



Livrable 3.2

Définition des seuils de déclenchement d'incidents pour un 2RM

N° Livrable	3.2	N° sous-projet	SP3
Statut	Version finale		
Date	20/01/2018		
Responsable du document	Christophe PERRIN IFSTAR-TS2-LMA 304 Chemin de la Croix Blanche 13300 SALON DE PROVENCE		
Auteur principal	Christophe PERRIN, Laura COSTA		
Contributeur(s)	Christophe PERRIN, Maxime DUBOIS-LOUNIS, Claire NAUDE, Jean-Yves FOURNIER, Romane CORNEN, Thierry SERRE		
Validation	Thierry SERRE		
Enregistrement	DYMOA_Livrable3.2.docx		

Résumé

Détection d'incidents pour le 2RM

L'objectif de cette tâche était d'identifier les paramètres dynamiques d'un 2RM et leurs valeurs seuils permettant de détecter un incident.

Le comportement dynamique des 2RM est largement plus complexe que celui des voitures et de plus il a été largement moins étudié. Des projets récents (2BeSafe, SUMOTORI, DAMOTO, PROMOTO, METRAMOTO..) ont toutefois permis d'améliorer les connaissances sur le sujet et permis d'explorer certaines pistes concernant l'identification des paramètres de la dynamique des 2RM à prendre en considération pour détecter des situations de "presque-accidents". Il apparaît toutefois que certaines situations à risques semblent, dans l'état des connaissances actuelles, difficiles à identifier par le biais de grandeurs physiques simples. Les pertes de contrôle en glissade font par exemple partie de cette catégorie. Elles impliquent, en fonction de l'infrastructure (courbure, adhérence et état de la chaussée...), plusieurs paramètres dynamiques tels que la vitesse, l'accélération transversale, l'angle de roulis. De plus, le choix des commandes fait par le conducteur et la manière d'exécuter celles-ci, progressivement, soudainement, brutalement, sur le guidon (couple, angle), sur l'accélérateur et/ou les freins sont également très influents.

Les capteurs propres à notre EMMAPHONE (accéléromètres, gyromètres) permettent de détecter facilement certaines situations incidentogènes comme des freinages d'urgences par exemple (accélérations/décélérations longitudinales importantes). Par contre les difficultés rencontrées pour évaluer l'accélération transversale réelle (dans un repère terrestre), comme on peut le faire simplement sur une automobile (qui ne s'incline pas vers l'intérieur de la trajectoire contrairement aux véhicules à deux roues), rendent la détection des situations critiques en sollicitations transversales bien plus délicate. La détection d'une perte de contrôle en glissade nécessiterait vraisemblablement de disposer de capteurs additionnels : angle de roulis et/ou accélération transversale dans un repère terrestre via une plateforme gyroscopique. À défaut, ces grandeurs pourraient être extrapolées par un modèle, à mettre au point, utilisant des variables directement mesurées par les boîtiers EMMAPHONE. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé uniquement des seuils de variables physiques directement mesurées, ou simplement calculables.

Pour mettre au point le système d'acquisition EMMAPHONE et définir ces seuils de détection d'incidents, une moto a été spécifiquement instrumentée. De nombreuses campagnes d'essais ont été réalisées, sur pistes et sur route, la moto étant conduite par un conducteur très expérimenté.

Pour les motos, en sollicitations longitudinales, les conditions d'identification d'une situation critique ont été définies ainsi : Vitesse longitudinale supérieure à 10 km/h et Accélération Longitudinale, en freinage uniquement, inférieure à $-6m/s^2$.

En sollicitations transversales, nous avons retenus deux critères possibles : Norme du vecteur Vitesse de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) supérieure à $80^\circ/s$ ou Norme du vecteur Accélération de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) supérieure à $300^\circ/s^2$.

Pour les voitures les critères de détection d'un incident, d'une situation critique ou d'un niveau de sollicitation dynamique anormalement élevé ont été définis de manière à ce qu'ils soient à la fois cohérents avec ceux choisis pour les 2RM et compatibles avec ceux du projet antérieur S_VRAI (Sauver des Vies par le Retour d'Analyse sur Incidents). Ils ont été choisis ainsi : Vitesse longitudinale supérieure à 10 km/h et Norme du vecteur Accélération (Longitudinale + Transversale) supérieure à 6m/s^2 .

Le choix de n'enregistrer des données d'acquisition détaillées que lors de situations critiques présente l'avantage de ne pas accumuler d'immenses quantités de données et ainsi faciliter l'exploitation des résultats. Les choix des variables et des seuils retenus pour ce projet semblent bien adaptés pour l'observation de l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM et des styles de conduite (entre 2RM, entre 2RM et 4RM pour certaines grandeurs physiques uniquement). En revanche ils s'avèrent moins efficaces pour détecter les incidents "réels" puisque beaucoup trop de faux positifs ont été enregistrés. De plus, des faux négatifs nous ont certainement échappé.

Des améliorations futures devraient permettre de mieux caractériser les variations de sollicitations, signes d'un effet de surprise, et annonceurs de la présence d'une situation non souhaitée plus proche de la définition d'un incident. Pour cela il serait probablement pertinent de combiner les variables et/ou de rajouter des notions de durée de dépassement de seuil.

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. PRESENTATION DE LA MOTO INSTRUMENTEE	2
3. PRESENTATION DE LA CAMPAGNE D'ESSAIS	4
3.1. ESSAIS SUR PISTE	4
a. <i>Essais de freinage</i>	5
b. <i>Manœuvre de slalom</i>	6
c. <i>Manœuvre d'évitement</i>	8
d. <i>Essais de roulage "tours complets"</i>	9
e. <i>Récapitulatif des essais sur piste</i>	11
3.2. ESSAIS SUR ROUTE OUVERTE	11
4. EXPLOITATION DES RESULTATS	13
4.1. SOLLICITATIONS LONGITUDINALES	13
4.2. SOLLICITATIONS TRANSVERSALES	18
5. DISCUSSION ET CONCLUSION	25

1. Introduction

L'objectif de cette tâche était d'identifier les paramètres physiques caractéristiques de la dynamique d'un 2RM facilement mesurables par notre système d'acquisition EMMAPHONE et leurs valeurs seuils permettant de détecter un incident.

Pour cela nous avons instrumenté une moto d'un système d'acquisition embarqué et en parallèle d'un EMMAPHONE.

Nous avons réalisé plusieurs campagnes de mesure sur pistes et sur route. La moto a été conduite par un conducteur très expérimenté également pilote de vitesse sur circuit mais non professionnel. Une première campagne de mesures a été réalisée sur un circuit privé et complétée par deux autres sur une piste de moto-école. Différents trajets routiers ont également été enregistrés notamment pour se rendre sur les lieux de ces expérimentations. L'objectif de ces essais était de caractériser le comportement dynamique d'un 2RM à différents niveaux de sollicitation. Sur pistes, de nombreux essais de freinage ont été réalisés à différents niveaux de vitesse initiale. La moto étant équipée d'un système de freinage antibloquant et d'un répartiteur de freinage avant/arrière, le niveau maximal de décélération a pu être atteint sans prises de risque. Pour les sollicitations transversales plusieurs essais ont été réalisés à différentes vitesses de consigne et donc à différents niveaux de sollicitation. Les manœuvres étaient : franchissement d'un slalom, réalisation d'un évitement (type "baïonnette") et réalisation de tours de circuit complets. Sur routes ouvertes, aucune manœuvre à haute sollicitations dynamiques n'a été réalisée. Nous avons pu vérifier alors qu'aucun seuil n'était atteint en conduite "normale".

Ces travaux ont été réalisés en partie dans le cadre de la thèse de Laura COSTA de l'Université Aix-Marseille intitulée «Modélisation du comportement dynamique d'un deux-roues motorisé pour la reconstruction d'accidents et la détection d'incidents » et soutenue le 29 novembre 2017.

2. Présentation de la moto instrumentée

La moto dont dispose le LMA de l'IFSTTAR est une Honda VFR 800 de 2006. Cette dernière a été fournie par le LEPSIS (Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations) de l'IFSTTAR. Cette moto avait été instrumentée dans le but d'étudier le comportement du conducteur. Les capteurs présents permettaient de mesurer l'angle guidon, la présence d'un freinage, la vitesse des roues et l'ouverture des gaz. De plus, une centrale inertielle tri-axes était installée sur le réservoir ainsi que plusieurs caméras permettant de filmer l'environnement et le conducteur. Cette instrumentation n'étant pas suffisamment complète pour une étude concernant la dynamique du 2RM, nous l'avons complétée par l'ajout de différents capteurs permettant de mesurer de façon plus fine les commandes exercées par le conducteur. Le capteur d'angle guidon a été remplacé par un unique capteur mesurant à la fois le couple appliqué par le conducteur sur le guidon et l'angle de braquage. Le circuit hydraulique du système de freinage a été équipé de plusieurs capteurs de pression afin de mieux caractériser les commandes de freinage.

Concernant le 2RM en lui-même, nous avons ajouté un double capteur permettant de mesurer l'angle d'inclinaison de la moto par rapport à la chaussée (angle de roulis) ainsi que deux capteurs de mesure des débattements de suspension avant et arrière. Enfin un détecteur de seuil magnétique a été installé dans le but de pouvoir recalibrer longitudinalement nos mesures en disposant des bandes magnétiques sur la chaussée, à différents endroits comme par exemple l'entrée et la sortie de la zone de manœuvre...

Nous avons également développé et implanté une nouvelle carte d'acquisition permettant de stocker ces nouvelles mesures. Ainsi instrumentée, notre moto expérimentale permet l'acquisition de plus de vingt signaux à une fréquence de 100 Hz (Figure 1).

