 50 km/h	-8.3	0.60	-6.9	-9.1
Yamaha / 90 km/h	-8.5	0.60	-7.1	-9.5
Yamaha / 50+90 km/h	-8.4	0.60	-6.9	-9.5
Clio / 50 km/h	-10.1	0.44	-9.1	-10.8
Clio / 90 km/h	-10.4	0.29	-9.6	-10.8
Clio / 50+90 km/h	-10.3	0.41	-9.1	-10.9

Tableau 9 : Décélérations lors de la période de freinage pour les conducteurs professionnels (Source Cerema, 2015)

Il apparaît clairement une différence de performance de freinage entre les deux types de véhicules sollicités en freinage d'urgence dans les mêmes conditions et par le même panel de conducteurs. La décélération moyenne atteinte avec la Yamaha est de -8.4 m/s² alors que celle atteinte avec la Clio est de -10.3 m/s². L'écart est sensible, environ 1.9 m/s² soit un déficit de 18/19% pour la moto par rapport à la voiture. On note aussi que les décélérations maximales relevées avec la moto sont inférieures ou égales aux décélérations minimales relevées avec la VP.

De plus, il n'est pas observé de différence de performances pour les deux vitesses considérées, même si à 90 km/h la décélération est légèrement plus importante pour les deux véhicules. Ainsi, le panel de conducteurs est capable de réaliser la manœuvre de freinage d'urgence avec une performance équivalente à 50 et à 90 km/h. Ce point nous conforte dans le choix d'un panel de conducteurs professionnels. Les valeurs de décélération pour les deux populations de conducteurs sont très similaires. On note cependant que la dispersion dans les décélérations est inférieure dans le cas de la voiture par rapport à la moto. Ce point suggère que les assistances au freinage de la voiture (ABS+AFU) par rapport à celle de la moto (ABS seulement) réduisent la part du conducteur au profit de l'optimisation du freinage.

On ne dispose pas dans la littérature de résultats aisément comparables. Cependant les essais réalisés par la fondation Promocycle en 2002 [Promocycle2, 2003] ont montré que pour un échantillon de 26 freinages (avec freins avant et arrière) effectués à 100 km/h sur route sèche avec une moto équipée d'un ABS, la décélération moyenne était de -8.5 m/s² avec un écartype de 1.5 m/s². Le panel était constitué de 6 conducteurs expérimentés. Par rapport aux essais réalisés à l'UTAC CERAM, le niveau de décélération moyen est identique. Par contre la dispersion est plus importante. En l'absence d'information plus précise sur la constitution du panel de l'étude Promocycle, il ressort que le panel de conducteurs professionnels des essais réalisés à l'UTAC CERAM est très homogène dans la réalisation de la manœuvre demandée.

3.6 Distance d'arrêt

La distance d'arrêt est la résultante des deux éléments précédents (distance parcourue pendant le TPR + distance parcourue pendant le freinage d'urgence).

Les tableaux ci-dessous précisent les valeurs obtenues par calcul après correction des écarts de « vitesses consigne ». En effet, pour les deux consignes de 50 et 90 km/h, il peut subsister au moment du déclenchement de la manœuvre une différence, en plus ou en moins, de quelques km/h. Cet aléa a été compensé par une correction qui normalise les « vitesses consigne » à 50 et 90 km/h (Cf. §3.1).

Essais	Distance d'arrêt moyenne (m)	Ecartype (m)	Minimum (m)	Maximum (m)
Yamaha / 50 km/h	20.0	1.5	16.9	21.7
Yamaha / 90 km/h	51.1	2.4	46.8	56.5
Yamaha / 50+90 km/h	/	/	/	/
Clio / 50 km/h	16.7	1.2	14.7	19.9
Clio / 90 km/h	43.4	2.6	40.2	50.0
Clio / 50+90 km/h	/	/	/	/

Tableau 10 : Distances d'arrêt moyennes pour l'ensemble des conducteurs
(Source Cerema, 2015)

Essais	Distance d'arrêt moyenne (m)	Ecartype (m)	Minimum (m)	Maximum (m)
Yamaha / 50 km/h	20.4	1.2	18.1	21.7
Yamaha / 90 km/h	51.4	2.6	46.8	56.5
Yamaha / 50+90 km/h	/	/	/	/
Clio / 50 km/h	16.8	1.3	14.7	19.9
Clio / 90 km/h	43.8	2.8	40.2	50.0
Clio / 50+90 km/h	/	/	/	/

Tableau 11 : Distances d'arrêt moyennes pour les conducteurs professionnels
(Source Cerema, 2015)

Pour la « vitesse consigne » de 50 km/h les distances d'arrêt sont plus longues avec la Yamaha qu'avec la Clio. L'écart entre les moyennes est de 3.1 m soit 18% de plus. A 90 km/h, cet écart croit jusqu'à 7.4 m, soit 17% de plus. Pour les deux vitesses, cet écart est significatif¹⁷ entre les deux véhicules.

Par rapport aux constats précédents, notamment les TPR identiques, ce sont les différences de performances en décélération (action de freinage du conducteur + capacité de freinage du véhicule + assistances) qui expliquent l'augmentation de la distance d'arrêt de la moto par rapport au VP.

Les valeurs obtenues durant ces essais sont difficilement comparables avec celles communément admises par le grand public et pour lesquelles on trouve différentes méthodes d'estimation mnémotechniques. On retiendra cependant qu'elles peuvent être considérées comme particulièrement favorables en raison de TPR de l'ordre de la demi-seconde et de la sollicitation optimale des véhicules par des conducteurs professionnels.

