



Livrable 1.4

Rapport de synthèse

N° Livrable	1.4	N° sous-projet	SP1
Statut	Version finale		
Date	16/07/2018		
Responsable du document	Thierry SERRE IFSTTAR-TS2-LMA 304 Chemin de la Croix Blanche 13300 SALON DE PROVENCE		
Auteur principal	Thierry SERRE		
Contributeur(s)	IFSTTAR : T. Serre, M. Guilbot, C. Perrin, C. Naude, J-Y. Fournier, M. Dubois-Lounis, L. Costa, R. Cornen, L. Vaslin. CEREMA : V. Ledoux, P. Subirats, E. Violette, O. Moisan, A. Chabani, D. Doucet, O. Floris, A. Hublart, B. Rongione, G. Duchamp AMDM : V. Cucurullo, C. Raibaut		
Validation	Thierry SERRE		
Enregistrement	DYMOA_Livrable1.4.docx		

Résumé

Objectifs initiaux du projet

Les objectifs poursuivis par le projet DYMOA étaient :

- De développer de nouvelles méthodes de diagnostic des infrastructures routières et de leur usage par des conducteurs de 2RM (Deux-Roues Motorisés) et de VL à l'aide d'EDR (Enregistreurs de Données de la Route), basées notamment sur l'analyse des incidents.
- De produire de la connaissance sur l'utilisation réelle d'un 2RM, en distinguant : les interactions avec l'infrastructure, l'utilisation des capacités dynamiques des 2RM, notamment les vitesses pratiquées et les comparaisons véhicule légers / 2RM.
- De mettre en œuvre une méthodologie de recueil (EDR de type smartphone, constitution de bases de données) et d'exploitation de données (outils cartographiques) en conformité avec les droits des conducteurs concernés (protection des données à caractère personnel).

Méthodes appliquées

DYMOA est basé sur l'instrumentation d'une flotte d'une quarantaine de véhicules (30 2RM et 10 VL) à l'aide d'EDR de types smartphones. Le recueil, d'une durée de 1 an et étendu sur 3 territoires (départements de Seine-Maritime, Bouches du Rhône et Hérault), concerne l'enregistrement des parcours des véhicules, des incidents éventuels détectés par le dépassement de seuils dynamiques des véhicules, des passages sur des zones d'intérêt (zones accidentogènes, aménagements spécifiques...), des comportements des conducteurs, du contexte extérieur au véhicule par enregistrement vidéo et l'élaboration d'un observatoire des vitesses. Des mesures techniques et organisationnelles ont été mises en place afin de garantir la protection des données à caractère personnel et de la vie privée des conducteurs impliqués dans le projet, comme l'impose la législation en vigueur en France et dans l'Union Européenne.

Résultats majeurs

DYMOA a permis l'élaboration d'un enregistreur embarqué basé sur l'usage d'un smartphone dédié, sécurisé et physiquement adapté aux 2RM. Les mesures juridiques et techniques mises en place ont permis d'obtenir l'autorisation de la CNIL. Des critères de détection d'incidents basés sur des seuils atteints par la dynamique du véhicule ont été définis. Une flotte d'une quarantaine de véhicules a été équipée d'EDR. Un recueil de données a été effectué sur trois zones géographiques (départements Seine Maritime, Bouches du Rhône et Hérault) durant une période de 1 an. Plus de 3200 parcours ont été enregistrés représentant environ 42000 kilomètres parcourus.

Plus de 700 événements et 430 incidents ont été recueillis. Ils ont permis de déterminer quels types d'infrastructures généraient des difficultés dans la conduite des 2RM et de localiser des zones à risques les concernant. Des aménagements spécifiques ou des zones accidentogènes ont été analysés de manière détaillée en comparant notamment les comportements de conduite de VL avec ceux de 2RM. L'utilisation réelle des capacités dynamiques des 2RM a pu être identifiée et comparée avec celle des VL. L'intérêt d'un observatoire de vitesse en relation avec l'infrastructure et les objets routiers (virages, giratoires, intersection, dispositifs modérateurs de vitesses...) a été montré via la mise en

place d'un démonstrateur technique. Enfin, les enjeux de sécurité spécifiques 2RM liés à l'infrastructure ont pu être mis en exergue en s'appuyant sur le fichier national des accidents (BAAC) de 2011 à 2015, ce qui a permis d'analyser plus de 71000 accidents corporels.

Verrous levés

Parmi les verrous levés, nous citerons :

- l'élaboration d'un EDR sécurisé basé sur l'usage d'un smartphone destiné aux VL et aux 2RM,
- le développement d'outils juridiques sur la base de la législation en vigueur pour respecter les droits des conducteurs et les obligations des équipes de recherche dans le cadre de ce type d'expérimentation,
- la production de connaissances sur la conduite naturelle des 2RM en termes notamment d'usage de l'infrastructure, de détection des caractéristiques d'infrastructure qui posent problèmes aux 2RM, d'utilisation réelle des capacités dynamiques des 2RM, etc.

Perspectives ouvertes par le projet

Le projet DYMOA s'est terminé en Septembre 2017 mais le recueil de données s'est poursuivi jusqu'à début 2018. Les suites du projet concerneront donc en priorité l'exploitation de la totalité des données recueillies. En termes de perspectives, plusieurs pistes pourraient être menées et notamment :

- Améliorer les critères de déclenchement des incidents et les valider expérimentalement,
- Confronter les vidéos et l'analyse « infrastructure » à un panel de motards et d'automobilistes,
- Poursuivre les analyses sur l'observatoire des vitesses (VMA, caractéristiques infra...) et la comparaison 2RM/4RM,
- Étudier les pratiques des 2RM au voisinage de certains aménagements (refuges, couloirs, bus, coussins, plateaux...),
- Évaluer l'effet de contremesures par une comparaison avant/après (aménagement, aide à la conduite, législation...).

Par ailleurs, le projet DYMOA étant intimement lié au projet S_VRAI¹, les valorisations des deux projets sont mutualisées. Ainsi, le recueil de données est amené à être étendu à une échelle plus grande via le partenariat avec des collectivités. L'usage de smartphones en tant qu'EDR est d'ores et déjà programmé pour équiper des flottes de véhicules de deux Conseils Départementaux. D'un point de vue juridique, un guide de conformité pour la protection des données à caractère personnel des conducteurs sera rédigé, en tenant compte des exigences du RGPD², pour permettre la pérennisation du dispositif dans les recherches futures basées sur le même modèle expérimental, mais avec la participation d'un ou plusieurs partenaires de droit privé susceptibles d'accéder aux données et de les exploiter. Enfin, les résultats permettront d'alimenter les guides de conception d'aménagement routiers.

¹Sauver des Vies par le Retour d'Analyse sur Incidents

²Règlement Général pour la protection des données personnelles dont l'entrée en application est fixée au 25 mai 2018.

Table des matières

1. INTRODUCTION	5
2. METHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'EXPLOITATION DE DONNEES EN CONFORMITE AVEC LES DROITS DES CONDUCTEURS CONCERNES.....	7
2.1. DEFINITION DE LA FLOTTE	7
2.2. EDR POUR LES 2RM	7
2.3. DISPOSITIONS JURIDIQUES	10
2.4. STRUCTURATION DES BASES DE DONNEES	11
3. ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'UN 2RM	13
3.1. DETECTION D'INCIDENTS POUR LES 2RM	13
3.2. UTILISATION REELLE DES CAPACITES DYNAMIQUES D'UN 2RM	15
3.2.1. <i>Bilan du recueil</i>	16
3.2.2. <i>Les évènements</i>	17
3.2.3. <i>Les incidents</i>	18
3.2.4. <i>Les zones d'intérêt</i>	21
3.2.5. <i>Les synthèses de parcours</i>	21
4. DIAGNOSTIC DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES ET DE LEUR USAGE PAR DES 2RM	24
4.1. IDENTIFICATION DES ENJEUX	24
4.2. AIDE AU DIAGNOSTIC ET A L'EVALUATION DE L'INFRASTRUCTURE	26
4.3. EVALUATION D'AMENAGEMENTS	28
4.4. OBSERVATOIRE DES VITESSES	30
4.4.1. <i>Statistique globale</i>	30
4.4.2. <i>Enrichissement cartographique et contextualisation des données</i>	31
4.4.3. <i>Analyse par Vitesses Maximales Autorisées</i>	32
4.4.1. <i>Analyse des parcours</i>	33
4.4.2. <i>Analyse par nature de réseau</i>	33
5. PERSPECTIVES	34
6. VALORISATION	35
6.1. LISTE DES LIVRABLES	35
6.2. SEMINAIRE DE CLOTURE	36
6.3. PUBLICATIONS - THESE	36
6.3.1. <i>Publications</i>	36
6.3.2. <i>Thèse</i>	37

1. Introduction

Financé par la Fondation Sécurité Routière, le projet de recherche DYMOA (Diagnostic d'Infrastructure et Dynamique du Véhicule pour les Motos et les Autos) a duré 46 mois. Il a été notifié en Décembre 2013 et clôturé en Septembre 2017.

Les partenaires du projet étaient :

- **L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)** au travers de son Laboratoire Mécanismes d'Accidents basé à Salon de Provence qui a assuré la coordination du projet.

- **Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema)** au travers de l'implication de 4 de ses directions :
 - Direction technique Territoires et ville – Lyon
 - Direction territoriale Normandie Centre – Rouen
 - Direction territoriale Sud-Ouest – Bordeaux
 - Direction territoriale Méditerranée - Aix en Provence

- **L'Assurance Mutuelle des Motards**

Les objectifs du projet étaient d'étudier le comportement des usagers de 2RM (2-roues motorisés) dans l'optique de mieux comprendre :

- le comportement dynamique de leurs véhicules en utilisation réelle pour identifier des situations de « presque-accidents »,
- leurs usages des infrastructures afin de faire progresser la conception et l'aménagement des routes pour tenir compte des spécificités des 2RM.

Par son approche terrain, ce projet était à visées opérationnelles destinées notamment aux gestionnaires de réseaux. DYMOA avait pour but de produire de nouvelles connaissances sur l'impact de l'infrastructure dans la genèse des incidents et des accidents.

Le projet a mobilisé des compétences pluridisciplinaires couvrant plusieurs domaines scientifiques (dynamique des véhicules 2RM et 4RM, mécanismes d'accidents), techniques (systèmes d'information géographiques, bases de données, instrumentation embarquée, métrologie) et juridiques.

Le projet DYMOA était décomposé en 5 sous-projets :

Le SP1 qui concernait la coordination du projet.

Le SP2 qui s'est focalisé sur les applications à l'infrastructure routière, à savoir :

- l'identification des enjeux à partir des fichiers BAAC et de la base CARE (base de données européenne) en examinant l'accidentologie corporelle des deux roues motorisés.

- le développement de nouvelles connaissances sur l'utilisation réelle d'un 2RM en interaction avec l'infrastructure routière. Il s'agissait ici d'investiguer comment un recueil de données basé sur l'utilisation d'Enregistreurs de Données de la Route peut faire progresser la conception et l'aménagement des routes qui tiennent compte de la spécificité des 2RM.
- l'identification de différences notables entre un véhicule léger et un 2RM. L'objectif était d'analyser les sollicitations dynamiques des deux types de véhicules de manière à identifier, par exemple, si l'infrastructure est plus adaptée à un mode de déplacement qu'à l'autre.
- la mise au point d'un observatoire des vitesses basées sur la collecte des vitesses enregistrées par des EDR.

Le SP3 était dédié à l'étude du comportement dynamique d'un 2RM. Il consistait à :

- concevoir un nouveau boîtier enregistreur spécifique aux 2RM.
- identifier les paramètres dynamiques d'un 2RM et leurs valeurs seuils permettant de détecter une situation de conduite à risque.
- déterminer quelle est l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM par des usagers lambda. Un repositionnement de l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM a notamment été effectué vis-à-vis des usagers de 4RM.

Le SP4 concernait des aspects juridiques. Le projet DYMOA comportant un recueil et un traitement de données à caractère personnel à l'égard des conducteurs impliqués, il s'agissait ici de s'assurer de la réalisation du projet en conformité avec les dispositions juridiques imposant le respect des droits des conducteurs et de leur vie privée.

Le SP5 comprenait des actions transversales concernant :

- la gestion de la flotte d'une quarantaine de véhicules équipés d'un EDR.
- le développement des bases de données et d'un outil de traitement cartographique permettant de donner toute sa dimension aux aspects spatio-temporels de l'interaction véhicule-infrastructure.

