



+

Diagnostic d'Infrastructures et Dynamique du Véhicule pour les Motos et les Autos

Livrable L5

Nouveaux critères dynamiques de détection d'incidents pour les 2RM et analyse de l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM

N° Livrable	L5	N° workpackage	WP5
Statut	Version finale		
Date	28/07/2022		
Responsable du document	Christophe Perrin, Université Gustave Eiffel christophe.perrin@univ-eiffel.fr		
Auteurs principaux	Christophe Perrin, Université Gustave Eiffel Claire Naude, Université Gustave Eiffel Sélim Cheaibi Université Gustave Eiffel		
Contributeur(s)	Jean-Yves Fournier, Université Gustave Eiffel Thierry Serre, Université Gustave Eiffel		
Validation	Thierry Serre		
Enregistrement	DYMOA_Plus_L5_CN_CP_SC_VF.docx		

Résumé

L'objectif de la première partie de ce Work Package n°5 (WP5) est d'améliorer les critères de détection d'un incident pour un 2RM définis et utilisés dans le projet antérieur DYMOA [1]. Les choix des variables et des seuils retenus pour ces critères semblent bien adaptés pour recueillir des événements utiles pour le diagnostic d'infrastructure. En revanche ces critères s'avèrent moins efficaces pour différencier ces événements d'incidents et surtout pour détecter les incidents "réels". Beaucoup trop de faux positifs sont enregistrés et de plus, des faux négatifs nous échappent certainement. Le but de ces travaux est donc d'améliorer ces critères ou d'en identifier de nouveaux, permettant si possible, de détecter des incidents "réels" et de les discerner des "fortes sollicitations". Pour cela il est probablement pertinent de combiner les variables et/ou de rajouter des notions de durée de dépassement de seuil. Une attention particulière est portée sur 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. Nous avons employé des méthodes utilisant des algorithmes d'apprentissage supervisé appliqués sur des jeux de données du projet DYMOA et d'autres données complémentaires acquises dans le cadre de ce projet DYMOA+. Ces méthodes donnent des résultats prometteurs qui restent à approfondir.

La deuxième partie de ce WP5 présente l'exploitation complémentaire de données recueillies à la toute fin du projet DYMOA. Les données de conduite naturaliste de l'expérimentation DYMOA, acquises pendant une période de 18 mois avec 26 motos privées dans trois régions de France, ont été exploitées pour évaluer les niveaux de sollicitations réelles des 2RM. Il s'agissait plus particulièrement de données agrégées fournies pour l'ensemble des trajets, appelées « synthèses de parcours » et croisant les données accélérométriques et gyrométriques ainsi que les niveaux de vitesses. Cette étude vient compléter les résultats du livrable 3.3 de DYMOA [2], qui n'exploitait qu'une partie des données, concernant environ 3200 trajets. Sur 7500 trajets collectés, environ 6500 trajets ont pu être exploités pleinement, en correspondance avec les traces GPS qui permettent notamment de calculer les distances parcourues. La distance globale parcourue lors de ces trajets est d'environ 88000 km. Les résultats obtenus sur le jeu complet des données concernent en premier lieu les distributions globales, en temps passé, des accélérations longitudinale, latérale et verticale, et des vitesses de rotation tangage, roulis et lacet et de la vitesse, puis les valeurs extrêmes atteintes au moins une fois par les motocyclistes pour ces mêmes paramètres. La variabilité des comportements est ensuite illustrée allant d'une conduite souple à une conduite sportive.

Les motocyclistes subissent rarement des niveaux élevés de sollicitations dynamiques. En accélération et décélération notamment, ils ne dépassent $\pm 4 \text{ m/s}^2$ que 0,5% du temps. En ce qui concerne les virages, leur vitesse de roulis ne dépasse $20^\circ/\text{s}$ que 0,8% du temps et leur vitesse de lacet que 2,1% du temps. Si l'on exclut le temps passé à l'arrêt ou à très faible vitesse (moins de 5 km/h), les motocyclistes passent 80 % de leur temps en dessous de 90 km/h et 3,2 % du temps au-dessus de 130 km/h, avec seulement 0,3 % du temps au-dessus de 150 km/h. Le comportement est très variable d'un motocycliste à l'autre, même sur les mêmes itinéraires. Ces données permettent de caractériser la dynamique des motos et de discriminer les différents comportements des motards.

Table des matières

1.	NOUVEAUX CRITÈRES DE DÉTECTION D'INCIDENTS POUR LES 2RM	5
1.1	RAPPEL : LES CRITÈRES DE DÉTECTION D'INCIDENTS DU PROJET DYMOA	5
1.2	MATÉRIELS	5
1.3	OBSERVATION DES CRITÈRES DYMOA SUR DE NOUVEAUX TYPES DE 2RM	8
1.3.1	<i>Conduite sur route en Yamaha 600 XTE</i>	<i>8</i>
1.3.2	<i>Expérimentation sur piste (freinage, évitement...), Yamaha 600 XTE, Scooter et moto électriques</i>	<i>9</i>
1.4	APPLICATION D'ALGORITHMES D'APPRENTISSAGE SUPERVISÉ	16
1.4.1	<i>Matériels ou jeux de données</i>	<i>16</i>
1.4.2	<i>Application sur les données de DYMOA uniquement</i>	<i>16</i>
1.4.3	<i>Application sur les données de DYMOA relabellisées et sur les données de DYMOA+</i>	<i>18</i>
1.5	ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE : ESTIMATION DE L'ACCÉLÉRATION TRANSVERSALE DANS LE REPÈRE TERRESTRE	20
1.6	CONCLUSION - PARTIE 1	23
2.	UTILISATION RÉELLE DE LA DYNAMIQUE DU VÉHICULE PAR LES MOTOCYCLISTES	24
2.1	MÉTHODE	24
2.2	RÉSULTATS	25
2.2.1	<i>Données générales</i>	<i>25</i>
2.2.2	<i>Niveaux de vitesses pratiquées</i>	<i>27</i>
2.2.3	<i>Niveaux d'accélération et de vitesses de rotation</i>	<i>27</i>
2.2.4	<i>Valeurs extrêmes</i>	<i>28</i>
2.2.5	<i>Variabilité des profils de conduite</i>	<i>29</i>
2.2.6	<i>Comparaison des profils de conduite sur un même itinéraire</i>	<i>33</i>
2.3	CONCLUSION - PARTIE 2	34
3.	RÉFÉRENCES	35

1. Nouveaux critères de détection d'incidents pour les 2RM

1.1 Rappel : les critères de détection d'incidents du projet DYMOA

Il a été défini dans le cadre du projet DYMOA que pour un 2RM, les critères de détection d'un incident, d'une situation critique ou d'un niveau de sollicitation dynamique anormalement élevé sont :

- 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 $300\text{ }^\circ/\text{s}^2$.

Les résultats du projet DYMOA, ont montré 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 grandeurs physiques retenues pour ces critères (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.

De plus, ces critères s'avèrent moins efficaces pour détecter les incidents "réels" puisque beaucoup trop de faux positifs ont été enregistrés et des faux négatifs nous ont certainement échappé.

1.2 Matériels

Les premiers travaux, présentés ci-après, ont pour objectif de vérifier si les seuils initialement retenus sont adaptés à différents types de 2RM. Nous avons réalisé en complément des données du projet DYMOA, des expérimentations "légères" avec un 2RM de type "Trail" de catégorie MTT2, une moto et un scooter électriques de la catégorie moto légère, MTL (équivalent "125").

Pour ce faire, nous avons équipé du système d'acquisition DYMOA ces trois nouveaux véhicules.

Le premier est une Yamaha 600XTE de genre MTT2 (Figure 1). C'est une moto de type "Trail" ou tout chemin. Cette moto est relativement ancienne ; première mise en circulation en 1994. Elle est équipée de pneus adaptés à un usage sur route principalement et occasionnellement sur chemin, de suspensions à grands débattements et d'un moteur monocylindre dont les vibrations importantes peuvent perturber les mesures. Par manque de place, le système d'acquisition a été installé dans la valise (top case), à l'arrière de la moto.

À noter que dans le projet DYMOA, ce type de 2RM à moteur monocylindre avait été a priori écarté de notre échantillon.



Figure 1 : moto lourde, genre MTT2, "Trail", YAMAHA 600 XTE

Le deuxième véhicule instrumenté est une moto électrique de genre MTL : Super Soco TC max (Figure 2). Ce type de motorisation électrique ne doit engendrer que très peu de vibrations mécaniques. En revanche, la présence de batteries et de systèmes de régulation électrique peut potentiellement perturber le système d'acquisition.



Figure 2 : Moto légère électrique, genre MTL (\Leftrightarrow 125cm³), type "Basique", Super Soco TC max

Enfin le troisième véhicule instrumenté est un scooter électrique, également de genre MTL ; un Super Soco CPx (Figure 3).



Figure 3 : Moto légère électrique, genre MTL (\Leftrightarrow 125cm³), type "Scooter", Super Soco CPx

Le comportement dynamique de ces deux derniers véhicules à motorisation électrique n'a pas de raison d'être différent de celui de leurs homologues à moteur thermique, mais il nous a paru intéressant de le vérifier.

Au total les différents matériels utilisés dans cette première partie du WP5 sont récapitulés ci-dessous :

- données de l'expérimentation sur piste réalisée avec la moto instrumentée Honda VFR800 pendant le projet DYMOA,
- données d'évènements et d'incidents recueillies dans DYMOA,
- données complémentaires DYMOA+ issues de l'instrumentation d'une moto de type "Trail" Yamaha 600 XTE en circulation sur route et en expérimentation sur piste, d'une moto électrique "125" Super Soco TC max et d'un scooter électrique "125" Super Soco CPx en expérimentation sur piste.

1.3 Observation des critères DYMOA sur de nouveaux types de 2RM

1.3.1 Conduite sur route en Yamaha 600 XTE

La Yamaha a été utilisée en circulation normale, sur route ouverte, principalement en trajets domicile-travail. Elle a été conduite par une seule personne, son propriétaire. La période d'observation a duré environ 6 mois de février à juillet 2020.

Le Tableau 1 présente un résumé des données recueillies pendant la période d'observation. Il en ressort qu'au total 527 km ont été parcourus en 49 parcours. Le conducteur n'a signalé aucun incident pendant cette période. En revanche, le système d'acquisition DYMOA a enregistré 30 incidents et 257 évènements. Ce nombre important d'évènements et d'incidents compte tenu de la distance parcourue est anormal. Cela peut en partie s'expliquer par le positionnement du smartphone d'acquisition dans la valise arrière. Ce "top case" est positionné loin du centre de gravité de l'ensemble moto-conducteur et des différents axes instantanés de rotation. De plus la fixation de cette valise engendre des vibrations mécaniques parasites difficiles à filtrer numériquement. En conduite normale, ce type d'instrumentation sur ce type de 2RM semble poser problème au système d'acquisition DYMOA dont les seuils de détection d'incident ne sont pas assez discriminants.

Tableau 1 : circulation normale sur route en YAMAHA 600 XTE

APPLI	TYPE	NB FICHIERS BRUTS	EXPLOITABLES / EXPLOITES
DYMOA	GPSS	61	49 parcours, 527 km
	DATA	439	295 fichiers data retenus 8 zones gps (tous virages de LB) 30 incidents (dont 2 avec zone gps) 257 évènements (dont 2 avec zone gps)
	VIDEO	73	44 Dont 3 passages en zones gps 7 incidents 34 évènements
	SYNTH	46	45

1.3.2 Expérimentation sur piste (freinage, évitement...), Yamaha 600 XTE, Scooter et moto électriques

Cette partie des travaux a pour objectif de comparer les "signatures" des différents signaux (accélérations, vitesses de rotations...) au cours d'expérimentations sur piste (freinage, évitement) entre les différents types de motos : Yamaha 600 XTE, Scooter et moto électrique ⇔ 125cm³.

Une première expérimentation a été réalisée sur une piste de moto-école proche de notre laboratoire, avec la moto MTT2 Yamaha 600 XTE (Figure 4). Des tests de freinage maximum ont été réalisés par un conducteur très expérimenté mais non professionnel, propriétaire de cette moto. Les vitesses de consignes, ou vitesses d'approche, étaient de 50 puis 80 km/h. Chaque essai était répété trois fois. Ensuite, des tests d'évitement ont été réalisés. La géométrie de la chicane est celle de l'examen de permis de conduire actuel, comme pour l'expérimentation DYMOA réalisée avec la moto instrumentée HONDA VFR800 conduite par le même conducteur (cf. DYMOA [1]). La consigne de vitesse d'approche était de 50 km/h, trois évitements vers la droite et trois vers la gauche ont été réalisés.