¹⁷ Le test du U de Mann & Whitney a été appliqué sur les séries de distances d'arrêt pour les deux vitesses de 50 et 90 km/ en testant l'hypothèse d'égalité selon les deux véhicules considérés.

4. Synthèse et conclusions

La comparaison des performances obtenues entre les motos et les VP en situation de freinage d'urgence s'est appuyée sur des essais réalisés en situation contrôlée en considérant les principaux éléments suivants qui ont permis leur faisabilité :

- Une argumentation dans les différents choix effectués : types de véhicules, « vitesses consigne », critères de choix du panel de conducteurs, ...
- Un cadre méthodologique et technique adapté et rigoureux : pistes d'évolution, instrumentation des véhicules, panel identique pour les deux types de véhicules, ...
- Une maîtrise des conditions de déroulement des essais : météorologie, sécurité des conducteurs, contre balancement des passages, ...
- La prise en compte des contraintes opérationnelles, notamment la disponibilité des conducteurs et la période limitée pour la réalisation des essais.

Les essais réalisés par le CEREMA et l'UTAC CERAM ont ainsi permis de recueillir les informations nécessaires à une comparaison des performances de freinage d'un moto et d'un VP de catégorie d'usage analogue (gamme « moyenne ») à partir d'un panel de conducteurs qui a été invité à conduire alternativement les deux types de véhicules avec deux consignes de vitesses (50 et 90 km/h). La méthode retenue est originale. En effet, on ne trouve pas d'approche identique dans la littérature.

Ainsi, la méthode proposée repose sur la nécessité de disposer de conducteurs professionnels de la conduite des motos afin qu'ils soient en mesure de solliciter de manière optimale et homogène les deux véhicules et plus particulièrement la moto, en respectant les consignes notamment celles relatives à la sécurité (chute interdite).

Les trois principaux paramètres analysés à l'issue de ces essais amènent les commentaires suivants :

- **Les temps de perception-réaction** pour entreprendre le freinage d'urgence sont pratiquement identiques pour les deux types de véhicules et pour les deux vitesses d'essai. La valeur moyenne s'établit à 0.45 seconde. Elle est similaire à celles mesurées antérieurement dans d'autres campagnes d'essais relatives dans la littérature. Il convient de considérer que cette valeur n'est pas représentative des situations réelles de conduites auxquelles pourraient être confrontés des conducteurs (essais sur piste en condition contrôlées).
- **La décélération** mesurée lors de l'action de freinage délivre une information pertinente sur la sollicitation appliquée par le conducteur sur les freins et la capacité de freinage globale du véhicule. Ce paramètre discrimine les deux types de véhicules au profit du VP qui est capable de décélérer plus fortement que le moto : -10.3 m/s^2 pour le VP contre -8.4 m/s^2 pour le moto. On note que cette différence est similaire pour les deux vitesses d'essai considérées. De même, il apparaît une plus grande dispersion dans les décélérations de la moto.
- **La distance d'arrêt** est la résultante des deux indicateurs précédents. Ainsi, à 50 km/h, la moto mettra en moyenne 3.0 m de plus que le VP pour s'arrêter, soit +18%. Cet écart croît jusqu'à 7.5 m (+17%) pour une vitesse initiale de 90 km/h.

Enfin, il convient de rappeler que ces essais ont été réalisés pour une situation de conduite simple (freinage d'urgence en ligne droite), avec des conditions externes favorables (pas de pluie, route sèche) et avec le concours de conducteurs professionnels aptes à solliciter les véhicules avec un haut niveau de performances tant pour la moto que pour le VP. Les valeurs ainsi obtenues peuvent être considérées comme optimales et ne préjugent pas de celles qui seraient issues des capacités réelles liées à la diversité des conducteurs et des situations d'urgence rencontrées.

Références

Dubos, N., & Varin, B. (2015). Projet ANR VOIESUR, Livrable L4.5 Analyse de l'accidentalité des conducteurs de moto, juin 2015.

Ecker, H., Wassermann, J. Ruspekhofer, R. Hauer, G., & Winkelbauer, M. (2001). Brake Reaction Times of Motorcycle Riders. Proceedings of the International Motorcycle Safety Conference, March 1- 4, 2001, Orlando, USA.

ONISR, étude interne, 2015.

Promocycle1. (2003) La fondation Promocycle, Évaluation du temps de réaction au freinage sur une motocyclette, janvier 2003.

Promocycle2. (2003) La fondation Promocycle, Rapport d'évaluation de rendement des différents systèmes de freinage sur les motocyclettes de route, février 2003.

Violette, E. (2015). Freinage des moto vs Véhicules légers : Bibliographie et éléments de cadrage d'une expérimentation, Rapport Cerema, 2015.

Annexe 1 : Catégorisation et classification des véhicules : extraits.

A1 : Au sens du code de la route¹⁸ (Article R311-1 Modifié par DÉCRET n°2014-784 du 8 juillet 2014 - art. 7)

1. Véhicules de catégorie M : véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de personnes et ayant au moins quatre roues :

1. 1. **Véhicule de catégorie M1** : véhicule conçu et construit pour le transport de personnes et comportant, outre le siège du conducteur, huit places assises au maximum.

1. 4. **Voiture particulière : véhicule de catégorie M1** ne répondant pas à la définition du véhicule de la catégorie L6e ou L7e et ayant un poids total autorisé en charge inférieur ou égal à 3,5 tonnes.