Ces 5 sous-projets étant en fortes interactions, nous n'exposerons pas ci-après les résultats par sous-projets mais selon un ordre qui correspond aux 3 principaux objectifs poursuivis par le projet DYMOA, à savoir, pour rappel :

- La mise en œuvre d'une méthodologie de recueil et d'exploitation de données en conformité avec les droits des conducteurs concernés (protection des données à caractère personnel).
- La production de connaissances sur l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM.
- Le développement de nouvelles méthodes de diagnostic des infrastructures routières et de leur usage par des 2RM.

Ce rapport reprend uniquement les principaux résultats de tous les sous-projets et le lecteur pourra se référer aux différents livrables pour plus de détails.

2. Méthodologie de recueil et d'exploitation de données en conformité avec les droits des conducteurs concernés

Le projet DYMOA repose sur le recueil d'un ensemble de données recueillies en équipant une flotte de véhicules de particuliers avec des enregistreurs de données conçus et développés par le Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA) de l'IFSTTAR et dénommé EMMAPHONE. Cette méthodologie a demandé de définir la flotte de véhicule à instrumenter, mettre en œuvre un EDR dédié aux 2RM, définir la structure d'une base de données permettant le stockage et l'exploitation des données, et enfin, comme les données recueillies présentaient un caractère personnel, d'assurer la réalisation du projet en conformité avec les dispositions juridiques imposant le respect des droits des conducteurs et de leur vie privée. Nous résumons ci-après les travaux menés pour chacune de ces tâches.

2.1. Définition de la flotte

L'objectif initial visait à instrumenter trente 2RM et dix 4RM. La composition du parc de 2RM circulant en France nous a incité à viser de manière préférentielle les 2RM de type Basique-Classique, Roadster, Routière et Grand Tourisme pour des questions de représentativité de notre échantillon. En ce qui concerne les automobiles aucune spécificité n'a été définie mais il était convenu que les véhicules (2RM et 4RM) devaient être assurés auprès de l'Assurance mutuelle des motards (AMDM) partenaire du projet car elle s'engageait à couvrir les volontaires dans les mêmes conditions que celles prévues par leur contrat.

Les conducteurs novices ont été écartés et d'un point de vue géographique les conducteurs circulant en Seine-Maritime et dans les Bouches du Rhône ont été privilégiés car les équipes impliquées dans le projet disposaient de connaissances fines en matière d'accidentologie, d'incidentologie VL (projet S_VRAI) et d'infrastructure.

L'appel aux volontaires a été lancé début avril 2016 sur le site internet 2RouesLab de l'AMDM (site et mailing à tous les adhérents) puis par un mailing à tous les assurés de l'AMDM du département des Bouches du Rhône (13) et de la Seine-Maritime (76). Suite à ce premier appel, le nombre de volontaires était insuffisant. L'appel a donc été relancé et élargi au département de l'Eure (27) et de l'Hérault (34).

Au final 26 conducteurs de deux-roues motorisés ont participé à l'expérimentation ; six d'entre-deux ayant également accepté d'instrumenter leur automobile. La répartition géographique des 2RM instrumentés était la suivante : 9 en Seine-Maritime, 10 dans l'Hérault et 7 dans les Bouches du Rhône.

Le déploiement a commencé début juillet 2016 et la désinstallation des EDR en Novembre 2017.

Chaque candidat sélectionné a validé formellement sa participation au projet en signant un formulaire de consentement accompagné de notes d'information décrivant le projet.

Le lecteur pourra se référer au livrable « DYMOA-L5.1-déploiement-flotte » pour plus de détails sur ce travail.

2.2. EDR pour les 2RM

Plusieurs types d'EDR ont été testés et comparés. Il s'agit notamment d'une part de l'EMMA3 (Enregistreur eMbarqué des Mécanismes d'Accidents, version 3) qui a été développé par l'IFSTTAR-LMA dans le cadre du projet S_VRAI, et d'autre part d'une solution smartphone contenant une application dédiée appelée EMMAPhone. La solution basée sur un EMMA3 a été écartée notamment en raison de l'encombrement que cela représente sur

la moto. La solution smartphone a donc été choisie pour réaliser la campagne expérimentale. Des tests comparatifs entre un EMMA3 et un smartphone ont été réalisés sur la moto expérimentale du LMA afin de valider la qualité des signaux recueillis par le smartphone (voir figure 1 et 2).



Figure 1 : Montage expérimental permettant de comparer les acquisitions d'un EMMA3 et d'un smartphone

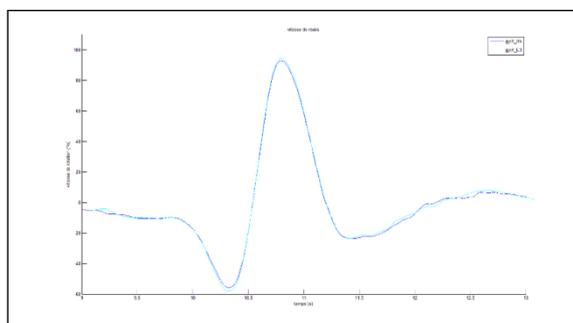


Figure 2 : Comparaison des acquisitions d'un EMMA3 et d'un smartphone, exemple de la vitesse de roulis sur une manœuvre d'évitement

Une application spécifique (avec téléphonie mobile bloquée) sous environnement Cyanogen a donc été développée pour être installée sur les smartphones et l'utilisation du smartphone s'est effectuée sous la forme d'une unité d'enregistrement dédiée pour réaliser le recueil. Afin de disposer d'éléments de contexte lors des enregistrements, une caméra endoscopique indépendante du téléphone et connecté à ce dernier a été rajoutée.

Une quarantaine de smartphones Galaxy S5 ont ainsi été acquis et utilisés pour l'instrumentation de la flotte. Les enregistrements étant fortement assujettis aux vibrations de la moto, une attention particulière a été apportée au mode de fixation de l'EMMAPhone sur la moto. Le smartphone a alors été installé principalement sous la selle de la moto et la caméra sous le phare avant (voir figure 3).



Figure 3 : Installation d'un EMMAPhone et de sa caméra sur une moto

Les données enregistrées par les EMMAPhone sont de plusieurs types et portent sur 5 types d'observations (voir livrable « DYMOA_L3.3-dynamique-2RM ») :

- *Les incidents et évènements*

Les incidents sont considérés comme des situations de conduite critiques, non maîtrisées ou à la limite de la maîtrise du véhicule, qui n'occasionnent pas nécessairement de choc ni dégât. Les critères de déclenchement sont basés sur un dépassement de seuil de paramètres concernant le comportement dynamique du véhicule. Pour les deux-roues motorisés la définition des critères de déclenchement fait partie des travaux de DYMOA (voir chapitre 3), pour les automobiles, ces critères sont proches de ceux définis dans le cadre du projet S_VRAI. Les données d'incidents intègrent les 30s précédant et les 15s suivant le déclenchement. On distingue les évènements qui sont des déclenchements avec dépassement des seuils sur une courte durée (plutôt imputables à un aménagement d'infrastructure ou à un défaut de chaussée) des incidents qui sont des déclenchements avec dépassement des seuils plus prolongé, réellement liés à de fortes sollicitations dynamiques potentiellement dangereuses. Les enregistrements vidéos permettent également de disposer d'éléments de contexte et par conséquent de distinguer les deux types de déclenchements.

- *Les déclenchements sur zones d'intérêt*

Une zone d'intérêt est définie comme une zone présentant des caractéristiques intéressantes du point de vue de l'aménagement ou une zone urbaine dense, une zone à risque en raison d'une accumulation d'accidents, une zone sur laquelle est prévu ou vient d'être réalisé un nouvel aménagement, ce qui permet éventuellement de procéder à des évaluations avant / après l'aménagement, etc. Le déclenchement se fait sur critère géographique (point GPS prédéfinis) et la durée de l'enregistrement conservé est d'au moins 45 secondes. Au total, 98 zones ont été définies : 26 en Seine-Maritime, 72 dans les Bouches du Rhône.

- *Les synthèses de parcours*

Les synthèses de parcours concernent des croisements de paramètres dynamiques de conduite de chaque parcours du véhicule. Les plus usités sont le croisement entre Accélération longitudinale versus Vitesse de roulis pour les 2RM, et le croisement entre Accélération longitudinale versus Accélération transversale pour les automobiles. Ces croisements de données sont enregistrés de manière agrégée et permettent de caractériser les comportements de conduite (conduite souple ou sportive par exemple).

- *Les traces GPS et observatoire des vitesses*

Les traces GPS concernent l'enregistrement de la position du véhicule au cours de son trajet à la fréquence de 1 Hz. Elles permettent de calculer des mesures d'exposition au risque et la contextualisation des trajets en fonction de l'environnement routier, comme par exemple de connaître le kilométrage parcouru par les véhicules de la flotte, les routes empruntées, les taux d'incidents pour une section de route, etc.

- *L'observatoire des vitesses*

L'observatoire des vitesses comprend l'enregistrement de la position du véhicule (latitude, longitude, altitude) et de la vitesse du véhicule à la fréquence de 1 Hz mais il est important de préciser qu'aucun identifiant boîtier, véhicule ou conducteur n'est associé à ces données.

2.3. Dispositions juridiques

Le projet DYMOA comporte un recueil et un traitement de données personnelles à l'égard des conducteurs impliqués. Il doit donc être réalisé en conformité avec les dispositions juridiques imposant le respect de ces données et de la vie privée : droit interne et droits européens auxquels la France est soumise (droit communautaire ; droits de l'Homme et des libertés fondamentales). En outre, la combinaison de données de géolocalisation avec certaines données telles que la vitesse pratiquée est susceptible de révéler des infractions pénales. Bien que cette caractéristique ne soit pas traitée en tant que telle (infraction) par les membres du projet, elle impose d'obtenir l'autorisation de la CNIL, procédure plus complexe que la déclaration (loi du 6 janvier 1978 modifiée, art. 9 et 25).

Le projet DYMOA étant dans la continuité du projet S_VRAI, les dispositions juridiques appliquées à DYMOA se sont fortement inspirés sur les travaux précédents réalisés dans le cadre de S_VRAI. Si les finalités principales des deux projets restaient globalement les mêmes, à savoir la recherche scientifique et l'identification de pistes pour améliorer la sécurité routière, le projet DYMOA intégrait toutefois certaines spécificités par rapport au projet S_VRAI, et notamment :

- Une expérimentation réalisée dans un contexte privé :
 - o véhicules de particuliers.
 - o en trajets loisirs ou domicile-travail.
 - o un partenariat avec un organisme d'assurance (AMDM).
- Des modalités techniques intrusives :
 - o vidéo pour avoir des éléments de contexte sur les incidents et les passages dans les zones d'intérêt.
 - o enregistrement de nombreuses données dont la géolocalisation et la vitesse pratiquée, en particulier en continu pour l'observatoire des vitesses.
 - o utilisation d'un smartphone, ce qui peut constituer une porte ouverte à des intrusions illégitimes, bien qu'il soit « dédié » à l'expérimentation,

Plusieurs principes ont par conséquent dû être respectés, parmi lesquels :

- La détermination préalable des finalités de la collecte et des traitements.
- La désignation d'un responsable de traitement (IFSTTAR).
- Les principes de nécessité et de proportionnalité (minimisation des données).
- La sécurité des données dans les enregistreurs, les réseaux, les bases de données.
- La confidentialité et la sécurisation des accès.
- La pseudonymisation des données.
- La durée de conservation limitée des données identifiantes et des tables de correspondance.
- Le respect des droits de l'utilisateur (accès, opposition, effacement...).

- Le recueil d'un consentement libre, éclairé et spécifique des conducteurs: notes d'information, signature d'un formulaire de consentement, possibilité de désactiver le système à tout moment sans avoir à se justifier, notamment
- Des engagements de confidentialité signés par les partenaires et plus spécialement par l'AMDM (pas d'accès aux données mais à des résultats agrégés, pas d'utilisation des données pour prendre des décisions relatives aux personnes concernées, (par exemple relativement à leur prime d'assurance)
- La préservation des droits des tiers autorisés (ex autorité judiciaire).

Au regard de ces principes, de nombreuses mesures organisationnelles et techniques ont été prises pour en assurer le respect. L'application de ces règles a permis d'obtenir l'autorisation de la CNIL le 11 février 2016 par délibération n°2016-034. Une demande complémentaire à la CNIL a par ailleurs été effectuée concernant l'observatoire des vitesses. La CNIL a répondu favorablement à cette nouvelle demande, sous réserve que les données ne permettent pas un lien direct entre les vitesses observées et un boîtier, un véhicule ou un conducteur.