Figure 4 : Expérimentation sur piste (freinage, évitement), Yamaha 600 XTE

Les expérimentations avec les Scooter et moto électriques ont été réalisées sur les pistes de la Société TRANSPOLIS à Saint-Maurice-de-Rémens dans l'Ain. Les protocoles expérimentaux sont restés strictement les mêmes et les données exploitées ici sont celles du même conducteur (Figure 5).



Super Soco TC max
(électrique ⇔125cc)

- 3 évitements côté droit 50 km/h
- 3 évitements côté gauche 50 km/h

- 3 freinages 50 km/h
- 3 freinages 80 km/h



Super Soco CPx
(électrique ⇔125cc)

- 3 évitements côté droit 50 km/h
- 3 évitements côté gauche 50 km/h

- 3 freinages 50 km/h
- 3 freinages 80 km/h



Figure 5 : Expérimentation sur piste (freinage, évitement), moto et scooter légers électriques (MTL)

Les résultats des essais de freinage maximum sont présentés Figure 6. L'accélération longitudinale est mesurée à une fréquence de 100 Hz. Elle est filtrée par l'application d'une moyenne glissante sur 30 points. Les valeurs mentionnées dans les tableaux représentent la décélération moyenne tout au long de la période de freinage. La dernière ligne de chaque série indique la moyenne des trois essais.

On peut constater que les valeurs moyennes sont relativement proches. Les deux MTL électriques, de masses inférieures, présentent des capacités de freinage équivalentes voire légèrement supérieures à celles des motos lourdes MTT2, surtout celles de la Honda VFR800.

Honda VFR 800 252kg			Yamaha 600 XT 170kg		
Frein Avant et Arrière			Frein Avant et Arrière		
	V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)		V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)
Vitesse de consigne 50 km/h			Vitesse de consigne 50 km/h		
Essai 1	49	-6.9	Essai 1	51	-8.1
Essai 2	51	-7.8	Essai 2	51	-8.5
Essai 3	46	-8.0	Essai 3	50	-8.5
Moyenne	49	-7.6	Moyenne	51	-8.4
Vitesse de consigne 80 km/h			Vitesse de consigne 80 km/h		
Essai 1	86	-6.7	Essai 1	74	-8.0
Essai 2	82	-8.0	Essai 2	74	-8.8
Essai 3	78	-8.9	Essai 3	81	-8.0
Moyenne	82	-7.9	Moyenne	76	-8.3
Projet DYMOA			Projet DYMOA+		
Moto 125 E (Super Soco TC max) 107kg			Scooter 125 E (Super Soco CPx) 124kg		
Frein Avant et Arrière			Frein Avant et Arrière		
	V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)		V initiale (km/h)	Décélération moyenne (m/s ²)
Vitesse de consigne 50 km/h			Vitesse de consigne 50 km/h		
Essai 1	51	-8.3	Essai 1	51	-8.6
Essai 2	50	-8.2	Essai 2	49	-8.8
Essai 3	49	-8.8	Essai 3	50	-9.0
Moyenne	50	-8.4	Moyenne	50	-8.8
Vitesse de consigne 80 km/h			Vitesse de consigne 80 km/h		
Essai 1	77	-8.5	Essai 1	80	-8.5
Essai 2	77	-8.7	Essai 2	79	-9.0
Essai 3	82	-8.5	Essai 3	76	-8.7
Moyenne	79	-8.6	Moyenne	78	-8.7
Projet DYMOA+			Projet DYMOA+		

*Rappel, Seuils Dymoa longitudinal
Vitesse Longitudinale supérieure à 10 km/h et Accélération Longitudinale < -6m/s²*

Figure 6 : comparaison des décélérationes maximales moyennes en fonction de la moto (expérimentations des projets DYMOA et DYMOA+)

La Figure 7 présente les vitesses de roulis lors de la réalisation de manœuvres d'évitement à gauche pour des vitesses d'approches de 30 et 50 km/h. L'enregistrement présenté est celui de la moto électrique Super Soco TC max. Les valeurs seuils ($\pm 80^\circ/\text{s}$) retenues dans le projet DYMOA sont également représentées en rouge. On peut constater que pour la manœuvre à 30km/h, qui ne représente pas une manœuvre d'évitement en urgence, le seuil n'est pas dépassé. En revanche pour l'évitement à 50km/h, qui correspond cette fois à une manœuvre très sollicitante, assimilable à une manœuvre d'urgence, la vitesse de roulis atteint $108^\circ/\text{s}$ et dépasse donc la valeur seuil de $80^\circ/\text{s}$.

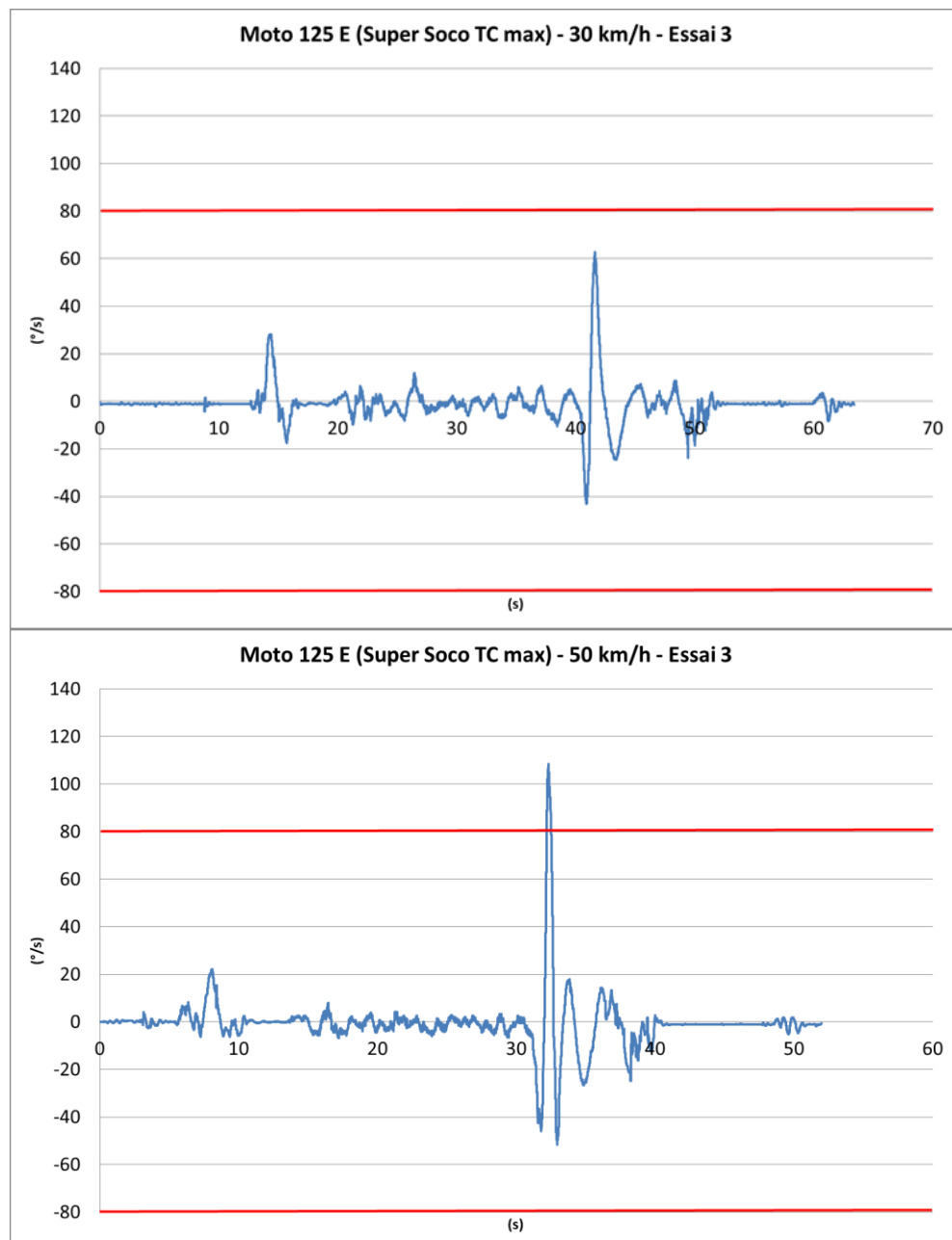


Figure 7 : Observation des vitesses de roulis en manœuvres d'évitements à gauche à 30 km/h et 50 km/h par rapport aux valeurs seuils DYMOA ($\pm 80^\circ/\text{s}$) Moto MTL électrique (Super Soco TC max)

Le positionnement du seuil à 80°/s en vitesse de rotation (ici en roulis) semble pertinent et suffisamment discriminant, également pour ce type de véhicule ; une moto légère à propulsion électrique.

La Figure 8 compare les vitesses de roulis lors d'une manœuvre d'évitement à gauche à 50 km/h pour les trois nouveaux 2RM instrumentés, le MTT2 Yamaha 600XTE, le MTL moto Super Soco TC Max et le MTL scooter Super Soco CPx. Contrairement à la circulation sur route, en manœuvre sur piste, la YAMAHA malgré son instrumentation positionnée dans la valise arrière, présente des mesures cohérentes et peu bruitées, comparables à ce que l'on rencontre habituellement avec d'autres motos plus classiques. Les trois courbes sont tout à fait semblables et dépassent, comme attendu, toutes les trois la valeur du seuil DYMOA de 80°/s.

Concernant le critère DYMOA portant sur l'accélération de rotation (Norme du vecteur Accélération de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) > 300°/s²), la Figure 9 représente l'évolution dans le temps de l'accélération de roulis exprimée en °/s² au cours de la réalisation d'une manœuvre d'évitement à gauche à 50km/h. L'essai illustré est réalisé avec la MTT2 YAMAHA 600 XTE. Le positionnement du seuil DYMOA semble adéquat puisque cette manœuvre "exigeante" et "brutale" entraîne bien le dépassement du seuil.

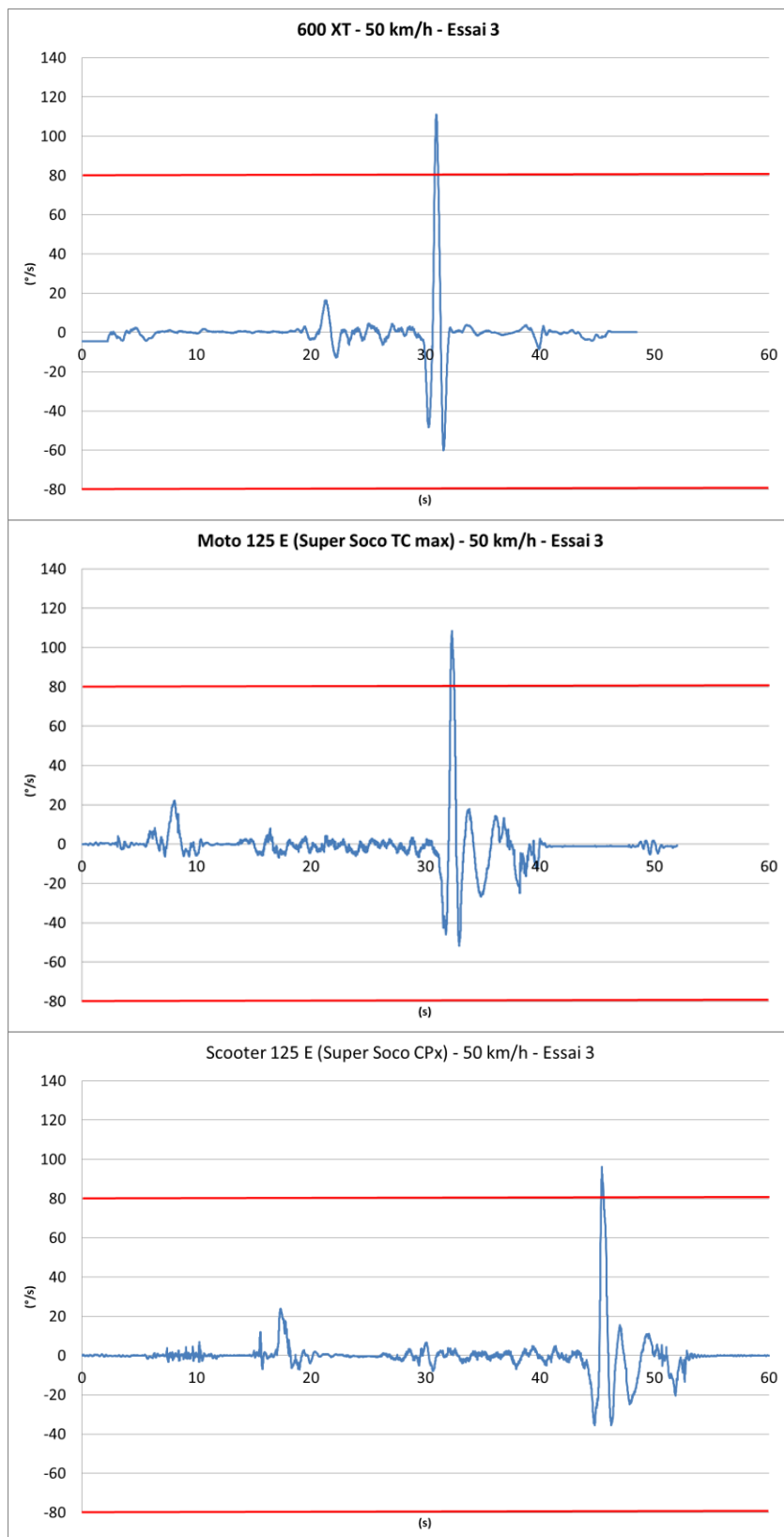


Figure 8 : Comparaison des vitesses de roulis en manœuvres d'évitements à gauche à 50 km/h pour une MTT2 de type "Trail", une moto MTL électrique et un scooter MTL électrique

