

**Manœuvres d'urgence en vélo à assistance électrique
et engins de déplacement personnel motorisés**

Sollicitations dynamiques et étude en conduite naturelle

Thierry Serre, Claire Naude, Ebrahim Riahi

Développer des connaissances sur

- (1) **L'usage des capacités dynamiques de ces véhicules et les comportements de conduite**
- (2) **Les processus cognitifs de ces usagers et leurs stratégies de gestion de la sécurité**
- (3) **La cartographie et la caractérisation des situations à risque**

01

Lot 1 : Etat de l'art

- Etat de l'art comportements des usagers cibles et usagers "proches"
- Modèles comportementaux et interactions entre usagers
- Modèles de sécurité hors transport pertinents pour le projet
- Conspicuité des usagers vulnérables pour les automobilistes
- Accidentalité des usagers cibles
- Intégration des résultats et production du livrable

02

Lot 2 : Compréhension des comportements et des risques des usagers cibles

- **Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE: 2022**
- **Etude naturelle des comportements de conduite : en cours**
- **Analyse quantitative des incidents et des comportements**
- **Intégration des résultats et production de connaissances**

03

Lot 3 : Compréhension des situations à risque par le prisme des autres usagers

- Vision des automobilistes : étude en conduite automobile simulée
- Vision des autres usagers au moyen de recueils qualitatifs et quantitatifs de données auto rapportées
- Vision des piétons à l'aide d'une étude en réalité virtuelle
- Intégration des résultats

04

Lot 4 : Applications des connaissances pour les collectivités et les exploitants

- Difficultés existantes et pistes de solutions
- Plan d'actions par thématique

Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Essais : Site, véhicules



Pistes de karting de Rognac



Trottinettes, Gyroroue, Vélos à Assistance Electrique (VAE)

Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Essais : 130

	Trottinette 1	Trottinette 2	Trottinette 3	Gyroroue	VAE 1	VAE 2
Freinage Maximal	3	3	3	3	3	3
Accélération mode éco ou « modérée »	1	1	1	3	3	3
Accélération mode sport ou « maximale »	2	2	2	3	2	2
Evitement à gauche 2 m	3	3	3	3	3	3
Evitement à gauche 3 m	3	3	3	3	3	3
Evitement à droite 2 m	3	3	3	3	3	3
Evitement à droite 3 m	3	3	3	3	3	3
Slalom entrée à gauche	1	1	1	1	1	1
Slalom entrée à droite	1	1	1	1	1	1
Circuit complet	0	1	0	1	1	0

Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Matériel

3 Trottinettes Xiaomi Mi scooter Pro (3 conducteurs)

1 Gyroroue Inmotion V5F (1 conducteur)

2 VAE Lapierre Urban 3.4 (2 conducteurs)

Conducteurs d'expérience variée

Instrumentation : EMMAPhone /
Smartphone Samsung Galaxy S8

Application d'enregistrement dédiée

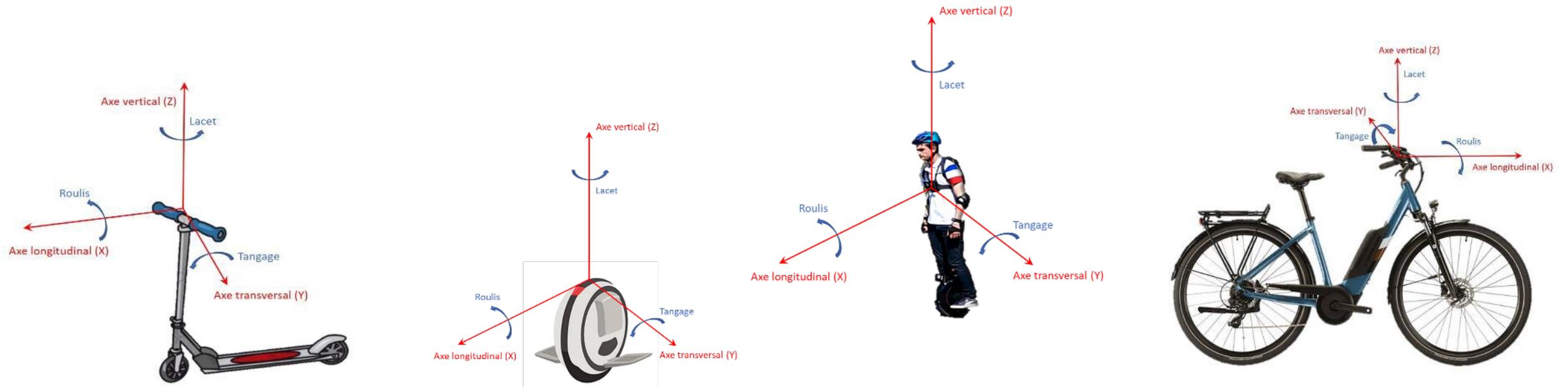
Supports fabriqués par imprimante 3D



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Matériel : Données

- Vitesse et trajectoire GPS à 1 Hz,
- Accélérations longitudinale, transversale et verticale à 50 Hz
- Vitesses de rotation de roulis, lacet et tangage à 50 Hz
- Vidéo de la scène avant avec 24 i/s résolution 1920x1080
- GoPro extérieure, Drone



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

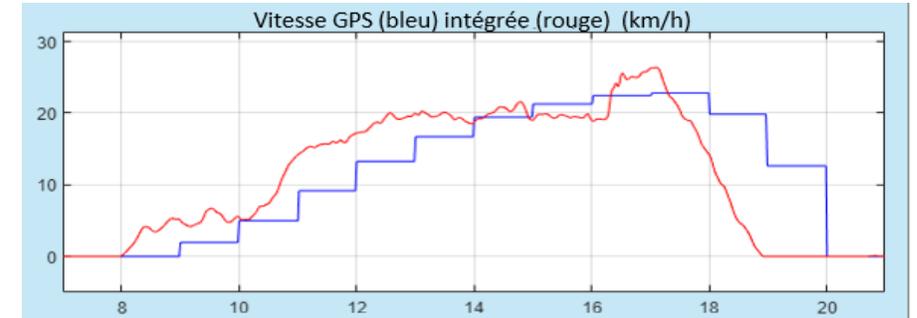
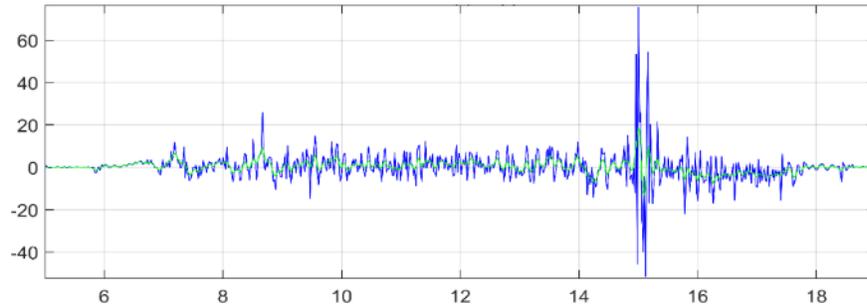
Campagne d'essais sur piste | Traitement des données

Accélération longitudinale



Vitesse intégrée → Distance

Filtrage



Vitesses de rotation



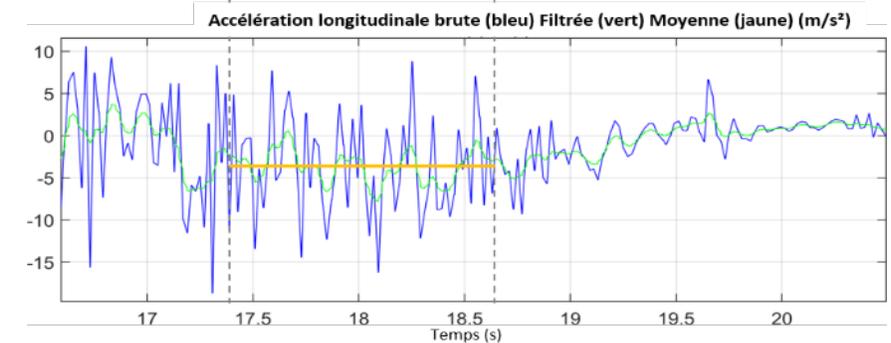
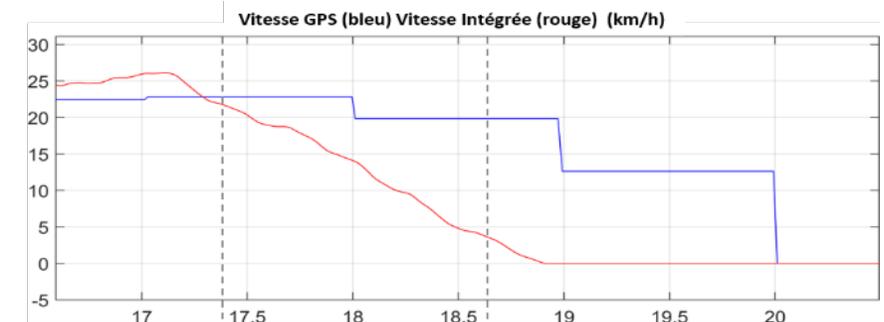
Angles de rotation intégrés

Mesure d'angle de roulis



Recalages / seuils

Moyennes décélération

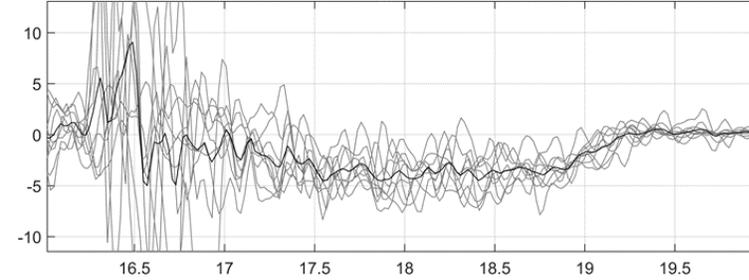


Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

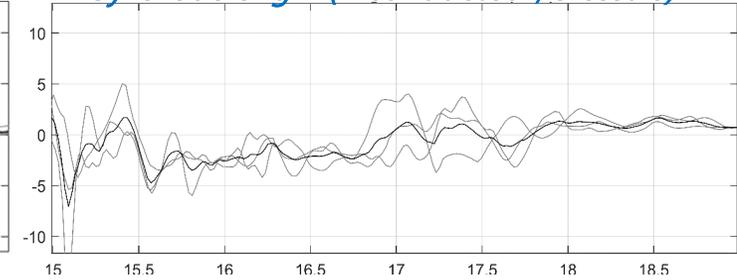
Campagne d'essais sur piste | Freinage

Vitesse maximale (20-25 km/h)

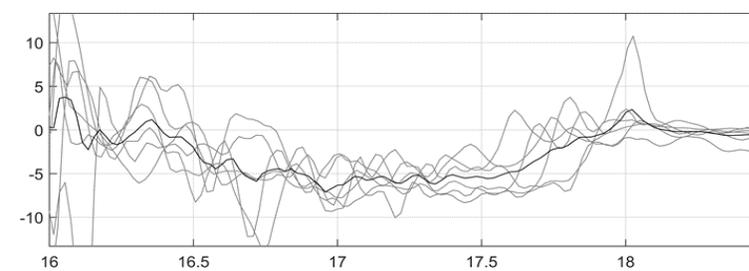
Trottinettes (3 conducteurs, 9 essais)