Suite à ces autorisations, le recrutement des volontaires a pu être organisé. Un appel à candidature a été lancé sur le site Web « 2Roues-Lab' » de l'AMDM mais les sociétaires ont répondu directement à un membre de l'équipe projet afin de respecter les exigences de confidentialité des données recueillies concernant les assurés vis-à-vis de l'AMDM.

Le lecteur trouvera plus de détails sur l'ensemble de ces travaux dans le livrable « DYMOA-L4.1-juridiques-CNIL ». ³

2.4. Structuration des bases de données

L'ensemble des mesures dictées par l'obligation de respecter les droits des conducteurs a conduit à la création d'une structure de base de données très spécifique avec des accès limités à certaines personnes parfaitement identifiées et ayant signés des engagements de confidentialités. Le schéma ci-dessous résume l'ensemble de ces informations (figure 4).

Deux bases de données ont été créées :

- l'une, hébergée par l'IFSTTAR et appelée « BD EMMA », qui a permis de capitaliser les données brutes provenant des EMMAphones,
- l'autre, hébergée par le Cerema et appelée « BD INCIDENTS » qui a été utilisée pour exploiter les données.

Des extractions de la BD EMMA sont ainsi venues alimenter la BD incidents afin de ne conserver que les données nécessaires aux exploitations mais dépouillée des informations identifiantes des conducteurs.

Les incidents, les déclenchements sur zone et les traces GPS ont pu être ainsi stockés dans la base de données « EMMA » (données brutes, accessible au personnel de l'IFSTTAR impliqué dans le projet) et dans la base de données appelée « BD INCIDENTS » qui était

³

GUILBOT, Michèle, SERRE, Thierry, LEDOUX, Vincent, 2017, Concilier la collecte de données individuelles et les droits fondamentaux des conducteurs. In Evaluation des politiques de sécurité routière. Nouvelles technologies, enjeux économiques et communication. Coord. BLANCHARD G. et CARNIS L. Ed. L'Harmattan, chapitre 3 p. 57-74.

GUILBOT, Michèle, SERRE, Thierry, NAUDE, Claire, LEDOUX, Vincent, 2016, Legal conditions for implementing EDRs in public fleets of vehicles, ITS 2016 - 11th ITS European Congress, Glasgow, ROYAUME-UNI, 2016-06-06, 10p.

accessible à tous les membres du projet (Cerema et IFSTTAR). Cependant les synthèses de parcours n'ont été stockées que dans la BD EMMA.

Enfin, le code boîtier (haché) étant associé à un seul véhicule et à un seul conducteur volontaire, une table de correspondance (TC2) a été établie afin de faire correspondre un nouveau code boîtier à un profil conducteur et un profil véhicule.

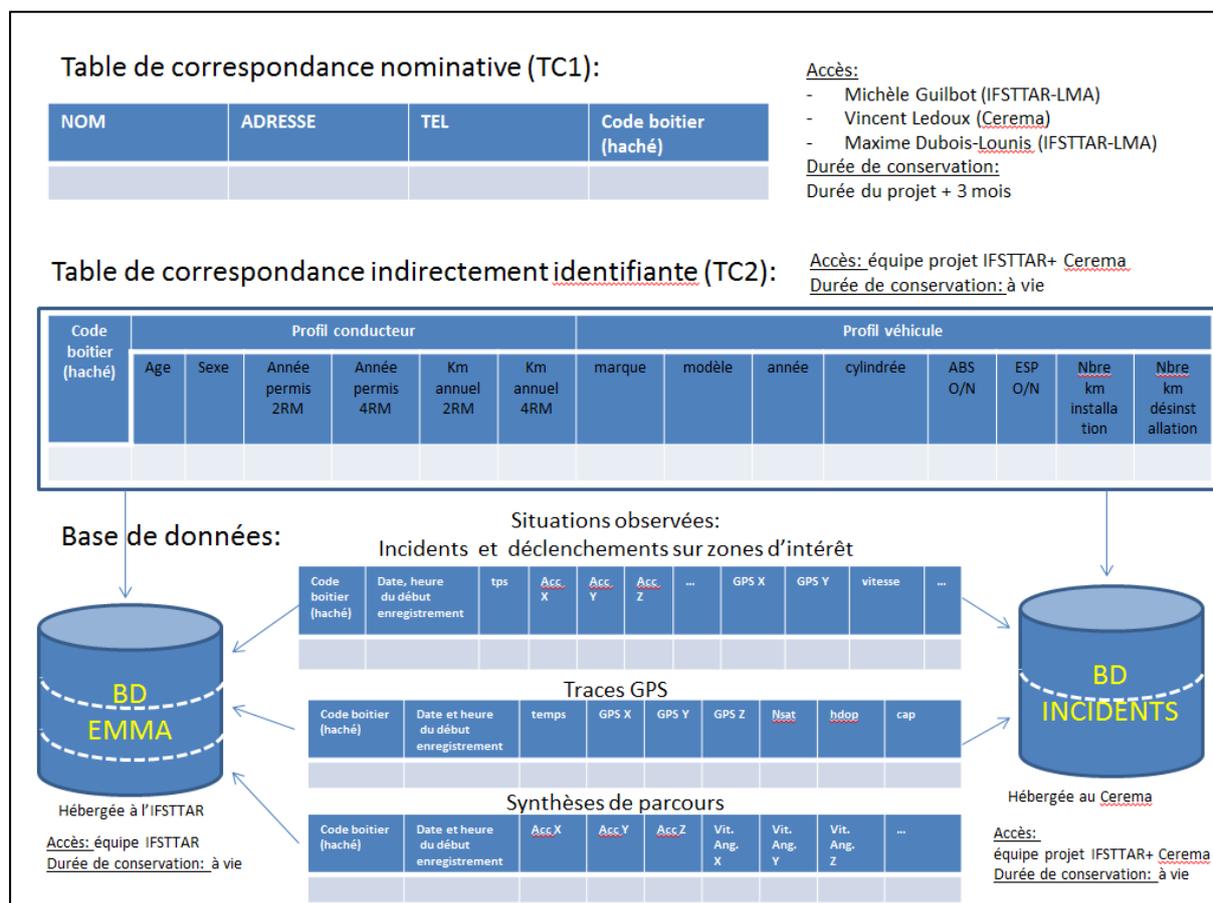


Figure 4 : Schéma récapitulatif des bases de données et tables de correspondance.

La mise en œuvre et l'alimentation de la base INCIDENTS ont donc nécessité la création de formats d'échange ad hoc avec la base EMMA. Ces formats sont explicités dans le livrable «DYMOA-L5.3-BDD», ainsi que les procédures de traitement associées qui permettent l'intégration des fichiers bruts dans les différentes tables de la base. La structure de la base de données INCIDENTS y est également exposée.

La base INCIDENTS, qui pèse 2,8 Go, compte 14 562 fichiers soit 24 624 650 enregistrements toutes tables comprises. Plus précisément, on dénombre, à la date de rédaction du livrable, 34 boîtiers, 33 véhicules, 31 conducteurs, 2 605 événements (1 219 dynamiques, 843 incidents, 540 sur zone GPS), 5 976 traces comportant 5 987 244 points de mesures, 5 981 fichiers vitesses comportant 6 007 085 mesures agrégées.

Au-delà des chiffres, la richesse des résultats qu'ont permis les exploitations de ces données, telle qu'elle ressort des autres livrables du projet, montre l'efficacité et la

pertinence des bases mises en œuvre par le projet DYMOA et du modèle de données qui leur est associé.

3. Etude du comportement dynamique d'un 2RM

Les études sur le comportement dynamique d'un 2RM dans le cadre de DYMOA consistaient à :

- identifier les paramètres dynamiques d'un 2RM et leurs valeurs seuils permettant de détecter une situation de conduite à risque.
- déterminer quelle est l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM par des usagers lambda. Un repositionnement de l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM devait notamment être effectué vis-à-vis des usagers de 4RM.

3.1. Détection d'incidents pour les 2RM

L'objectif de cette tâche était d'identifier les paramètres dynamiques d'un 2RM et leurs valeurs seuils permettant de détecter un incident (voir livrable « DYMOA_L3.2-seuils-déclenchement »). 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 piste et sur route. Les essais sur piste avaient 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 avaient pour objectif de caractériser d'un point de vue dynamique une situation de conduite normale. 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 prise 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", voir figure 5) et réalisation de tours de circuit complets. Au total, une cinquantaine d'essais ont été réalisés sous différentes sollicitations à différentes vitesses.



Figure 5 : Séquence photos pour un essai d'évitement à droite

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 °/s

Ou :

- Norme du vecteur Accélération de rotation (Roulis + Lacet + Tangage) supérieure à $300^\circ/\text{s}^2$.

Sur routes ouvertes, aucune manœuvre à hautes sollicitations dynamiques n'a été réalisée. Nous avons pu alors vérifier qu'aucun seuil n'était atteint en conduite "normale" (voir figure 6).

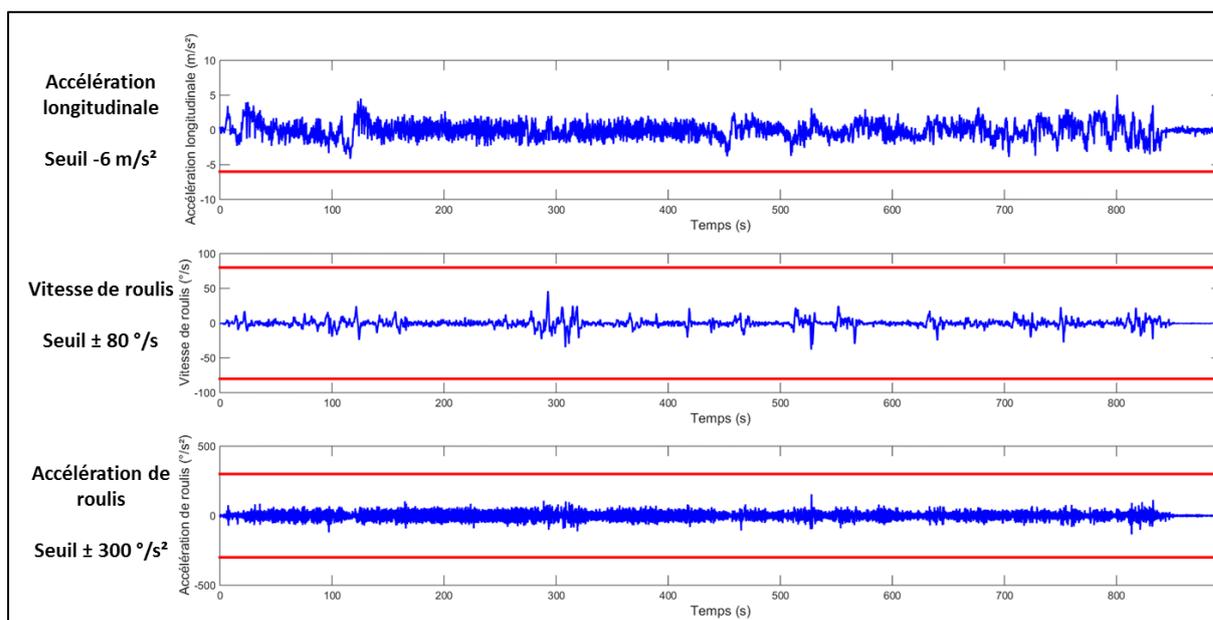


Figure 6 : Roulage sur route ouverte en conduite "normale" (extrait des 80 km parcourus) et seuils de détection des incidents (en rouge).

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 de 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.

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 », soutenue le 29 novembre 2017.

3.2. Utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM

Ce travail vise à déterminer quelle est l'utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM par des usagers lambda, à partir du recueil de données pendant une durée de un an avec la flotte d'une trentaine de 2RM et d'une dizaine de 4RM équipés d'EMMAPhones (voir livrable « DYMOA_L3.3-dynamique-2RM »). Il est décomposé en 4 parties qui concernent

chacune un type de données recueillies et les enseignements que l'on peut en tirer concernant l'usage des 2RM. Mais avant d'exposer les résultats majeurs pour chacun des types de données, nous dressons un rapide bilan du recueil.

3.2.1. Bilan du recueil

Globalement, le bilan du recueil pendant un an est le suivant :

- 3236 parcours correspondant à 41000 km, dont 36500 en 2RM et 4500 en 4RM,
- Aucun accident enregistré par l'EMMAPhone,
- 427 incidents, dont 395 en 2RM et 32 en 4RM,
- 716 événements, tous en 2RM (du fait du seul critère choisi pour les 4RM),
- et 319 passages en zone d'intérêt, dont 315 en 2RM et 4 en 4RM.