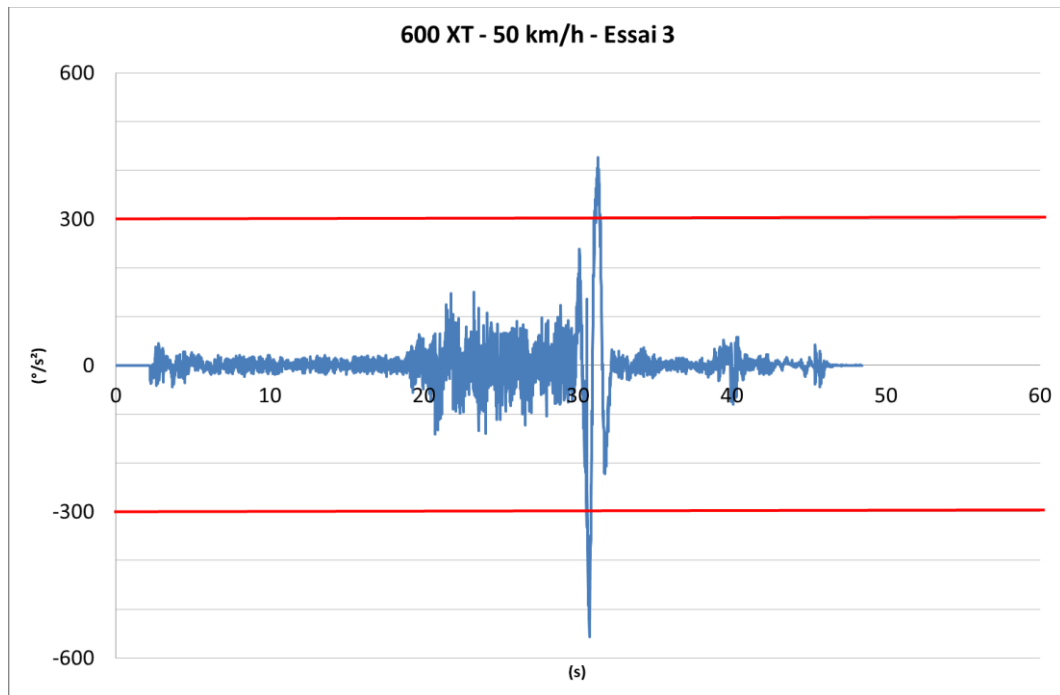


Figure 9 : Observation de l'accélération de roulis en manœuvres d'évitements à gauche à 50 km/h par rapport aux valeurs seuils DYMOA (+-300°/s²) MTT2 YAMAHA 600 XTE

En conclusion de cette partie "Observation des critères DYMOA sur de nouveaux types de 2RM", il semble que les critères DYOMA soient compatibles et adaptés à ces nouveaux types de MTL à propulsion électrique de type classique ou scooter.

L'implantation de l'instrumentation de la moto MTT2, "Trail" YAMAHA 600 XTE, dans la valise arrière semble en revanche poser des problèmes de surdéclenchement. En circulation sur route, les signaux de mesure sont bruités et les seuils de détection d'incidents sont trop souvent franchis. Des essais complémentaires sont nécessaires pour savoir si une instrumentation mieux positionnée sur la moto résoudrait ce problème. En utilisation sur piste, en manœuvre de freinage ou d'évitement, on ne constate pas de problème spécifique de mesure.

1.4 Application d'algorithmes d'apprentissage supervisé

Cette partie du livrable L5 vient en complément des travaux présentés en détail dans le livrable L6 "*Comparaison d'une approche de détection d'événements par dépassement de seuils dynamiques avec une approche basée sur des algorithmes d'apprentissage supervisé*". Les principes et la méthode y sont détaillés.

Les travaux présentés ici décrivent uniquement le choix des variables (ou séries) et des différents indicateurs qui ont été testés. Ensuite une brève description d'une méthode exploratoire avec relabellisation des données est présentée.

1.4.1 Matériels ou jeux de données

Les jeux de données utilisés pour tester ces algorithmes d'apprentissage supervisé sont les suivantes :

- les données de DYMOA enregistrées en Conduite Normale,
- les données d'évènements (DYMOA),
- les données d'incidents (DYMOA),
- les données recueillies dans le cadre du projet DYMOA+ lors de l'expérimentation sur piste avec la YAMAHA 600 XTE instrumentée.

1.4.2 Application sur les données de DYMOA uniquement

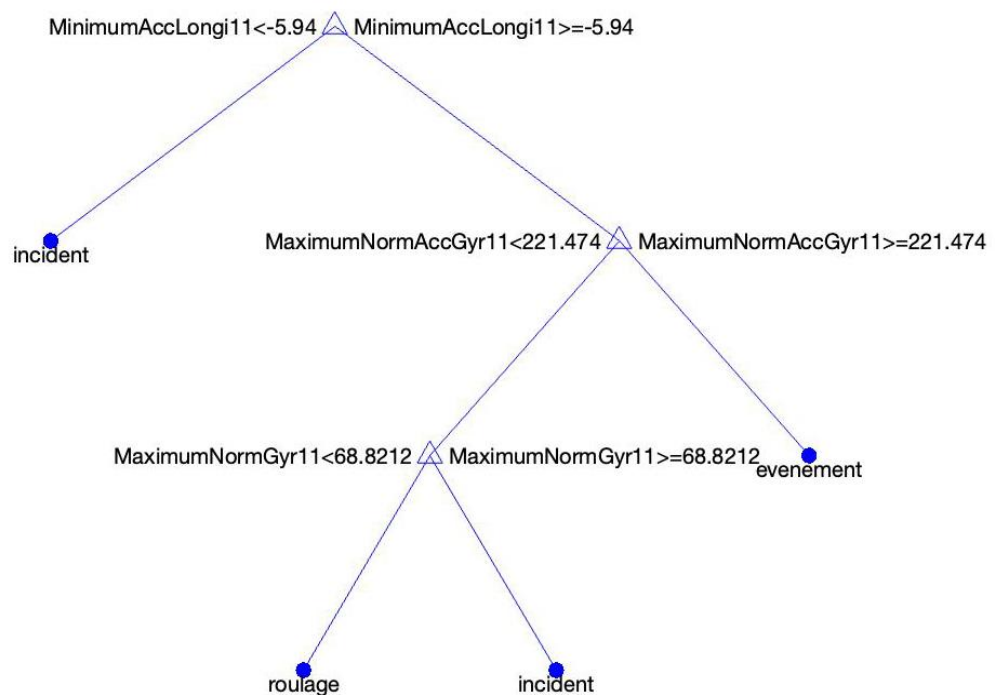
Dans un premier temps nous avons appliqué cette méthode sur les données DYMOA déjà labellisées. C'est-à-dire que ces données sont déjà étiquetées avec le bon label à trois modalités : roulage, évènement ou incident. Ce label a été attribué "à la source" par l'application automatique des critères DYMOA, puis a posteriori pour distinguer les évènements des incidents avec un test automatique suivi d'un contrôle par un expert "humain".

L'algorithme d'apprentissage permet d'identifier les variables ou séries les plus discriminantes et les valeurs seuils pertinentes. Nous avons choisi dans un premier temps les différentes séries existantes, puis nous avons ajouté des séries calculées qui nous paraissaient pertinentes. Le Tableau 2 présente ces 7 séries existantes et les 10 séries calculées. Nous avons également proposé des indicateurs à appliquer sur ces différentes séries. Ils appartiennent à la statistique descriptive : moyenne, variance, minimum, maximum... D'autres, plus complexes, sont basés sur les seuils : la durée de dépassements d'un seuil, l'intégrale (pendant la durée de dépassement d'un seuil)... Au total 156 indicateurs ont été introduits (Tableau 2). Ces indicateurs sont calculés sur les 6 séries brutes à 100Hz (abandon de la vitesse à 1Hz), ainsi que sur les 10 séries calculées à partir des 6 premières.

**Tableau 2 : Description des séries du jeu de données
et des différents indicateurs retenus
(données disponibles à 100Hz sauf pour la vitesse à 1Hz)**

7 séries existantes et 10 séries calculées			
1.T	Temps		
2.V	Vitesse (1Hz seulement)	9.bgg	Norme_gyro
3.Xa	Acc_longi	10.cgg	Norme_Acc_gyro
4.Ya	Acc_laterale	11.Xgg	Acc_roulis
5.Za	Acc_verticale	12.Ygg	Acc_tangage
6.Xg	Vit_roulis	13.Zgg	Acc_lacet
7.Yg	Vit_tangage	14.baa	Norme_acc
8.Zg	Vit_lacet	15.caa	Norme_acc_acc
		16.Xaa	Acc_acc_longi
		17.Yaa	Acc_acc_laterale
		18.Zaa	Acc_acc_verticale
156 Indicateurs observés			
1	Id_cond	76 à 93	MoyennDiff
2	Typ_moto	94 à 111	VarDiff
3	Mois	112 à 129	MinDiff
4 à 21	Moyenne	130 à 147	MaxDiff
22 à 39	Variance	148 à 150	Temps_depassement
40 à 57	Minimum	151 à 153	Int_depassement
58 à 75	Maximum	154 à 156	Réponses: label/origine/verifié

Un des algorithmes présentant les meilleurs résultats est présenté Figure 10. Il permet de classer automatiquement les enregistrements dans les trois modalités roulage, évènement, incident, avec un taux de bonne réponse d'environ 93%. Au premier niveau il utilise comme variable l'accélération longitudinale et comme indicateur le minimum. La valeur seuil optimale est évaluée à -5.98m/s^2 . Au 2ème niveau, le test est fait sur la norme du vecteur accélération de rotation avec un seuil à $221^\circ/\text{s}^2$. Enfin au 3ème niveau c'est la norme du vecteur vitesse de rotation qui est pertinente avec un seuil à $69^\circ/\text{s}$. Cet arbre de décisions confirme à la fois le choix des variables et les valeurs des seuils initialement retenus dans le projet DYMOA. Les nouveaux indicateurs introduits, tels que les durées de dépassement de seuils, ne semblent pas ressortir comme pertinents.



**Figure 10 : Arbre de décision
Algorithme présentant les meilleurs résultats**

1.4.3 Application sur les données de DYMOA relabellisées et sur les données de DYMOA+

L'objectif initial du projet DYMOA était d'étudier les incidents des 2RM. Un incident "réel" est un évènement non souhaité par le conducteur et qui survient par surprise. Les seuils de DYMOA ont sélectionné des évènements et des incidents, mais en exploitant plus précisément les vidéos de ces incidents, nous nous sommes aperçus que beaucoup n'étaient pas de vrais incidents, mais plutôt des moments de fortes sollicitations, intentionnellement choisis par le conducteur et assimilable à une conduite sportive.

Nous avons donc constitué un nouveau jeu de données et introduit une nouvelle modalité de label. Au total cette fois, 4 labels sont possibles :

- conduite normale,
- évènements,
- conduite sportive,
- incidents vérifiés.

Nous avons collectivement analysé en détail 50 incidents DYMOA en observant les enregistrements et surtout les vidéos afin de les relabelliser selon nos 4 modalités. Très souvent, les vidéos de "vrais incidents" montrent une "interaction surprise" avec un autre usager de la route. Plus rarement, un conducteur de 2RM, seul usager présent sur la scène, est surpris par la courbure d'un virage et corrige précipitamment sa trajectoire ou sa vitesse. Pour quelques incidents, le choix du label entre incident et conduite sportive a été très délicat. Les experts qui

participaient à ce travail collectif ont parfois eu des difficultés à trouver un consensus. Cela montre la difficulté à distinguer ces deux labels.

En plus de ces enregistrements, nous avons ajouté les essais sur piste effectués avec la YAMAHA 600 XTE. Tous les freinages et certains évitements, seulement ceux à 50km/h, ont été assimilés à des "Incidents vérifiés".

Au total nous avons 78 enregistrements relabellisés.