4. Véhicules de catégorie L : véhicules à moteur à deux ou trois roues et quadricycles à moteur :

4. 1. **Véhicule de catégorie L1e** : véhicule à deux roues dont la vitesse maximale par construction est égale ou supérieure à 6 km/h et ne dépasse pas 45 km/h et équipé d'un moteur d'une cylindrée ne dépassant pas 50 cm³ s'il est à combustion interne ou d'une puissance maximale nette n'excédant pas 4 kilowatts pour les autres types de moteur.

4. 3. **Véhicule de catégorie L3e** : véhicule à deux roues sans side-car, équipé d'un moteur d'une cylindrée supérieure à 50 cm³ s'il est à combustion interne et / ou dont la vitesse maximale par construction est supérieure à 45 km/h.

4. 8. **Cyclomoteur : véhicule de catégorie L1e** ou L2e.

4. 9. **Motocyclette : véhicule de catégorie L3e** ou L4e et dont la puissance n'excède pas 73,6 kilowatts (100 ch) ; l'adjonction d'un side-car à une motocyclette ne modifie pas le classement de celle-ci.

4. 10. **Motocyclette légère : motocyclette dont la cylindrée n'excède pas 125cm³** et dont la puissance n'excède pas 11 kilowatts...

A2 : Au sens de la rédaction du Bulletin d'Analyse des accidents corporels de la circulation (BAAC) (Source ONISR, mise à jour mai 2014)

La saisie de la catégorie administrative des véhicules repose sur le codage suivant :

- 02 : cyclomoteur appartient à la catégorie L1e,
- 30 : scooter appartient à la catégorie L1e,
- 31 : 50 cm³ < motocyclette < 125 cm³ appartient à la catégorie L3e et définie comme motocyclette légère,
- 32 : 50 cm³ < scooter < 125 cm³ appartient à la catégorie L3e et définie comme motocyclette légère,
- 33 : motocyclette > 125 cm³ appartient à la catégorie L3e,
- 34 : scooter > 125 cm³ appartient à la catégorie L3e,
- 07 : véhicule de tourisme seul appartient à la catégorie M1 et définie comme voiture particulière.

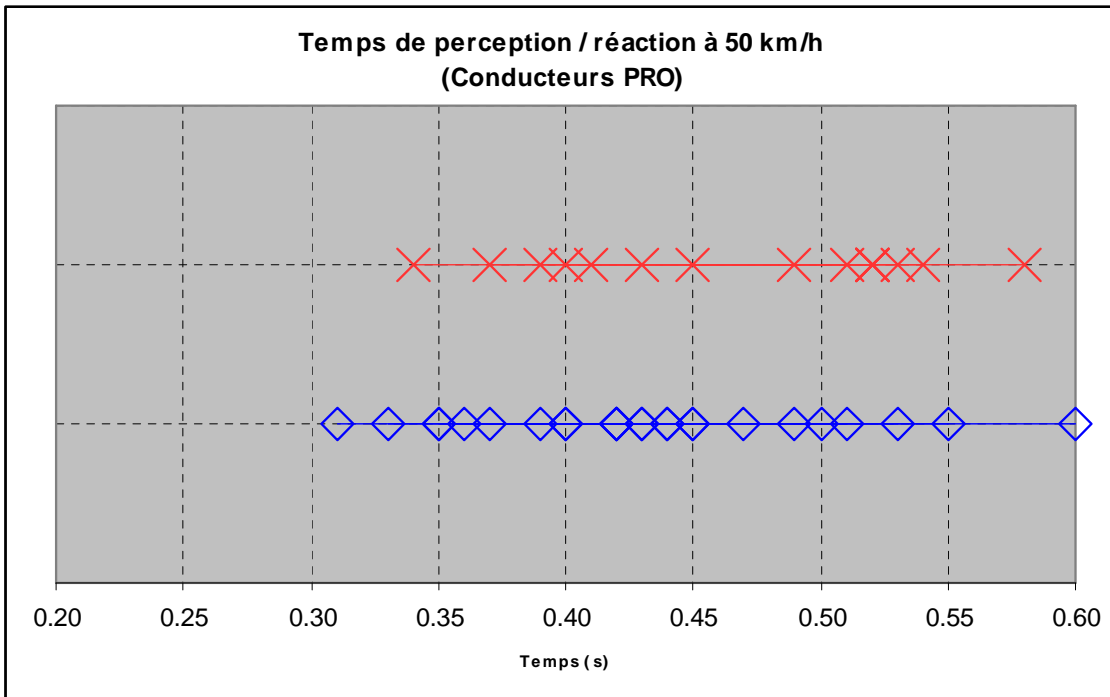
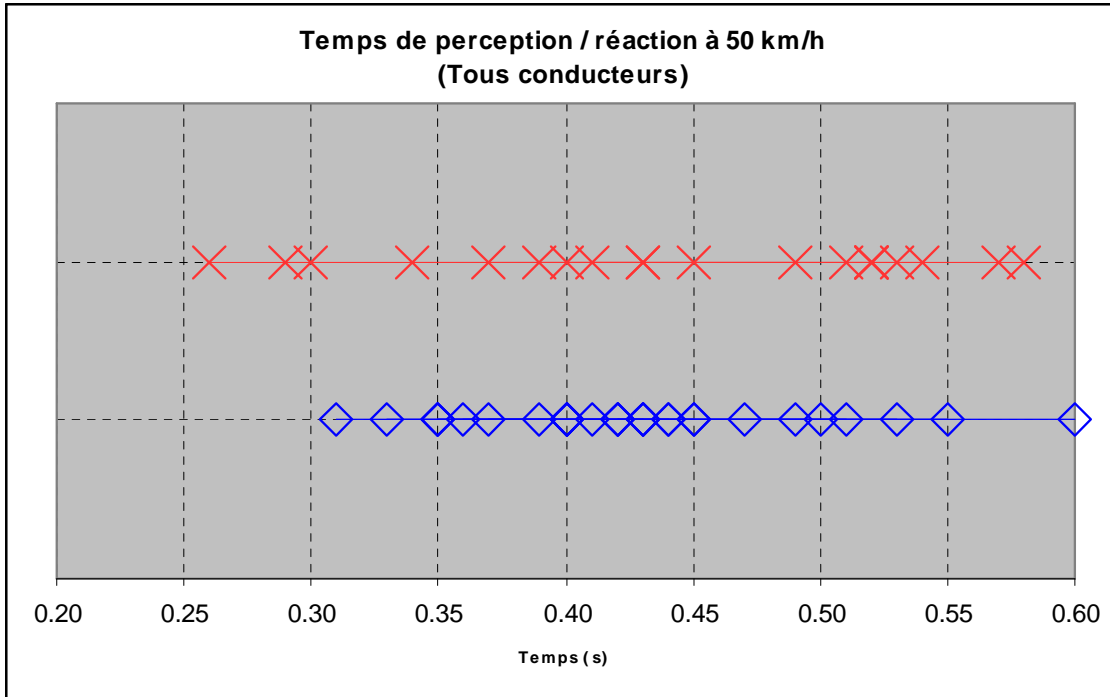
¹⁸ La classification actuelle doit être modifiée en 2016 pour se mettre en conformité avec le règlement européen 168/2013.