La figure 7 résume la répartition des différents types d'enregistrements par boîtier et type de véhicule (2RM/4RM).

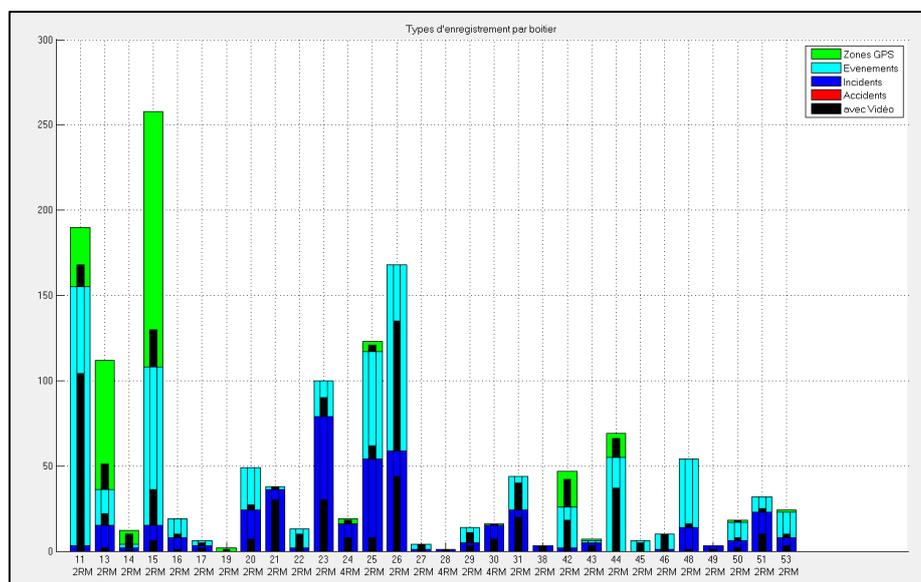


Figure 7 : Répartition des déclenchements par boîtier et par type

La figure 8 fournit une carte des parcours avec la localisation des incidents 2RM uniquement. Un zoom sur les 3 principaux territoires concernés est également fourni.

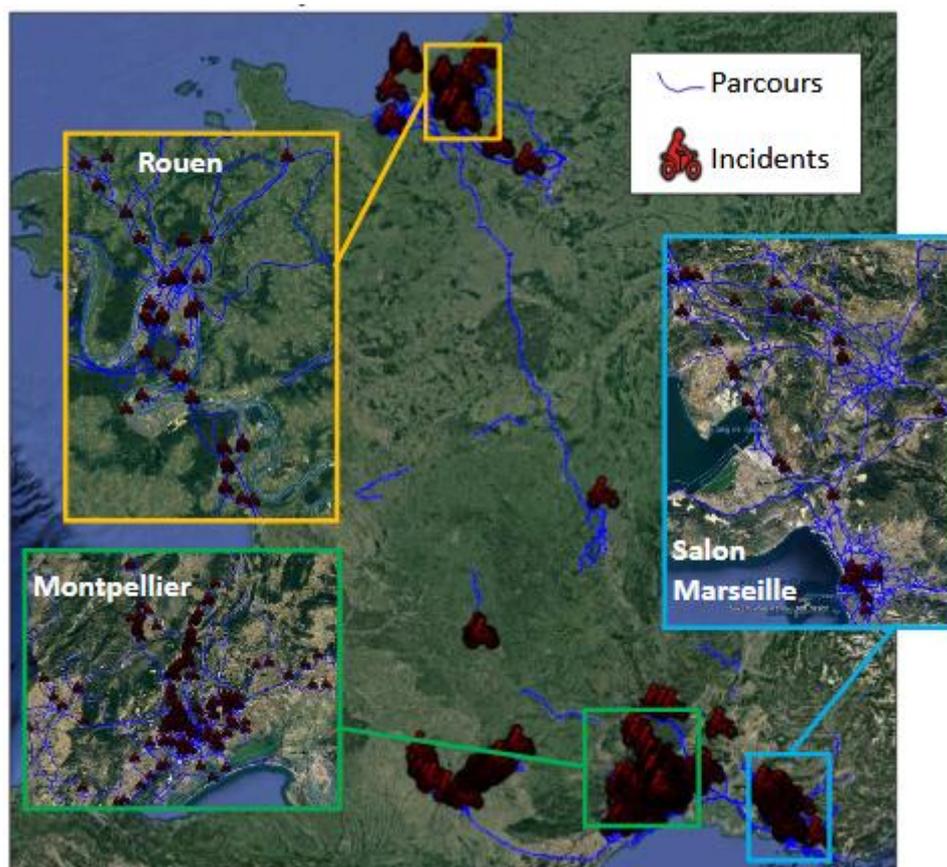


Figure 8 : Carte des parcours et des lieux d'incidents

3.2.2. Les événements

Le premier type de données concerne les données d'**événements** recueillis, c'est-à-dire des situations de conduite avec un déclenchement de courte durée plus lié à un défaut ou un aménagement spécifique de l'infrastructure qu'au comportement du conducteur. Les événements sont plutôt liés à un aménagement ou à un défaut de la chaussée. La visualisation avec Google Street Map et/ou la vidéo permettent souvent d'identifier la cause des secourus. On rencontre notamment :

- Des dos d'âne (c'est la plus forte proportion) ou des coussins berlinois, déclenchant plus souvent en descente qu'en montée,
- Des voies ferrées et en particulier en ville des rails de tramways,
- Des bouches d'égout, des zones pavées,
- Des rigoles transversales à la route avec grille,
- Des rails de portail en entrée de site,
- Des différences de niveau entre deux chaussées,
- Des tranchées mal faites ou affaissées,
- Des nids de poule, etc.

Cependant tous les aménagements de ce type et tous les défauts de la route ne déclenchent pas systématiquement le système embarqué. L'intérêt majeur de ces événements est leur accumulation sur certains points, qui peut démontrer le danger potentiel

de l'aménagement ou du défaut notamment pour un deux roues. Cela peut orienter l'action du gestionnaire de voirie vers ces points.



Figure 9 : Exemple d'accumulation d'événements au niveau d'une tranchée affaissée

3.2.3. Les incidents

Le deuxième type de données concerne les **incidents** proprement dits, qui constituent des situations dangereuses ou risquées, à la limite du contrôle par le conducteur.

Parmi les 427 incidents recueillis, 395 ont eu lieu en 2RM et 32 en 4RM. En 2RM, il y a une grande majorité de déclenchements sur l'accélération longitudinale, et seulement 4% de déclenchement sur les critères transversaux, soit seulement 17 incidents concernés par un déclenchement en transversal.

Les valeurs extrêmes des principaux paramètres de la dynamique du véhicule ont été calculées lors des déclenchements de tous les incidents ainsi que la durée du déclenchement. Si on compare globalement les incidents 2RM et les incidents 4RM :

- Les niveaux d'accélération longitudinale sont plus élevés en moyenne pour les 2RM, entre -4.4 et -6.7 contre -3.1 à -2 m/s² pour les 4RM. Ceci peut s'expliquer par la proportion de déclenchement en freinage beaucoup plus importante en 2RM qu'en 4RM.
- Comme attendu les niveaux d'accélération transversale sont faibles pour les 2RM, puisque le motard incline sa moto pour tourner. Pour les 4RM ils sont en moyenne entre 0.4 et 1.9 m/s² lors des déclenchements.
- Les extrêmes des 3 vitesses angulaires sont faibles pour les 2RM et encore plus pour les 4RM, sauf la vitesse de lacet (-21 à 12 °/s), qui entre en jeu lors des virages en 4RM.
- La norme des accélérations angulaires atteint des niveaux plus élevés en 2RM (179°/s) qu'en 4RM (20°/s²).

Les 395 incidents de 2RM et les 32 incidents 4RM ont également été classés selon la configuration de la route au moment du déclenchement, quelle que soit la manœuvre concernée (voir figure 10).

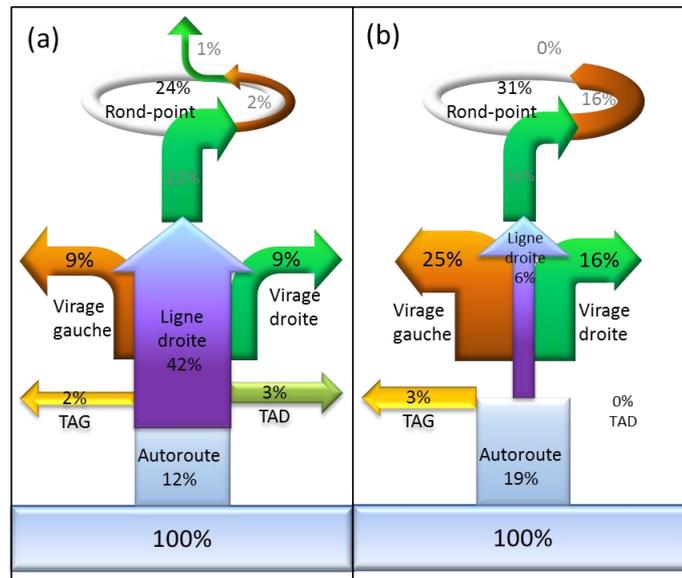


Figure 10 : Répartition des 395 incidents 2RM (a) et des 32 incidents 4RM (b) en fonction de la configuration de la route

A titre d'exemple d'incident, la figure 11 fournit les courbes caractéristiques de la dynamique d'un 2RM et une sélection d'images de la vidéo lors d'un freinage brutal au cours d'une tentative de dépassement. Dans cette situation de conduite, le motard circulait en ligne droite à environ 100 km/h, il a fait une première tentative de dépassement de la voiture qui le précède mais a renoncé car une voiture arrive en sens inverse. Il déboîte une seconde fois pour dépasser, ce qui est corroboré par le pic d'accélération transversale au temps 30s, lorsque la voiture le précédant décide elle aussi de doubler une autre voiture située devant elle, en mettant son clignotant à la dernière seconde. Le motard freine (pic d'accélération longitudinale qui dépasse -6 m/s^2 vers 31s), ce qui déclenche l'enregistrement.

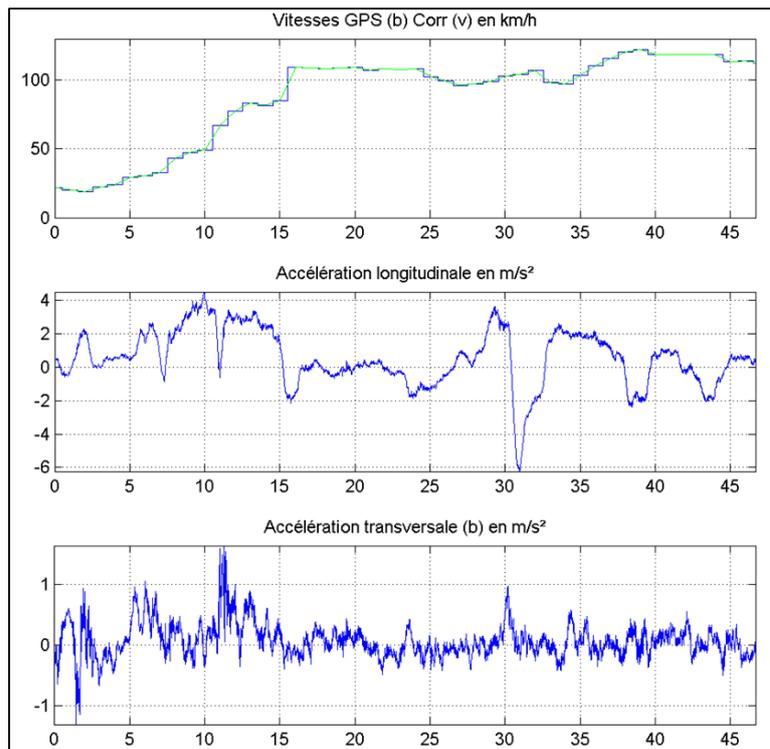




Figure 11: Vitesse, Accélération longitudinale, Accélération transversale et sélection d'images de la vidéo d'un incident en freinage lors d'une tentative de dépassement.