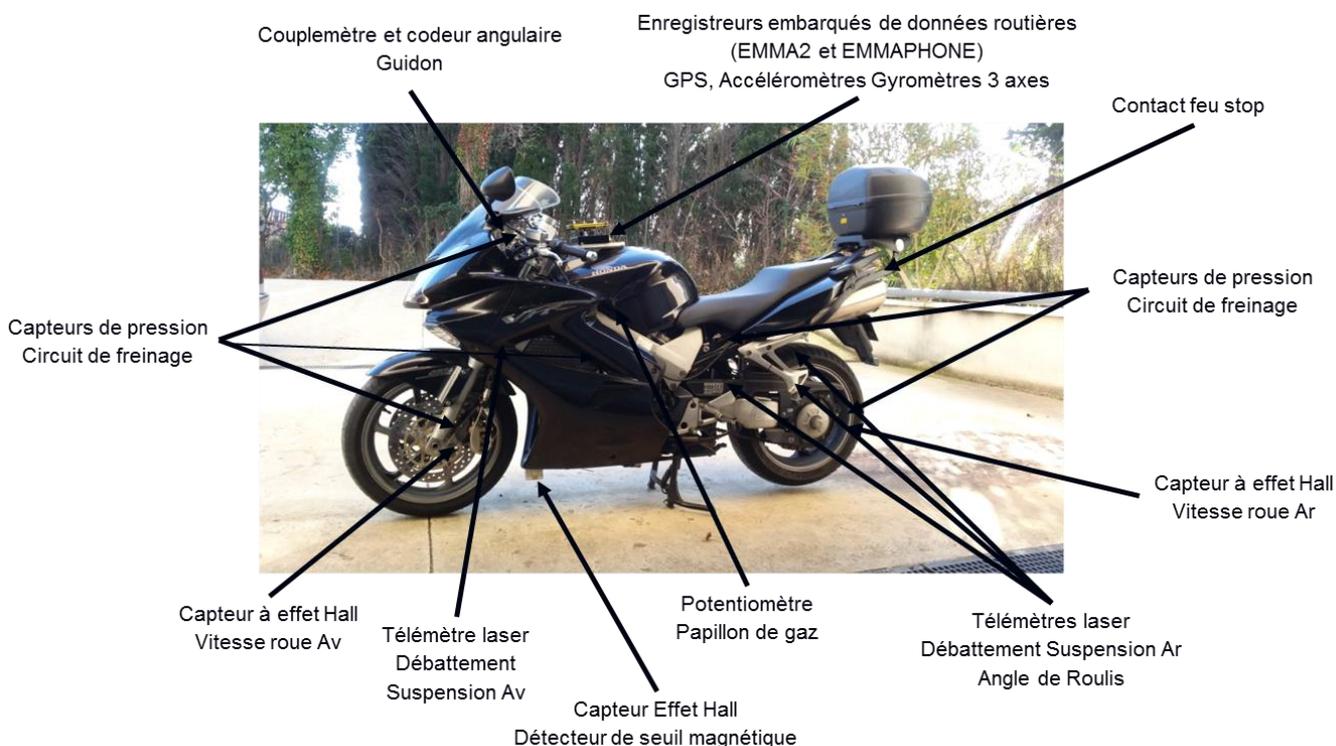


Figure 1 : Vue d'ensemble des différents capteurs qui équipent la moto

Toutes les données acquises sont listées dans le Tableau 1, ainsi que la technologie permettant leur acquisition et l'unité de mesure. Concernant les repères dans lesquels sont effectuées ces mesures, il faut rappeler ici que la centrale inertielle (3 accéléromètres et 3 gyromètres du smartphone) est fixée sur la moto et s'incline donc avec celle-ci lors du franchissement d'un virage ou de tout changement de direction. Ces mesures sont donc réalisées dans un repère lié au 2RM et non dans un repère terrestre. Si cela est sans conséquence pour les accélérations longitudinales et la vitesse de roulis, il n'en est pas de même pour la mesure de l'accélération transversale qui dans le repère 2RM est par principe nulle en manœuvre stabilisée, comme pour tout déplacement de véhicule monotrace. L'accélération transversale dans le repère terrestre, elle, n'est pas nulle. Elle dépend de la vitesse de la moto et du rayon de courbure de sa trajectoire, c'est elle qui sollicite transversalement les pneumatiques et qui peut, par dépassement des capacités d'adhérence du pneu sur la chaussée entraîner une perte de contrôle.

Tableau 1 : Paramètres mesurés sur la moto instrumentée

Paramètre mesuré	Technologie	Unité
Angle guidon	Capteur couple-angle	Deg
Couple guidon	Capteur couple-angle	N.m
Freinage	Tout ou Rien	O/N
Pressions de freinage	Capteurs de pression	bar
Accélérateur	Potentiomètre	0 à 100%
Angle d'inclinaison	Télémètres laser	Deg
Débattement de suspension Av	Télémètre laser	cm
Débattement de suspension Ar	Télémètre laser	cm
Vitesse roue Av	Capteur à effet Hall	Km/h
Vitesse Roue Ar	Gyromètre	Km/h
Vitesse	GPS	Km/h
Vitesse de Roulis	Gyromètre	Deg/s
Vitesse de Lacet	Gyromètre	Deg/s
Vitesse de Tangage	Gyromètre	Deg/s
Accélération longitudinale (X)	Accéléromètres	m/s ²
Accélération transversale (Y)	Accéléromètres	m/s ²
Accélération verticale (Z)	Accéléromètres	m/s ²

3. Présentation de la campagne d'essais

Une fois la moto instrumentée, une campagne d'essais a été réalisée. Le but de ces essais expérimentaux est d'acquérir des données propres à la dynamique du 2RM lors de fortes sollicitations. La notion de "fortes sollicitations" est toutefois subjective, le conducteur de la moto et les membres de l'équipe DYMOA du laboratoire LMA jugent pour chaque manœuvre réalisée, si celle-ci doit être considérée comme telle. Deux types d'essais ont été menés, des essais sur piste fermée et des essais sur route ouverte. Les essais sur piste ont pour but de réaliser des manœuvres d'urgences mais également des tours de circuit où la sollicitation du véhicule est importante. Les essais sur route ont pour objectif de caractériser d'un point de vue dynamique une situation de conduite normale.

Un protocole a été défini pour les différents types d'essais. Il est détaillé ci-après.

3.1. Essais sur piste

Des essais sur piste fermée ont été réalisés sur le circuit du Mistral qui est une piste de karting mais qui accepte également les 2RM (voir Figure 2). Il se situe à Eyguières, proche du laboratoire LMA de l'Ifsttar situé à Salon de Provence. Ces essais ont été réalisés sur une journée durant laquelle le circuit a été loué en exclusivité.

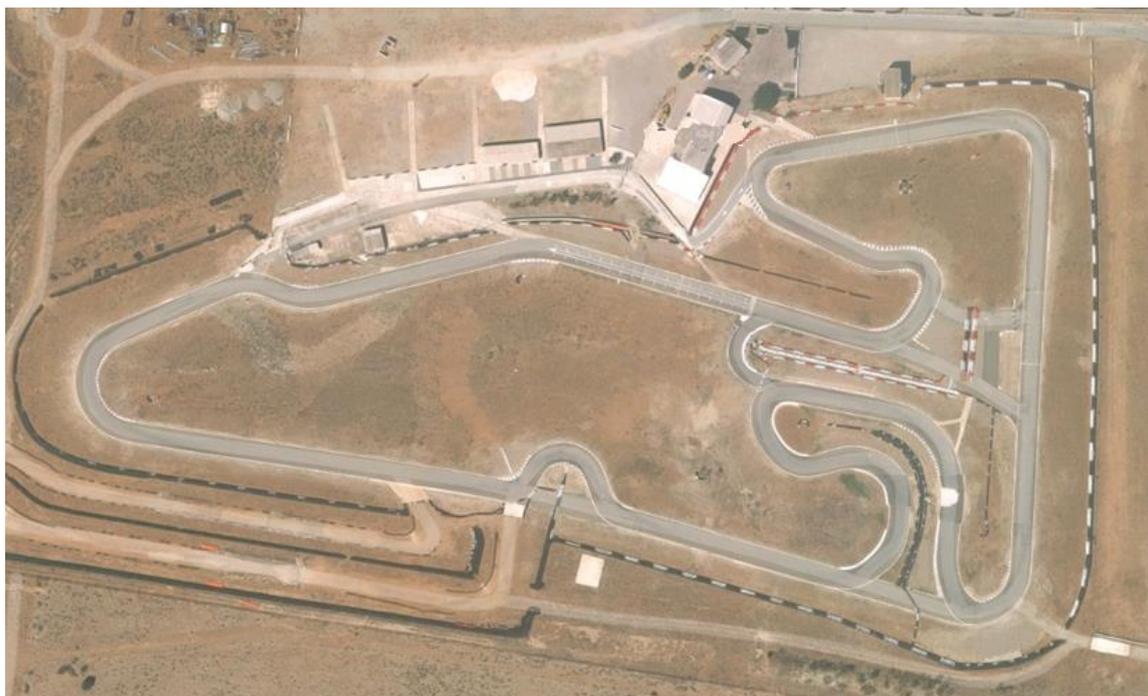


Figure 2 : Vue aérienne du circuit du Mistral (Salon de Provence – Eyguières)

Concernant l'évaluation des capacités dynamiques des 2RM, contrairement aux automobiles, il n'existe actuellement aucun parcours normalisé définissant des modalités d'essais expérimentaux. C'est pour cela que le choix a été fait de se baser sur les parcours à réaliser pour l'obtention du permis moto. Ce dernier a été revu en 2013 par une norme Européenne. Les tracés (parcours, distances normées) et vitesses de consigne pour les différentes manœuvres d'évitement et slalom sont décrits ci-après.

Deux campagnes d'essais supplémentaires ont été réalisées sur la piste moto école de Saint-Cannat, non loin des locaux du LMA de l'Ifsttar

a. Essais de freinage

Des essais de freinage ont été réalisés à des vitesses de consigne de 30, 50, 70 et 90 km/h. Le conducteur avait pour consigne d'arrêter le plus rapidement possible le véhicule en actionnant les deux freins. Compte tenu du tracé de la piste, il n'a pas été possible d'atteindre la vitesse de consigne de 90 km/h : les mesures réelles de vitesse ont montré une vitesse moyenne en début de freinage plus proche de 80 km/h que de 90, comme initialement souhaité. Pour certaines vitesses de consigne des essais supplémentaires ont été réalisés en utilisant uniquement le frein avant ou uniquement le frein arrière. Nous rappelons ici que notre moto expérimentale est équipée d'un système de freinage combiné avant/arrière et d'un antiblocage de roues. Ce système est appelé par Honda : ABS & Dual Combined Brake System. Des essais de freinage avec uniquement le frein moteur ont également été réalisés. On ne peut pas considérer ces derniers essais comme des manœuvres d'urgence associées au domaine des fortes sollicitations, mais ce sont des données intéressantes lorsque l'on s'intéresse à la dynamique de la moto et à la reconstruction d'accidents. Chaque essai a été réalisé à trois reprises. Au total, 27 essais de freinages ont été acquis. Un seuil magnétique était placé au point de déclenchement du freinage indiqué par le repère (A) sur la Figure 3. La Figure 4 présente une séquence de photos prises lors de la réalisation d'une de ces manœuvres de freinage.