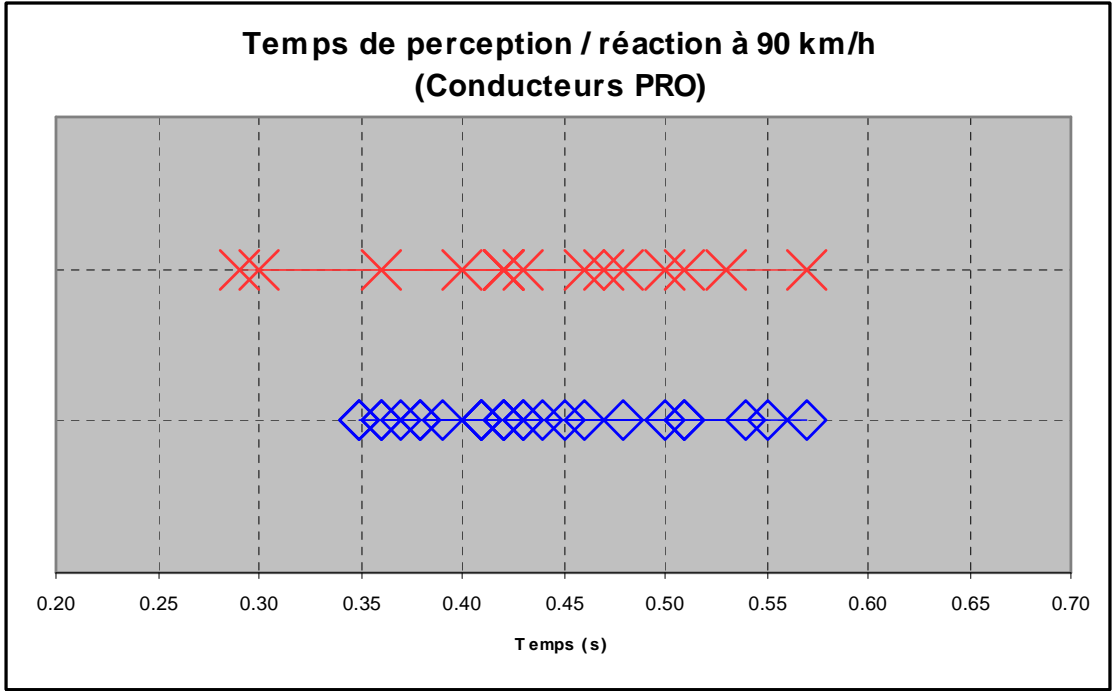
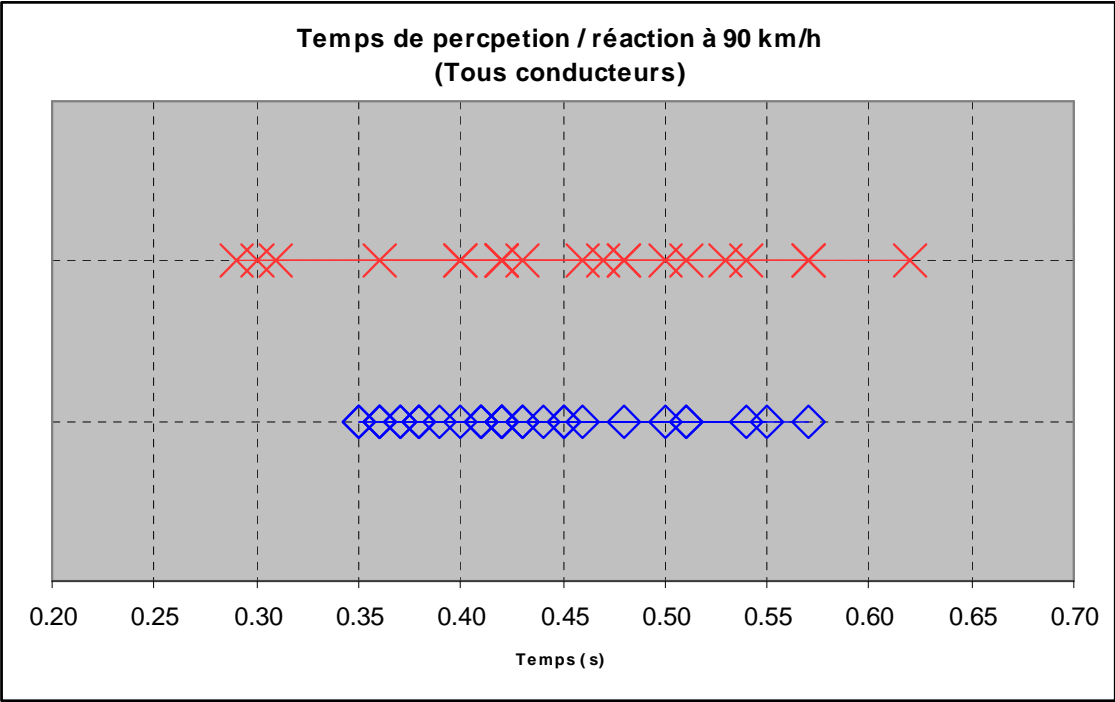
A3 : La fiche 15 des savoirs faire de base en sécurité du Certu, mise à jour en décembre 2013 rappelle que les deux-roues motorisés (moto) appartiennent à la catégorie administrative « L » du code de la route.