Selon la même méthode, décrite dans le livrable L6, nous avons alors appliqué différents algorithmes d'apprentissage supervisé sur ce nouveau jeu à 4 labels. La précision de notre classement sur ce jeu de données est moins bonne que précédemment mais prometteuse. Les meilleurs algorithmes ont des taux de bon classement de l'ordre de 77%. Il y a donc bien une différence observable sur les signaux de mesure entre incident et conduite sportive et les algorithmes testés y sont sensibles. Cette partie-là des travaux reste à approfondir et le faible nombre d'enregistrements vérifiés, 78, peut engendrer des phénomènes de surapprentissage néfastes à la précision des algorithmes. Des améliorations futures pourraient nécessiter d'avoir des données complémentaires.

1.5 Étude complémentaire : estimation de l'accélération transversale dans le repère terrestre

L'instrumentation DYMOA utilise un smartphone comme centrale inertielle. Celui-ci est fixé sur la moto et s'incline donc avec celle-ci lors du franchissement d'un virage ou de tout changement de direction. Les mesures effectuées sont donc réalisées dans un repère lié à la moto et non dans un repère terrestre. Si cela est sans conséquence pour les accélérations longitudinales, 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. 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. L'accélération transversale dans le repère terrestre pourrait être très pratique pour détecter les incidents en sollicitation transversale comme c'est le cas pour les automobiles. Elle permettrait également de calculer simplement l'angle de roulis. Ces deux nouvelles séries seraient probablement très utiles aux algorithmes d'apprentissage supervisé tels qu'on les a décrits précédemment.

Les travaux exploratoires présentés ici ont pour objectif d'évaluer l'accélération transversale dans le repère terrestre en utilisant des méthodes statistiques (estimation des moindres carrés) à partir des données disponibles dans nos smartphones (accélérations, vitesses de rotation, sur les trois axes).

Les données utilisées sont celles de l'expérimentation réalisée sur les pistes de TRANSPOLIS avec la Moto légère électrique Super Soco TC max. En plus de notre système d'acquisition par smartphone de type DYMOA, nous avons utilisé en parallèle sur un deuxième smartphone, une application grand public dédiée au sports mécaniques : RaceChrono. Cette application permet via l'utilisation d'un Gps-Glonas externe, d'enregistrer les données de vitesse et position à une fréquence de 10 Hz. Cette application propose également une estimation de l'accélération transversale dans le repère terrestre que nous avons utilisée comme référence.

Les enregistrements sont divisés en deux catégories : les données qui servent au modèle pour apprendre, et les données de test. Pour l'entraînement, tous les enregistrements proviennent des manœuvres d'évitements, de freinages, et de la circulation en régime stabilisé sur un anneau de 10 ou 20m de rayon. Pour le test nous utilisons uniquement les tours de circuit complets réalisés à une allure modérée ; comme sur la route (Figure 11).

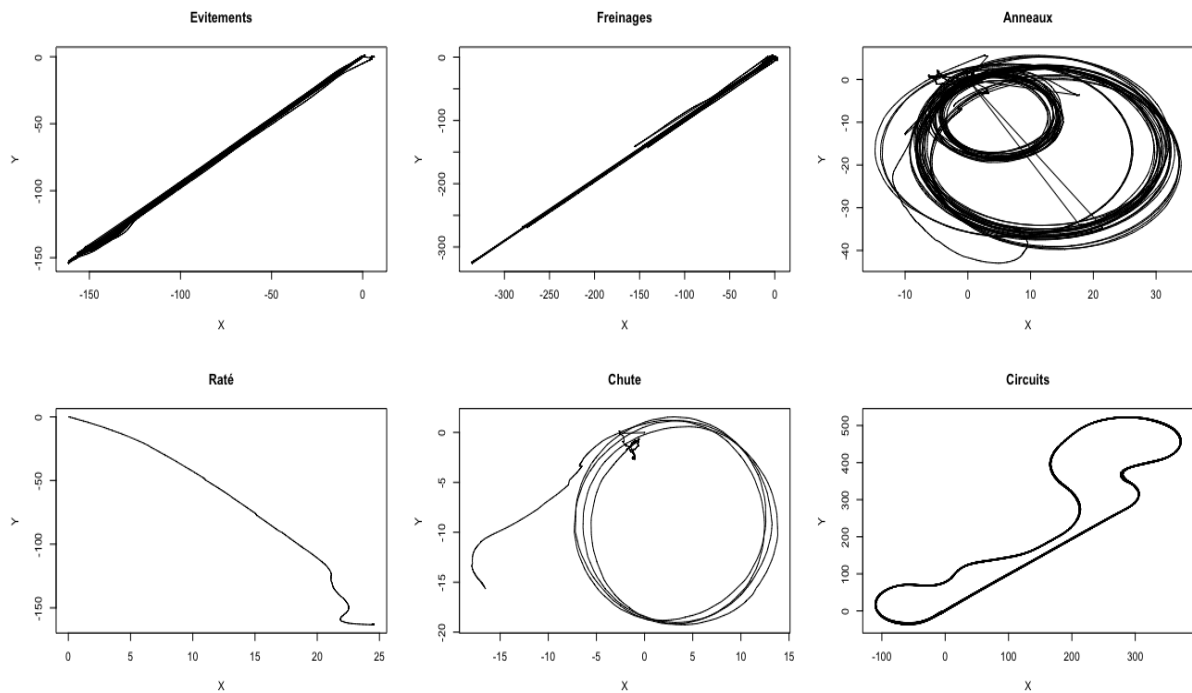


Figure 11 : Trajectoires de l'expérimentation sur piste en moto légère électrique, évitements, freinage, trajectoire circulaire sur un anneau, circuit complet

Dans un premier temps, un modèle linéaire a été testé. Finalement un modèle pseudo-linéaire a été utilisé et a donné des résultats relativement intéressants. Il s'agit en fait d'un modèle linéaire qui utilise des variables élevées au carré, ce qui revient à faire une estimation non linéaire par un modèle linéaire.

Selon la littérature, il existe un seuil de vitesse au-delà duquel la conduite d'un 2RM est radicalement différente, puisque les changements de direction ne se font plus directement en tournant le guidon dans le sens du virage, mais par l'inclinaison de la moto autour de son axe de roulis (contre-braquage). Pour cette raison nous nous sommes focalisés pour ces analyses sur les vitesses supérieures à 30 km/h.

Les différents coefficients ($\vec{\alpha}$ et $\vec{\beta}$) sont déterminés par les méthodes d'apprentissage. Au final, le modèle retenu est de la forme :

$$AccY_t = \alpha_0 + \alpha_1 \times AccY_m + \alpha_2 \times GyrX_m + \alpha_3 \times GyrZ_m + \beta_1 \times AccY_m^2 + \beta_2 \times GyrX_m^2 + \beta_3 \times GyrZ_m^2$$

Avec :

AccY_t l'accélération transversale dans le repère terrestre

AccY_m l'accélération transversale dans le repère moto

GyrX_m la vitesse de roulis dans le repère moto

GyrZ_m la vitesse de lacet dans le repère moto

et

$$\alpha_0 = -0.1609762207$$

$$\alpha_1 = 0.1407678821$$

$$\alpha_2 = -0.0874906327$$

$$\alpha_3 = 0.1903739688$$

$$\beta_1 = -0.0269409521$$

$$\beta_2 = 0.0003552187$$

$$\beta_3 = 0.0002637714$$

Des résultats de validation sont présentés Figure 12. Le graphique du haut montre l'évolution de la vitesse en fonction du temps sur un tour complet du circuit. Sur le même principe, le graphique du milieu compare l'accélération transversale dans le repère terrestre issue du logiciel RaceChrono (la référence, en bleu) avec celle issue de notre modèle (en rouge). Enfin celui du bas représente l'erreur ou le résidu qui est en fait la différence entre l'estimation et la référence. Ce résidu est souvent proche de 0. Néanmoins, on remarque des formes non aléatoirement distribuées qui montrent que ce n'est pas exactement un bruit blanc et que notre estimation est imparfaite sur certaines phases du mouvement.

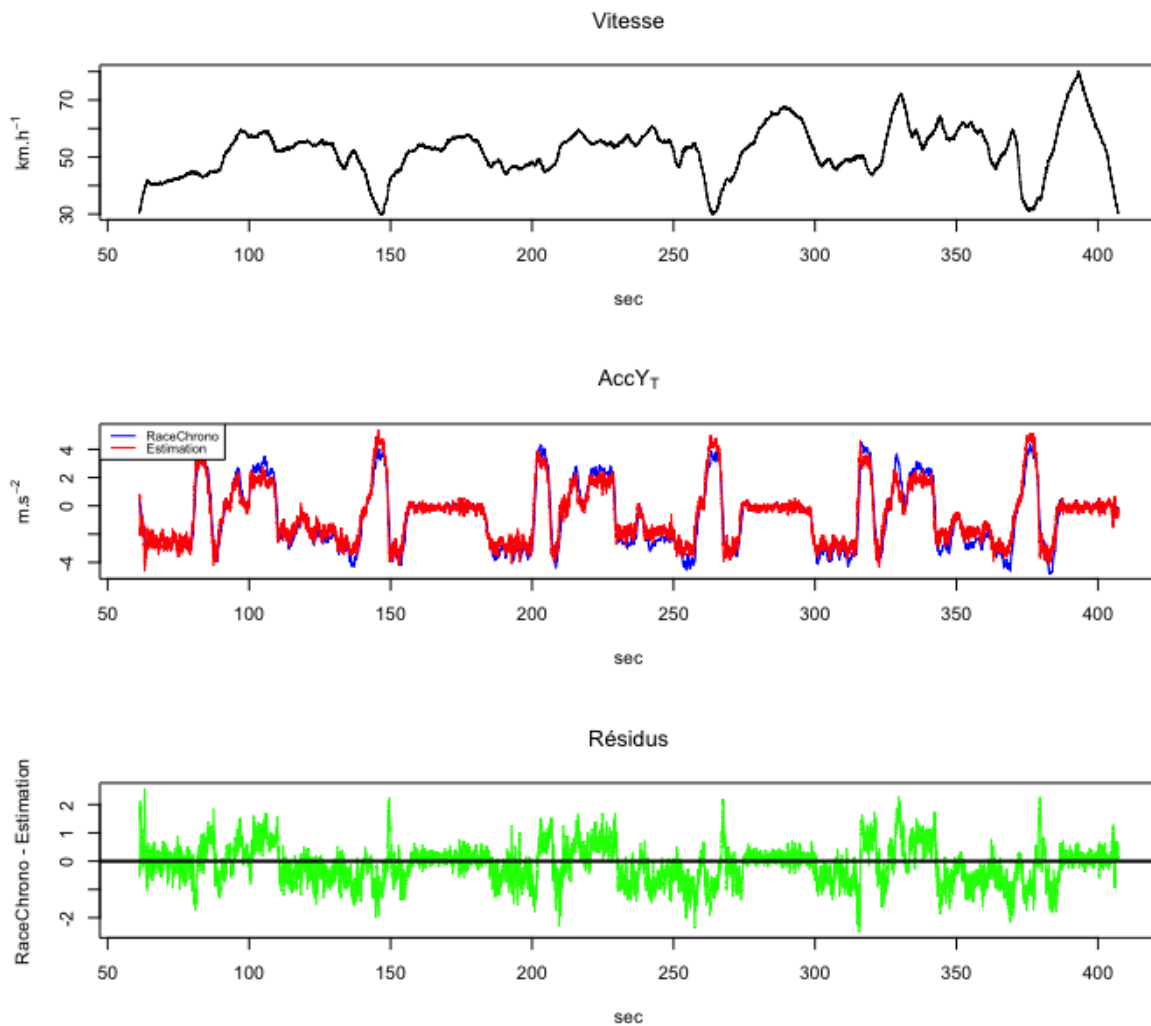


Figure 12 : Présentation du Trajectoires de l'expérimentation sur piste en moto légère électrique, évitements, freinage, trajectoire circulaire sur un anneaux, circuit complet

C'est premiers résultats sont intéressants mais devront être approfondis. L'évaluation de l'accélération transversale dans le repère terrestre à partir des données acquises simplement par un smartphone semble réalisable. L'angle de roulis peut être ensuite facilement calculé. Cela pourrait améliorer la détection d'incident en sollicitation transversale.

1.6 Conclusion - Partie 1

Sur piste, les critères de détection d'incidents définis dans le cadre du projet DYMOA semblent compatibles avec une moto de type "tous chemin" ou "Trail" de genre MTT2 ainsi qu'avec des motos légères (MTL) à propulsion électrique de type "classique" et de type "scooter".

Le positionnement du système d'acquisition de données dans la valise arrière (top case), loin du centre gravité et des axes de rotation (roulis, lacet, tangage) paraît perturber les mesures et entraîner de nombreuses fausses détections d'évènements et d'incidents.