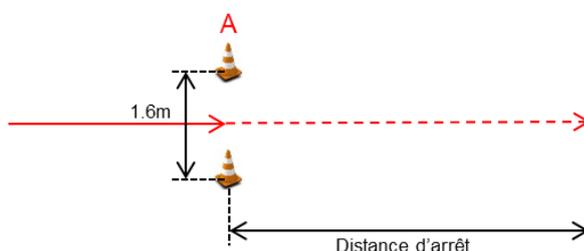


Figure 3 : Essais de freinage

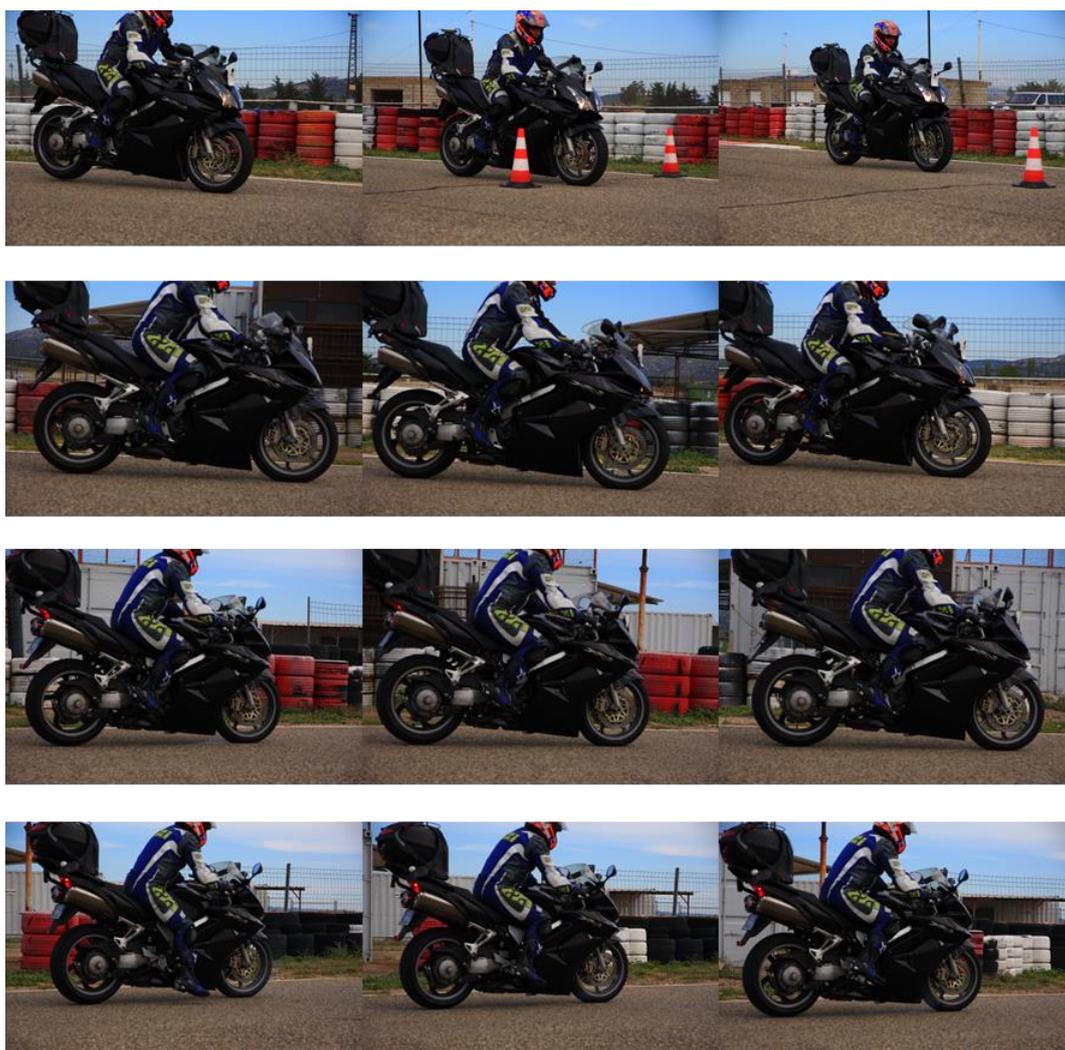


Figure 4 : Séquence photos, manœuvre de freinage

b. Manœuvre de slalom

Les slaloms ont été réalisés avec une entrée à gauche et à droite sur le modèle de l'examen européen du permis de conduire (voir Figure 5). La vitesse de consigne à l'examen est de 40 km/h en 3ème. Dans notre cas, les essais ont été réalisés avec des vitesses de consigne de 30 et 40 km/h ainsi qu'à la vitesse maximale jugée par le conducteur. Chaque passage aux différentes vitesses mentionnées ci-dessus a été répété trois fois. Des seuils magnétiques ont été placés sur le parcours, ils sont au nombre de deux, un en entrée de parcours (A) et l'autre en sortie (B) comme indiqué sur la Figure 5. Au total 18 passages ont donc été réalisés. La Figure 6 présente les images capturées en rafale lors des essais de slalom avec entrée à gauche.

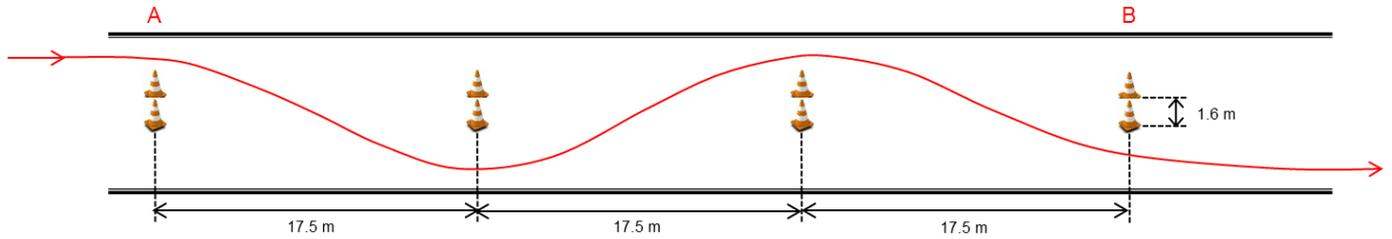


Figure 5 : Slalom avec entrée à gauche



Figure 6 : Séquence photos, Slalom avec entrée à gauche

c. *Manœuvre d'évitement*

Les évitements ont été réalisés avec une entrée à gauche et à droite, sur le modèle de l'examen européen du permis de conduire (voir Figure 7). La vitesse de consigne à l'examen est de 50 km/h en 3ème. Dans notre cas les essais ont été réalisés aux vitesses de 30 et 40 km/h et à la vitesse maximale jugée par le conducteur. Chaque passage aux différentes vitesses mentionnées ci-dessus a été répété 3 fois. Des seuils magnétiques ont été placés sur le parcours, ils sont au nombre de 2, un en entrée de parcours (A) et l'autre en sortie de parcours (B) comme indiqué sur la Figure 7. Au total 18 passages ont été réalisés. La Figure 8 montre les images capturées en rafale lors de la réalisation de cette manœuvre.

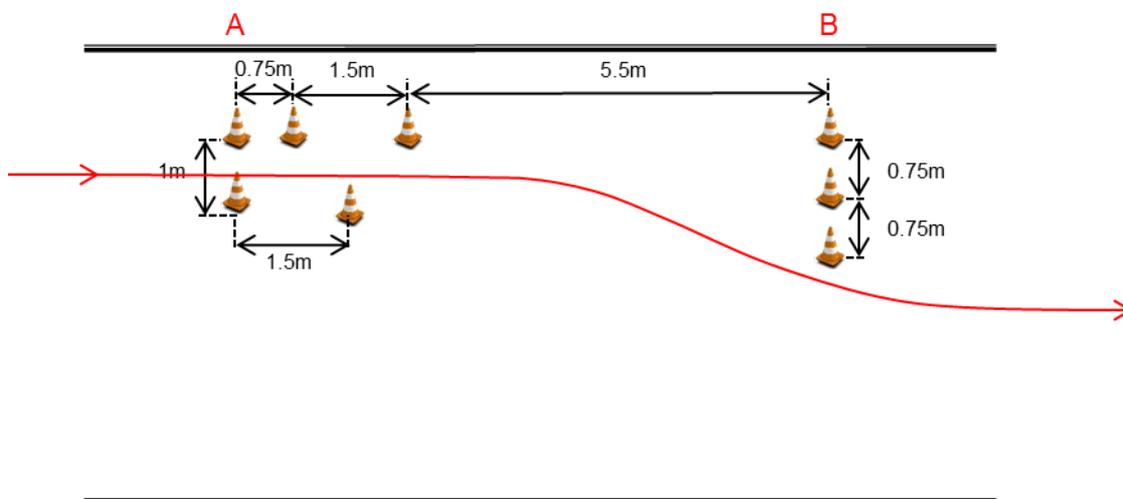


Figure 7 : Évitement à droite



Figure 8 : Séquence photos, évitement à droite

d. Essais de roulage "tours complets"

Des tours de piste ont été effectués à différents niveaux de sollicitations. Le conducteur avait pour consigne de réaliser trois tours consécutifs à une vitesse constante de 30 km/h, puis trois tours en "sollicitation modérée" tel qu'il est raisonnable de pratiquer sur la route et pour finir trois tours à un niveau de "sollicitation forte", c'est-à-dire jugé "maximal" par le conducteur sans tout de même prendre trop de risque. Le tracé du circuit est présenté sur la Figure 9. On notera ici que pour les essais à "vitesse constante à 30 km/h", seul un virage très serré présente une certaine difficulté et l'on s'approche alors du domaine des fortes sollicitations. Les essais à "Sollicitation modérée" ne sont pas censés dépasser les seuils à définir contrairement aux essais à "Sollicitation forte".