Dans ce rapport, la terminologie utilisée repose sur les définitions suivantes :

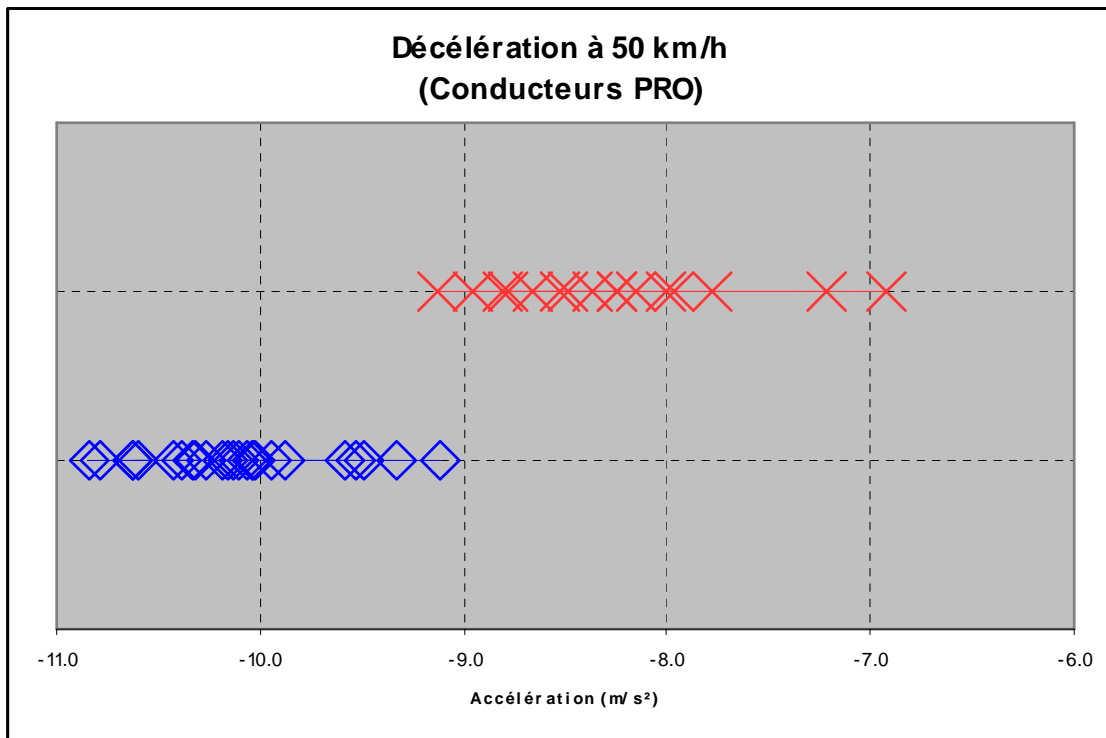
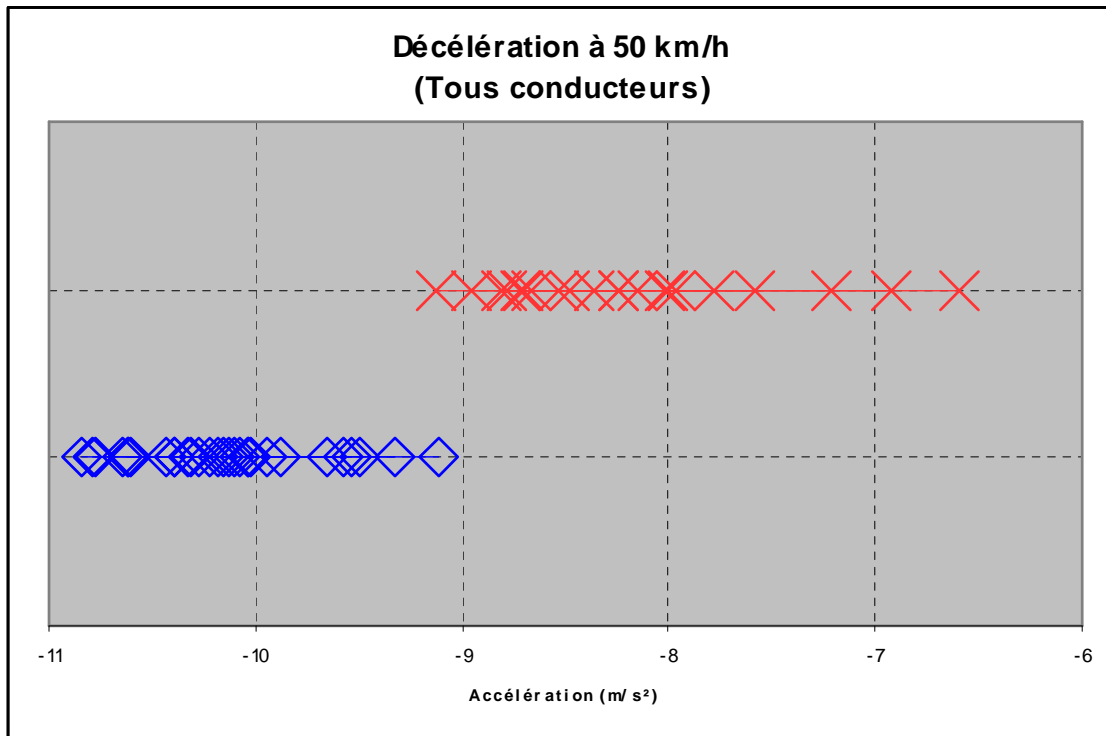
- Le terme « **moto** » est une abréviation du terme « motocyclette » (catégorie L3e),
- Le terme « **VP** » est une abréviation du terme « voiture particulière » (catégorie M1).