L'utilisation des algorithmes d'apprentissage supervisé est une solution efficace et prometteuse pour identifier automatiquement les situations de conduite normale, les évènements et les incidents. Des travaux complémentaires pourraient améliorer les performances de ces algorithmes pour la distinction "d'incidents réels" de "fortes sollicitations" rencontrées fréquemment en conduite sportive.

L'estimation de l'accélération transversale dans le repère terrestre et ainsi de l'angle de roulis, à partir des accélérations et vitesses de rotation mesurées dans le repère de la moto, semble être faisable en utilisant des algorithmes d'apprentissage supervisé. Ceci pourrait faciliter la détection d'incidents en sollicitation transversale. Les comparaisons des comportements dynamiques entre les motos et les automobiles seraient également plus simples et intuitives. Cette voie reste à approfondir.

2. Utilisation réelle de la dynamique du véhicule par les motocyclistes

2.1 Méthode

Pour chaque trajet, des données agrégées sur les niveaux de sollicitations ont été collectées et constituent un fichier nommé "Synthèse de parcours". Le principe de cette synthèse de parcours est issu de travaux concernant le 4RM et présenté de manière détaillée et illustré par [3, 4]. Il est basé sur le concept de cercle d'adhérence [5]. Ces données ne sont pas stockées en fonction du temps, mais sous forme de matrices, agrégeant le temps passé dans une combinaison de deux sollicitations données. Pour le 4RM il s'agit de l'accélération longitudinale et de l'accélération transversale avec des intervalles de 1 m/s^2 . Pour le 2RM, l'accélération transversale étant faible du fait de la dynamique particulière de ce véhicule, qui s'incline en virage, d'autres paramètres ont été utilisés pour traduire le comportement en transversal, notamment la vitesse de roulis et la vitesse de lacet, avec des intervalles de $10^\circ/\text{s}$. Les accélérations brutes sont acquises à une fréquence de 100 Hz et pour un 2RM elles sont plus bruitées que pour un 4RM, un filtrage a par conséquent été appliqué en temps réel par moyenne glissante sur 30 points. Les couples de données accélérométriques et gyrométriques [accélération longitudinale - vitesse de rotation] sont comptabilisés à chaque pas de temps, soit tous les 0.01s, sous forme de matrices. Dans une représentation 2D telle qu'à la Figure 13, les accélérations positives sont caractérisées par des cases noires vers le haut sur l'axe vertical, les freinages par des cases noires vers le bas, et les virages ou déports par des cases noires à gauche et à droite sur l'axe horizontal. Chaque case noire représente un niveau de sollicitation qui a été atteint au moins une fois par le véhicule lors de son trajet. Un indice de recouvrement de la surface globale est calculé en pourcentage du nombre total de case, pour caractériser le niveau global des sollicitations atteintes lors d'un trajet ou pour l'ensemble des trajets d'un conducteur.

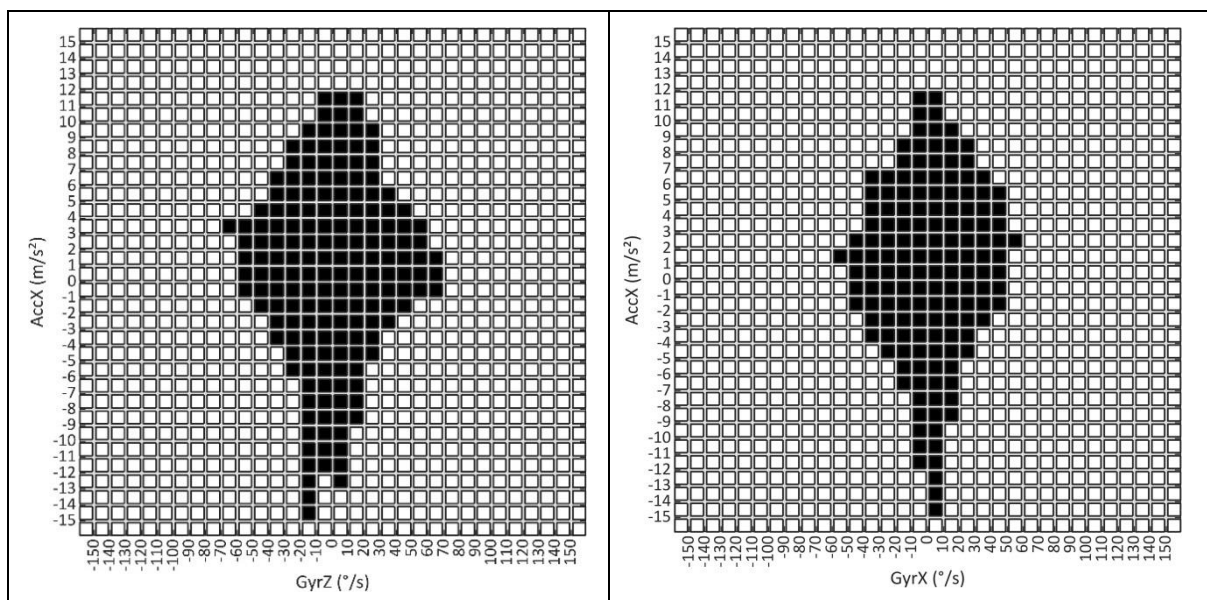


Figure 13 : Exemples de représentation 2D des sollicitations d'un conducteur. Croisement accélération longitudinale et vitesse de lacet (gauche) et croisement accélération longitudinale et vitesse de roulis (droite). Indices des sollicitations 16.9% et 14.5%

Cette représentation graphique permet non seulement de voir le couplage des sollicitations dynamiques (freinage en virage...), mais aussi l'évaluation des niveaux de sollicitations globales dans toutes les directions. Les trajets peuvent être traités séparément, ou agrégés pour un ensemble de trajets, par exemple tous les trajets d'un même conducteur.

Dans une représentation 3D (Figure 14), la troisième dimension représente le temps passé dans chaque niveau croisé des sollicitations. La vitesse du véhicule est également prise en compte et se traduit par une couleur différente allant du bleu aux plus faibles niveaux de vitesse jusqu'au rouge aux plus hauts niveaux de vitesse par intervalles de 5 km/h.

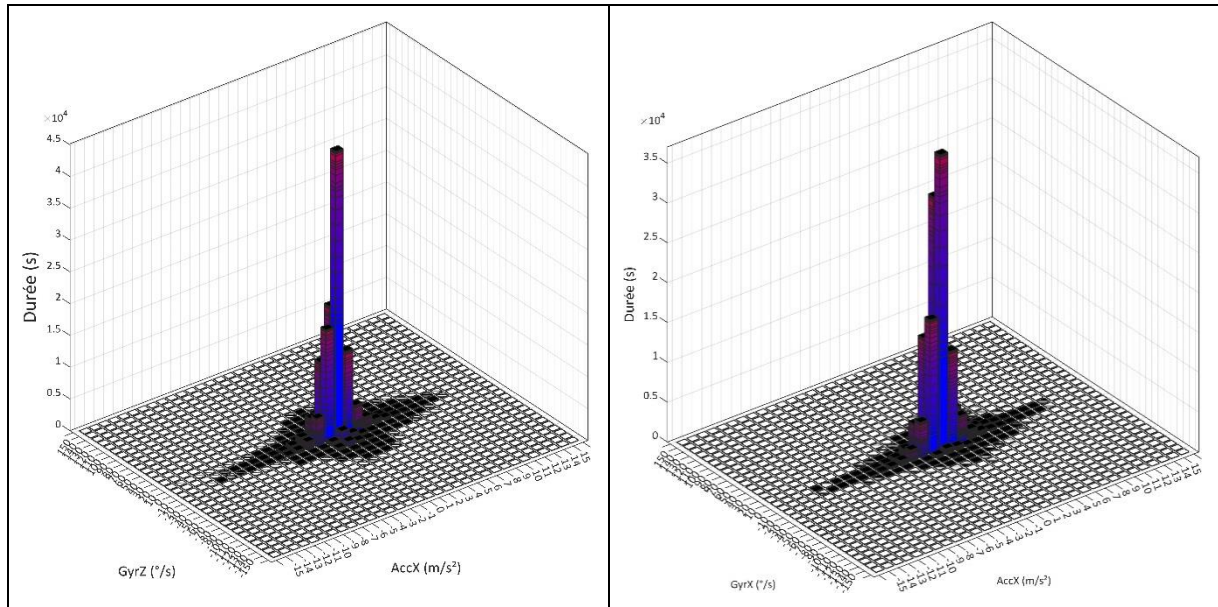


Figure 14 : Exemples de représentation 3D des sollicitations d'un conducteur. Croisement accélération longitudinale et vitesse de lacet (gauche) et croisement accélération longitudinale et vitesse de roulis (droite)

Ces données croisées peuvent être transformées pour obtenir la distribution en temps passé de chaque paramètre de la dynamique du véhicule pris individuellement : vitesse, accélérations longitudinale, latérale et verticale, vitesses de lacet, de tangage et de roulis.

2.2 Résultats

2.2.1 Données générales

Les analyses faites dans DYMOA concernaient une partie des données et ont été présentées et illustrées dans [2,6]. 2929 trajets en 2RM avaient été exploités, recueillis au cours de la première année de l'expérimentation. Les résultats présentés ici concernent la quasi-intégralité des données disponibles sur la période de recueil de 18 mois, y compris certaines données récupérées sur les enregistreurs lors de la désinstallation. Sur environ 7500 trajets réalisés et enregistrés, 6469 ont pu être exploités, en termes de synthèse de parcours et de traces GPS associées.

Les caractéristiques générales des trajets sont résumées dans le Tableau 3. Chacun des 26 motocyclistes a réalisé en moyenne 249 trajets. Au minimum on recense 21 trajets pour l'un d'entre eux et au maximum 1068 trajets pour un autre. Ils ont parcouru entre 309 et 9063 km, avec une moyenne de 3220 km par motocycliste. La distance moyenne d'un trajet est de 13 km pour l'ensemble des 6469 trajets. La distance moyenne d'un trajet pour chaque motocycliste est de 18 km, mais cette moyenne varie entre 4 et 51 km d'un motocycliste à l'autre.

Tableau 3 : Données statistiques sur les trajets et les motocyclistes

	Tous	Moyenne / motocycliste	Ecart-type	Minimum	Maximum
Nb de trajets	6469	249	190	21	1068
Distance total (km)	83714	3220	1841	309	9063
Distance moyenne / trajet (km)	13	18	8	4	51
Indice des sollicitations Accélération longitudinale vs Vitesse de lacet (%)	31.3	13.5	2.7	6.1	23.7

Les 6469 trajectoires des trajets pris en compte dans cette étude sont représentées sur la Figure 15, avec une couleur variable selon le motocycliste. Les réseaux empruntés sont variés avec des zones urbaines, péri-urbaines et rurales.

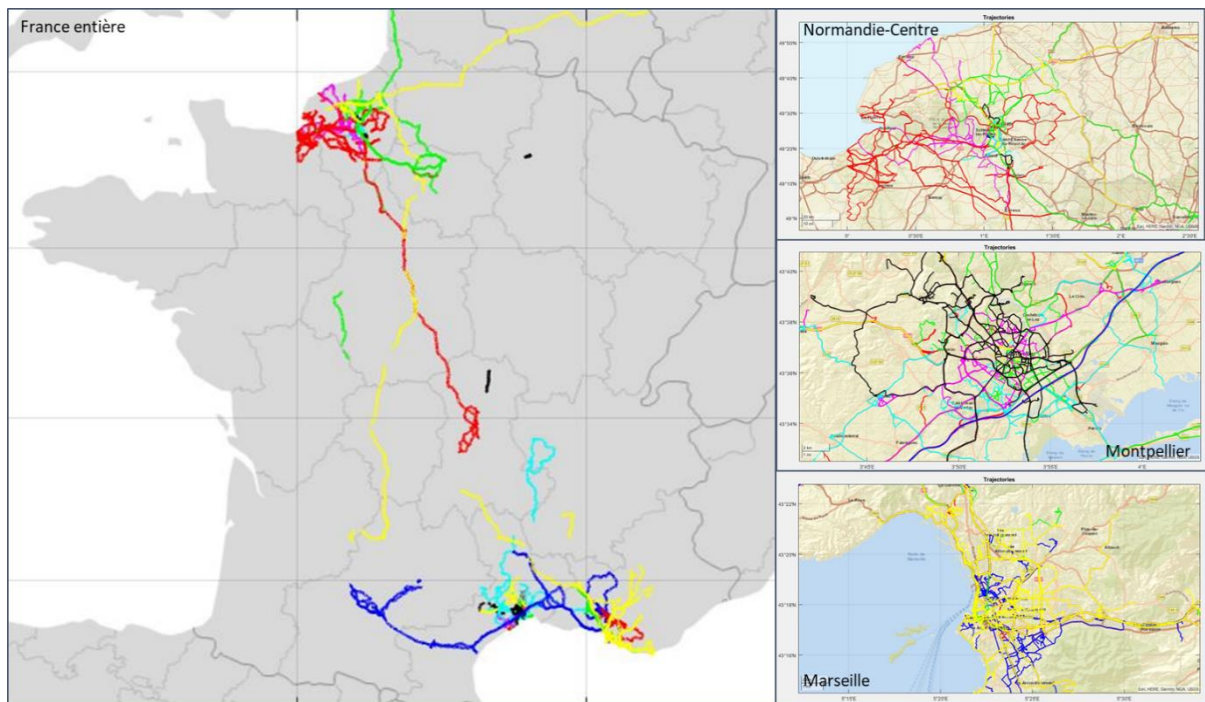


Figure 15 : Trajectoires des trajets avec zooms sur le Département Normandie-Centre, et les villes de Montpellier et de Marseille

2.2.2 Niveaux de vitesses pratiquées

Les niveaux de vitesse pour l'ensemble des trajets de toute la flotte sont représentés sur la Figure 16 (haut) en termes de temps passé. Globalement les 2RM sont 22% de leur temps à l'arrêt ou à très faible vitesse. La répartition des niveaux de vitesse a été refaite en enlevant le niveau de vitesse le plus bas, 0-5 km/h, pour mieux voir la répartition aux vitesses supérieures (Figure 16 - bas).