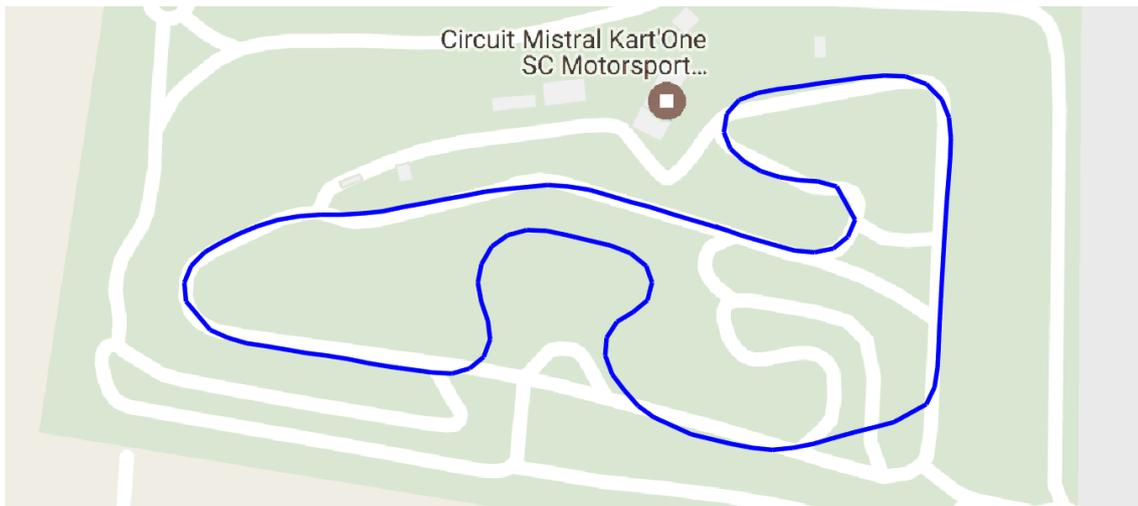


Figure 9 : Tracé du circuit d'Eyguières



Figure 10 : Essais de roulage

e. *Récapitulatif des essais sur piste*

Dans le Tableau 2, un récapitulatif de toutes les manœuvres sur piste est présenté. Un total de 72 essais a été réalisé.

Tableau 2 : Récapitulatif des essais réalisés sur piste

Manœuvre	Vitesse						Sollicitation modérée	Sollicitation forte
	30 km/h	40 km/h	Vmax	50 km/h	70 km/h	90 km/h		
Slalom	G&D 3 fois	G&D 3 fois	G&D 3 fois					
Évitement	G&D 3 fois	G&D 3 fois	G&D 3 fois					
Freinage	Av & Ar 3 fois			Av & Ar	Av & Ar	Av & Ar		
				Av	Av	Av		
				Ar	Ar	Ar		
				3 fois	3 fois	3 fois		
Frein moteur				3 fois				
Roulage Tours complets	3 tours						3 tours	3 tours
G : entrée à gauche			Av : le conducteur actionne le frein avant					
D : entrée à droite			Ar : le conducteur actionne le frein arrière					
3 fois : chaque manœuvre est répétée 3 fois			Av & Ar : le conducteur actionne le frein avant et arrière					

3.2. Essais sur route ouverte

Des essais sur route ouverte ont aussi été menés (environ 80 kilomètres). Le conducteur avait pour consigne de rouler normalement en respectant le code de la route. A priori, aucun seuil ne doit être atteint dans ces conditions de circulation "normales". Plusieurs parcours ont été enregistrés, ils étaient composés d'un mélange de milieu urbain et péri-urbain comme l'indique la Figure 11.



Figure 11 : Trace GPS de quelques essais sur route

4. Exploitation des résultats

Rappel : dans le cadre du projet S_VRAI (Sauver des Vies par le Retour d'Analyse sur Incidents) qui concernait uniquement les véhicules à quatre roues. Les seuils de détection d'incidents étaient définis à partir de trois combinaisons différentes :

$||\text{AccX} + \text{AccY}|| > 0.6 \text{ g}$ ET Vitesse $< 80 \text{ km/h}$ ET $||\text{JerkX} + \text{JerkY}|| > 2 \text{ g/s}$

ou

$||\text{AccX} + \text{AccY}|| > 0.5 \text{ g}$ ET $80 \text{ km/h} < \text{Vitesse} < 0 \text{ km/h}$ ET $||\text{JerkX} + \text{JerkY}|| > 2 \text{ g/s}$

ou

$||\text{AccX} + \text{AccY}|| > 0.4 \text{ g}$ ET Vitesse $> 100 \text{ km/h}$ ET $||\text{JerkX} + \text{JerkY}|| > 2 \text{ g/s}$

Dans le cadre du projet DYMOA, le but est ici de recueillir des informations sur la dynamique du 2RM lors d'incidents ou de situations accidentogènes, c'est à dire lorsque le véhicule est fortement sollicité. Les campagnes d'essais réalisées et décrites précédemment ont donc été exploitées spécifiquement afin de pouvoir définir ces seuils. Le dépassement de ces seuils permettra de déclencher une acquisition spécifique et le stockage des mesures. Une réflexion a donc été menée en fonction du type de manœuvre. En sollicitations longitudinales, la solution est assez simple. En effet lors d'un freinage brutal, l'accélération longitudinale varie fortement dans le même ordre de grandeur que ce que nous observons pour les 4RM. En revanche, en sollicitations transversales, le problème est plus complexe. L'accélération transversale dans un repère terrestre n'est pas directement mesurable il faut donc baser notre détection sur d'autres grandeurs physiques acquises. Afin de détecter une perte de contrôle par exemple, il pourrait être intéressant de détecter la brutalité avec laquelle l'angle d'inclinaison varie. Le choix a donc été d'observer la vitesse de roulis et l'accélération de roulis.

4.1. Sollicitations longitudinales

Nous rappelons ici que notre moto expérimentale est équipée d'un système de freinage combiné avant/arrière et d'un antiblocage de roues (Système Honda ABS & Dual Combined Brake System). De ce fait la réalisation de ces manœuvres de freinage d'intensité maximale est grandement facilitée et l'influence du conducteur relativement réduite.

La Figure 12 présente pour les quatre vitesses d'approche (30, 50, 70 et 90 km/h) l'évolution de l'accélération longitudinale instantanée en fonction du temps. Seuls les deuxièmes essais, sur les trois réalisés systématiquement sont représentés. Le conducteur a pour consigne d'arrêter le plus promptement possible la moto en utilisant conjointement les freins avant et arrière. L'ABS entre en action pour tous ces freinages.

Le début du freinage est déterminé par le signal d'allumage des feux stop et la fin de la manœuvre correspond au moment où l'accélération longitudinale redevient positive. Les valeurs de décélérations moyennes sont comprises entre -7 et -8 m/s² quelle que soit la vitesse de début de manœuvre. Les valeurs maximales instantanées sont comprises entre -12 et -14 m/s².

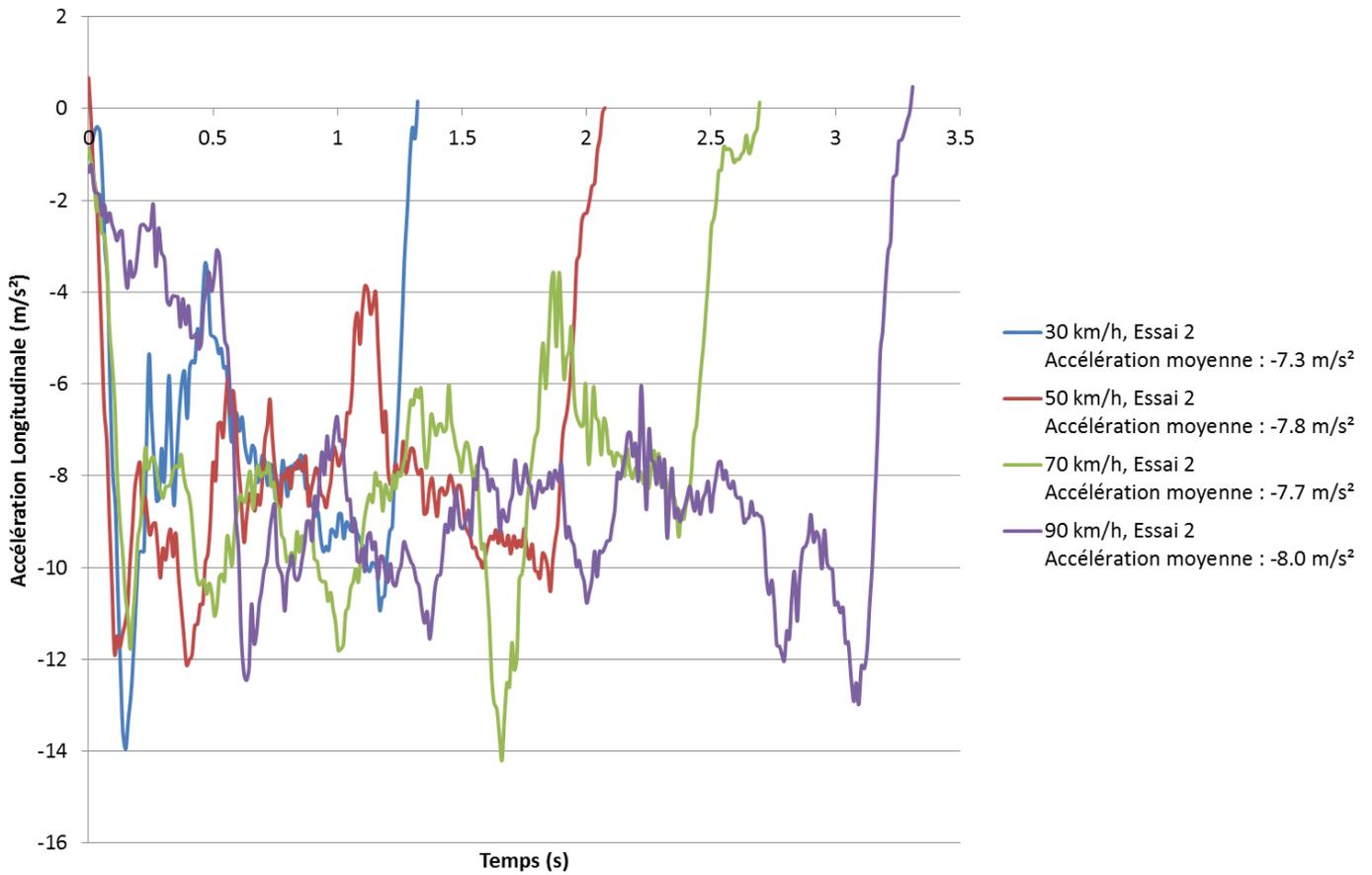


Figure 12 : Variation de l'accélération longitudinale pour des freinages d'intensité maximale (Utilisation des freins Avant et Arrière)

Le Tableau 3 présente pour chaque vitesse de consigne (30, 50, 70 et 90 km/h), la vitesse effective et l'accélération longitudinale moyenne. Une moyenne des 3 essais est également présentée. Les vitesses de consigne sont globalement respectées pour les valeurs de 30, 50 et 70 km/h. Pour les essais à 90 km/h compte tenu du tracé de la piste, il n'a pas été possible d'atteindre cette vitesse. Les mesures réelles montrent une vitesse en début de freinage de 82 km/h en moyenne, plus proche de 80 km/h que de 90, comme initialement souhaité. Les décélérations moyennes sont comprises entre -7.6 et -7.9 m/s² quelle que soit la vitesse en début de freinage.