3.2.4. Les zones d'intérêt

Le troisième type de données concerne les **zones d'intérêt**. Plus de 300 déclenchements de ce type ont été recueillis (315 en 2RM et 4 en 4RM). Les résultats de ce travail étant très spécifiques à chaque site, nous renvoyons le lecteur au livrable « DYMOA_L3.3-dynamique-2RM » pour y trouver un bilan du recueil dans ces zones, des études thématiques (comportement urbain dense, voies structurantes d'agglomération) et une comparaison 4RM/2RM sur des zones accidentogènes déjà étudiées dans le cadre du projet S_VRAI.

Néanmoins, nous pouvons souligner l'intérêt d'un déclenchement de l'EMMAPhone sur zones spécifiques car il montre la diversité des études que l'on peut réaliser. En effet, les différentes zones étudiées permettent de dégager des connaissances en lien avec les accidents des 2RM. En particulier, l'analyse de la vidéo sur certains sites, a permis de rendre compte des comportements des 2RM dans des situations à risque voire des situations d'accidents, comme les cas de remontée de file. L'analyse sur un site a permis également de montrer l'effet de l'infrastructure sur la réduction des vitesses des 2RM, notamment en comparant les vitesses des passages des 2RM avec ceux des 4RM. On en a conclu par exemple que la présence d'un terre-plein central sur l'axe permet de réduire la vitesse des 2RM en empêchant ces derniers de remonter les files.

3.2.5. Les synthèses de parcours

Le quatrième type de données concerne l'utilisation réelle des capacités dynamiques des 2RM grâce à l'exploitation notamment des synthèses de parcours, croisements des niveaux d'accélération et de vitesses angulaires sur l'ensemble des parcours de la flotte.

La figure 12 fournit la distribution des paramètres de conduite (% temps passé / temps total) pour tous les 2RM sur tous les parcours en termes d'accélération longitudinale (AccX) et transversale (AccY) ainsi qu'en termes de vitesses angulaires de lacet (GyrZ) et de roulis (GyrX). La répartition montre notamment qu'il y a 20.2 % des accélérations longitudinales au-delà de 0.1 g, et 3.8 % au-delà de 0.2 g. La proportion n'est vraiment faible qu'au-delà de 0.3 g : 0.6 %. La répartition des vitesses de roulis (GyrX) est symétrique au-delà de 10 °/s. Par contre entre 0 et 10 °/s il y a un peu plus de vitesse de roulis positives que de vitesse de roulis négatives (2.3 % en plus). Il n'y a qu'à peine plus de 4 % de vitesse de roulis au-delà de 10 °/s, et 0.5 % seulement au-delà de 20 °/s.

Si nous comparons les valeurs recueillies par les capteurs pour un 4RM, la répartition des accélérations longitudinales (AccX) pour les 4RM est assez proche de celle des 2RM, avec pour seule différence notable davantage d'accélérations positives entre 0.2g et 0.4 g (11.6 % / 3.2 %), et un peu moins de décélérations quel que soit le niveau. Nous limiterons la comparaison entre 2RM et 4RM à ce paramètre d'accélération longitudinale car les autres mesures effectuées sur un 2RM ne correspondent pas exactement à celles des 4RM du fait du comportement « pendulaire » de la moto.

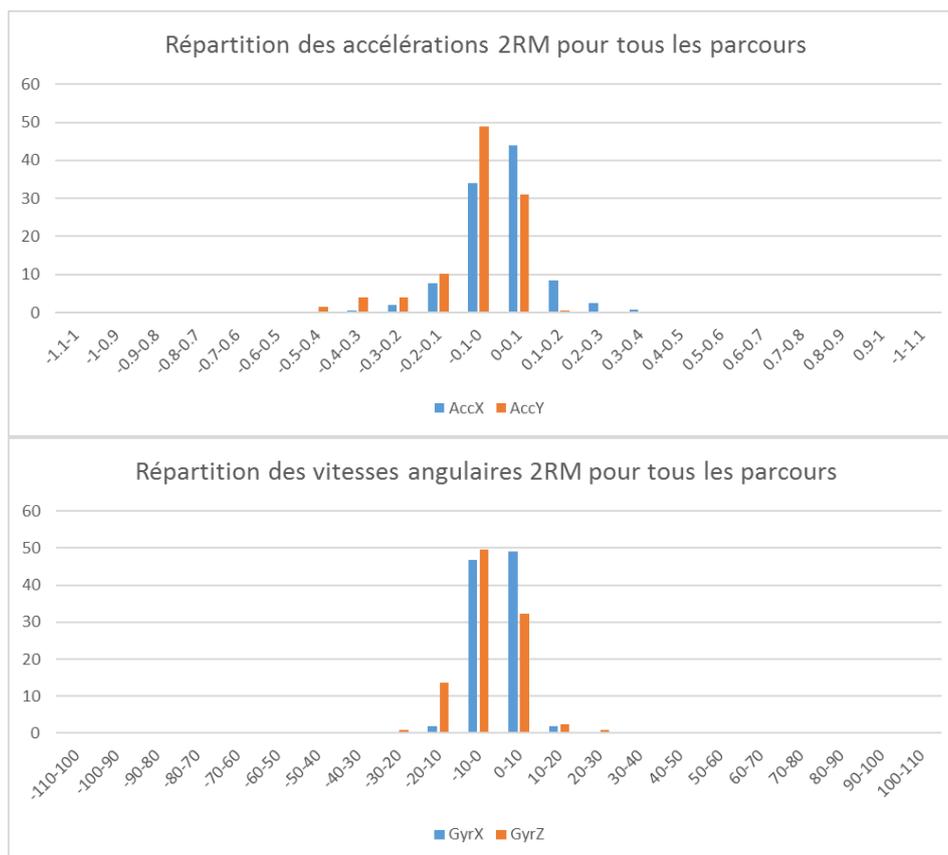
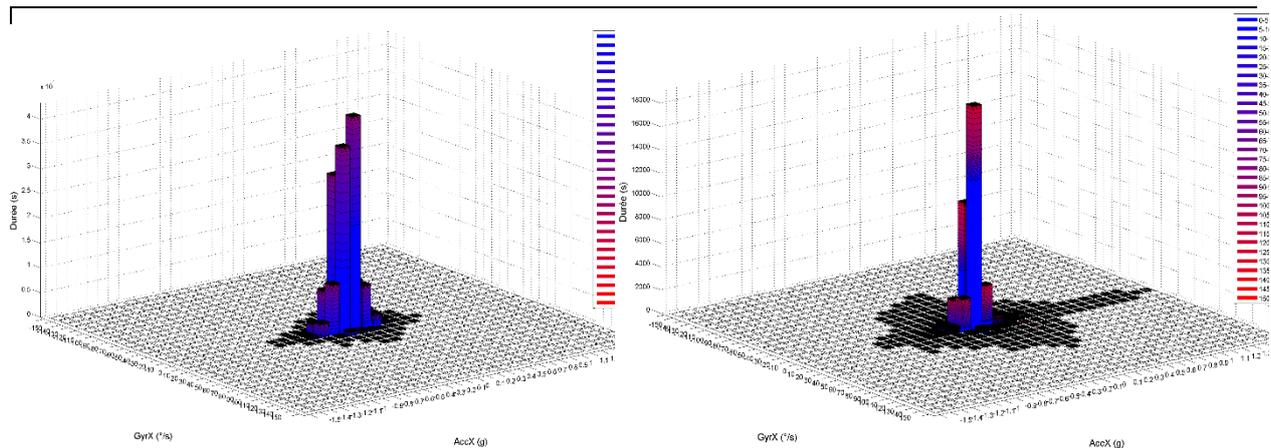
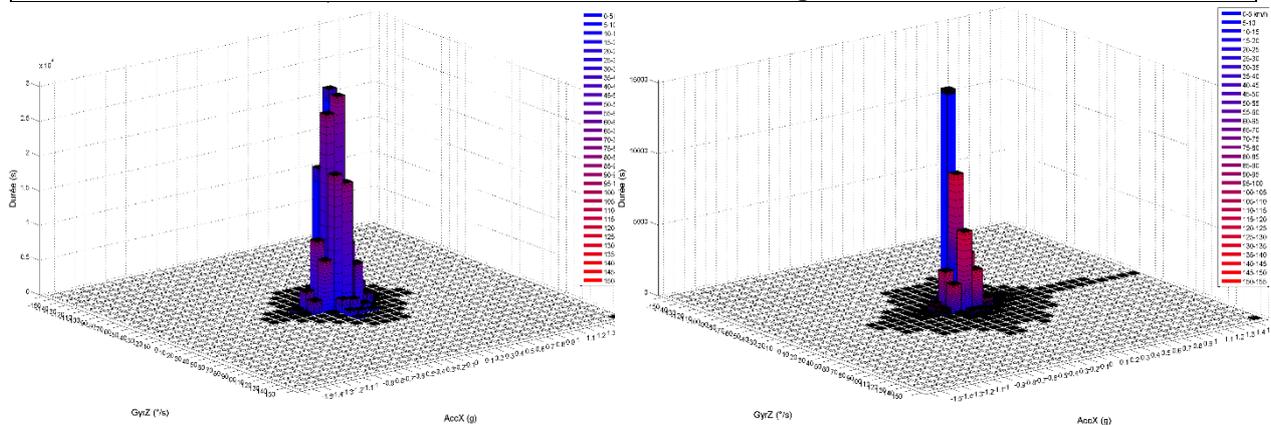


Figure 12: Distribution des paramètres de conduite (% temps passé / temps total)

Les graphiques de synthèses de parcours en 3D permettent d'apprécier, en plus de l'étendue des sollicitations mises en jeu, les durées relatives passées dans les niveaux de sollicitation (hauteur des barres) ainsi que les niveaux de vitesse pratiqués (couleur : du bleu (faible vitesse) au rouge (grande vitesse)). La figure 13 permet par exemple de comparer les sollicitations dynamiques de deux motocyclistes aux profils très différents. Les synthèses de gauche du premier motocycliste montrent de faibles sollicitations et de faibles vitesses pratiquées, tandis que celles de droite correspondent à une conduite plus sportive avec des sollicitations plus fortes jusqu'aux extrêmes et des vitesses plus élevées. Le premier a réalisé 424 parcours et eu 3 incidents, le second 64 parcours et 36 incidents.



Vitesse de roulis – Accélération longitudinale



Vitesse de lacet – Accélération longitudinale

Figure 13: Comparaison des synthèses de parcours 3D de 2 conducteurs extrêmes

4. Diagnostic des infrastructures routières et de leur usage par des 2RM

Ce travail s'est focalisé sur les applications à l'infrastructure routière, à savoir :

- l'identification des enjeux à partir des fichiers BAAC en examinant l'accidentologie corporelle des deux roues motorisés. Ce travail s'est appuyé sur une approche spécifique des problématiques liées à l'infrastructure (enjeux bruts), une comparaison avec celles relatives aux véhicules légers à quatre roues et l'exploration de l'influence de facteurs d'exposition aux risques.
- le développement de nouvelles connaissances sur l'utilisation réelle d'un 2RM en interaction avec l'infrastructure routière afin d'offrir une aide au diagnostic et à l'évaluation de l'infrastructure. L'objectif serait de fournir aux gestionnaires routiers des outils et des méthodes directement utilisables dans les démarches de sécurité routière.
- L'évaluation d'aménagements spécifiques de l'infrastructure. Il s'agissait ici d'investiguer comment un recueil de données basé sur l'utilisation d'Enregistreurs de Données de la Route peut faire progresser la conception et l'aménagement des routes qui tiennent compte de la spécificité des 2RM. Ce travail concernait également l'identification de différences notables entre un véhicule léger et un 2RM dans l'usage des infrastructures. L'objectif était d'analyser les sollicitations dynamiques des deux types de véhicules de manière à identifier, par exemple, si l'infrastructure est plus adaptée à un mode de déplacement qu'à l'autre.
- la mise au point d'un observatoire des vitesses basées sur la collecte des vitesses enregistrées par des EDR.

4.1. Identification des enjeux

Ce travail visait à cerner les enjeux de la sinistralité des deux-roues motorisés. Pour ce faire, il proposait une analyse approfondie des accidents corporels de 2011 à 2015 impliquant un deux-roues motorisé à partir de la base nationale des accidents corporels qui recueille l'ensemble des bulletins d'analyse des accidents de la circulation (BAAC) (voir livrable « DYMOA_L2.1-Enjeux »).

En préalable, quelques repères méthodologiques ont permis de choisir comme thématiques les variables descriptives utiles pour apprécier les conditions de conduites liées à l'infrastructure et son environnement et susceptibles d'avoir une incidence sur la sécurité routière des 2RM : tracé et état de l'infrastructure, situation de conduite, environnement.