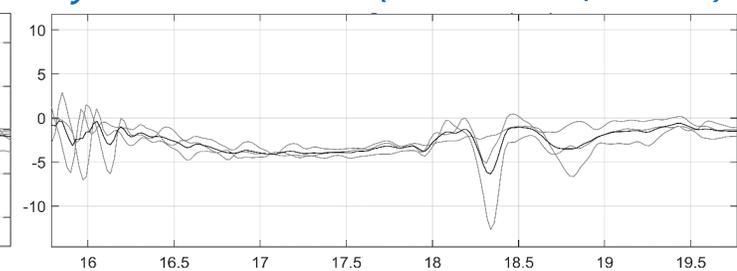
Gyroroue engin (1 conducteur, 3 essais)



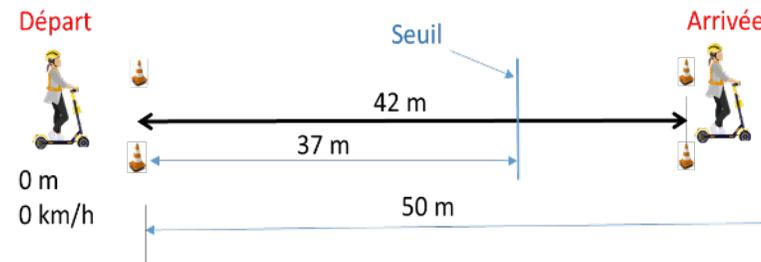
VAE (2 conducteurs, 6 essais)



Gyroroue conducteur (1 conducteur, 3 essais)

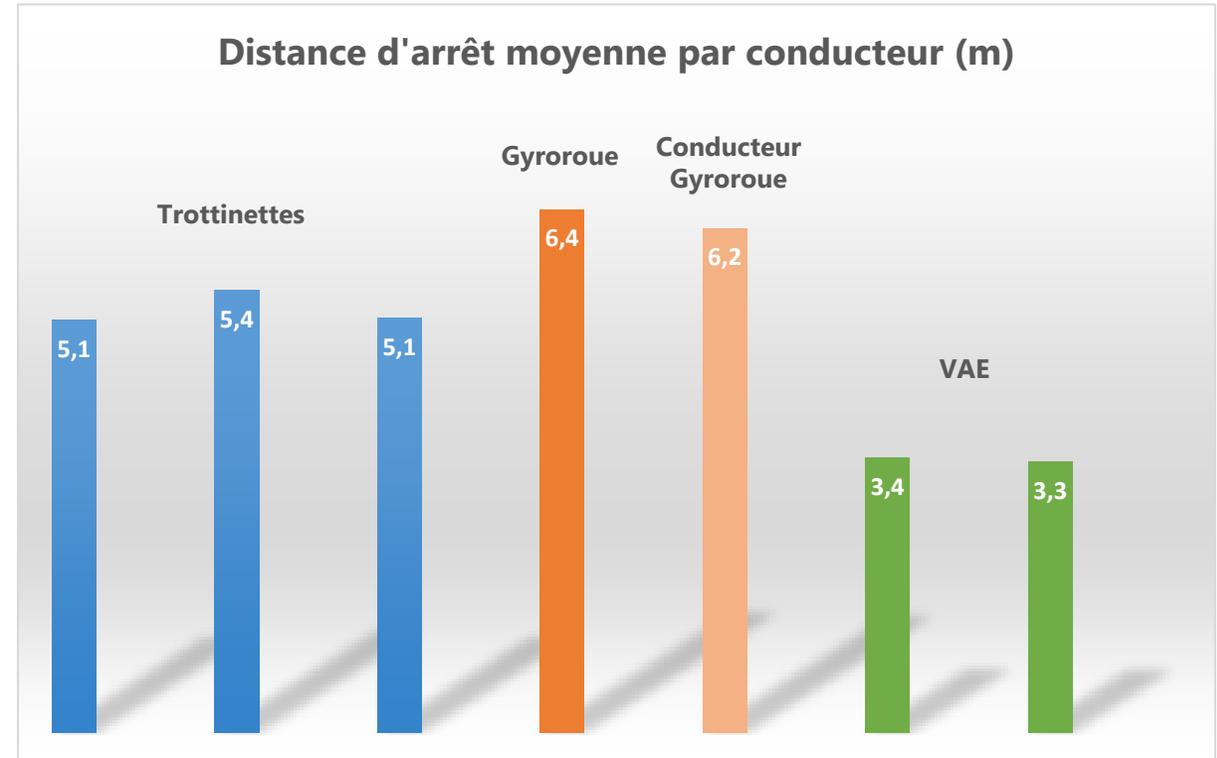
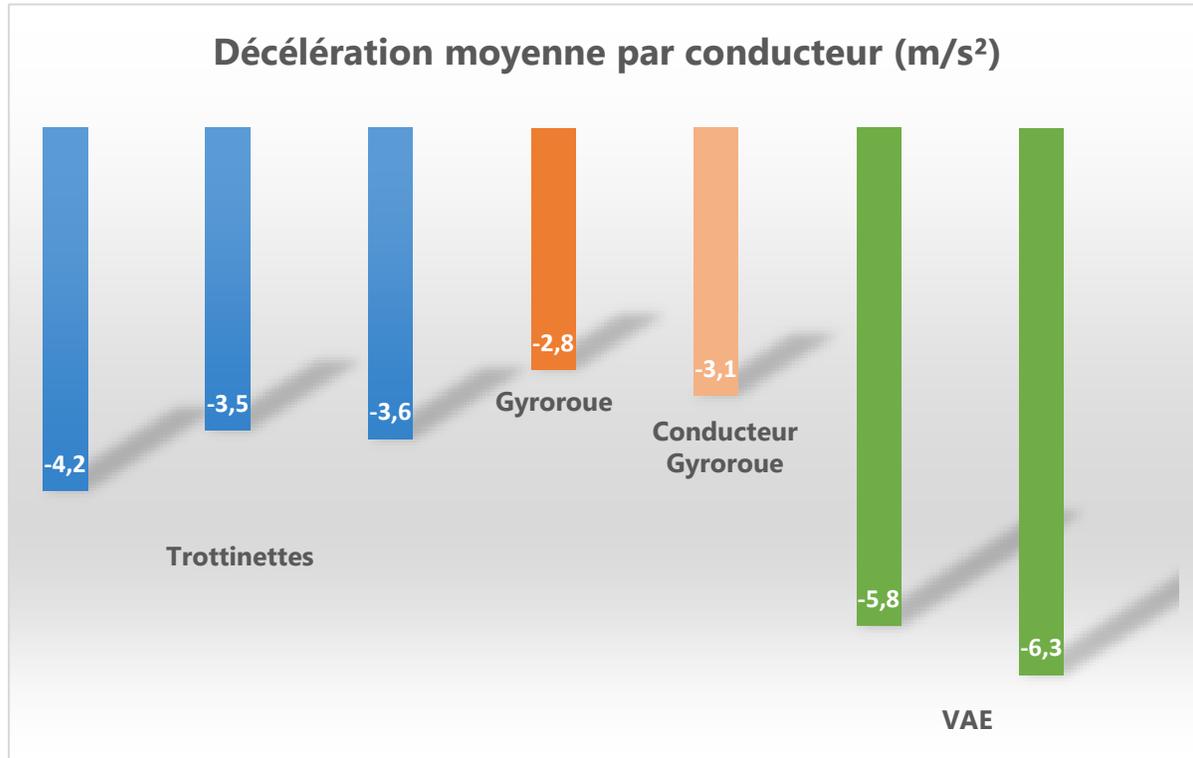


Accélération longitudinale (m/s²)



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

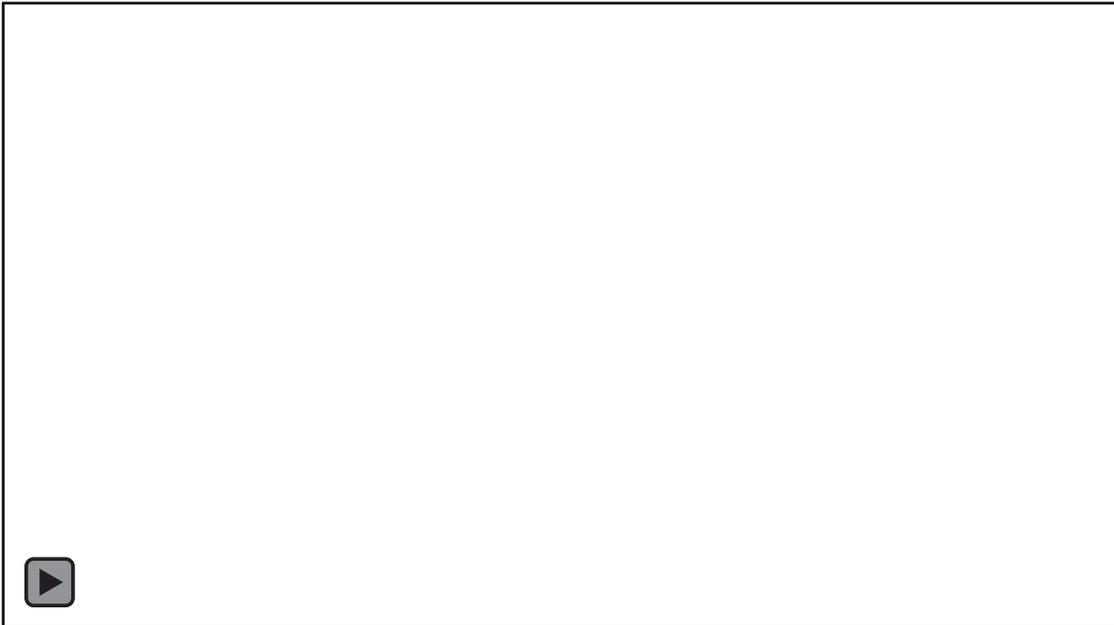
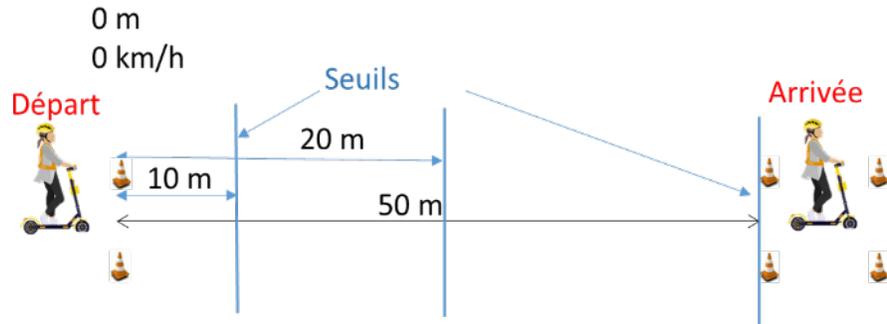
Campagne d'essais sur piste | Freinage



(3 essais par conducteur)