Annexe 2 : Temps de perception / réaction (en rouge, Yamaha / en bleu, Clio)

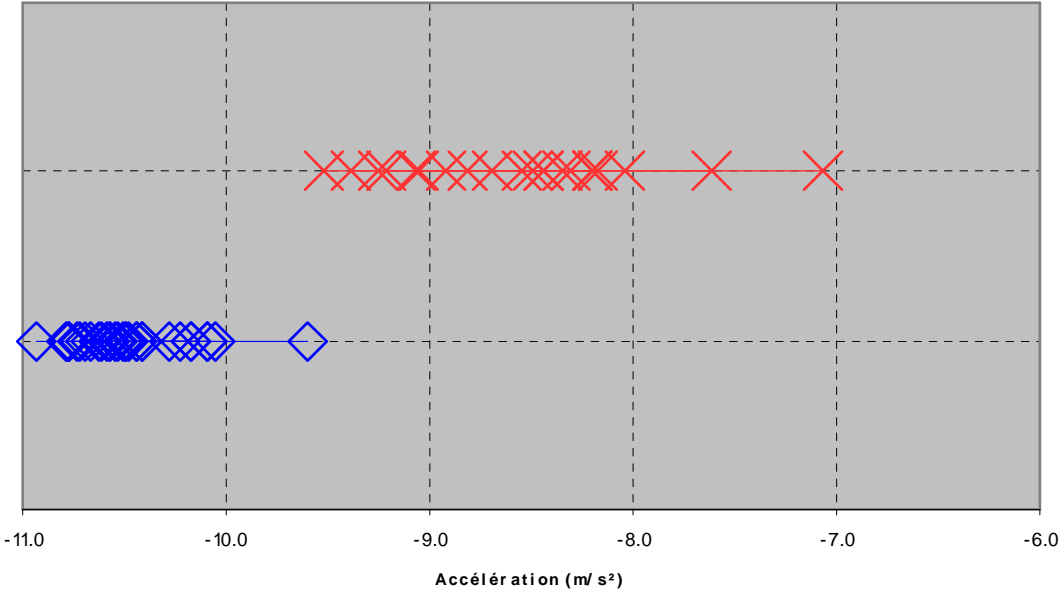




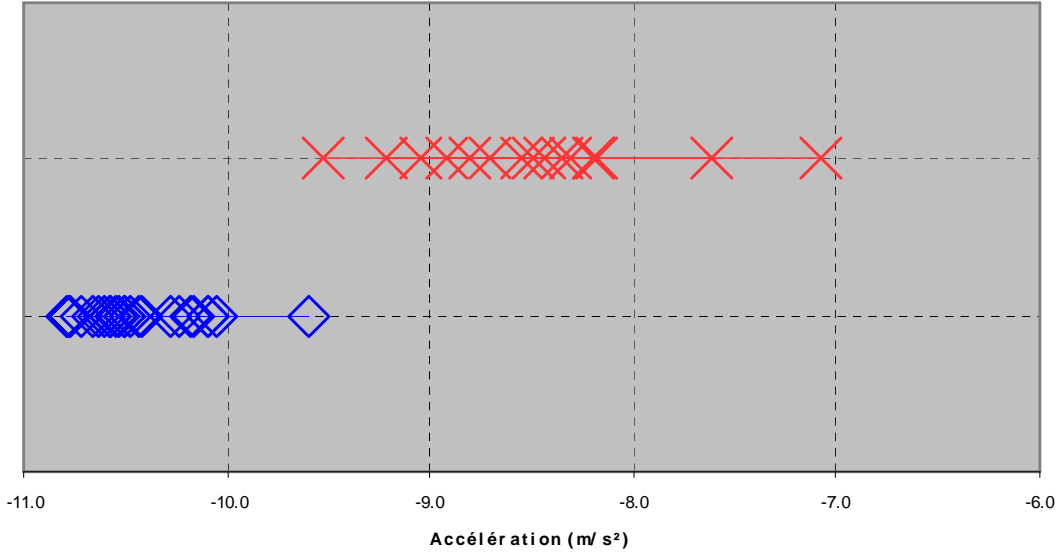
Annexe 3 : Décélérations
(en rouge, Yamaha / en bleu, Clio)