Les résultats confirment tout d'abord l'enjeu global de l'accidentalité des 2RM, et explorent les répartitions journalières et mensuelles des accidents. La fin d'après-midi et les périodes autour des mois de mai et septembre apparaissent ainsi comme les périodes les plus pertinentes de l'année ou de la journée sur lesquelles il faut focaliser l'observation car elles sont les plus sujettes aux accidents (voir tableau 1).

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
00:00	13	14	20	33	30	44	50	30	26	27	13	14	314
01:00	8	9	20	18	20	28	40	23	27	19	14	9	235
02:00	8	4	7	14	14	23	29	22	13	19	9	7	169
03:00		8	4	8	8	15	10	21	7	9	11	4	105
04:00	5	6	5	5	21	9	15	11	11	13	8	5	114
05:00	9	6	8	9	8	20	27	18	17	10	11	4	147
06:00	14	12	22	24	19	35	29	26	32	28	21	19	281
07:00	50	45	70	78	82	109	86	52	106	124	78	43	923
08:00	53	37	83	94	120	143	94	73	156	124	83	53	1113
09:00	38	45	65	92	83	112	109	70	116	87	59	48	924
10:00	34	27	59	73	92	114	92	112	101	71	48	33	856
11:00	39	44	80	90	128	126	117	142	123	91	52	39	1071
12:00	52	37	99	93	141	149	127	117	144	116	81	55	1211
13:00	59	47	92	97	122	127	127	108	131	98	60	43	1111
14:00	51	64	113	149	136	177	160	130	157	108	67	69	1381
15:00	60	74	181	173	186	205	180	180	187	130	105	81	1742
16:00	87	87	188	188	198	252	222	198	222	164	149	95	2050
17:00	95	105	226	229	256	287	259	246	300	238	162	127	2530
18:00	96	95	190	231	254	263	266	252	280	202	157	118	2404
19:00	66	80	111	166	188	204	220	189	203	133	113	59	1732
20:00	45	31	79	92	122	140	166	108	136	105	69	49	1142
21:00	21	25	45	59	70	87	93	89	71	53	42	32	687
22:00	15	11	32	38	69	58	83	60	53	31	21	22	493
23:00	16	13	23	38	37	52	48	47	42	22	21	14	373
Total	934	926	1822	2091	2404	2779	2649	2324	2661	2022	1454	1042	

Tableau 1 : Répartition mensuelle et horaire des accidents impliquant un 2RM>125cm3

Pour chacune des thématiques retenues, les données d'accidents corporels, d'accidents graves et d'accidents mortels ainsi que le taux de tués pour 100 accidents ont été analysées. Si l'on considère ces paramètres indépendamment, une lecture rapide pourrait amener à se limiter au constat que les accidents corporels impliquant un 2RM, ont lieu :

- à 74,5% de jour,
- à 87,8% par temps sec,
- à 82,7% sur une chaussée sèche,
- à 76,8% lorsque le tracé est rectiligne,
- à 75,8 % sur le plat,
- à 82,6% hors intersection.

Même si le constat est dressé que, pour la plupart des thèmes, 75 à 83% des accidents et des accidents mortels ont lieu alors que le paramètre étudié est « normal » (temps clair, route rectiligne, jour, etc.), l'étude souligne qu'il ne faut pas pour autant en conclure à l'exonération de l'infrastructure de toute influence. En effet, d'une part certaines configurations présentent un danger qui est difficilement explicable en l'absence d'autre mesure d'exposition ou de vitesse, et d'autre part plus de trois quarts des accidents et 4/5 des accidents mortels surviennent alors que deux paramètres ou plus ne sont pas nominaux.

L'étude suggère d'ailleurs que le paramètre vitesse pourrait être aussi une explication, lorsqu'elle met en lumière par exemple que :

- la dangerosité mesurée au travers du nombre de tués pour 100 accidents est systématiquement plus importante pour les 2RM>125cm³, et plus importante encore lorsqu'ils sont seuls,
- les accidents survenus en rase-campagne et les traverses d'agglomérations de taille moyenne à petites présentent un danger supérieur,
- les accidents dans les courbes en S, les giratoires, les sommets de côtes sont plus dangereux, spécialement pour les 2RM>125cm³ seuls,
- par temps de pluie où le danger est directement visible, la gravité et la mortalité des accidents est également bien moindre.

4.2. Aide au diagnostic et à l'évaluation de l'infrastructure

Ce travail se réfère au livrable « DYMOA_L2.2_L2.3-Usages-Infras ». Il vise à explorer la faisabilité et la complémentarité de l'analyse des incidents par rapport aux méthodes usuelles basées essentiellement sur les accidents corporels de la circulation. A partir des incidents dynamiques relevés lors de la période de recueil dans les départements de Seine-Maritime et l'Eure, nous avons essayé de regrouper la typologie des incidents par famille. Au total, 57 incidents et 99 événements ont été recensés dans ces départements. La localisation en Seine-Maritime des déclenchements en « événements », « incidents » et « zones d'intérêt » est fourni figure 14.

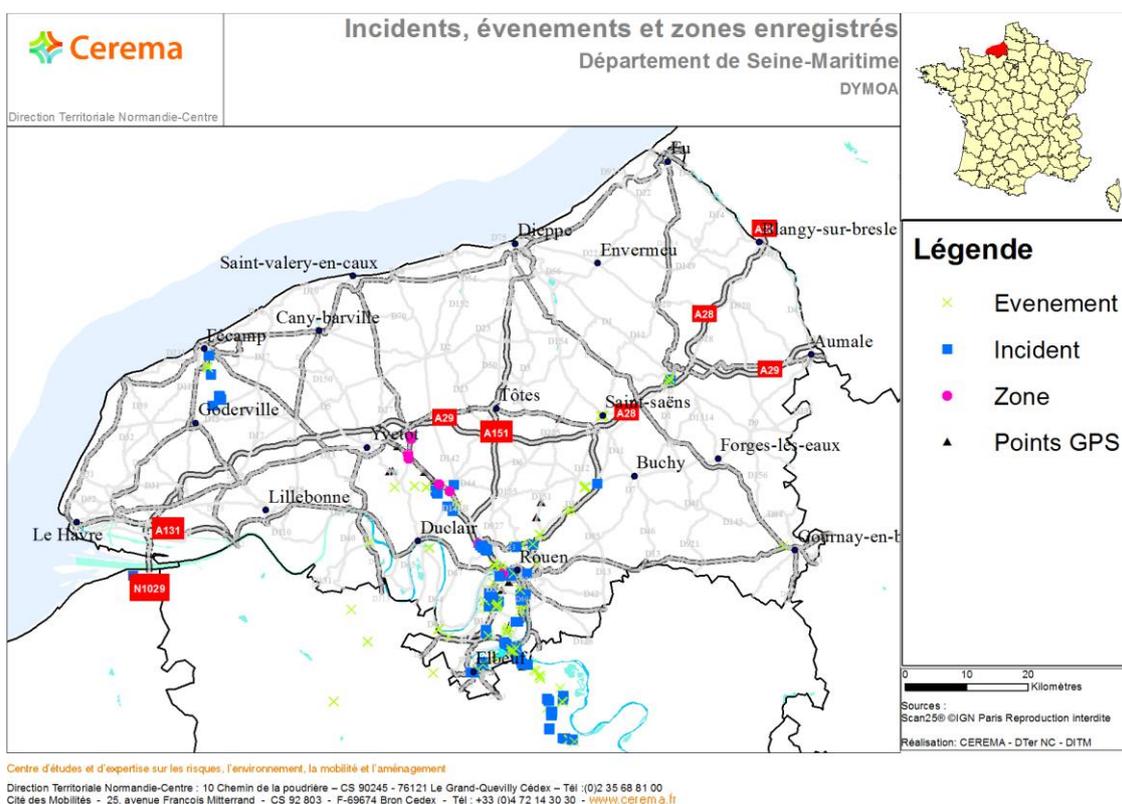


Figure 14 : Plan de situation des déclenchements DYMOA

D'un point de vue global, le bilan du recueil DYMOA sur les départements 76 et 27 en fonction de la configuration administrative du réseau, montre que 51% des incidents ont lieu sur réseau départemental, 21% sur voie communale, 18% des incidents sur autoroute, 4% sur route nationale.

Concernant la typologie de routes (autoroute, réseau départemental, voirie communale) où les incidents ont été acquis, il a été observé que les incidents sont principalement dus aux paramètres suivants :

- des dépassements de seuils des accélérations longitudinales que ce soit en accélération ou en décélération,
- des accélérations longitudinales fortes voire très fortes (de 6 à 8 m/s²),

Ces observations caractérisent des montées rapides en vitesse pour atteindre des vitesses très élevées mais aussi des freinages soutenus en raison de vitesses initiales très importantes. Les déclenchements sont principalement observés dans les circonstances suivantes :

- au niveau de feux tricolores,
- dans le cadre d'une manœuvre de dépassement,
- lors de freinages et accélérations soutenus ou sur l'arrivée sur un objet routier comme un giratoire qui nécessite un fort ralentissement,
- lors d'un croisement ou d'une visibilité réduite du tracé.

A titre d'exemple, la figure 15 montre un incident en rase campagne sur une "voie express" à 2x2 voies limitée à 90km/h. Un incident et un événement ont eu lieu sur cette voie dans une courbe à gauche en approche d'un giratoire. Les graphiques et la vidéo de l'incident associée permettent de l'interpréter de la manière suivante:

- la vitesse d'approche sur le giratoire est d'environ 150 km/h,
- le conducteur a effectué un fort freinage au niveau du panneau de pré signalisation de type D42b,
- le déclenchement a lieu sur dépassement de seuil de l'accélération longitudinale (environ 8 m/s²).

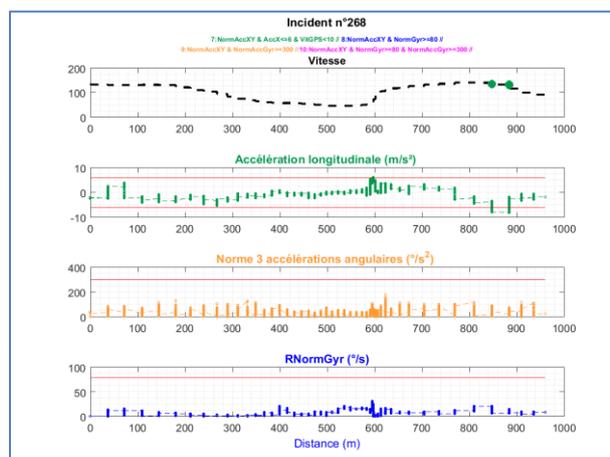


Figure 15 : plan de situation des deux déclenchements (réseau départemental, environnement rase campagne) et paramètres dynamiques de l'incident.

Concernant les incidents observés pour différents aménagements routiers modérateurs de la vitesse (ralentisseurs et plateaux surélevés), l'analyse amène aux commentaires suivants :

- les vitesses de franchissements semblent être compatibles avec la nature de l'aménagement (30 à 50 km/h),
- le déclenchement sur la norme des 3 accélérations peut être attribué plutôt à l'accélération longitudinale,
- le seuil de déclenchement retenu dans le cadre du projet DYMOA est peut-être trop faible pour caractériser une réelle difficulté de conduite par les motards. Ce dernier point serait à confirmer ou infirmer par les motards vis à vis de ce type d'aménagement (risque perçu, problème pour les motards, effet ralentisseur, risque de chute,...).

A titre d'exemple, la figure 16 montre un déclenchement en « événement » (et non en « incident ») sur un ralentisseur. Deux événements ont été recensés sur cet aménagement. Pour un des deux événements, la vitesse d'approche sur cet aménagement est de l'ordre de 50 km/h. Les déclenchements ont eu lieu sur le paramètre « Norme des 3 accélérations angulaires » (de l'ordre de 300 à 320°/s²).

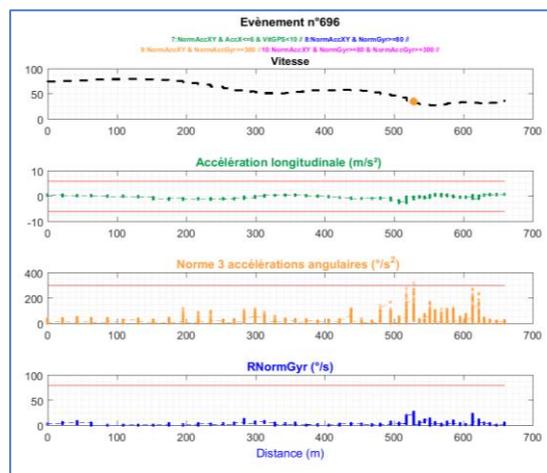


Figure 16 : Ralentisseur et paramètres dynamiques de l'évènement

En conclusion, il ressort de cette étude que les ralentisseurs, les plateaux, l'état de la chaussée, les autoroutes et les boulevards urbains sont des infrastructures génératrices d'événements 2RM.