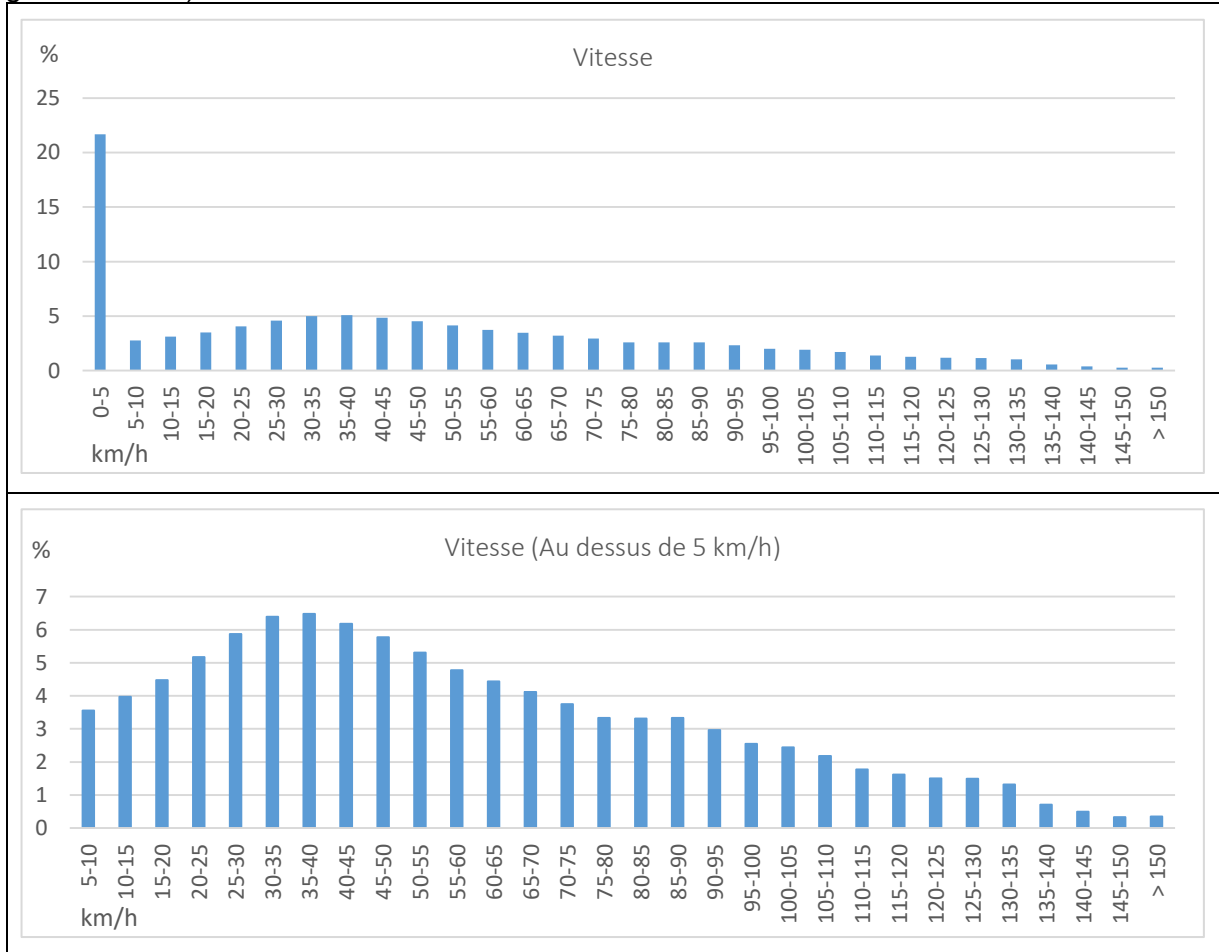


Figure 16 : Distribution globale des vitesses en temps passé (haut) et distribution globale des vitesses supérieures à 5 km/h (bas)

Si l'on exclut le temps passé en dessous de 5 km/h, les motocyclistes passent 80 % de leur temps en dessous de 90 km/h et 3,2 % du temps au-dessus de 130 km/h, avec seulement 0,3 % du temps au-delà de 150 km/h. Ces répartitions de vitesses globales sont à nuancer en fonction de l'environnement routier.

2.2.3 Niveaux d'accélération et de vitesses de rotation

Les distributions des accélérations sont représentées sur la Figure 17 (haut) pour l'ensemble des trajets. En freinage, c'est-à-dire pour les accélérations longitudinales négatives, les motocyclistes sont 8.5% du temps entre -2 et -1 m/s². En dessous de -2 m/s², le temps passé en freinage est seulement de 2.8% dont seulement 2.1% entre -2 et -3 m/s² et 0.5% entre -3 et -4 m/s². Le pourcentage de temps passé au-delà de -4 m/s² est seulement de 0.2%. Les motocyclistes sont plus souvent en accélération positive, entre 1 et 2 m/s² (9.2%) et entre 2 et 3 m/s² (2.8%), entre 3 et 4 m/s² (0.8%) et même au-delà de 4 m/s² (0.3%).

Comme attendu compte tenu de la dynamique du véhicule propre à un 2RM, il n'y a quasiment jamais d'accélération transversale supérieure à 1 m/s². Il y a par contre en négatif des

accélérations transversale entre -1 et -4 m/s² (8.5% du temps), qui sont vraisemblablement liées aux phases d'arrêt du 2RM penché sur sa béquille. Des tests spécifiques ont permis de vérifier cette hypothèse qui explique la dissymétrie de distribution des niveaux d'accélération transversale. Les accélérations verticales élevées sont en partie liées à des aménagements de la route (dos d'âne, voie ferrée, bouches d'égout...) ou des défauts de chaussée (nid de poule, tranchée affaissée...), et en partie au report de l'accélération transversale sur l'axe vertical quand la moto tourne et s'incline. Elles sont rares au-delà de 2 m/s² (2.1% du temps en tout).

Les distributions des vitesses de rotation sont illustrées par la Figure 17 (bas). En tangage, les motocyclistes sont très rarement au-dessus de 10°/s : 0.1% du temps en vitesse de tangage positive donc plutôt en freinage, et 0.8% du temps en vitesse de tangage négative, soit en accélération. Les temps passés en vitesse de lacet et vitesse de roulis renseignent sur le comportement en transversal, en virage, changement de direction ou déport. Les motocyclistes sont globalement 3.8% du temps en vitesse de roulis entre (+/-)10 et 20°/s et seulement 0.8% du temps au-delà de (+/-)20°/s. En termes de vitesse de lacet les temps passés sont de 5.7% entre (+/-) 10 et 20°/s et de 2.1% au-delà de (+/-)20°/s.

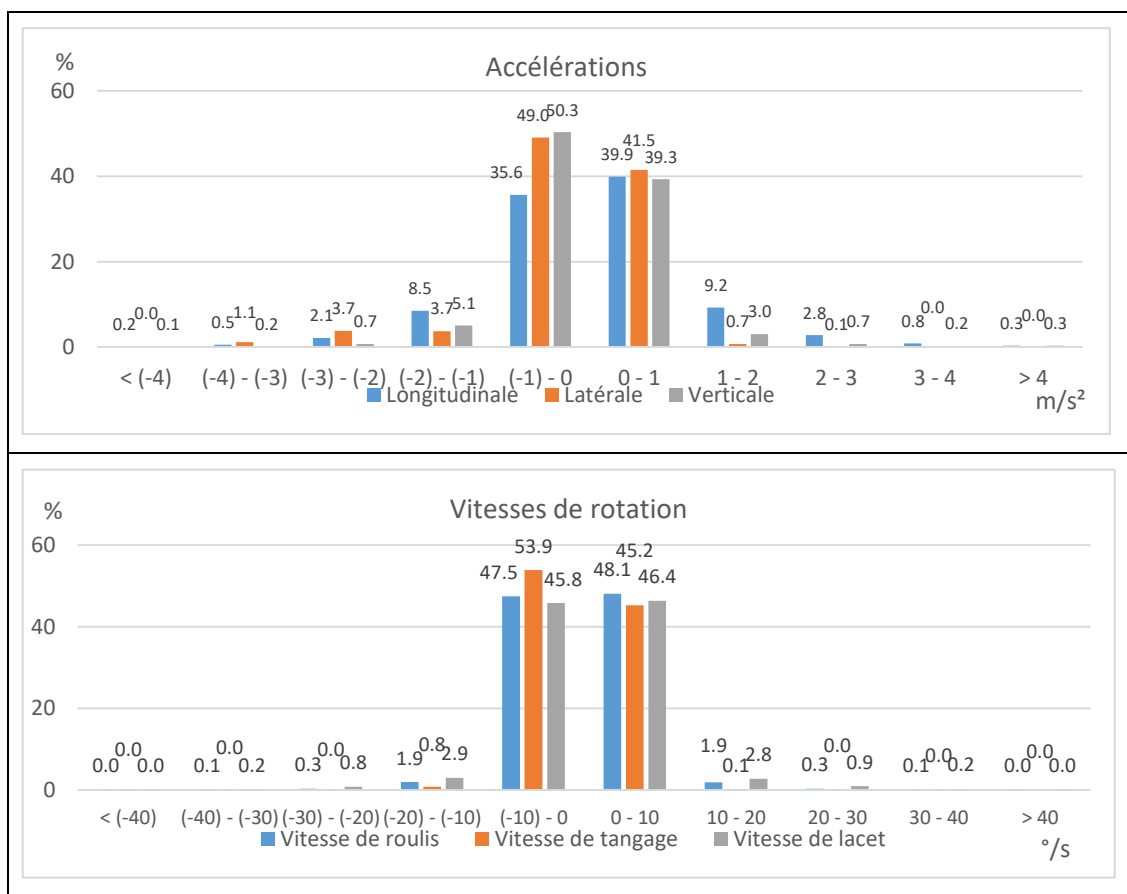


Figure 17 : Distributions globales des accélérations (haut) et des vitesses de rotation (bas) en temps passé

2.2.4 Valeurs extrêmes

Les sollicitations extrêmes sont rares. Pour les observer, nous utilisons la représentation 2D, avec un croisement [accélération longitudinale – vitesse de lacet] ou [accélération longitudinale – vitesse de roulis], qui montre à la fois les sollicitations en freinage et en accélération, les sollicitations en virage et les sollicitations combinées, telles qu'un freinage en virage. La Figure 18 représente les sollicitations de l'ensemble des trajets de toute la flotte.