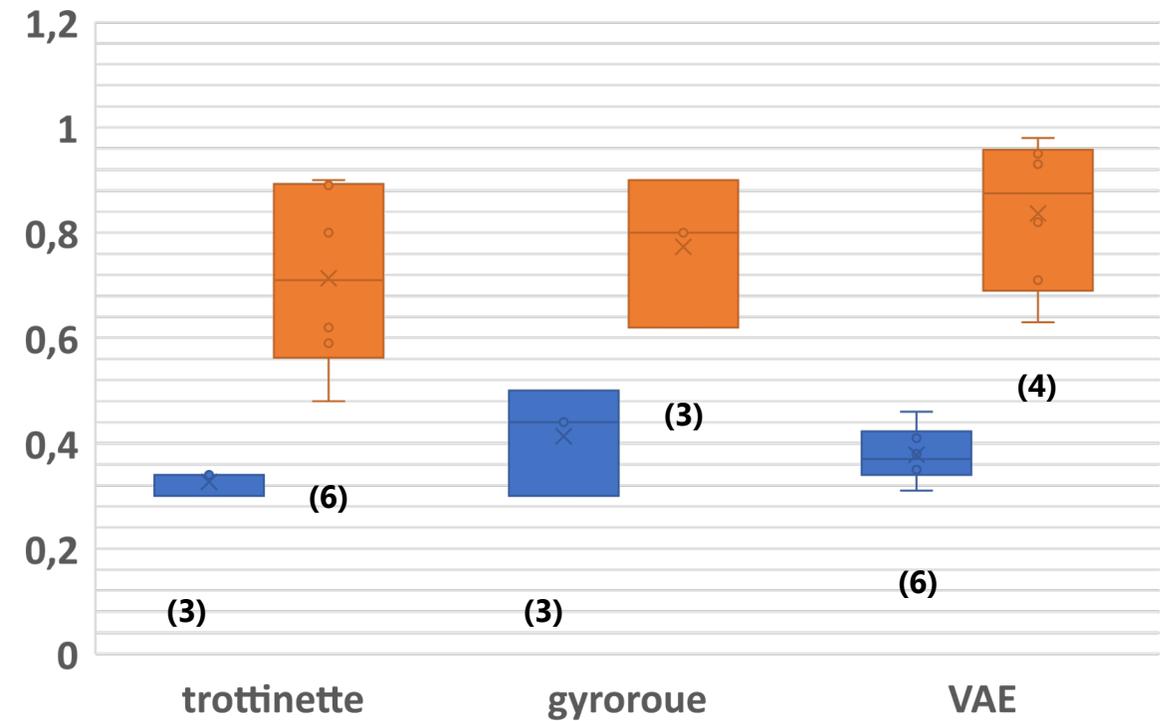
Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Accélération



Accélération (m/s²)

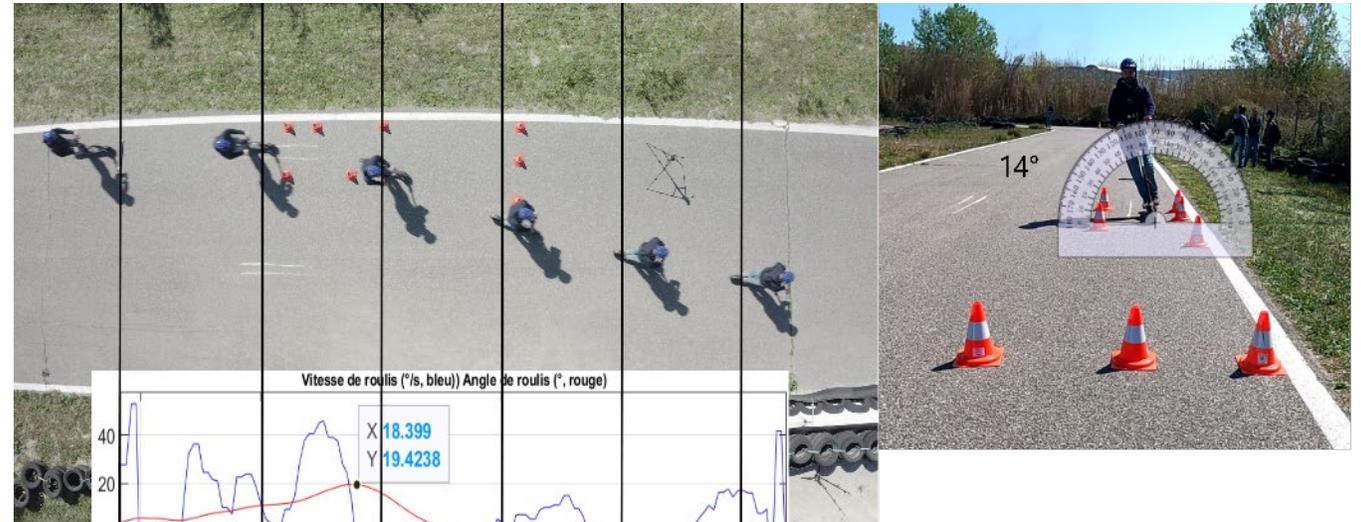
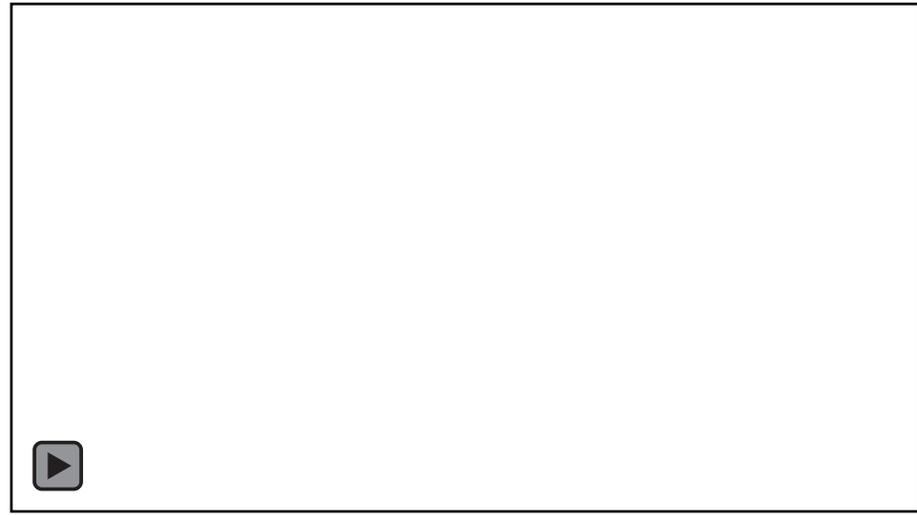
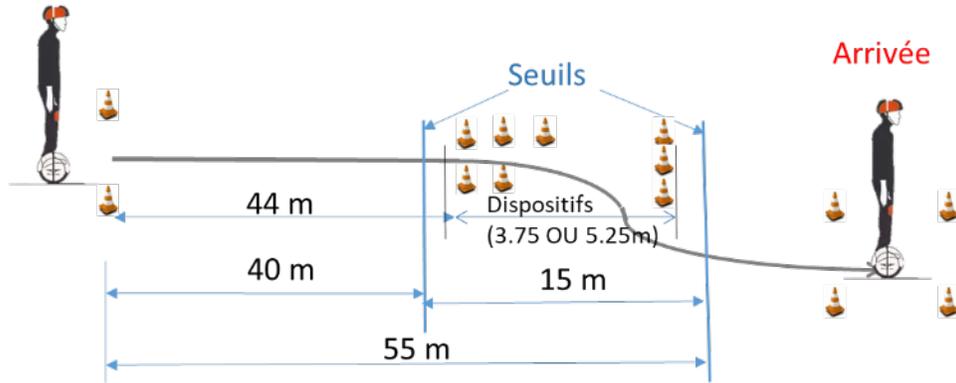
■ Accélération modérée ■ Accélération maximale



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Evitements

Départ



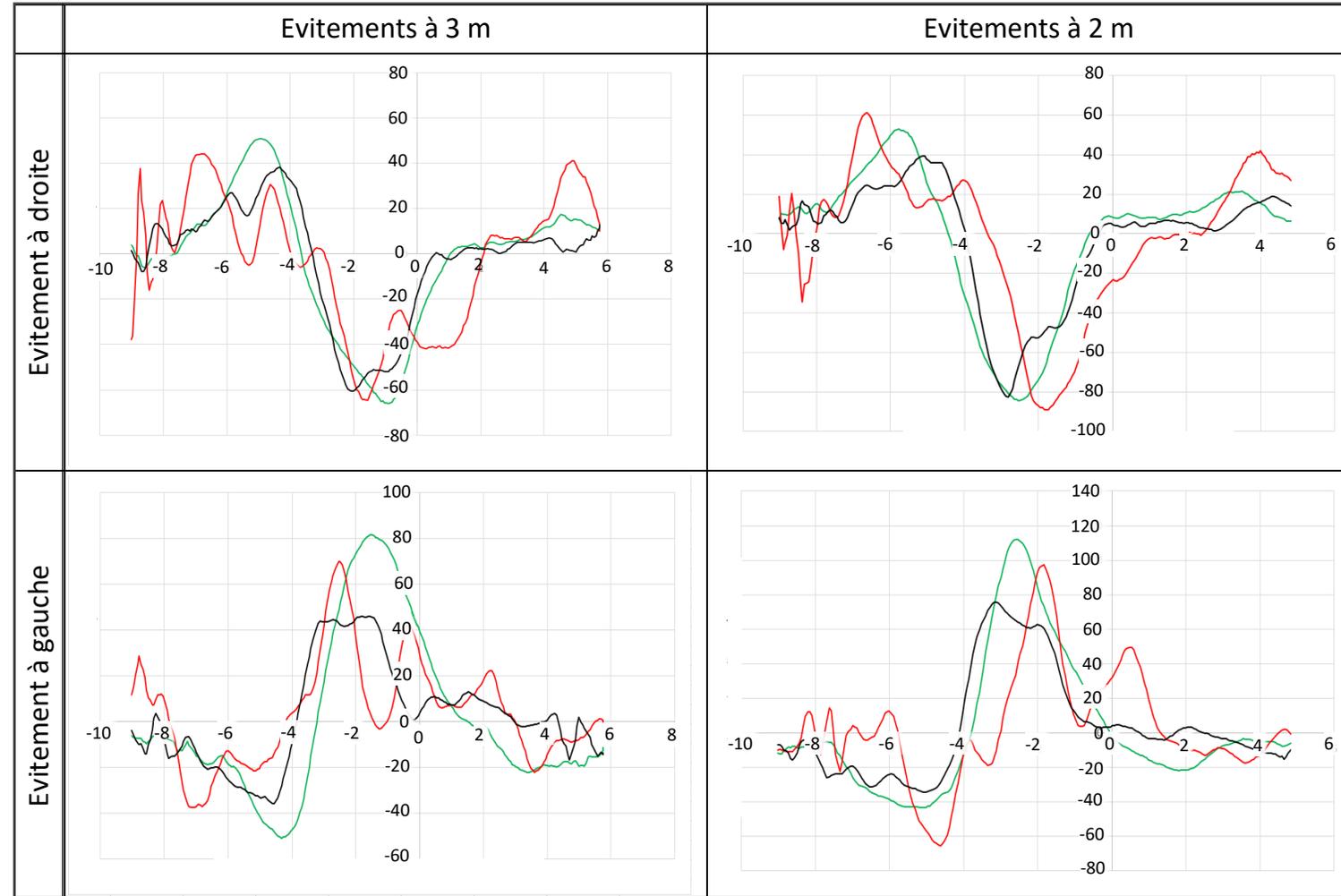
Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Evitements

Vitesse de roulis moyenne ($^{\circ}/s$) en fonction de la distance parcourue (m)