4.3. Evaluation d'aménagements

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les interactions du couple véhicule/conducteur sur certains aménagements spécifiques. Les infrastructures routières ayant plutôt été conçues et aménagées pour les véhicules légers, il s'agissait d'investiguer comment un recueil de données basé sur l'utilisation d'EDR peut faire progresser la conception et l'aménagement des routes en tenant compte de la spécificité des 2RM. Ce travail traite de l'usage des infrastructures par les 2RM et de la comparaison avec

les VL lorsque les données ont permis de la faire. Le lecteur pourra se référer au livrable « DYMOA_L2.2_L2.3-Usages-Infras » pour plus de détails sur cette étude.

L'évaluation s'est basée sur les déclenchements sur 3 « zones d'intérêt » spécifiques correspondantes aux aménagements suivants (voir figure 17):

- un giratoire à terre-plein central franchissable,
- une chicane d'entrée d'agglomération,
- un carrefour cacahuète.



Figure 17 : Aménagements évalués (giratoire, chicane et carrefour cacahuète)

Concernant le giratoire à terre-plein, l'analyse des passages fait apparaître les remarques suivantes:

- les vitesses d'approche du mini rond-point varient entre 40 km/h et 80 km/h,
- les vitesses de franchissement varient entre 0 km/h et 30 km/h,
- les accélérations longitudinales en entrée de mini rond-point sont de l'ordre de 0.4 g,
- les vitesses angulaires pour franchir le mini rond-point sont inférieures à 10°/s,
- les accélérations angulaires sont de l'ordre de 150°/s².

Il ressort que cet aménagement possède un bon effet ralentisseur sur les 2RM sans générer de contraintes dynamiques trop importantes que ce soit en longitudinal qu'en transversal. La comparaison des comportements des 2RM et des 4RM sur cet objet routier montre qu'il n'y a pas de différence de comportement en approche et en franchissement entre ces deux catégories de véhicules.

Pour la chicane en entrée d'agglomération, l'analyse des graphiques fait apparaître les comportements suivants :

- les vitesses d'approche des usagers sont de l'ordre de 100 km/h,
- les vitesses de franchissement de la chicane sont de l'ordre de 30 km/h,
- les accélérations longitudinales sont de l'ordre de 0.3 g,
- les vitesses angulaires sont de l'ordre de 15 à 20 °/s,
- les accélérations angulaires varient entre 100 et 150°/s².

Si nous comparons le comportement des 2RM et des 4RM sur cet objet routier, il ressort que la vitesse de franchissement de la chicane est plus faible pour les 2RM que pour les VL.

Enfin, pour le carrefour cacahuète, l'analyse fait apparaître les comportements suivants :

- les vitesses d'approche du carrefour cacahuète varient entre 100 km/h et 110 km/h,
- les accélérations longitudinales sont inférieures à 0.3 g,
- les vitesses angulaires sont de l'ordre de 50 à 60°/s,
- les accélérations angulaires varient entre 50°/s² et 250°/s².

Globalement, le giratoire double joue son rôle de modérateur de vitesse. Quelle que soit la vitesse d'entrée, le 2RM franchit l'objet routier à une vitesse d'environ 30 km/h. Par ailleurs, c'est un aménagement qui sollicite fortement le véhicule puisque les accélérations angulaires sont de l'ordre de 300 °/s² et les vitesses angulaires de l'ordre de 60 °/s. Cette contrainte dynamique implique que le conducteur ne peut pas franchir l'aménagement à vitesse élevée. En revanche, les fortes sollicitations dynamiques impliquent que le gestionnaire maintienne de très bonnes conditions d'adhérence et s'assure d'un entretien régulier de l'ensemble de la chaussée annulaire.

4.4. Observatoire des vitesses

Jusqu'à ces dernières années, la détermination des vitesses pratiquées par les conducteurs provenaient majoritairement de mesures effectuées avec des dispositifs bord de voie tel qu'une station de recueil de donnée de trafic ou un analyseur de trafic. Dans le cadre du projet DYMOA, nous avons souhaité investiguer l'intérêt de mettre en œuvre un observatoire des vitesses à partir des données GPS enregistrées en continu (à la fréquence de 1 Hz) par les EMMAPHONES embarqués sur la flotte de 2RM et 4RM. Disposer, en continu, de la vitesse géoréférencée permet en effet de lier finement la vitesse pratiquée et les caractéristiques de l'infrastructure routière et laisse entrevoir la possibilité de mettre en œuvre de nouvelles analyses jusqu'alors difficilement réalisables. Ce travail fait référence au livrable « DYMOA_L2.4-L2.5-L5.2-Observatoire-vitesses ». Compte tenu du faible nombre de parcours traités et d'éventuels problèmes de représentativité de notre panel de conducteurs, ces résultats sont à prendre avec précautions.

4.4.1. Statistique globale

Compte-tenu de la faible proportion de données disponibles en provenance des 4RM, ce travail traite exclusivement des données vitesses des 2RM motorisés. Environ 2 500 000 points de mesure vitesse issues des EMMAPHONE équipant les 2RM ont été enregistrés. La moyenne des vitesses GPS enregistrées est de 42 km/h et leur étendue est comprise entre 0 et 213 km/h. La figure 18 montre la répartition cumulée des vitesses.

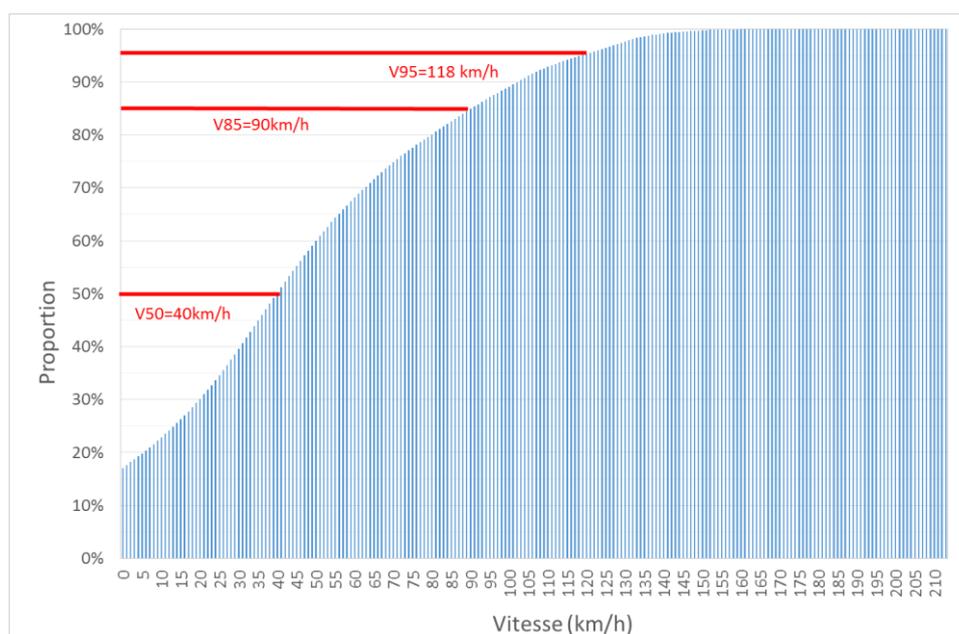


Figure 18 : Histogramme cumulé des vitesses GPS enregistrées par l'ensemble de la flotte 2RM.

4.4.2. Enrichissement cartographique et contextualisation des données.

L'objectif de l'exploitation géographique est de s'appuyer sur des informations externes à la chaîne de recueil des données pour enrichir les données recueillies avec des éléments de contexte, que ce soit sur leur localisation administrative, les réseaux empruntés, le type d'environnement (milieu urbain, espace rural, ...) voire la configuration routière immédiate (intersection, zone de virage, ...). Ces informations complémentaires sont obtenues en rapprochant les données des parcours effectués par les véhicules équipés avec des données géographiques externes (BD Topo) par le rattachement des traces GPS sur des éléments de réseau routier. Ces travaux s'appuient sur des techniques de map-matching visant à raccrocher des points GPS à des bases de données géographiques (voir figure 19).

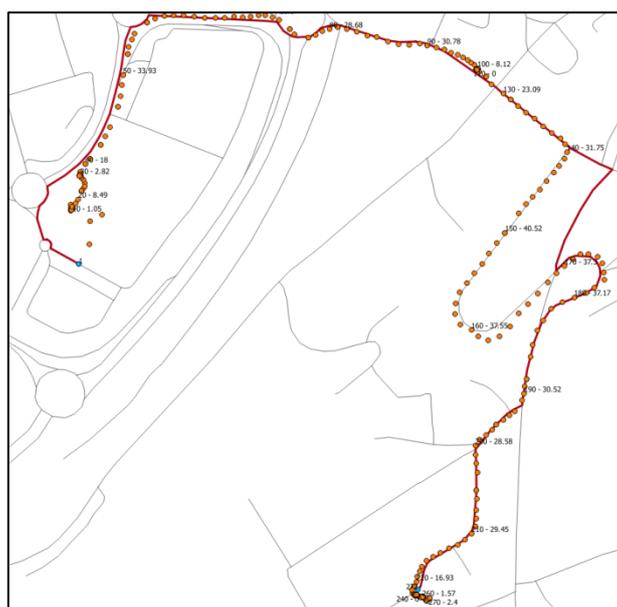


Figure 19 : Trace de la trajectoire projetée sur le réseau (en rouge) en comparaison de la trajectoire réelle (en orange).

Par ailleurs, afin de procéder à des analyses s'appuyant sur une meilleure contextualisation des vitesses pratiquées par les volontaires, nous avons tenté de déterminer quelles étaient les limitations de vitesse auxquelles étaient soumis les volontaires lors de leurs déplacements. En l'absence de bases de données permettant de disposer de cette information, nous avons procédé à une recherche « manuelle » des VMA (vitesse maximale autorisée). Pour cela, nous avons visualisé les trajets parcourus par les véhicules à l'aide de Google Street View et tenté de déterminer la VMA en fonction des différents éléments en lien avec les règles du code de la route et de la signalisation routière. Toutefois, cette méthode s'est heurtée à des difficultés telles que : changements de limitation de vitesse entre le moment de prises de vue et le moment où les véhicules ont circulé, images de Google Street View datant de plusieurs années, existence de travaux sur la voirie qui s'accompagnent généralement d'une limitation temporaire de la VMA, absence de certains panneaux, etc. Ce recensement s'est toutefois limité aux routes circulées par les 2RM sur la région Rouennaise. **L'ensemble de ces éléments conduit donc à considérer avec précaution les VMA qui ont été relevées.**

4.4.3. Analyse par Vitesses Maximales Autorisées

Le Tableau 1 indique la vitesse moyenne et les écarts types des vitesses pratiquées pour chaque VMA ainsi que les pourcentages de temps passés et de distances parcourues en excès de vitesse. On observe que la vitesse moyenne sur l'ensemble des trajets est de 63 km/h et que, globalement, les vitesses moyennes se situent toujours en dessous de la VMA. Toutefois, on constate aussi que les conducteurs de 2RM de notre échantillon ont passé près de 31% de leur temps de trajet en excès de vitesse ; cette proportion atteignant près de 48% lorsqu'elle est calculée en distance parcourue. Et en se limitant aux VMA « classiques » la proportion de temps passé en excès est particulièrement importante pour les VMA de 70, 110 et 130km/h avec près de 50% du temps en excès de vitesse. La VMA de 90km/h est celle qui apparaît la mieux respectée tant en termes de temps passé que de distance parcourue.

Etiquette	vitesse moyenne (km/h)	écart-type (km/h)	VMA	% temps passé en excès de vitesse	% distance parcourue en excès de vitesse
VMA inconnu (-3)	47	22.7			
Rond-point (-2)	29	13.5			
Non pertinent (-1)	7	13.9			
5 km/h	15	5.9	5 km/h	96.2%	99.4%
30 km/h	23	16.7	30 km/h	35.7%	63.1%
45 km/h	32	10.7	45 km/h	11.8%	18.6%
50 km/h	39	22.0	50 km/h	33.6%	53.3%
70 km/h	69	22.6	70 km/h	49.9%	61.6%
90 km/h	78	22.9	90 km/h	30.6%	40.3%
110 km/h	109	19.9	110 km/h	46.7%	53.0%
130 km/h	128	15.1	130 km/h	47.6%	51.6%
Ensemble	63	45.3	Ensemble	30.9%	47.8%

Tableau 1 : Moyenne et écart-type des vitesses pratiquées par les conducteurs de 2RM (à gauche). Proportion de temps passé en excès de vitesse et estimation associée de la distance parcourue en excès de vitesse par les conducteurs de 2RM de la région rouennaise selon les VMA (à droite).