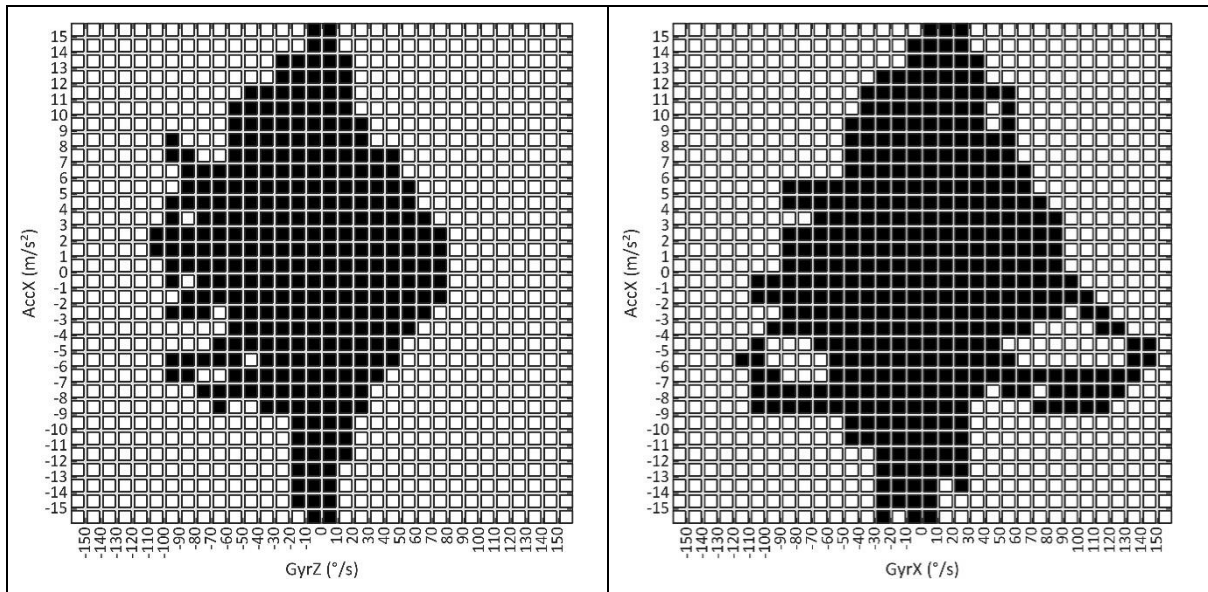


Figure 18 : Croisement des sollicitations : Accélération longitudinale – Vitesse de lacet (gauche) et Accélération longitudinale – Vitesse de roulis (droite)

Aux extrêmes les accélérations et les freinages peuvent dépasser +/-15 m/s². Ces valeurs sont au-delà des valeurs rencontrées notamment en essais de freinage d'urgence. Les synthèses de parcours étant calculées en temps réel à partir des données avec filtrage standard des accélérations, il est possible que sur certaines motos le niveau de vibration soit encore assez élevé même après filtrage, et que de telles valeurs extrêmes soient parfois atteintes.

En transversal, les vitesses de lacet maximales sont proches de -100°/s et +80°/s, et les vitesses de roulis maximales atteintes sont proches de +/-90°/s en dehors des sollicitations combinées hors-norme. Ces représentations vont permettre de différencier les styles de conduite des motocyclistes

2.2.5 Variabilité des profils de conduite

Les critères utilisés pour discriminer la conduite sont les indices des sollicitations, résumés dans le Tableau 4. En moyenne les indices de sollicitations sont de 13.5% (avec vitesse de lacet) et 14.8% (avec vitesse de roulis) et varient du motocycliste à la conduite la plus « souple » dont les indices sont 6.1% et 2.2% au motocycliste à la conduite la plus « sportive » d'indices 23.7% et 22.8%.

Tableau 4 : Indices des sollicitations pour la flotte globale et pour les motocyclistes à la conduite la plus souple et la plus sportive

	Accélération longitudinale vs Vitesse de lacet	Accélération longitudinale vs Vitesse de roulis
Flotte globale (ensemble de tous les trajets)	31.3%	39.2%
Moyenne par conducteur	13.5%	14.8%
Motocycliste à la conduite la plus souple	6.1%	2.2%
Motocycliste à la conduite la plus sportive	23.7%	22.8%

Pour évaluer les différences de vitesses pratiquées, les profils du motocycliste à la conduite la plus souple et du motocycliste à la conduite la plus sportive ont été comparés avec le profil de vitesses pratiquées global de toute la flotte (Figure 19, croisement [accélération longitudinale – vitesse de lacet]). Les profils de vitesses sont très variés, avec un motocycliste à la conduite « souple » qui circule plus souvent que l'ensemble des motocyclistes en dessous de 70 km/h, et un motocycliste à la conduite « sportive » qui est beaucoup plus souvent entre 105 et 135 km/h. Il apparaît peu de différence de temps passé au-delà de 135 km/h, mais on peut remarquer que c'est le motocycliste à la conduite souple qui roule le plus souvent à ces vitesses élevées.

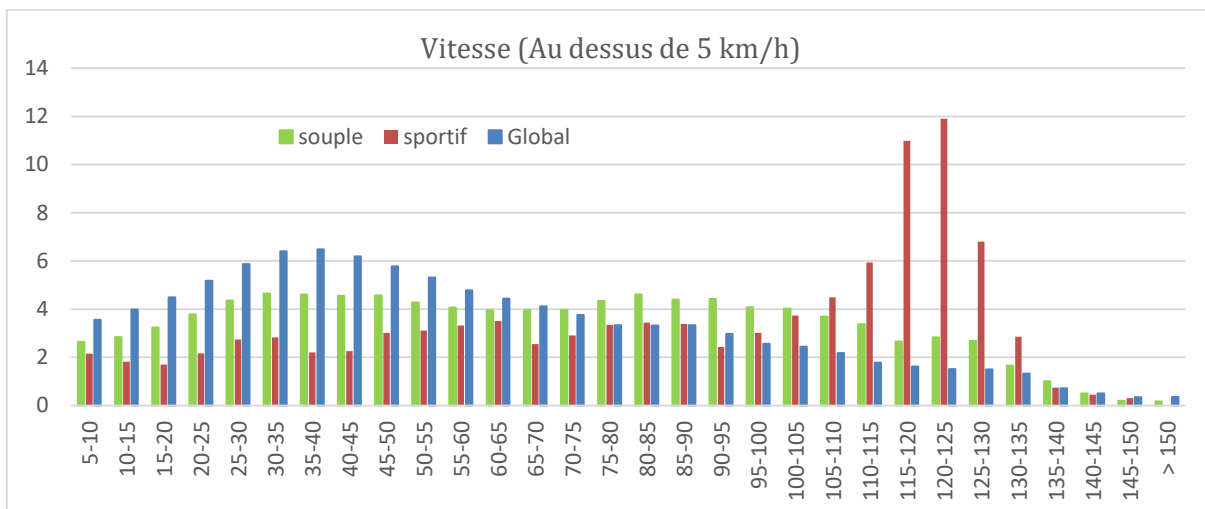


Figure 19 : Comparaison du profil de vitesse global, et des profils de conduite la plus souple et la plus sportive

La répartition des indices de sollicitations [accélération longitudinale - vitesse de lacet] représentée à la Figure 20 montre que le cas du motocycliste le plus sportif est un cas extrême et que la majorité des motocyclistes ont un indice situé entre 10 et 18%. Il n'y a que deux motocyclistes qui ont moins de 10%.

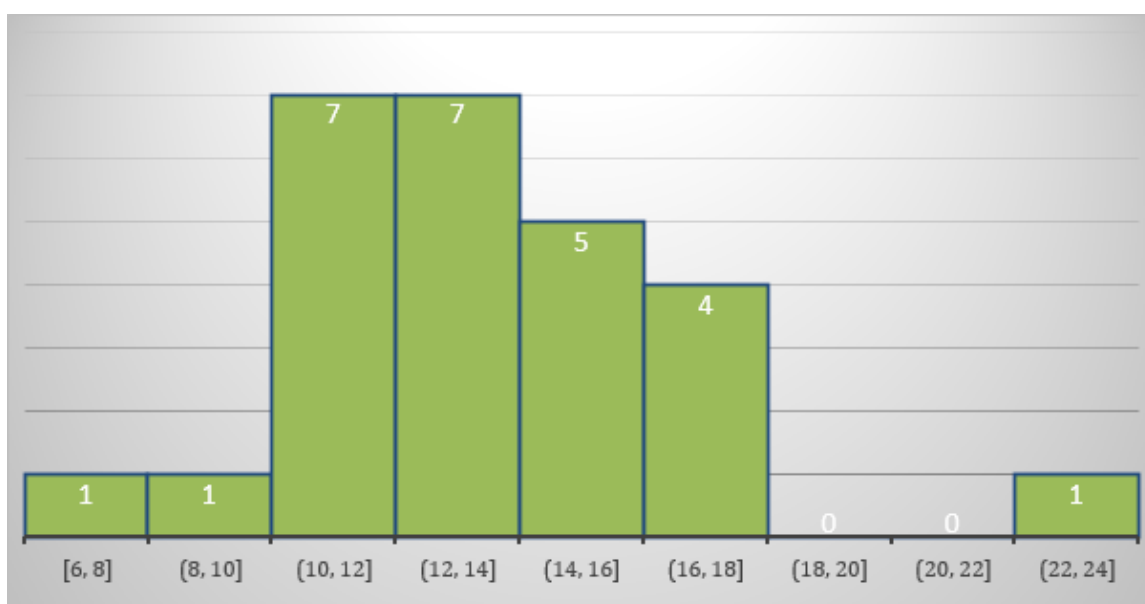
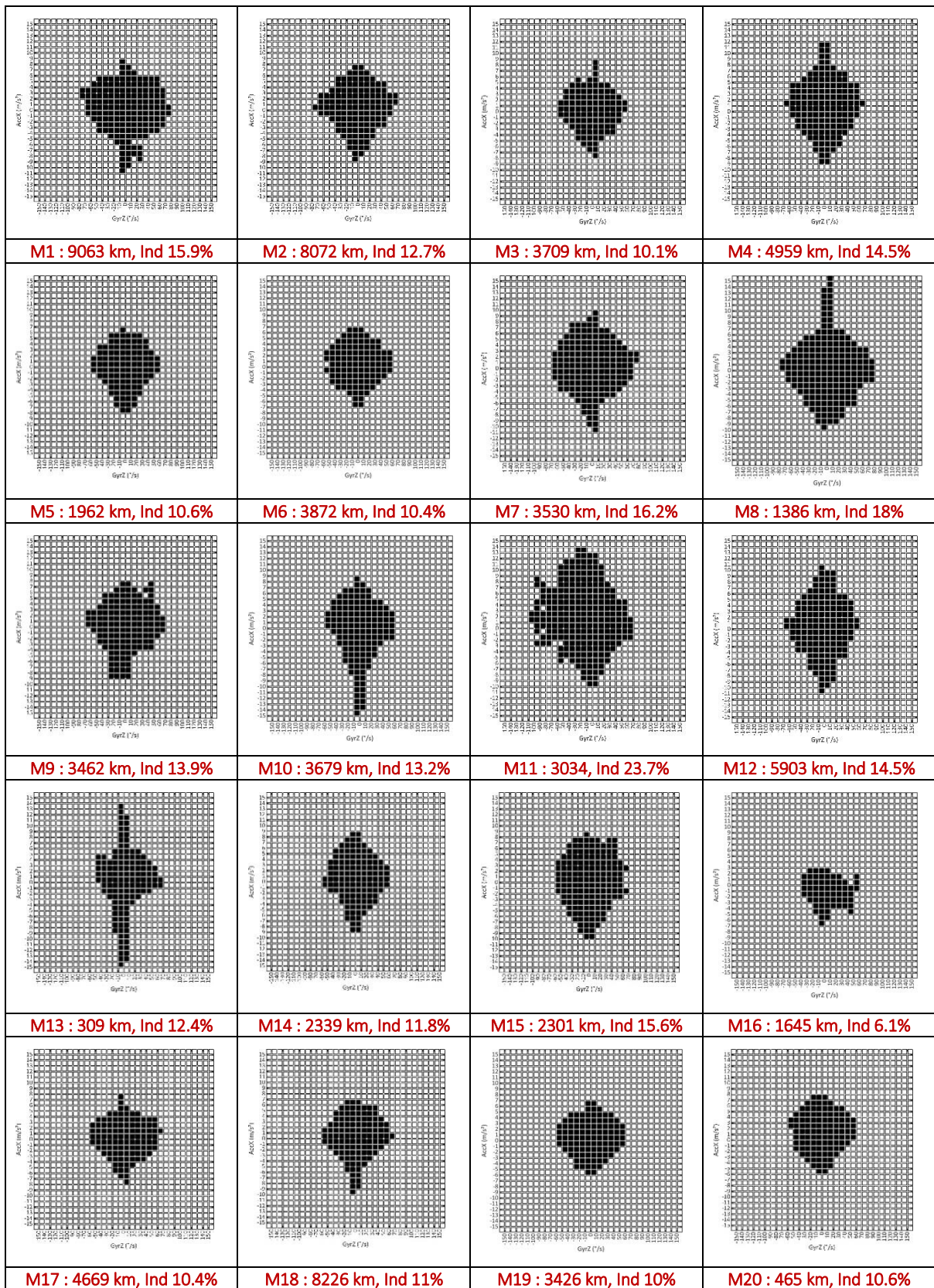


Figure 20 : Répartition des indices de sollicitations Accélération longitudinale vs Vitesse de lacet pour les 26 motocyclistes

La Figure 21 illustre mieux encore la diversité des profils de conduite, avec le croisement [accélération longitudinale – vitesse de lacet] pour les 26 motocyclistes. Pour chacun est donné le kilométrage parcouru et l'indice des sollicitations correspondant.