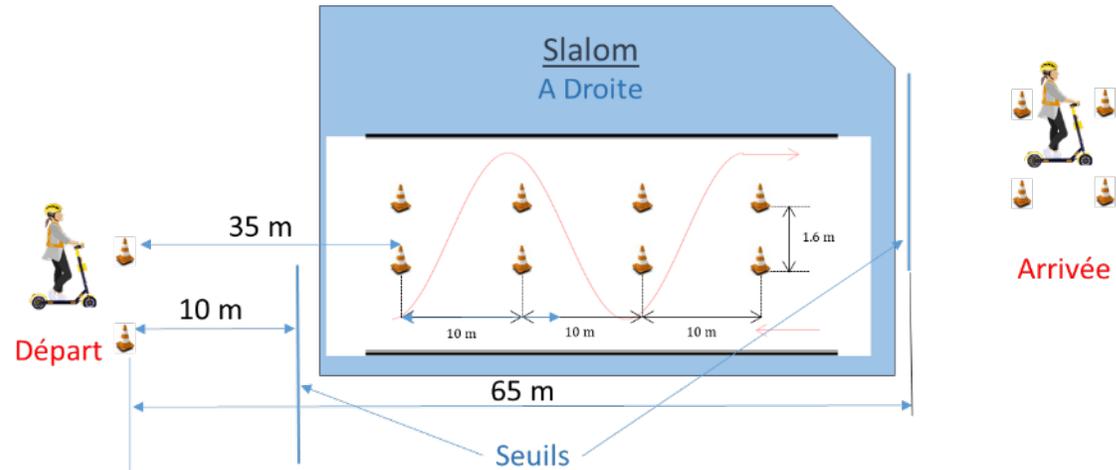
— Trotinettes (9 essais)
— Gyroroue (3 essais)
— VAE (6 essais)

(3 essais par conducteur par catégorie d'évitement)



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Slaloms



Vidéo embarquée slalom VAE



Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Slaloms

	Trottinette			Gyorroue		VAE	
<i>Engin / enregistreur</i>	1	2	3	<i>Engin</i>	<i>Harnais</i>	1	2
<i>Minimum vitesse de roulis (°/s)</i>	-43	-62	-65	-102	-22	-63	-94
<i>Maximum vitesse de roulis (°/s)</i>	64	41	73	80	31	57	89
<i>Minimum vitesse de lacet (°/s)</i>	-55	-98	-79	-90	-31	-63	-94
<i>Maximum vitesse de lacet (°/s)</i>	45	107	57	104	32	62	69
<i>1^{ère} inclinaison angle de roulis (°)</i>	16	11	16	18	9	21	22
<i>2^{ème} inclinaison angle de roulis (°)</i>	-19	-21	-25	-20	-17	-17	-25
<i>3^{ème} inclinaison angle de roulis (°)</i>	26	23	23	29	15	31	26
<i>Angle de roulis Vidéo 3^{ème} inclinaison (°)</i>	22	20	22	22		22	23
<i>1^{ère} inclinaison angle de lacet (°)</i>	-25	-18	-28	-43	-19	-34	-33
<i>2^{ème} inclinaison angle de lacet (°)</i>	26	27	28	25	10	19	33
<i>3^{ème} inclinaison angle de lacet (°)</i>	-20	-25	-29	-49	-29	-40	-32



- Angles calculés par intégration
- Vérifiés par comparaison avec mesures sur images vidéo

Moyennes des valeurs maximales

	Trottinette	Gyorroue	VAE
Vitesse de Roulis	60°/s	83°/s	77°/s
Vitesse de Lacet	74°/s	97°/s	80°/s

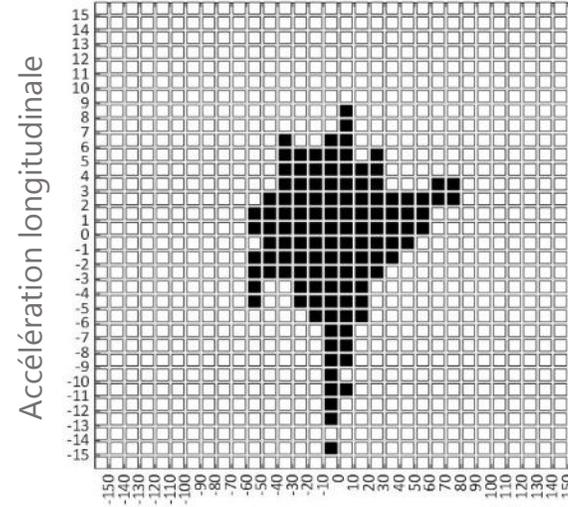
Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Tours de circuit

Sollicitations en trottinette

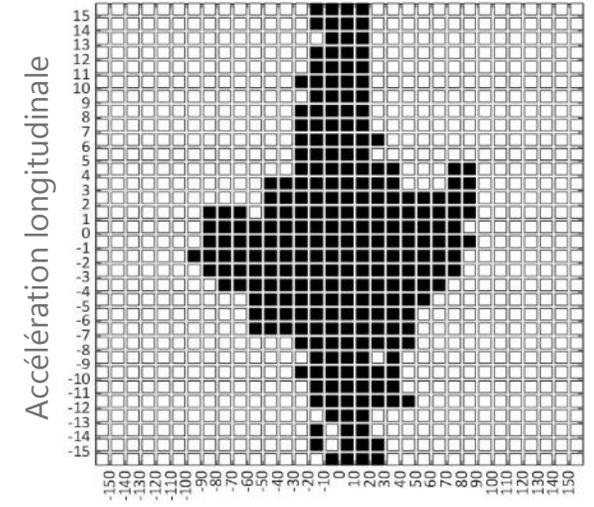


Tours de circuit
(pas de manoeuvre d'urgence)



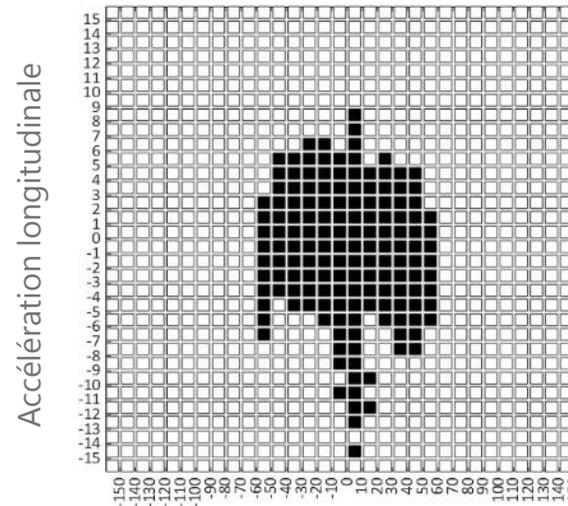
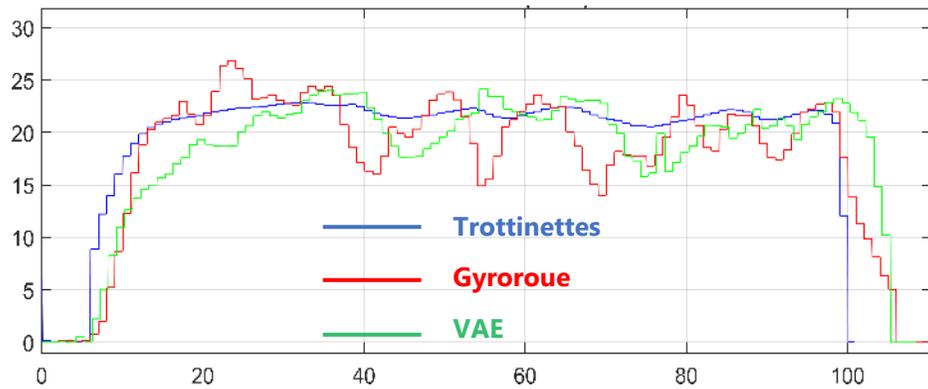
Vitesse de roulis

Evitements

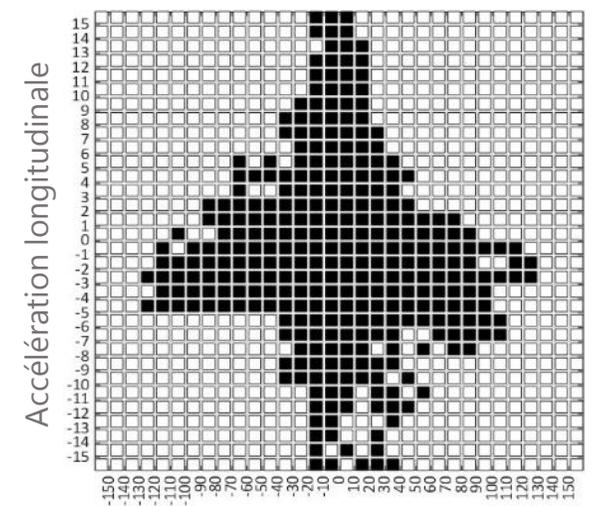


Vitesse de roulis

Vitesse GPS (km/h)



Vitesse de lacet



Vitesse de lacet

Etude des capacités dynamiques des EDPM et VAE

Campagne d'essais sur piste | Conclusions

- ✓ **Efficacité freinage : VAE (-6 m/s²) > trottinette (-4 m/s²) > gyroroue (-3 m/s²) // voiture/moto (-8 m/s²)**
- ✓ **Efficacité accélération : VAE > gyroroue > trottinette. Plus de différences interpersonnelles en mode sport.**
- ✓ **Dans l'évitement, la phase la plus critique est la phase de redressement. Vitesse de roulis des gyroroues assez oscillante en raison de la recherche d'équilibre.**
- ✓ **Différence notable en gyroroue entre sollicitations du haut du corps et sollicitations de l'engin.**
- ✓ **Sollicitations observées en tours de circuit très différentes / manœuvres d'urgence.**
- ✓ **Aide pour calibrer des seuils pour détecter des situations d'urgence mais importance de l'observation des sollicitations en conduite naturelle.**

Etude naturelle des comportements de conduite

Recueil de données

50 participants x 3 vagues de 2 mois (BdR, Lyon, Paris)

Instrumentation embarquée

Trajectoire et vitesse GPS, accélérations et vitesses de rotation de l'engin

Enregistrements audiovisuels à partir de la caméra du smartphone

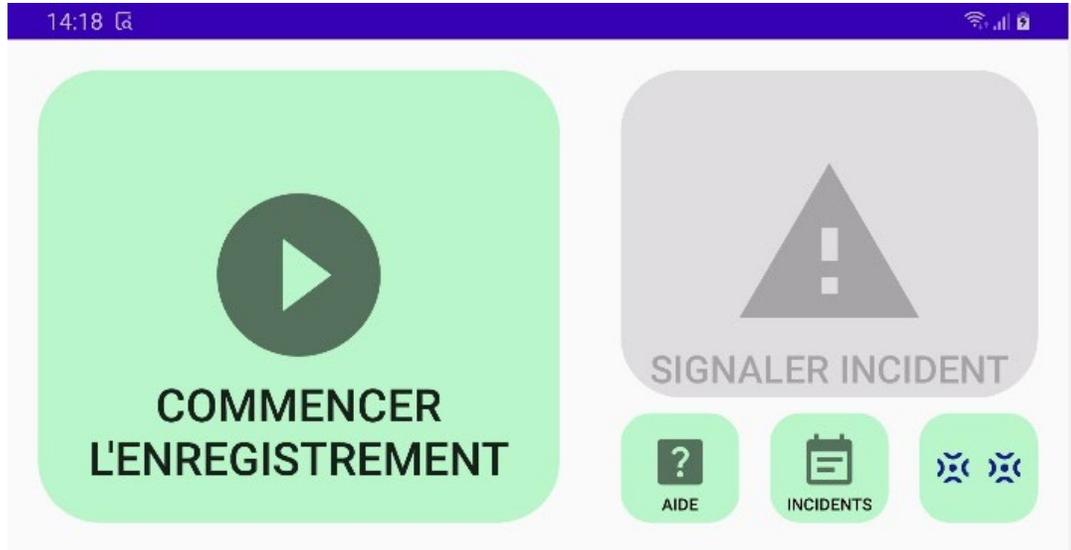
Déclenchement d'événement ressenti + questionnaire