On constate également qu'un conducteur de 2RM passe, en moyenne, près de 31% de son temps de déplacement en excès de vitesse alors que le gain de temps qui en résulte est de seulement 5% de son temps de parcours.

4.4.1. Analyse des parcours

Cette analyse porte sur l'exploitation des parcours individuels. Elle a permis de déterminer que le kilométrage moyen des parcours est de 22 km mais que la moitié des parcours n'excède pas 10,5 km (12% des trajets font moins de 2km et 21% d'entre eux sont compris entre 2 et 5 km).

De plus, les trajets ont duré 21 minutes en moyenne et la moitié des parcours étaient inférieurs à 15 mn (15% des trajets durent moins de 5 mn, 40%, moins de 10mn).

La moyenne des vitesses moyennes de parcours s'élève à 52 km/h tandis que la moitié d'entre eux s'effectue à moins de 46 km/h.

Enfin, en moyenne, les conducteurs de 2RM ont été confrontés à 27 changements de limitation de vitesse par heure de conduite soit à 1 changement de VMA tous les 0,6 km parcourus.

4.4.2. Analyse par nature de réseau

Dans le référentiel de la BD Topo, les routes sont classées selon 4 catégories : Autoroute, Nationale, Départemental et *Autre*. Grâce aux algorithmes de map-matching, il est donc possible de fournir les temps passés sur chacun des réseaux. Ainsi, le réseau départemental est celui sur lequel les conducteurs de 2RM ont passé le plus temps (42%) mais c'est sur les autoroutes qu'ils ont parcouru le plus de kilomètres (voir tableau 3).

Exposition	VMA	Autoroute	Nationale	Départementale	Autre
En temps passé	Autre ⁽¹⁾	0.4%	2.4%	5.7%	10.2%
	30	0.0%	0.2%	2.0%	23.7%
	50	0.1%	13.2%	42.1%	52.9%
	70	1.2%	11.0%	9.0%	3.1%
	90	1.2%	43.1%	40.8%	8.3%
	110	7.1%	30.0%	0.3%	0.3%
	130	89.9%	0.1%	0.0%	1.4%
	Part de chaque type de réseau		21.2%	6.1%	42.2%
En distance parcourue	Autre	0.1%	1.6%	3.2%	9.8%
	30	0.0%	0.1%	1.0%	13.9%
	50	0.1%	5.6%	29.3%	53.5%
	70	0.8%	9.4%	10.5%	5.7%
	90	1.0%	45.1%	55.4%	12.6%
	110	6.3%	38.2%	0.7%	0.7%
	130	91.7%	0.1%	0.0%	3.8%
	Part de chaque type de réseau		42.5%	8.1%	38.5%

Tableau 3 : Proportion de temps passé et de kilomètres parcourus selon la catégorie administrative du réseau et les VMA

5. Perspectives

Le projet DYMOA s'est terminé en Septembre 2017 mais le recueil de données s'est poursuivi jusqu'à début 2018. Les suites du projet concerneront donc en priorité l'exploitation de la totalité des données recueillies.

En termes de travaux complémentaires, plusieurs pistes pourraient être menées et notamment :

- Améliorer les critères de déclenchement des incidents et les valider expérimentalement,
- Confronter les vidéos et l'analyse « infrastructure » à un panel de motards et d'automobilistes,
- Poursuivre les analyses sur l'observatoire des vitesses (VMA, caractéristiques infra...) et la comparaison 2RM/4RM,
- Étudier les pratiques des 2RM au voisinage de certains aménagements (refuges, couloirs, bus, coussins, plateaux...),
- Évaluer l'effet de contre-mesures par une comparaison avant/après (aménagement, aide à la conduite, législation...).

Par ailleurs, le projet DYMOA étant intimement lié au projet S_VRAI⁴, les valorisations des deux projets sont mutualisées. Ainsi, le recueil de données est amené à être étendu à une échelle plus grande via le partenariat avec des collectivités. L'usage de smartphones en tant qu'EDR est d'ores et déjà programmé pour équiper des flottes de véhicules de plusieurs Conseils Départementaux. Les résultats permettront d'alimenter les guides de conception d'aménagement routiers.

Enfin, d'un point de vue juridique, un guide de conformité pour la protection des données personnelles et de la vie privée des conducteurs sera rédigé, en tenant compte des exigences du RGPD⁵, pour permettre la pérennisation du dispositif dans les recherches futures basées sur le même modèle expérimental, mais avec la participation d'un ou plusieurs partenaires de droit privé susceptibles d'accéder aux données et de les exploiter. Ce travail est réalisé dans le cadre du projet S_VRAI/2 actuellement mis en place sur d'autres financements.

⁴Sauver des Vies par le Retour d'Analyse sur Incidents

⁵Règlement Général pour la protection des données personnelles dont l'entrée en application est fixée au 25 mai 2018.

6. Valorisation

6.1. Liste des livrables

Le projet DYMOA a donné lieu à la rédaction d'une douzaine de livrables. Le tableau 4 ci-dessous résume la liste de ces documents en précisant le titre du livrable, l'organisme responsable, l'auteur principal, le nombre de pages et le nom du fichier correspondant.

Titre du livrable	Organisme responsable	Auteur principal	Nbre de pages	Nom du fichier correspondant
Rapport d'avancement à 1 an	IFSTTAR	T. Serre	8	DYMOA-L1.2-rapport-avancement-2015.pdf
Rapport d'avancement à 2 ans	IFSTTAR	T. Serre	14	DYMOA-L1.3-rapport-avancement-2016.pdf
Rapport final	IFSTTAR	T. Serre	36	DYMOA-L1.4-rapport-final.pdf
Séminaire de clôture	IFSTTAR	T. Serre		Paris, 22 Mars 2018
Accidentalité des deux roues motorisés de plus de 50 cm ³ Enjeux liés à l'infrastructure – Années 2011-2015	CEREMA	G. Duchamp	65	DYMOA_L2.1-Enjeux.pdf
Usage des infrastructures par les 2RM - Comparaison de l'usage des infrastructures par les véhicules légers et le 2RM	CEREMA	P. Subirats	44	DYMOA_L2.2_L2.3-Usages-Infras.pdf
Méthodologie de recueil de données des vitesses sur des sections routières -Faisabilité et pertinence d'un observatoire des vitesses - Réalisation d'un outil cartographique	CEREMA	V. Ledoux	37	DYMOA_L2.4-L2.5-L5.2-Observatoire-vitesses.pdf
Définition des seuils de déclenchement d'incidents pour un 2RM	IFSTTAR	C. Perrin	30	DYMOA_L3.2-seuils-déclenchement.pdf
Utilisation réelle des capacités dynamiques d'un 2RM	IFSTTAR	C. Naude	100	DYMOA_L3.3-dynamique-2RM.pdf
Synthèse du dossier présenté à la CNIL et autorisation	IFSTTAR	M. Guilbot	68	DYMOA-L4.1-juridiques-CNIL.pdf
Déploiement de 40 EDR dans des flottes de véhicules 4RM et 2RM.	CEREMA	V. Ledoux	46	DYMOA_Livrable5.1-déploiement-flotte.pdf
Bases de données	CEREMA	G. Duchamp	42	DYMOA-L5.3-BDD.pdf

Tableau 4 : Liste des livrables

6.2. Séminaire de clôture

Un séminaire de clôture du projet a été organisé le 22 Mars 2018 à Paris au ministère de l'intérieur dans le cadre d'un séminaire COSMOS (Connaissances scientifiques pour les Motocycles) et d'un comité des études de la DSR. Ce séminaire a permis d'exposer les principaux résultats du projet à une centaine de personnes. Le programme des présentations était le suivant :

- Introduction au projet DYMOA
Thierry Serre, IFSTTAR
- Accidentalité des 2RM de plus de 50cm³, Enjeux liés à l'infrastructure
Gilles Duchamp, Cerema.
- Conditions et modalités du déploiement
Thierry Serre et Michèle Guilbot, Ifsttar.
- Définition des seuils de détection d'incidents
Christophe Perrin, Ifsttar.
- Bilan du recueil - Utilisation réelle des capacités dynamiques des 2RM
Claire Naude, Ifsttar
- Usage des infrastructures par les 2 RM, comparaison avec les 4 RM
Peggy Subirats, Cerema.
- Les problèmes d'interactions : 2 RM / autres usagers / infrastructures
Eric Violette, Cerema et Jean-Yves Fournier, Ifsttar.
- Observatoire des vitesses
Vincent Ledoux, Cerema.
- Suite et perspectives au projet DYMOA
Thierry Serre, Ifsttar

6.3. Publications - Thèse

6.3.1. Publications

- Road riding hazardous situations for motorcycles
NAUDE C., SERRE T., PERRIN C., GUILBOT M., LEDOUX V.
7th Transport Research Arena, Vienna (Austria), 16-19 Avril 2018, 10p
- Using of Pacejka tire model within a Power Two wheelers multibody model for emergency situations analysis
COSTA L., PERRIN C., SERRE T.
Euromech Colloquium 578, Rolling Contact Mechanics for Multibody System Dynamics.
Funchal, Madeira, Portugal, April 10 to 13, 2017. 15p
- Experimental Evaluation of the Torque Applied on the Handlebars of a Motorcycle.
COSTA L., DUBOIS-LOUNIS M., PERRIN C., SERRE T.
Measurement, 2017 (soumis), 14p

6.3.2. Thèse

La thèse de Laura COSTA intitulée « Modélisation du comportement dynamique d'un deux-roues motorisé pour la reconstruction d'accidents et la détection d'incidents » s'est déroulée en parallèle du projet DYMOA et une partie de ce travail doctoral a été réalisée dans le cadre du projet DYMOA.

La thèse a été soutenue publiquement le mercredi 29 novembre à 14h00 au Laboratoire Mécanismes d'Accidents de l'IFSTTAR, à Salon-de-Provence devant le jury suivant :

- Jorge Ambrosio, Professeur Université de Lisbonne, Rapporteur
- Michel Basset, Professeur Université de Haute Alsace, Rapporteur
- Saïd Mammari, Professeur Université d'Evry Val d'Essonne, Examineur
- Nacer M'Sirdi, Professeur Université d'Aix Marseille, Directeur de thèse
- Thierry Serre, Directeur de recherche IFSTTAR-LMA, Co-directeur de thèse
- Christophe Perrin, Chargé de recherche IFSTTAR-LMA, Encadrant
- Bruno Caranta, société Provence Expertise, Invité

Résumé de la thèse :

Les usagers de deux-roues motorisés figurent parmi les plus vulnérables, le taux de mortalité et d'accidentologie peut être en partie expliqué par les problèmes liés à la dynamique du véhicule spécifique aux deux-roues motorisés (2RM). D'où la décision d'aborder cette problématique et d'étudier la dynamique de cette catégorie de véhicule afin de modéliser le comportement d'un deux-roues motorisé au cours de la phase de pré-choc et prenant en compte les spécificités nécessaires à la reconstruction des accidents.

D'un point de vue bibliographique, on retrouve plusieurs modèles de comportement dynamique de 2RM. Ces modèles possèdent des degrés de finesse variés tant en terme de représentation mécanique des phénomènes physiques que de validité. De plus, ces modèles n'ont pas été utilisés à des fins de reconstructions d'accidents et ne permettent donc pas de traiter la phase de pré-choc. Cette dernière constitue un enjeu majeur puisqu'elle reste la séquence de l'accident la moins connue et donc la plus difficile à appréhender. Partant de ce constat, un modèle de 2RM a été développé, il est composé de 6 corps et 11 degrés de liberté. Le contact entre le pneu et la chaussée est assuré grâce à un modèle de Pacejka, l'effet des suspensions est également pris en compte. Afin de valider ce modèle, des manœuvres d'urgence ont été réalisées sur piste à l'aide d'une moto instrumentée au cours de la thèse selon nos besoins spécifiques.

Une fois le modèle de 2RM validé, il a été testé sur des cas de reconstruction d'accident issus des EDA (Études Détaillées d'Accident) de Salon-de-Provence pour traiter la phase de pré-choc.