Tableau 3 : Accélérations longitudinales moyennes
Récapitulatif des essais réalisés sur piste pour différentes vitesses d'approche
Freinages d'intensité maximale (Utilisation des freins Avant et Arrière)

Frein Avant et Arrière		
	V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)
Vitesse de consigne 30 km/h		
Essai 1	28	-7.7
Essai 2	30	-7.3
Essai 3	30	-8.3
Moyenne	29	-7.8

Vitesse de consigne 50 km/h		
Essai 1	49	-6.9
Essai 2	51	-7.8
Essai 3	46	-8.0
Moyenne	49	-7.6

Vitesse de consigne 70 km/h		
Essai 1	68	-8.0
Essai 2	66	-7.7
Essai 3	69	-7.4
Moyenne	68	-7.7

Vitesse de consigne 90 km/h		
Essai 1	86	-6.7
Essai 2	82	-8.0
Essai 3	78	-8.9
Moyenne	82	-7.9

Différents essais de freinage ont également été réalisés en utilisant uniquement le frein avant, uniquement le frein arrière puis simplement le frein moteur. Les données issues de ces derniers essais de freinage caractérisent les effets du système de freinage combiné DualCBS qui équipe notre moto instrumentée. Ils ne sont pas transposables à une autre moto. Les données de ralentissement au frein moteur (essais réalisés sur le 2^{ème} rapport de boîte de vitesse) sont présentées à titre indicatif seulement. La Figure 13 illustre l'évolution temporelle des accélérations longitudinales instantanées et le Tableau 4 présentent leurs valeurs moyennes,

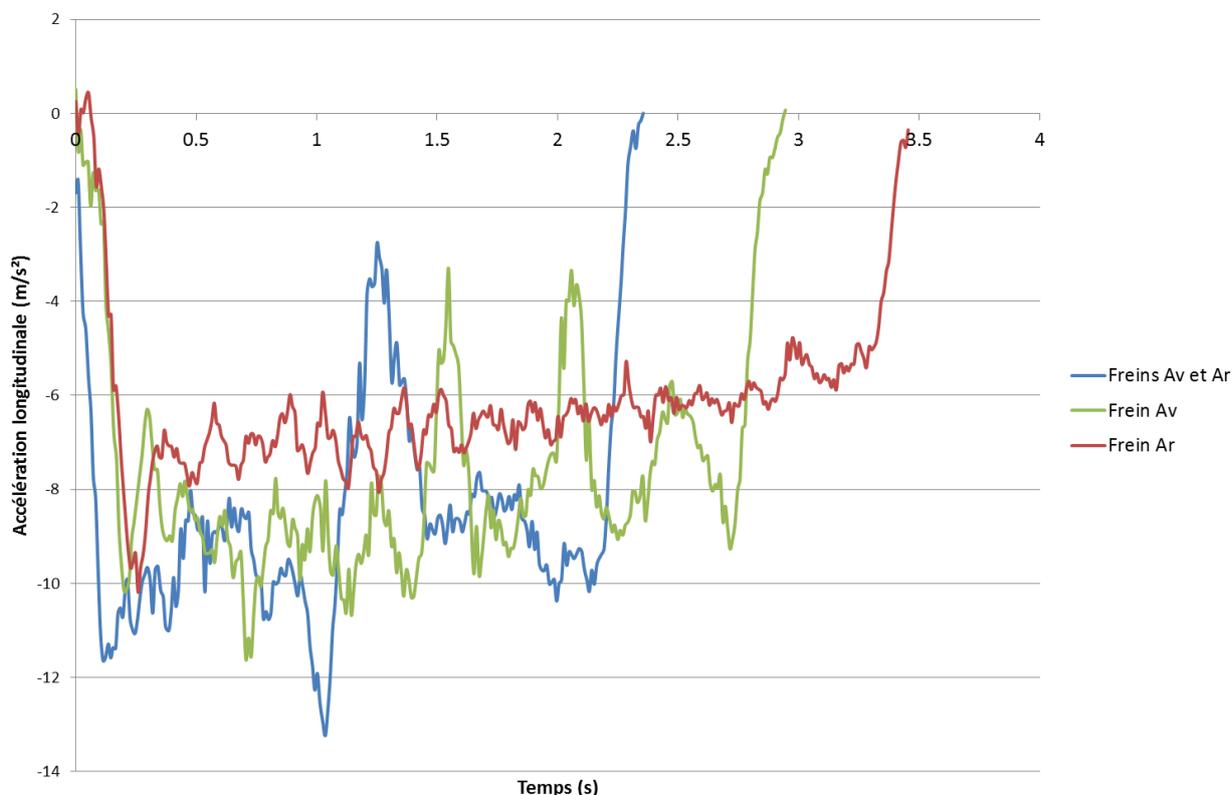


Figure 13 : Variation de l'accélération longitudinale en fonction du temps pour différents freinages réalisés à une vitesse initiale de 70km/h (Intensité maximale, mais utilisation des freins : Av et Ar, Av seulement et Ar seulement)

Tableau 4 : Accélérations longitudinales moyennes
Récapitulatif des essais réalisés sur piste pour différentes vitesses d'approche
Freinages d'intensité maximale
(Utilisation des freins Avant seulement, Arrière seulement et Frein moteur uniquement)

Frein Avant			Frein Arrière			Frein Moteur		
	V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)		V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)		V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)
Vitesse de consigne 30 km/h			Vitesse de consigne 30 km/h			Vitesse de consigne 30 km/h		
Essai 1			Essai 1			Essai 1		
Essai 2			Essai 2			Essai 2		
Essai 3			Essai 3			Essai 3		
Moyenne			Moyenne			Moyenne		
Vitesse de consigne 50 km/h			Vitesse de consigne 50 km/h			Vitesse de consigne 50 km/h		
Essai 1	53	-7.5	Essai 1	51	-5.7	Essai 1		
Essai 2	44	-7.1	Essai 2	52	-5.7	Essai 2		
Essai 3	51	-6.8	Essai 3	49	-5.8	Essai 3		
Moyenne	49	-7.1	Moyenne	51	-5.7	Moyenne		
Vitesse de consigne 70 km/h			Vitesse de consigne 70 km/h			Vitesse de consigne 70 km/h		
Essai 1	69	-6.9	Essai 1	71	-5.7	Essai 1	66	-1.4
Essai 2	63	-7.3	Essai 2	69	-5.9	Essai 2	65	-1.5
Essai 3	69	-7.3	Essai 3	71	-5.6	Essai 3	68	-1.6
Moyenne	67	-7.2	Moyenne	71	-5.7	Moyenne	66	-1.5
Vitesse de consigne 90 km/h			Vitesse de consigne 90 km/h			Vitesse de consigne 90 km/h		
Essai 1			Essai 1	78	-5.7	Essai 1		
Essai 2			Essai 2	83	-5.4	Essai 2		
Essai 3			Essai 3	82	-5.4	Essai 3		
Moyenne			Moyenne	81	-5.5	Moyenne		

En conclusion, l'observation des résultats, d'une part de ces essais de freinage maximal sur piste, d'autre part des roulages sur route, nous a conduit à adopter pour la détection d'incidents en sollicitation longitudinale, une valeur d'accélération longitudinale seuil comparable, ou du moins compatible, avec celle utilisée pour les 4RM dans le projet S_VRAI. Une limite à 6m/s² nous paraît cohérente avec les ordres de grandeur observés lors de ces différents essais sur piste comme sur route.

Toutefois, pour éviter des déclenchements intempestifs survenus à faibles vitesses, tant en accélération (positive) qu'en freinage (accélération négative), nous avons décidé de rajouter une condition sur la vitesse : $V > 10$ km/h. De plus, contrairement aux voitures ordinaires, les capacités d'accélération des 2RM peuvent parfois leur permettre de dépasser les 6 m/s² dans des gammes de vitesse supérieures à 10 km/h, sans que cela soit le signe de la survenue d'un incident. Pour ces raisons, nous avons décidé de ne considérer que les accélérations en freinage c'est-à-dire négatives.

Le critère retenu pour la détection d'incident en sollicitation longitudinale est donc :
 Accélération Longitudinale < -6 m/s² et $V > 10$ km/h

4.2. Sollicitations transversales

Certains critères de détection utilisés dans le projet S-VRAI, comme le Jerk (la variation de l'accélération) par exemple, n'ont pas été retenus car ils ne sont pas adaptés à la moto. En effet, le Jerk permet de traduire la soudaineté, la brutalité d'une manœuvre notamment en sollicitation transversale (le Jerk est la dérivée de l'accélération). Par principe, pour changer de direction, le conducteur d'une moto incline celle-ci vers l'intérieur du virage pour maintenir l'équilibre entre la force de gravité, la force centrifuge et la réaction du sol. L'accélération transversale mesurée par notre EMMAPHONE dans le repère embarqué, comme celle ressentie par le conducteur, est donc "nulle". L'accélération transversale dans le repère terrestre est malheureusement difficilement mesurable. Compte tenu des grandeurs physiques disponibles, soit directement mesurées par notre EMMAPHONE, soit facilement calculables, nous avons identifié les paramètres les plus pertinents pour caractériser d'un point de vue dynamique un incident, un événement imprévu, une sollicitation soudaine.