Entretiens

3 entretiens par participant (explicitation de la criticité des événements, comportements établis, besoins en matière de sécurisation des déplacements)

Etude naturelle

Matériel : Application



En attente du lancement de l'enregistrement

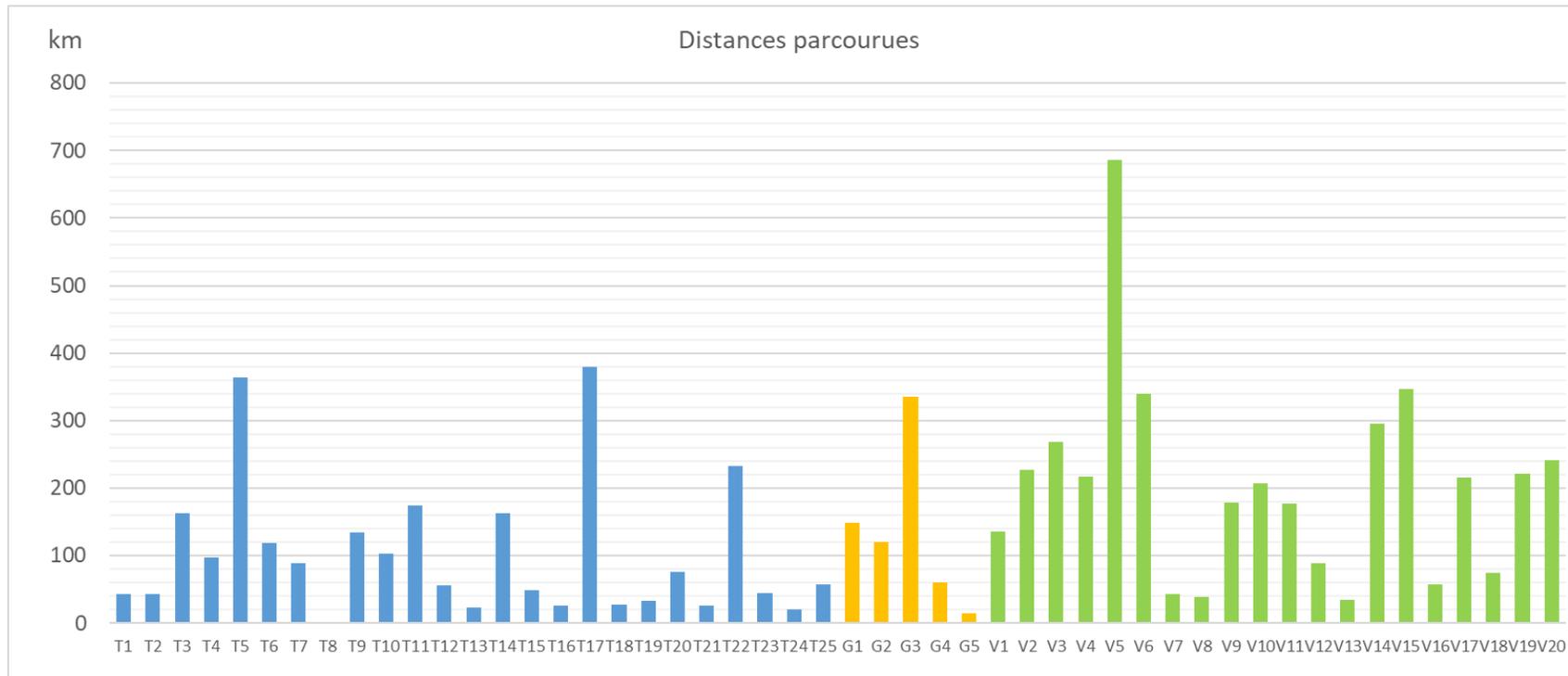


Pendant l'enregistrement

Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague (BdR)

	Nb véhicules	Nb trajets	Durée (h)	Distance (km)
Trottinette	25	1309	192	2620
Gyroroue	5	248	60	678
VAE	20	1086	300	4092
total	50	2643	551	7390

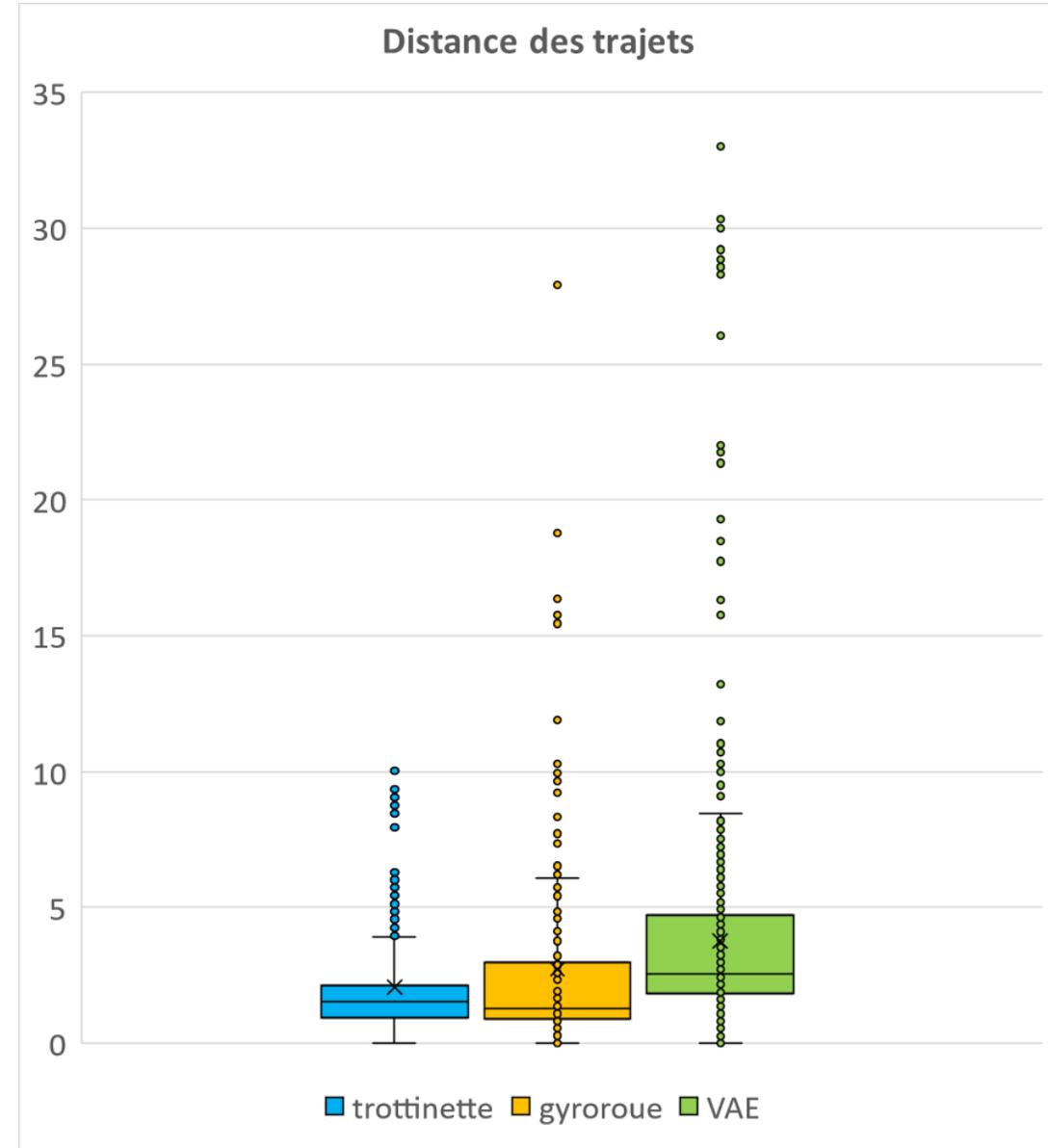


Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague (BdR)

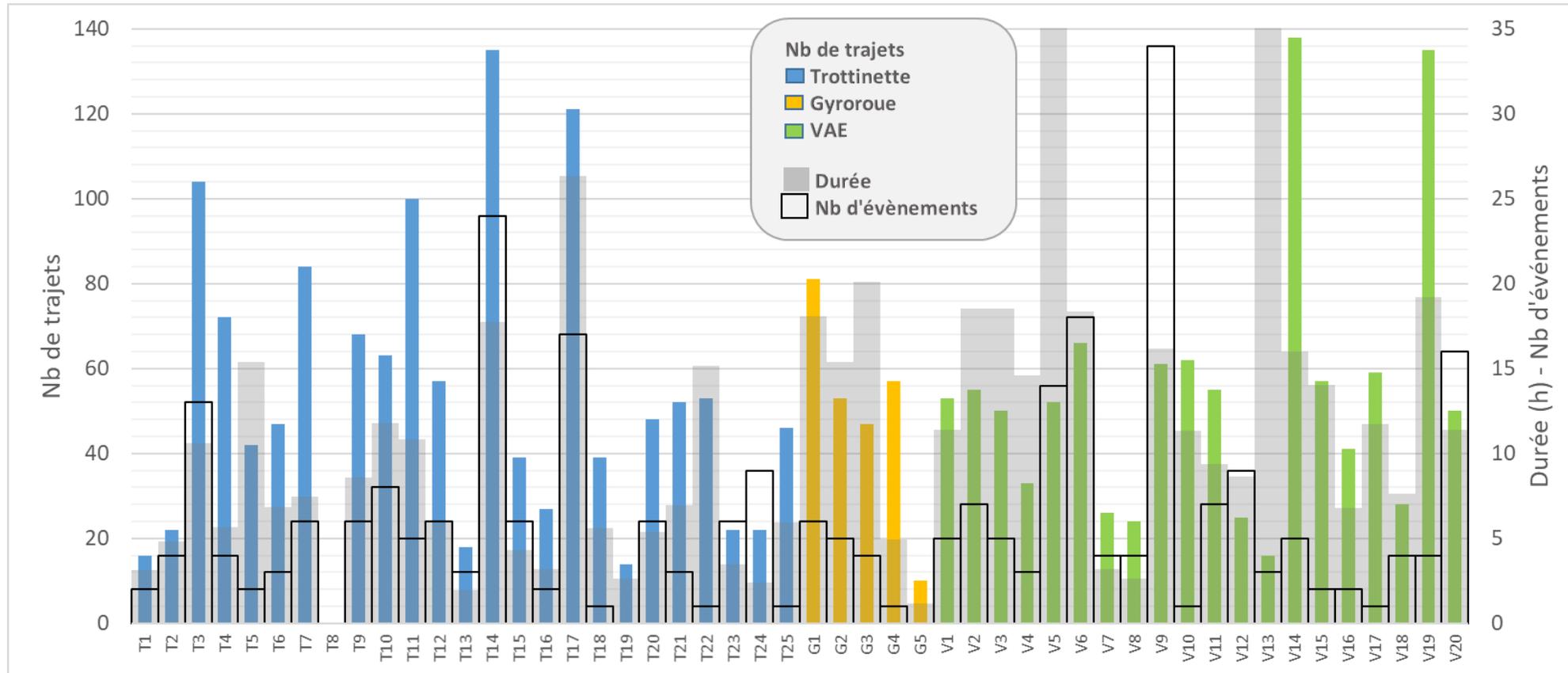
- Trottinette
- Gyroroue
- VAE

	Distance moyenne/trajet	Durée moyenne/trajet	Vitesse moyenne
Trottinette	2.1 km	8.8 min	13.6 km/h
Gyroroue	2.7 km	14.5 min	11.3 km/h
VAE	3.8 km	16.6 min	13.6 km/h



Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague (BdR)



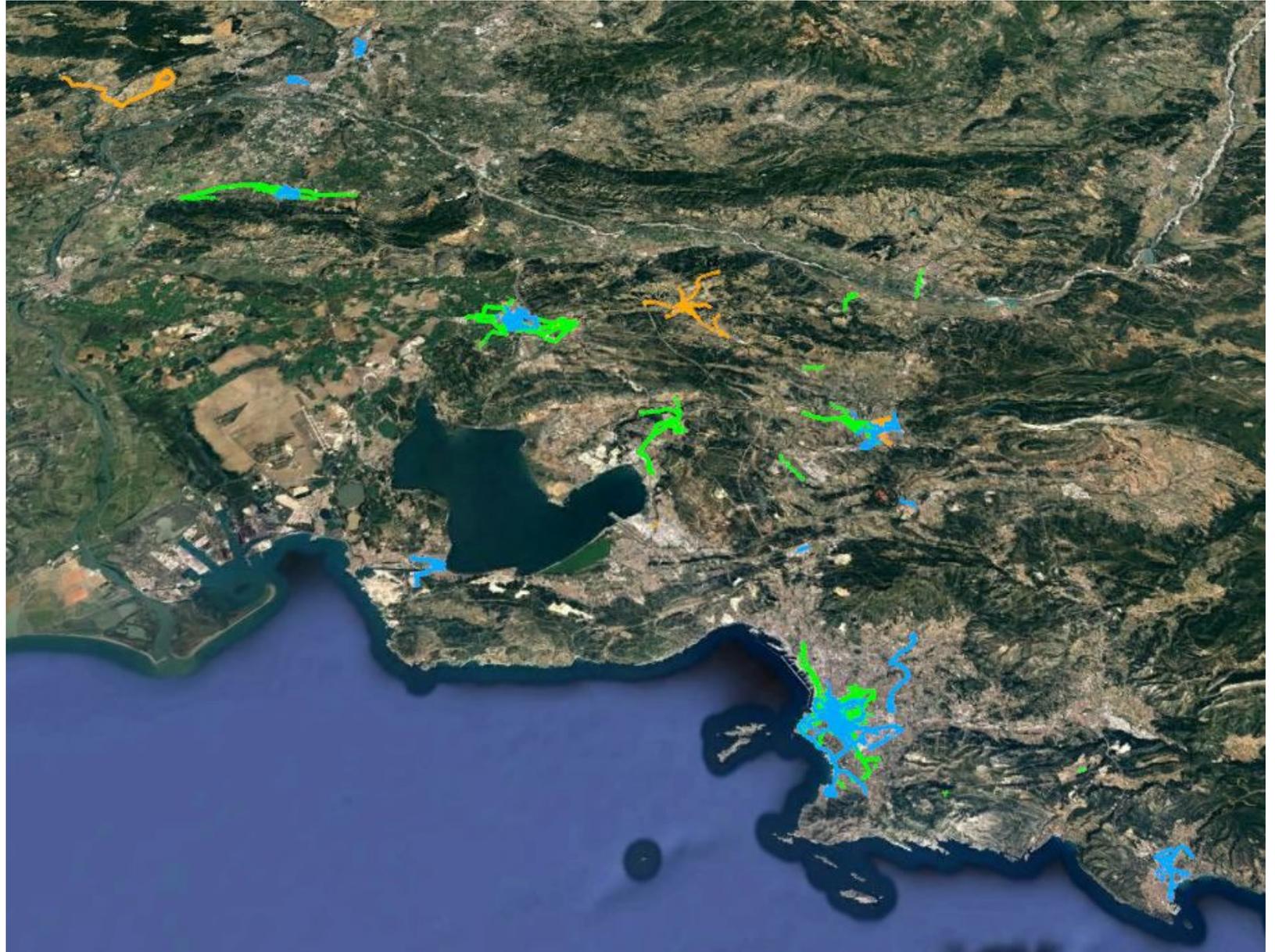
Facteurs de risque déclarés:

- **Mauvais état du revêtement**
- **Distraction d'une personne tiers**
- **Non avertissement des intentions de conduite de la part d'une personne tiers**
- **Non respect de la réglementation de la part d'une personne tiers**

Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague (BdR)

-  Trottinette
-  Gyroroue
-  VAE



Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague

Marseille

-  Trottinette
-  Gyroroue
-  VAE

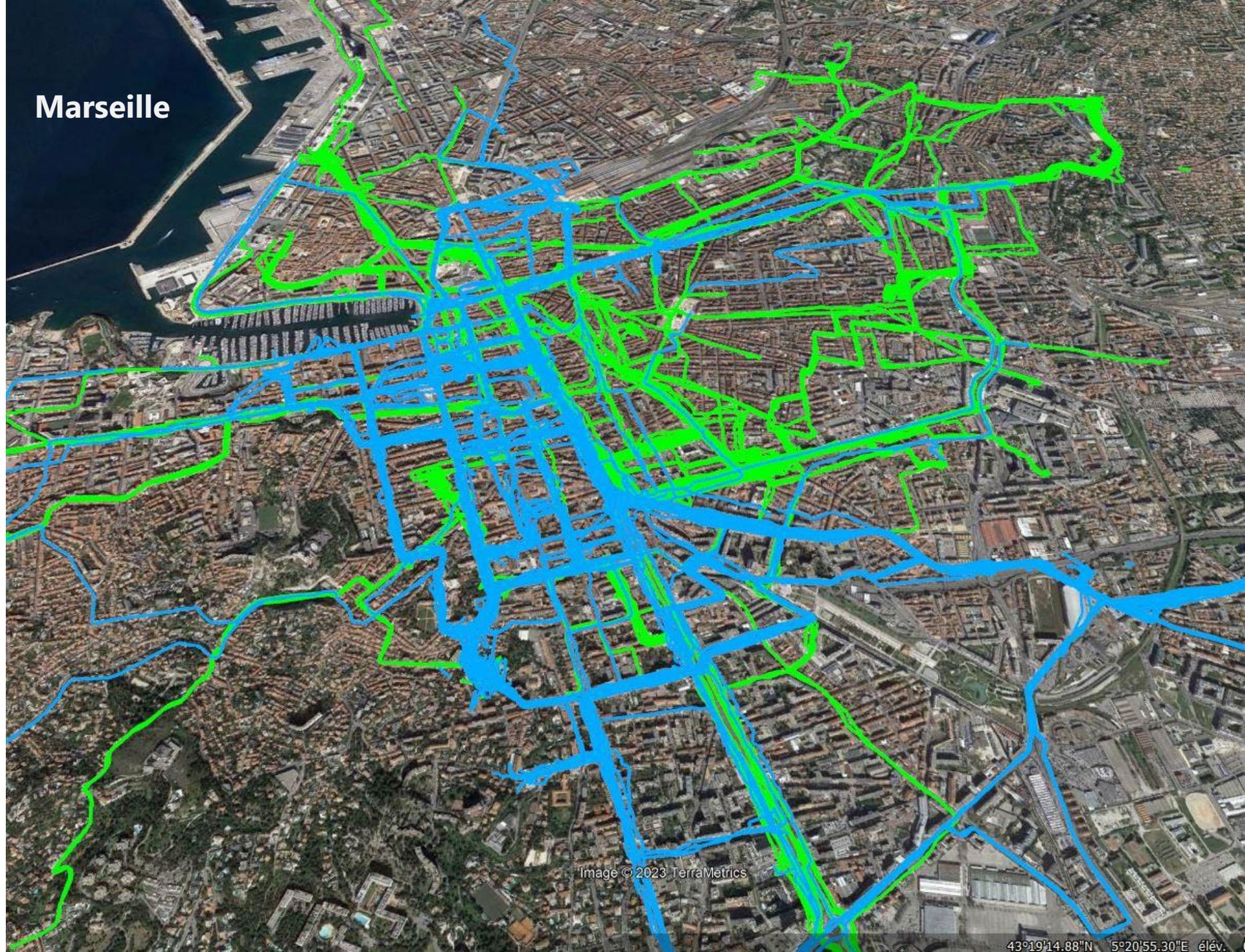
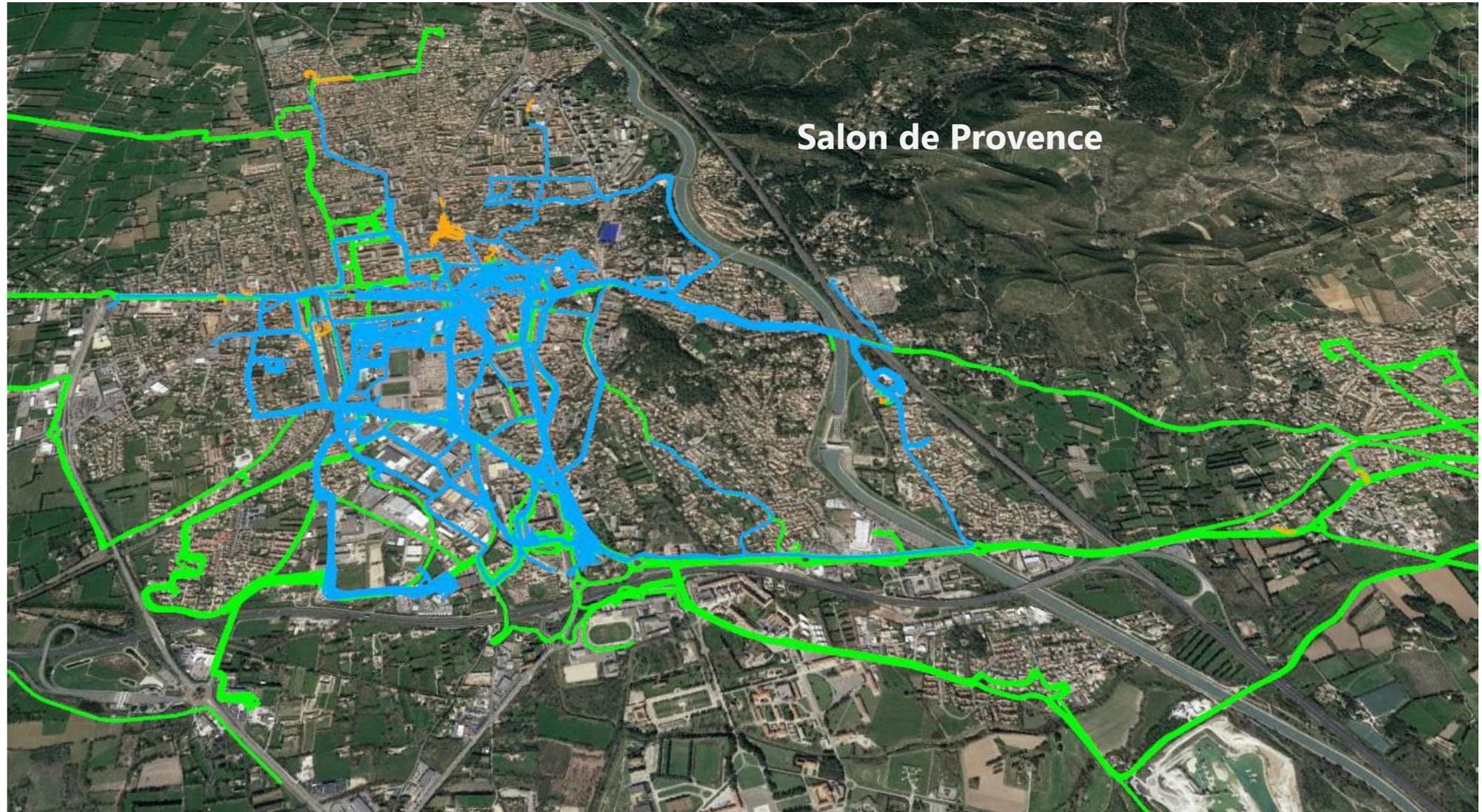


Image © 2023 TerraMetrics

43°19'14.88"N 5°20'55.30"E élév.

Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague



Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague

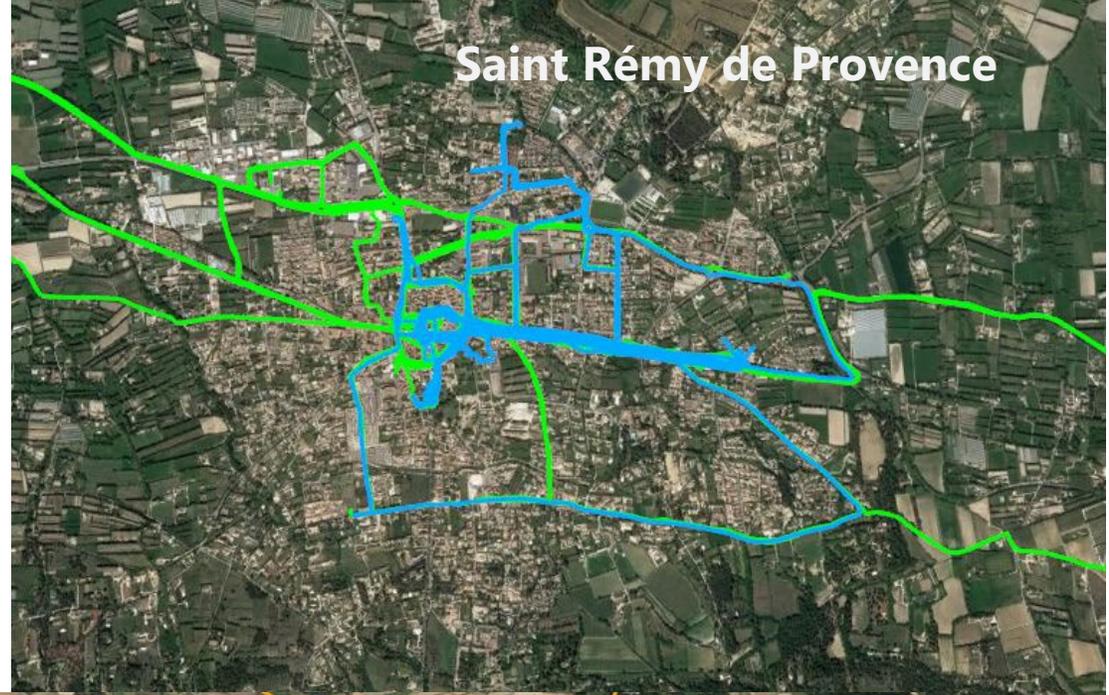
- Trottinette
- Gyroroue
- VAE



Etude naturelle

Bilan de la 1^{ère} vague

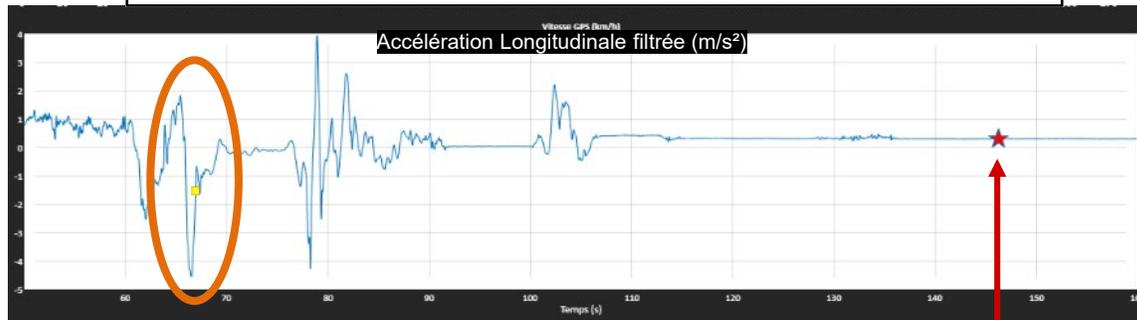
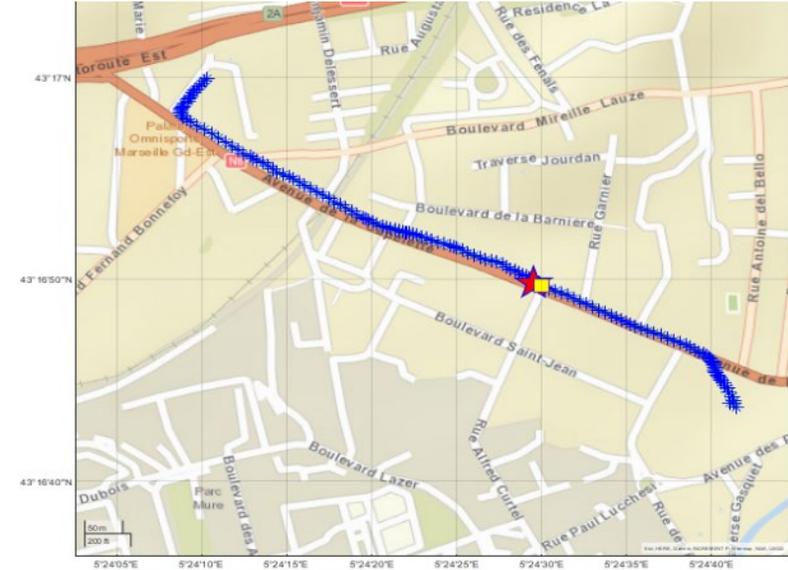
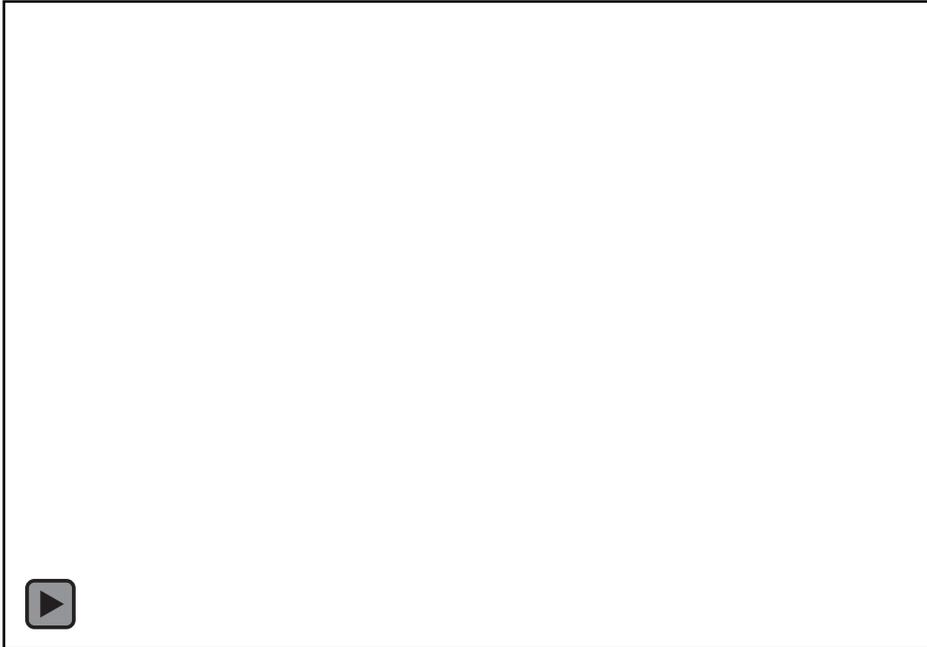
-  Trottinette
-  Gyroroue
-  VAE



Etude naturelle

Exemple d'une situation rencontrée (trottinette)

Où les données déclarées et mesurées sont cohérentes



Freinage

-4.5 m/s²

Signalement
Incident

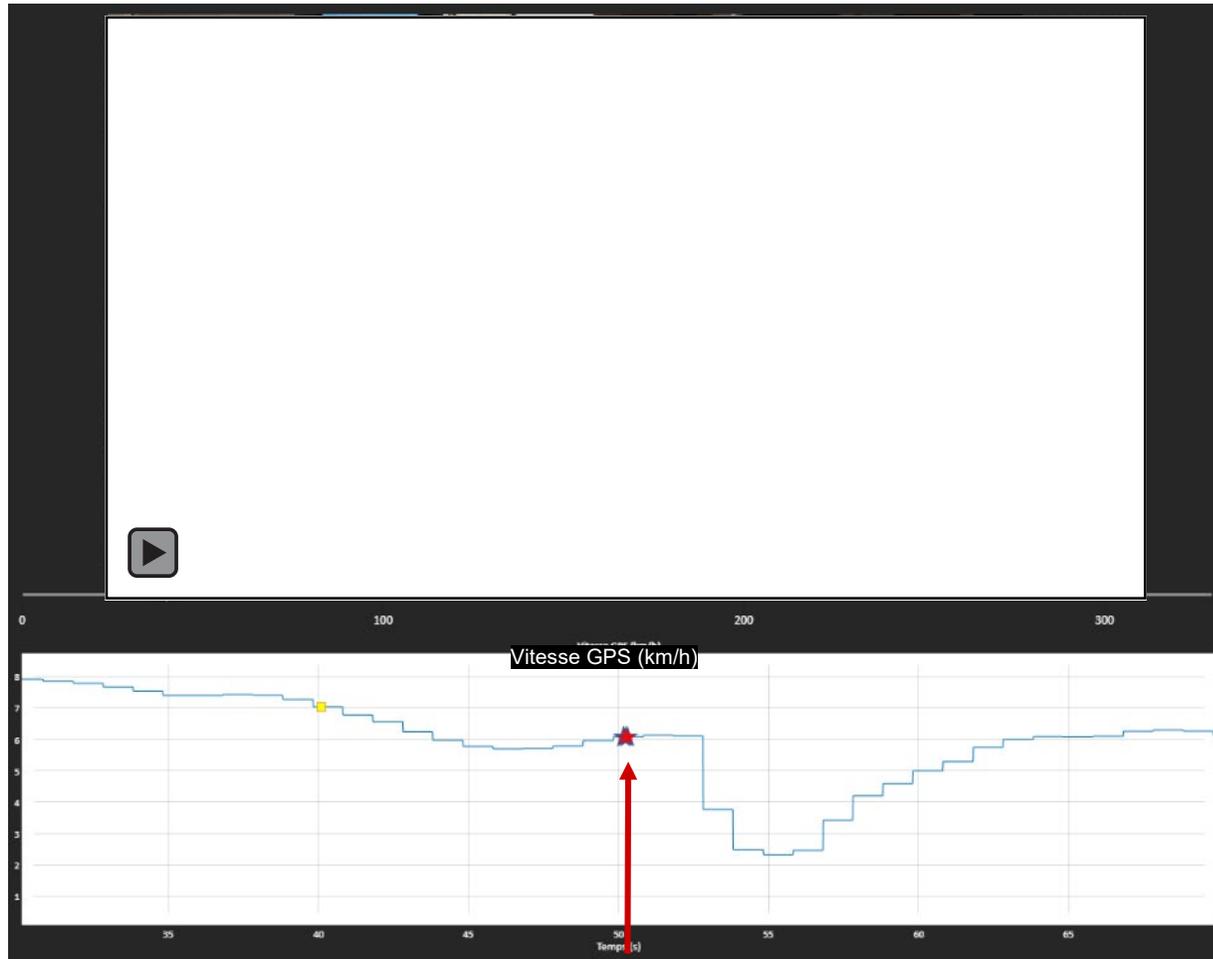
“

Je revenais d'aller faire les courses donc on voit la camionnette arrêtée sur la voie d'en face en warning et l'autre en face à fait comme si j'étais pas là donc il a décidé de passer quand même. Donc j'ai serré la chaussée à droite pour éviter de me le prendre !