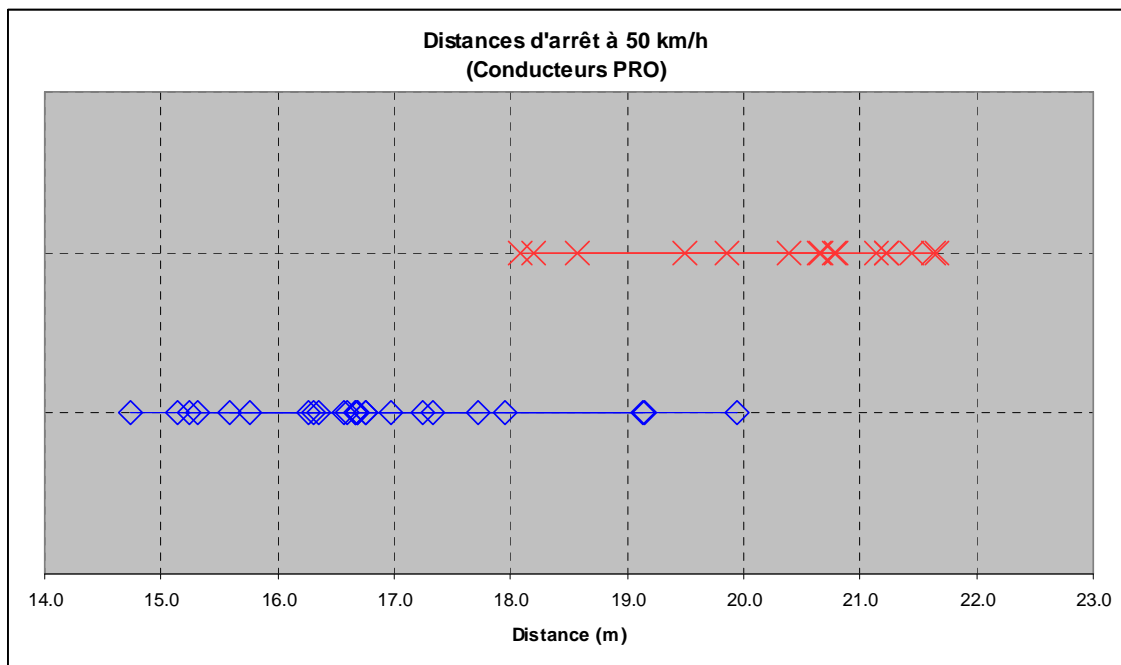
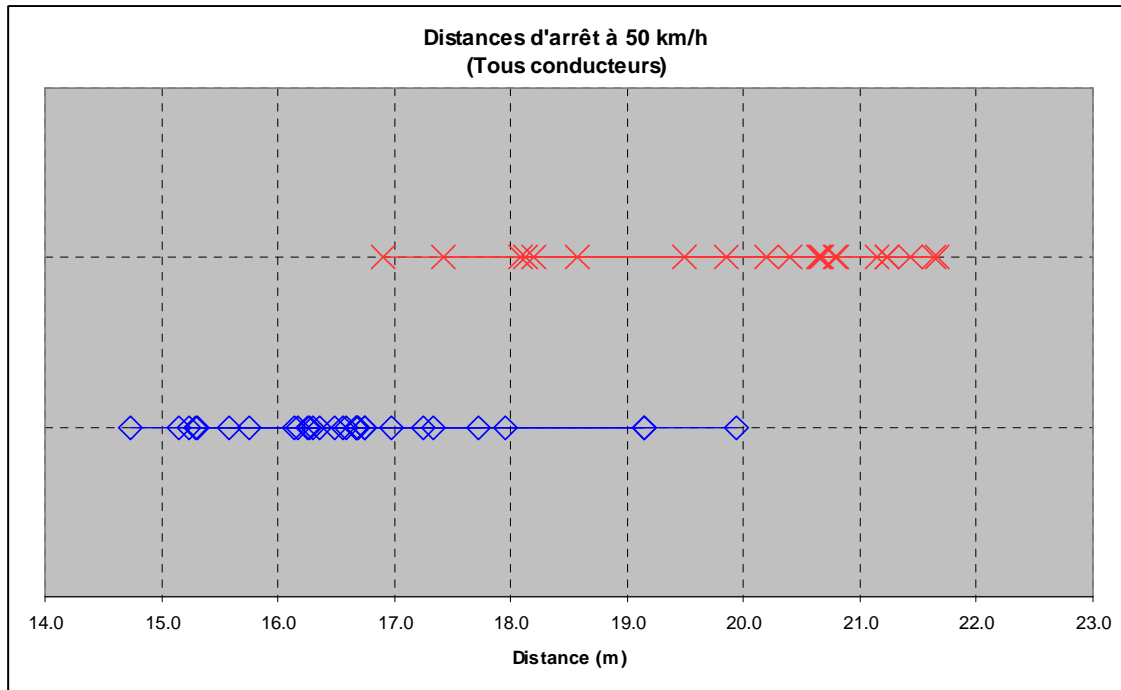
**Décélération à 90 km/h
(Tous conducteurs)**