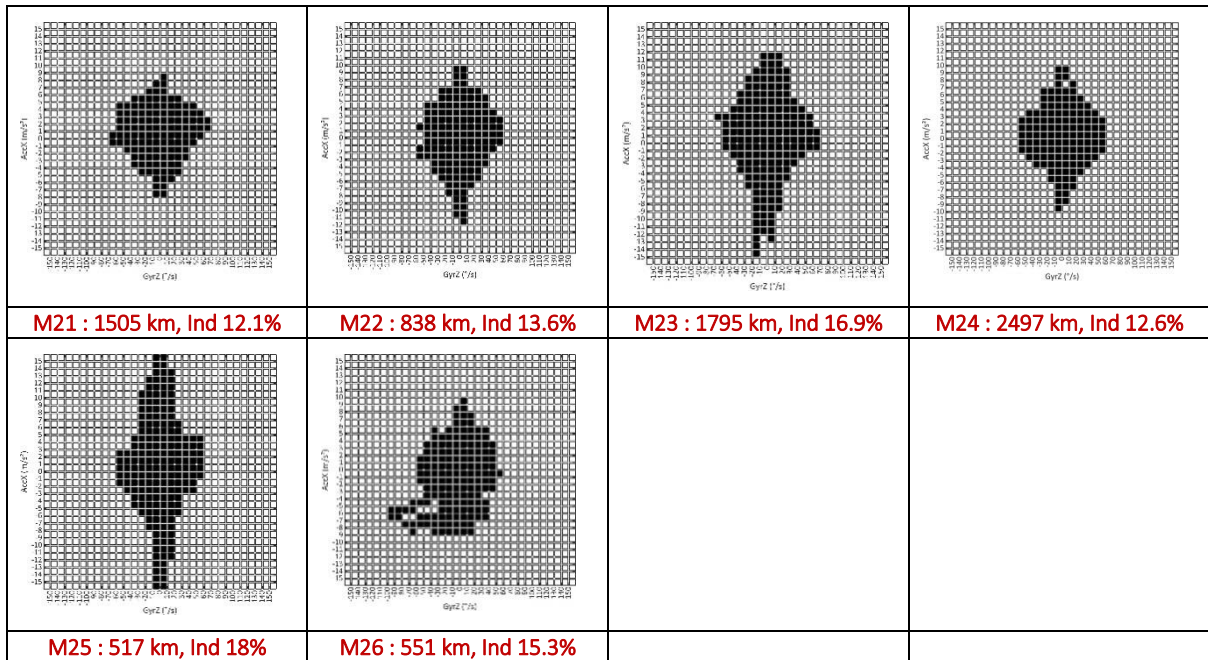


Figure 21 : Comparaison de l'étendue des sollicitations pour les 26 motocyclistes de la flotte – Croisements Accélération longitudinale vs Vitesse de lacet

Ces graphiques permettent rapidement d'identifier les motocyclistes qui freinent fort, tels que M10, M13 par exemples, ceux qui accélèrent fortement comme M8, et ceux qui freinent et accélèrent fort comme M23 et M25. En transversal les motocyclistes qui sollicitent le plus leur véhicule sont M7, M8, et M23, ainsi que M11 dont le graphique montre qu'il sollicite le plus son véhicule dans toutes les directions, y compris en sollicitations combinées.

Ces sollicitations en longitudinal et en transversal sont liées à la manière de conduire du motard, mais sont également influencées par le type de routes empruntées. On ne sollicite pas son véhicule de la même manière en milieu urbain, en péri-urbain, sur autoroute et sur route de montagne. D'où l'intérêt de comparer la conduite de motocyclistes sur un même itinéraire.

2.2.6 Comparaison des profils de conduite sur un même itinéraire

L'exemple illustré à la Figure 22 correspond à un trajet d'environ 10 km, qui a été emprunté 4 fois par le motocycliste M7 et 3 fois par le motocycliste M6. Ces deux motocyclistes ont parcouru globalement plus de 3500 km chacun et leur profil de conduite apparait différent (Figure 21), avec une conduite plus sportive pour M7. Sur cet itinéraire, il en va de même, avec moins de sollicitations dans toutes les directions pour M6. Dans ce cas les différences de profil de conduite sont confirmées par l'étude d'un même itinéraire. Les vitesses pratiquées par ces deux motocyclistes sur cet itinéraire (Figure 23) sont d'ailleurs assez différentes, M7 roulant plus vite globalement, ce qui explique qu'il sollicite d'avantage son véhicule, aussi bien en longitudinal qu'en transversal.

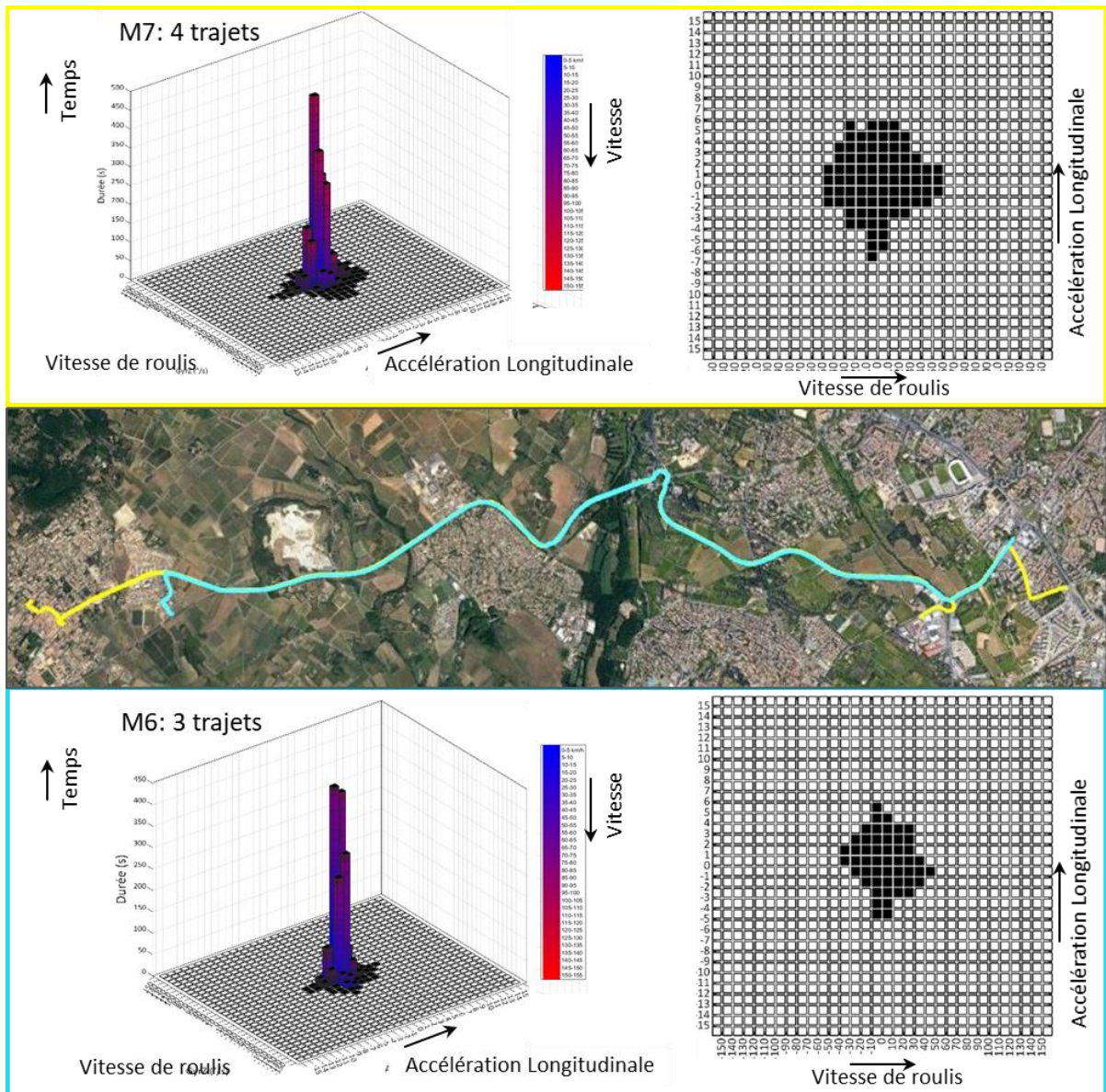


Figure 22 : Itinéraire emprunté par deux motocyclistes (M7 en jaune, 4 trajets, M6 en bleu, 3 trajets)

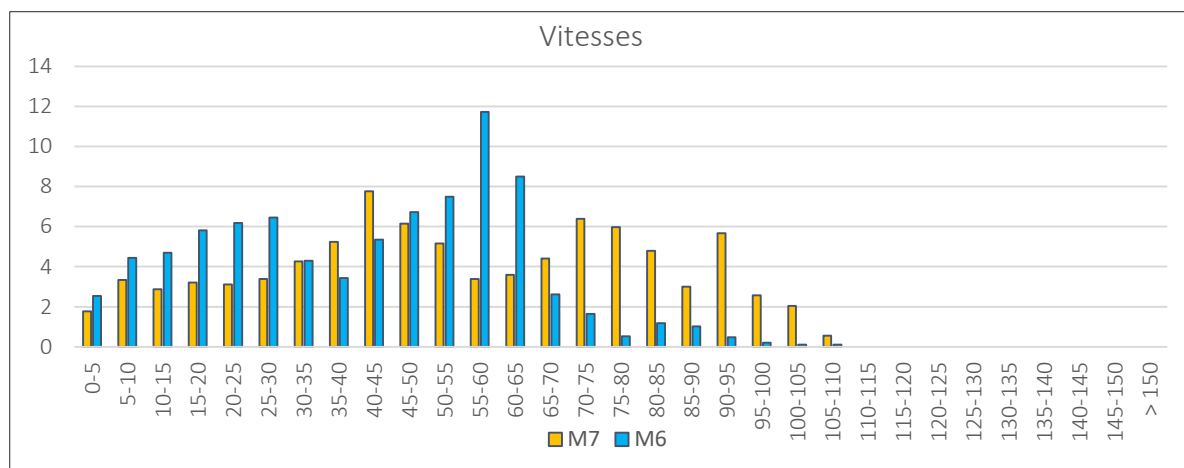


Figure 23 : Niveaux de vitesses des motocycliste M7 et M6 sur le même itinéraire

2.3 Conclusion - Partie 2

Toutes les données acquises dans le cadre du projet antérieur DYMOA n'avaient pu être exploitées. En effet l'acquisition de données s'est poursuivie jusqu'à la fin du projet et même un peu après. Les dernières données acquises complètent les exploitations générales effectuées pour décrire le comportement dynamique des 2RM.

Les données exploitées dans DYMOA représentaient environ 3200 trajets, soit 36500 km parcourus, acquis en 12 mois. Les données complètes sont maintenant de 6500 trajets, soit 88000 km en 18 mois.

Les motocyclistes subissent rarement des niveaux élevés de sollicitations dynamiques. En accélération et décélération notamment, ils ne dépassent $\pm 4 \text{ m/s}^2$ que 0,5% du temps. En ce qui concerne les virages, leur vitesse de roulis ne dépasse $20^\circ/\text{s}$ que 0,8% du temps et leur vitesse de lacet que 2,1% du temps. Si l'on exclut le temps passé à l'arrêt ou à très faible vitesse (moins de 5 km/h), les motocyclistes passent 80 % de leur temps en dessous de 90 km/h et 3,2 % du temps au-dessus de 130 km/h, avec seulement 0,3 % du temps au-dessus de 150 km/h. Le comportement est très variable d'un motocycliste à l'autre, même sur les mêmes itinéraires. Ces données permettent de caractériser la dynamique des motos et de discriminer les différents comportements des motards.

3. Références

- [1] Costa, L., Perrin, C., Dubois-Lounis, M., Naude, C., Fournier, J-Y., Cornen, R., Serre, T. 2018. DYMOA : Livrable 3.2 - Définition des seuils de déclenchement d'incidents pour un 2RM, 30p.
- [2] Naude, C., Fournier, J-Y., Perrin, C., Serre, T. 2018. DYMOA : Livrable 3.3 - Utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM. 100p.
- [3] Lechner, D., Naude, C., 2011. Road Incident Analysis between Naturalistic Driving and Accident In-depth Investigation. Proceedings of the First International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident: FAST-zero'11, Tokyo, JAPAN September 5-9.
- [4] Naude, C., Serre, T., Ledoux, V. 2017. Vehicle dynamics data collection to characterize the drivers' behavior. European Transport Conference. Barcelone.4-6 oct. (AET).
- [5] Lechner, D., Perrin, C., 1993. The actual use of the dynamic performances of vehicles. Proc. J. Automobile Eng. Part D (Issue D4, IMechl. SAE Paper18-207-D4-249).
- [6] Naude, C., Serre, T., Perrin, C., Cornen, R. 2019. Real Use of the Dynamic Capacities of Motorcycles. 5th International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero Accidents. FAST-zero '19. Sept. 9-11, Blakburg, VA, USA.