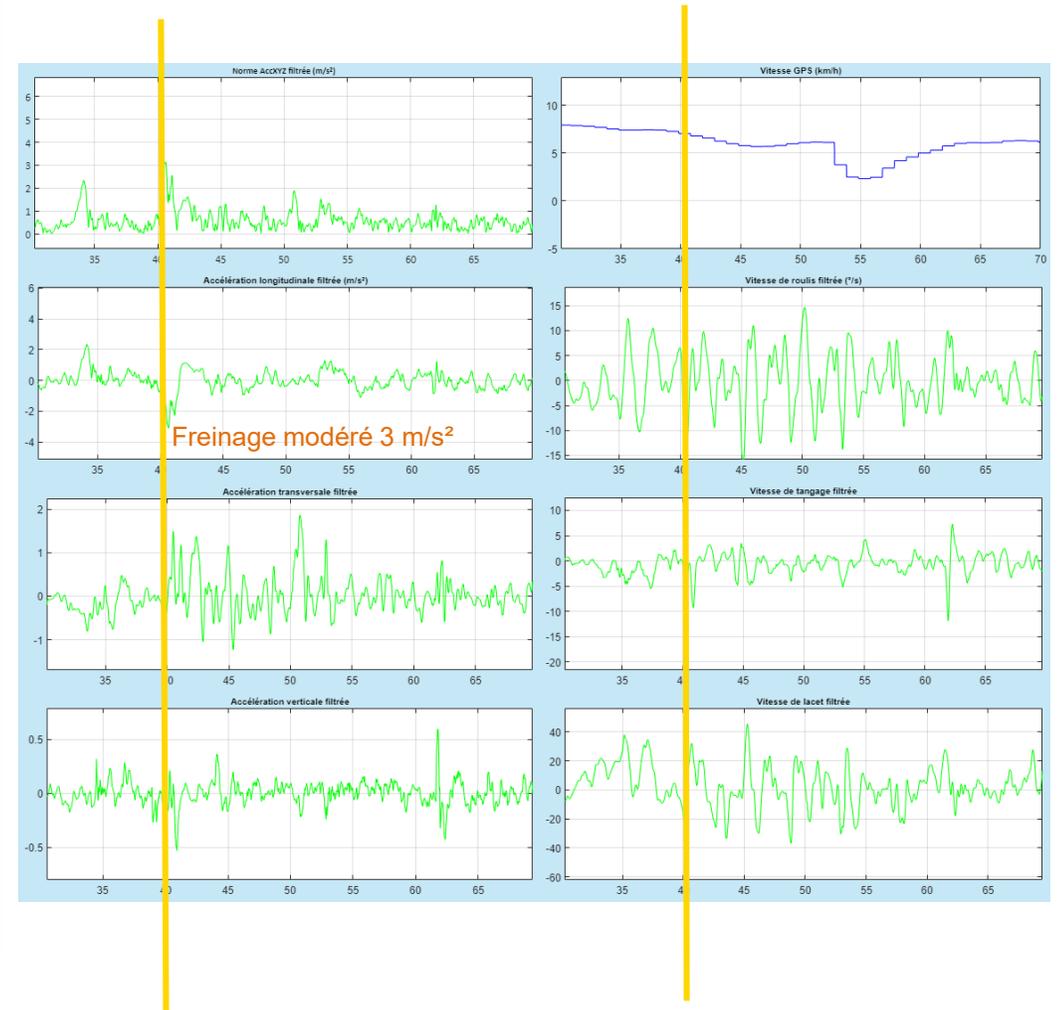
”

Exemple d'une situation rencontrée (trottinette)

Où les données déclarées ne sont pas corroborées par des données mesurées

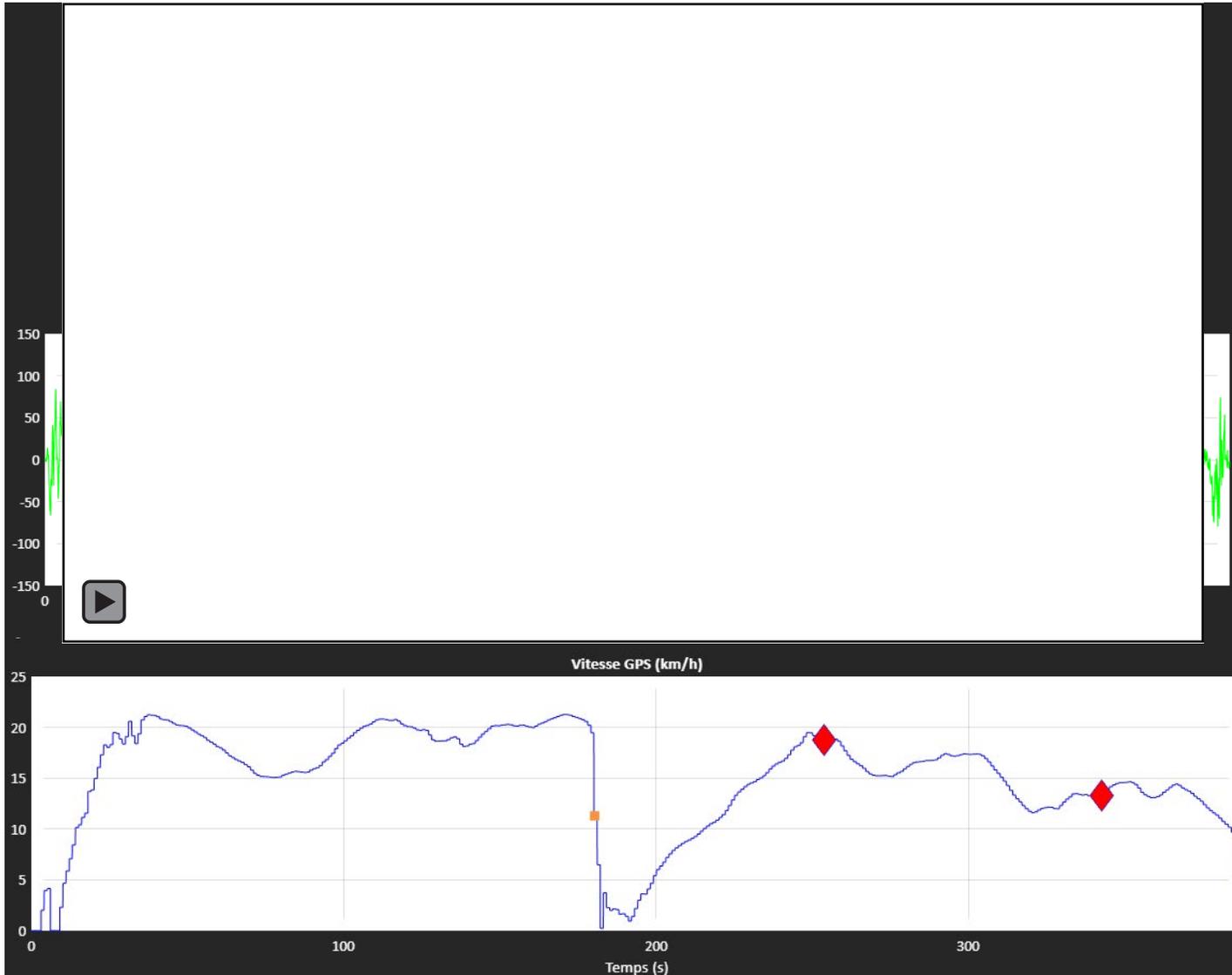


Signalement
Incident



Exemple d'une situation rencontrée (VAE)

Où les données déclarées et mesurées sont cohérentes



1

“ J'aurais pu me positionner différemment pour ma sécurité car le trafic était faible il s'est mis au milieu de la chaussée pour son changement de direction c'est pas top. J'ai fait un freinage d'urgence. ”

2

“ J'ai été surpris par l'ouverture d'une portière. Il utilisait son téléphone et était distrait ”

Exemple d'une situation rencontrée (gyrorouge)

Où les données déclarées et mesurées sont cohérentes



Freinage
-6 m/s²

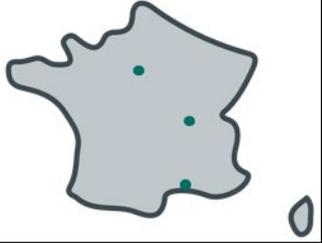
Signalement
Incident

“ Alors là, j’avais la tête un peu ailleurs, j’étais pas très attentionné donc j’ai quand même été assez surpris par cette voiture [...] il est sorti sans regarder et en arrivant assez vite. Je ne l’ai pas vu arriver ni entendu parce que les voitures d’aujourd’hui ne font pas beaucoup de bruit. J’ai été obligé de freiner de façon un peu brusque. ”

- ✓ **Les VAE font des trajets plus longs que les trottinettes et les gyroroues**
- ✓ **Les trajets des trottinettes sont plus concentrés au centre-ville et ceux des VAE plus excentrés (inter-urbain)**
- ✓ **Les incidents déclarés sont dépendants des habitudes et profils des conducteurs (risque perçu)**
- ✓ **Dans certains cas d'incident déclaré une manœuvre d'urgence est présente et identifiée**
- ✓ **... dans d'autres non**

Conclusion et perspectives

- ✓ Travail multidisciplinaire
- ✓ Mieux comprendre le rôle du véhicule
- ✓ Ressemblances et dissemblances entre EDPm
- ✓ Finir le recueil 
- ✓ Définir des critères objectifs de déclenchement d'incidents
- ✓ En trottinette les sollicitations en freinage courant ne mettent pas l'utilisateur en inconfort
- ✓ Analyse quantitative des incidents et des comportements
- ✓ Simulation du comportement des EDPm

<ul style="list-style-type: none">• 3 Zones géographiques• 50 personnes/zone• 3 mois d'enregistrement	
---	--

Bouches du Rhône Oct/Dec 2022

Lyon Avril/Juin 2023

Paris Sept/Dec 2023

Pour 1 zone:	Pour 3 zones:
25 Trottinettes 20 VAE 5 Gyroroues	75 Trottinettes 60 VAE 15 Gyroroues
Total : 50 usagers / zone	Total : 150 usagers

Merci de votre attention !

Auteurs / Contributeurs



Claire Naude, Thierry Serre, Bastien Canu, Ebrahim Riahi, Lucas Herbin, Fanny Vincent, Rémy Chevalier, Jennifer Nieto, Selim Cheaibi, Isabelle Ragot-Court



Samuel Aupetit, Nolwenn Simon, Jérôme Surmont



Benjamin Brunet