La Figure 14 présente en fonction du temps l'évolution des trois vitesses de rotation lors de la réalisation d'un essai de Slalom à vitesse maximale. La Figure 15 présente les mêmes données pour la manœuvre d'Évitement correspondante. On peut constater que la vitesse de roulis est la grandeur physique la plus sensible et donc la plus pertinente. En deuxième lieu, on trouve la vitesse de lacet. Mais la mesure de celle-ci est influencée par l'inclinaison de la moto vers l'intérieur de la trajectoire, contrairement à la mesure de la vitesse de roulis qui elle reste juste.

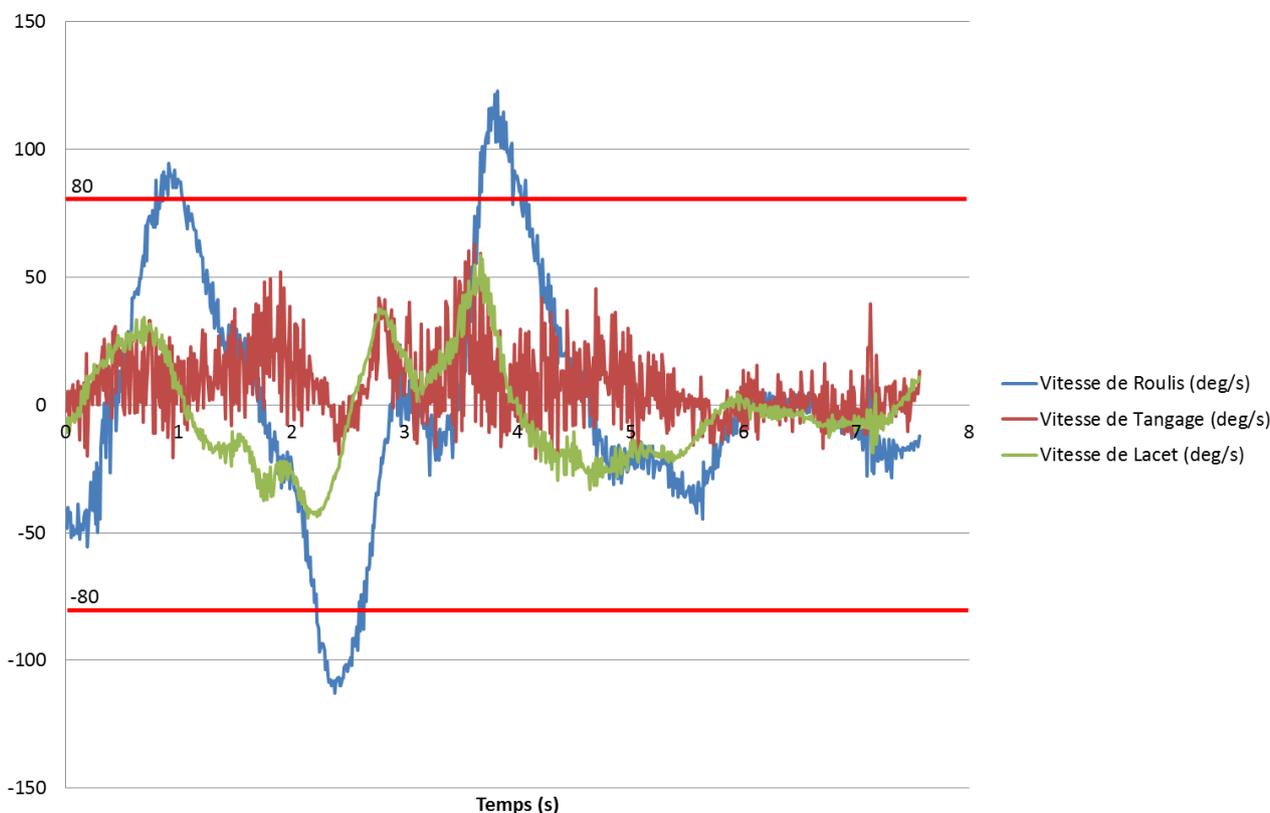


Figure 14 : Slalom – 3^{ème} Essai à Vitesse Maximale, Entrée à Gauche
Évolution des 3 vitesses de rotation en fonction du temps



**Figure 15 : Évitement vers la Gauche – 3^{ème} Essai à Vitesse Maximale
Évolution des 3 vitesses de rotation en fonction du temps**

La variation de l'angle de roulis (vitesse de roulis mesurée directement) semble être, en sollicitation transversale, l'indicateur le plus pertinent pour détecter une manœuvre en sollicitation transversale soudaine.

De même l'évolution dans le temps de la vitesse de roulis, c'est-à-dire l'accélération de roulis (calculée par dérivation) peut être caractéristique d'une sollicitation fortement transitoire de type début de "perte d'adhérence" ou de "contrôle".

Une réflexion a ensuite été menée entre les différentes personnes ayant mené à bien cette expérimentation et le conducteur de la moto. L'objectif était de définir quelles situations pouvaient être apparentées à des manœuvres d'urgence.

Lors des essais de Slalom et d'Évitement à 30 km/h, des Tours de circuit à "30 km/h constant" ¹ et "sollicitation modérée", et des Essais sur route, le conducteur n'a pas eu la sensation de réaliser de manœuvre ni fortement sollicitante, ni à la limite du contrôle. Nous avons donc défini nos seuils de manière à ce qu'il n'y ait pas de déclenchement au cours de ces manœuvres.

Pour ce qui est du Slalom à 40 km/h et des Tours de circuit à sollicitation modérée, le conducteur a jugé que les niveaux de sollicitation atteints pouvaient être considérés comme parfois "engageants" mais souvent "assimilables" à ceux de sollicitations recherchées. Nous avons donc défini nos seuils de manière à ce qu'ils se situent juste au-delà ou au niveau des valeurs maximales atteintes lors de ces essais.

¹ On notera que pour les Tours de circuit à "30 km/h constant", seul un virage particulièrement serré présente une certaine difficulté où l'on s'approche alors du domaine des fortes sollicitations.

En revanche pour le Slalom à Vitesse maximale, les Évitement à 40 km/h et à Vitesse maximale, ou les Tours de circuit à "sollicitation forte", le conducteur a jugé que les manœuvres étaient très sollicitantes et qu'on ne les rencontre que très rarement en conduite sur route en dehors de la réalisation d'une manœuvre imprévue et non souhaitée. Les seuils choisis devront donc être dépassés par les mesures enregistrées lors de la réalisation de ces essais

Les valeurs maximales des grandeurs physiques mesurées ou calculées, identifiées précédemment comme pertinentes, sont présentées dans le Tableau 5 pour les différents essais sur piste et sur route.

Tableau 5 : Valeurs maximales de l'accélération longitudinale, de la vitesse de roulis et de l'accélération de roulis pour des manœuvres de slalom, évitement et tour de circuit à différentes vitesses

	Slalom			Évitement			Tours de circuit			Conduite sur route
	30 km/h	40 km/h	Vmax	30 km/h	40 km/h	Vmax	Vitesse constante 30 km/h	Sollicitation modéré	Sollicitation forte	Sollicitation normale
Accélération longitudinale (m/s ²)	1.5	2.5	2.5	3	2.5	3	2.5	5	8	4
Vitesse de roulis (°/s)	75	100	120	80	100	110	70	60	85	40
Accélération de roulis (°/s ²)	250	500	450	400	500	550	150	150	420	100

Finalement, à l'issue de l'analyse des différents enregistrements réalisés, et selon la méthode décrite précédemment, les seuils de déclenchement ont été prédéfinis comme suit :

- Accélération longitudinale < -6 m/s² et V > 10 km/h
- Vitesse de roulis < -80°/s ou > 80°/s
- Accélération de roulis < -300°/s² ou > 300°/s²

Les figures en pages suivantes présentent pour chaque type d'essais les enregistrements de ces variables (Accélération longitudinale, Vitesse de roulis et Accélération de roulis) et le positionnement des seuils ainsi définis :

- Manœuvre de Slalom à 30 km/h, 40 km/h et VMax (Figure 16)
- Manœuvre d'Évitement à 30 km/h, 40 km/h et VMax (Figure 17)
- Tours de circuit (3 tours pour chaque consigne) à Vitesse constante 30 km/h, Sollicitation modérée et Sollicitation forte (Figure 18)
- Essais sur route en Conduite normale, extrait des 80 km (Figure 19)