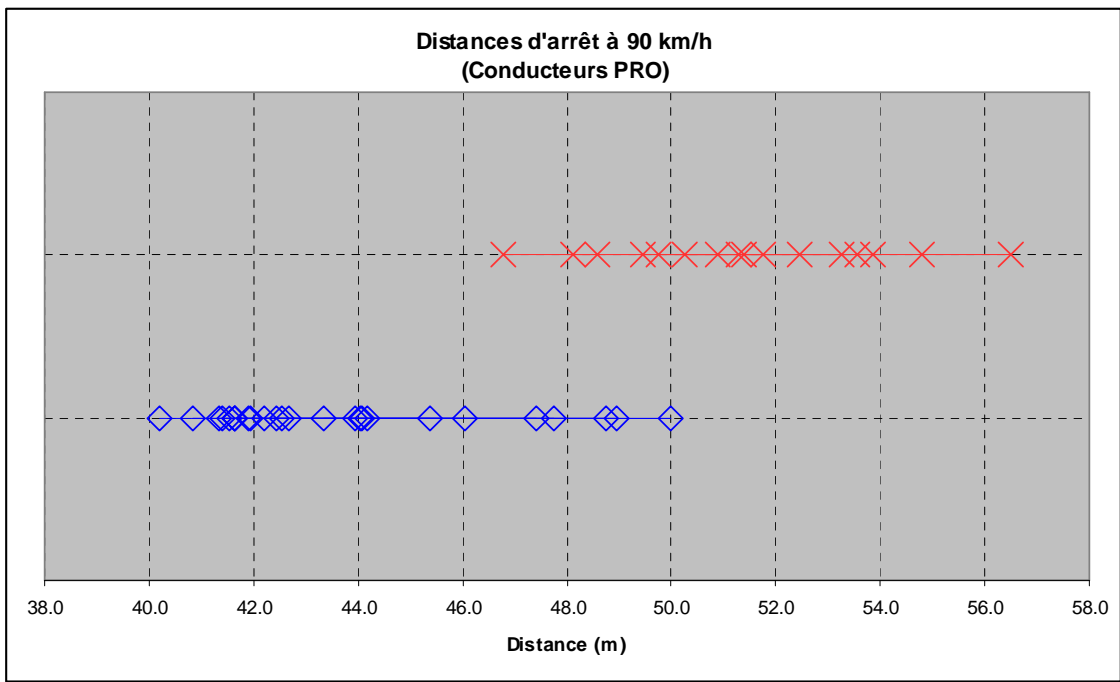
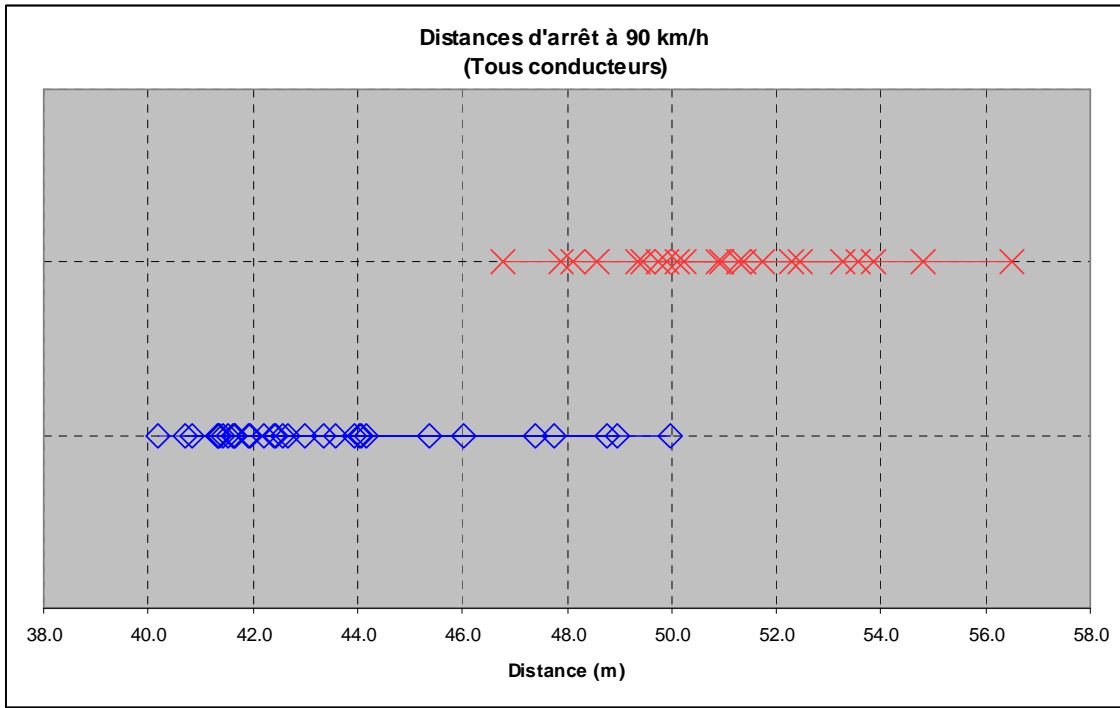


**Décélération à 90 km/h
(Conducteurs PRO)**



Annexe 4 : Distances d'arrêt (en rouge, Yamaha / en bleu, Clio)





Annexe 5 : Test U de Mann & Whitney sur les distances d'arrêt.

Logiciel utilisé : Statistica

Données Groupe 1 : distances d'arrêt CLIO

Données Groupe 2 : distances d'arrêt YAMAHA

	SommeRgs - Groupe 1	SommeRgs - Groupe 2	U	Z	niv. p
Vit-50	595	890	67	-5,00847	0,000001

Niv. $p < 0.05$: l'hypothèse d'égalité des 2 groupes est rejetée → pour la vitesse de 50 km/h, les distances d'arrêt avec la Clio sont significativement plus courtes qu'avec la Yamaha.

	SommeRgs - Groupe 1	SommeRgs - Groupe 2	U	Z	niv. P
Vit-90	582	1014	21	-5,96232	0,000000

Niv. $p < 0.05$: l'hypothèse d'égalité des 2 groupes est rejetée → pour la vitesse de 90 km/h, les distances d'arrêt avec la Clio sont significativement plus courtes qu'avec la Yamaha.