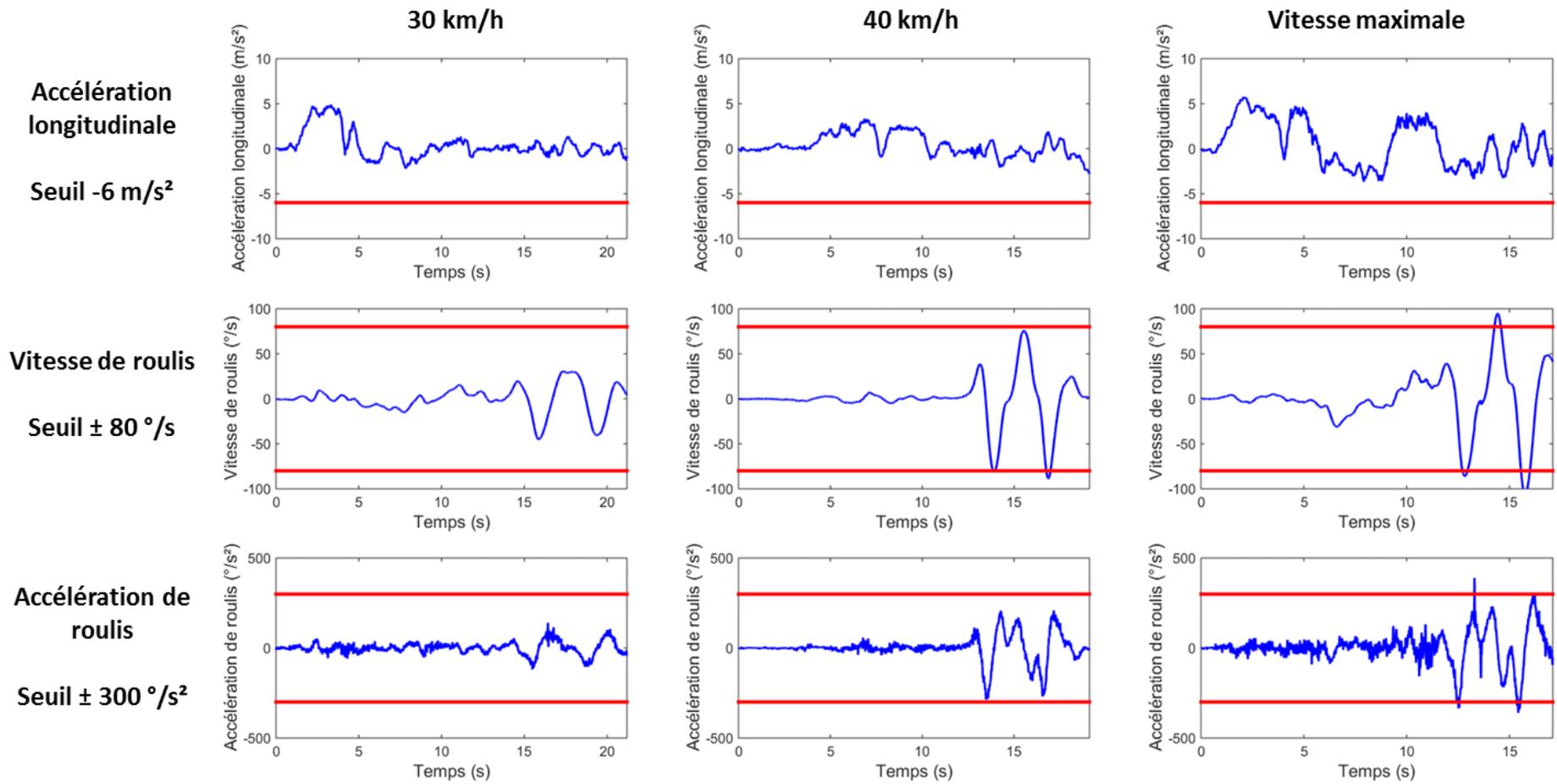


Figure 16 : Slalom (un essai par vitesse de consigne)

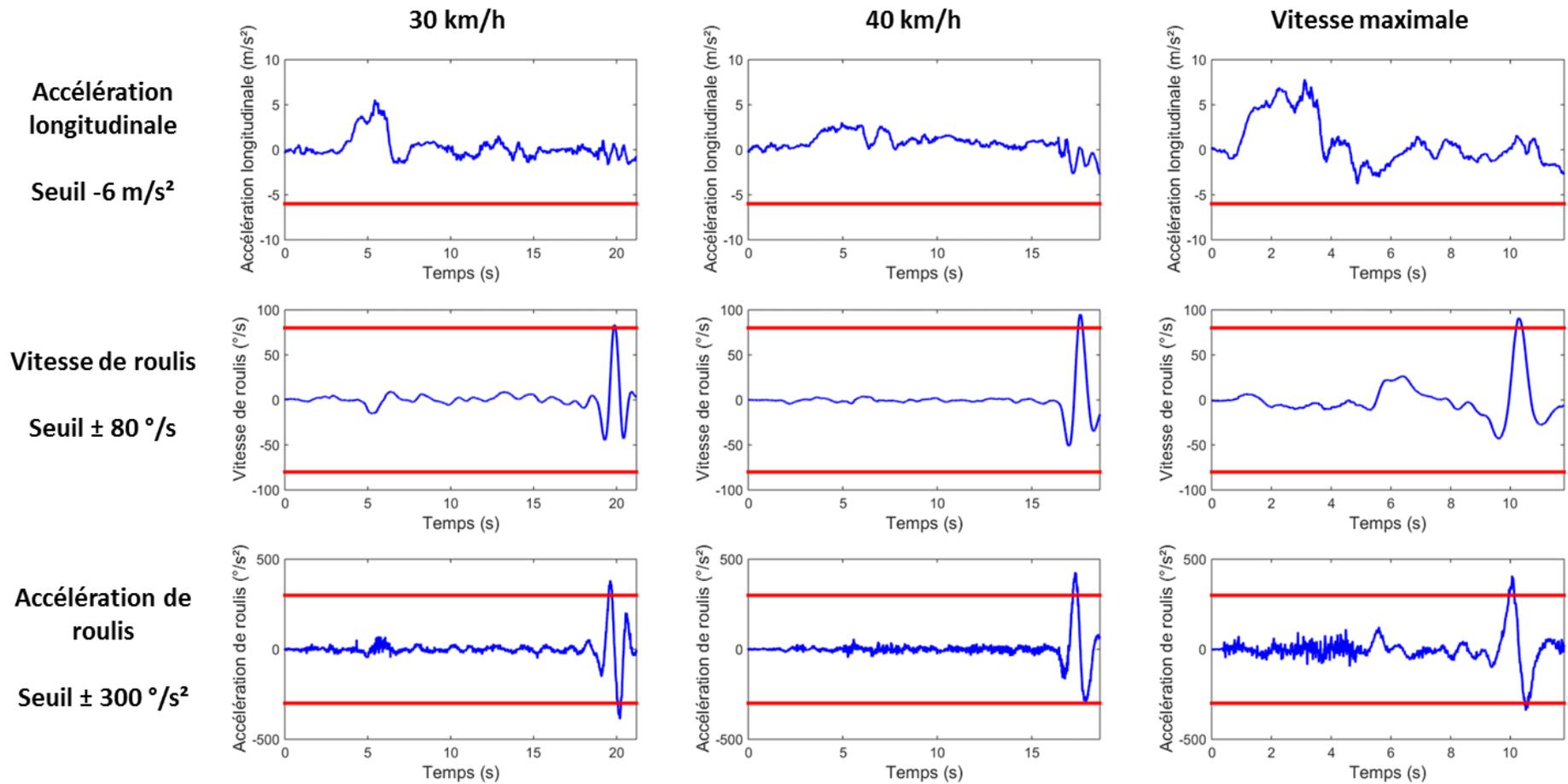


Figure 17 : Évitement (un essai par vitesse de consigne)

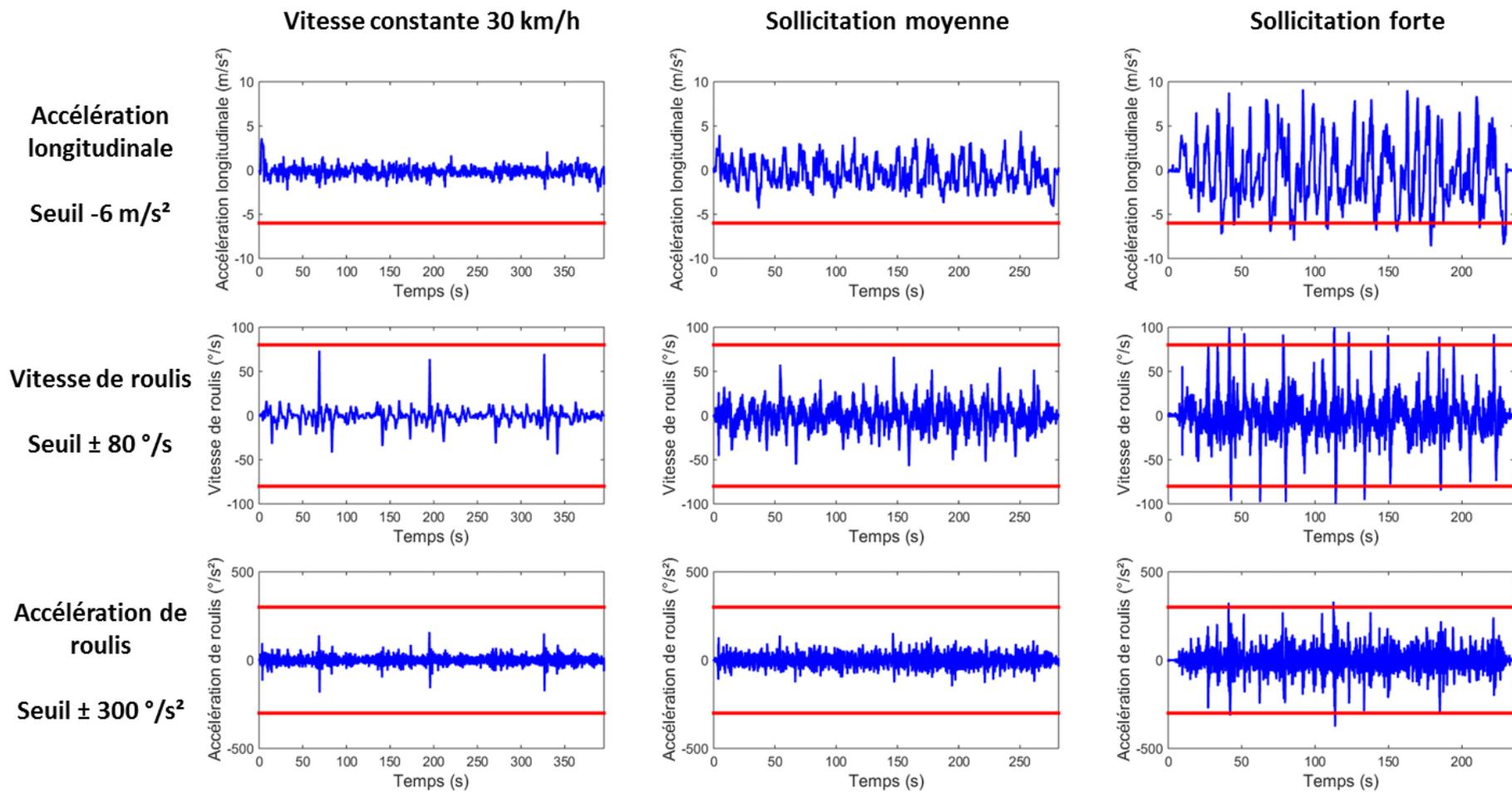


Figure 18 : Tours de circuit (3 tours par type de consigne)

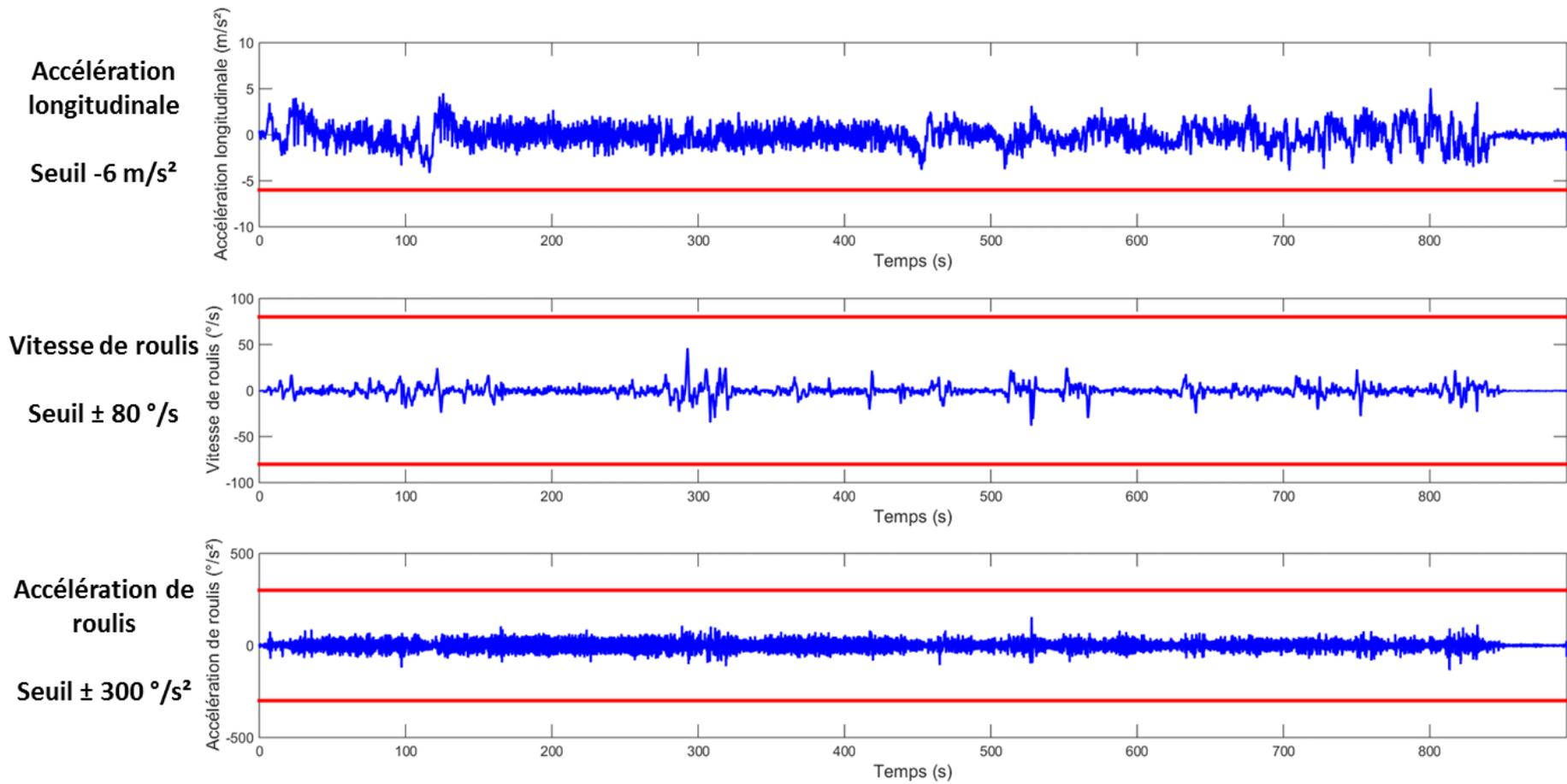


Figure 19 Roulage sur route ouverte en conduite "normale" (extrait des 80 km)

Finalement, à l'issue de cette phase d'analyse, et dans le but de ne pas rater d'incidents, nous avons décidé de ne pas considérer uniquement la vitesse et l'accélération de roulis mais d'appliquer les critères initiaux (80 /s et 300 /s²) sur la rotation totale de la moto (somme vectorielle des trois vecteurs rotations de roulis, de lacet et de tangage). Tant que la moto est "contrôlée" par son conducteur, nous avons vu précédemment que la vitesse de roulis est la grandeur physique prépondérante et c'est elle qui va influencer le plus la norme du vecteur Vitesse de rotation. C'est donc quasiment toujours la vitesse de roulis que nous observons principalement. En virage stabilisé, la vitesse et l'accélération de roulis sont "nulles" ou presque. La mesure de la vitesse de lacet devient alors prépondérante. Si la moto est très inclinée, les mesures sont influencées : la mesure de la vitesse de tangage mesurera une partie de la vitesse de lacet et vice versa... Ainsi, en appliquant nos seuils sur la norme du vecteur Vitesse de rotation totale et celle du vecteur Accélération de rotation totale, nous pouvons alors espérer détecter des pertes d'adhérence voire des chutes. Et ceci est encore plus vrai si la moto est couchée en glissade.

5. Discussion et conclusion

Le CEREMA a également réalisé des essais avec une moto instrumentée (MACC, Moto d'Analyse du Comportement du Conducteur) sur des virages à faible et grand rayon ainsi que sur des giratoires²³. Sur l'ensemble des essais aucune situation d'urgences n'était à signaler. Les critères cités précédemment ont été appliqués aux résultats de ces essais, et aucune situation d'incident n'a été détectée, ce qui correspond bien à nos attentes.

L'objectif de cette tâche était d'identifier les paramètres dynamiques d'un 2RM et leurs valeurs seuils permettant de détecter un incident. Il apparaît que certaines situations à risques semblent difficiles à identifier par le biais de grandeurs physiques simples. Les pertes de contrôle en glissade font par exemple partie de cette catégorie car elles associent en fonction de l'infrastructure (courbure, adhérence et état de la chaussée...) plusieurs paramètres dynamiques tels que la vitesse, l'accélération transversale, l'angle de roulis. De plus, le choix des commandes fait par le conducteur et la manière d'exécuter celles-ci, progressivement, soudainement, brutalement, sur le guidon (couple, angle), sur l'accélérateur et/ou les freins sont également très influents.

Les capteurs propres à notre EMMAPHONE (accéléromètres, gyromètres) permettent de détecter facilement certaines situations incidentogènes comme des freinages d'urgences par exemple (décélération longitudinale importante). Par contre les difficultés rencontrées pour évaluer l'accélération transversale réelle (dans un repère terrestre), comme on peut le faire simplement sur une automobile (qui ne s'incline pas vers l'intérieur de la trajectoire contrairement aux véhicules à deux roues), rendent la détection des situations critiques en sollicitations transversales bien plus délicate. La détection d'une perte de contrôle en glissade nécessiterait vraisemblablement de disposer de capteurs additionnels : angle de roulis, accélération transversale dans un repère terrestre via une plateforme gyroscopique. Pour pallier ce manque de données, nous avons réalisé avec notre moto spécifiquement instrumentée (Système d'acquisition dédié et EMMAPHONE) des campagnes d'essais sur pistes et sur route. L'analyse des résultats montre que la variation de l'angle de roulis (vitesse de roulis mesurée directement sur l'EMMAPHONE) semble être, en sollicitation transversale, l'indicateur le plus pertinent pour détecter une manœuvre en sollicitation

² Cerema, "Freinage d'urgence motos vs voitures particulières Essais sur piste." 2016.

³ P. Subirats, "Cinématique des 2RM sur les carrefours giratoires." CEREMA, 2011

transversale soudaine. De même l'évolution dans le temps de la vitesse de roulis, c'est-à-dire l'accélération de roulis (simplement calculée par dérivation) peut être caractéristique d'une sollicitation fortement transitoire de type début de "perte d'adhérence" ou de "contrôle".

Au final, pour un 2RM les critères de détection d'un incident, d'une situation critique ou d'un niveau de sollicitation dynamique anormalement élevé ont été définis comme suit :

- Vitesse longitudinale supérieure à 10 km/h et Accélération Longitudinale, en freinage uniquement, inférieure à -6m/s^2 .
- ou
- Norme du vecteur Vitesse de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) supérieure à $80\text{ }^\circ/\text{s}$
- ou
- Norme du vecteur Accélération de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) supérieure à $300^\circ/\text{s}^2$.

Pour les voitures les critères de détection d'un incident, d'une situation critique ou d'un niveau de sollicitation dynamique anormalement élevé ont été définis comme suit :

- Vitesse longitudinale supérieure à 10 km/h et Norme du vecteur Accélération (Longitudinale + Transversale) supérieur à 6m/s^2 .

Ces critères ont été choisis de manière à ce qu'ils soient à la fois cohérents avec ceux choisis pour les 2RM et compatibles avec ceux du projet antérieur S_VRAI.

Le choix de n'enregistrer des données d'acquisition détaillées que lors de situations critiques présente l'avantage de ne pas accumuler d'immenses quantités de données et ainsi faciliter l'exploitation des résultats. Les choix des variables et des seuils retenus pour ce projet semblent bien adaptés pour l'observation de l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM et des styles de conduite (entre 2RM, entre 2RM et 4RM pour certaines grandeurs physiques uniquement). En revanche ils s'avèrent moins efficaces pour détecter les incidents "réels" puisque beaucoup trop de faux positifs ont été enregistrés. De plus, des faux négatifs nous ont certainement échappé.

Pour mieux calibrer ces seuils, les nombreux essais réalisés avec notre moto instrumentée (routière-sportive) auraient pu être dupliqués avec d'autres types de motos : sportives, trails... De même, plusieurs conducteurs, auraient pu réaliser ces essais afin d'élargir la portée de leurs résultats.

Des améliorations futures devraient permettre de mieux caractériser les variations de sollicitations, signes d'un effet de surprise, et annonceurs de la présence d'une situation non souhaitée plus proche de la définition d'un incident. Pour cela il serait probablement pertinent de combiner les variables et/ou de rajouter des notions de durée de dépassement de seuil.