

# WheelMove-ID : Manuel d'utilisation

**Confidentialité :** Par souci éthique et grâce à la solution technique employée (JavaScript), tous les calculs sont effectués uniquement sur votre ordinateur. Ainsi, les données saisies dans l'application ne sont jamais transférées vers un serveur ni enregistrées.

## Table des matières

WheelMove-ID : Manuel d'utilisation .....	1
1. Introduction.....	2
2. Protocole expérimental.....	3
2.1. Equipement .....	3
2.2. Calibrage .....	3
2.3. Acquisitions.....	3
3. Structuration des données .....	4
4. Prétraitement des données .....	7
4.1. Paramètres de prétraitement .....	7
4.2. Paramètres du FRM .....	8
4.3. Acquisition statique .....	8
4.4. Acquisition en ligne droite .....	8
4.5. Acquisitions à traiter .....	8
4.6. Boutons de bas de page .....	9
5. Identification des actions locomotrices .....	10
5.1. Chargement des données.....	10
5.2. Valider les fichiers et paramètres .....	10
5.3. Analyser .....	11
5.4. Sauvegarder.....	11
6. Données de démonstration .....	12
7. Nous contacter.....	12

# 1. Introduction

Ce document est rédigé dans l'objectif de permettre l'utilisation éclairée et conforme à l'intention des développeurs de l'application WheelMove-ID.

Cette application a pour but de faciliter l'identification des actions locomotrices en fauteuil roulant manuel (FRM) à l'aide de centrales inertielles. En particulier, elle permet d'identifier les phases d'immobilité, de propulsion en ligne droite vers l'avant ou vers l'arrière, et les phases de virage avec différent niveau de courbure. Attention l'analyse est limitée, sur le plan théorique, à l'analyse sur sol plan horizontal. Elle peut cependant fonctionner sur d'autres plans mais les transitions entre plans ne sont pas prévues. Par ailleurs, cette version n'identifie pas la présence de pentes, de devers, ou autres obstacles à franchir.

Les détails théoriques de cette approche sont présentés dans le second manuel disponible en anglais depuis l'onglet « Aide » de l'application ou dans les articles associés à ces travaux :

- Poulet, Y.; Brassart, F.; Simonetti, E.; Pillet, H.; Faupin, A.; Sauret, C. Analyzing Intra-Cycle Velocity Profile and Trunk Inclination during Wheelchair Racing Propulsion. Sensors 2023, 23, 58. <https://doi.org/10.3390/s23010058>
- Deves, M.; Sauret, C.; Alberca, I.; Honnorat, L.; Poulet, Y.; Hays, A.; Faupin, A. Activity Identification, Classification, and Representation of Wheelchair Sport Court Tasks: A Method Proposal. Methods Protoc. 2024, 7, 84. <https://doi.org/10.3390/mps7050084>

L'application se base sur la mesure des déplacements en FRM à l'aide de centrales inertielles, dont le protocole est détaillé ci-après (cf. Protocole expérimental), et fonctionne en 3 étapes (Figure 1) :

- Structuration des données
- Prétraitement des données
- Identification des tâches locomotrices

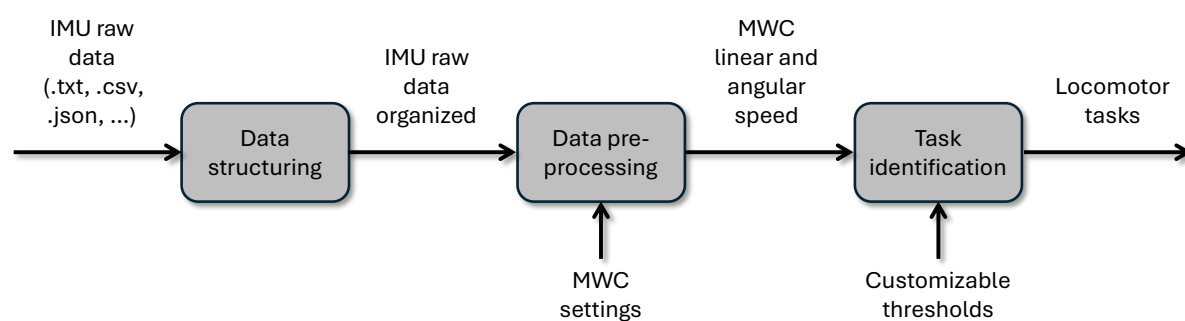


Figure 1: Pipeline de fonctionnement de WheelMove-ID

**A noter :** Si d'autres outils que des centrales inertielles sont utilisés pour mesurer les déplacements, l'étape d'identification des tâches locomotrices peut être utilisée indépendamment des deux premières.

## 2. Protocole expérimental avec centrales inertielles

### 2.1. Equipement

Trois centrales inertielles et un mètre ruban sont nécessaires à la réalisation de la mesure. Le positionnement des centrales inertielles sur le FRM est le suivant :

- Roues arrière droite et gauche (1 centrale inertielle par roue)
  - Centrales fixées solidement, de préférence au moyeu de la roue
  - Aligner le plus possible un axe de mesure avec l'axe de rotation de la roue
- Châssis (1 centrale inertielle)
  - Centrale fixée solidement sous l'assise sur le châssis, le plus proche possible du point milieu du segment liant les centres des deux roues arrière
  - Aligner le plus possible un axe de mesure avec la direction antéropostérieure du FRM, dans le plan sagittal médian du FRM.

Pour la suite, il sera nécessaire de connaître le rayon des roues ainsi que leur carrossage. Une méthode simple pour mesurer le rayon des roues est renseignée paragraphe 4.2.

### 2.2. Calibrage

Une fois le FRM équipé des 3 centrales inertielles, deux acquisitions de calibrage doivent être réalisées :

- Statique
  - L'acquisition statique correspond à un enregistrement sans aucun mouvement du FRM. Elle doit durer entre 5 et 10 secondes. Elle est utilisée pour compenser toute erreur d'alignement de la centrale inertielle positionnée sur le châssis. L'utilisateur doit être installé dans le FRM pour prendre en compte l'effet de déformation du châssis avec la charge induite par le poids de l'utilisateur.
- Ligne droite
  - L'acquisition en ligne droite est à réaliser de préférence avec l'utilisateur installé dans son FRM. Au cours de cette acquisition, un opérateur pousse le FRM en ligne droite (suivre une ligne au sol pour plus de précision) sur une distance supérieure à deux tours de roues. L'acquisition en ligne droite est utilisée pour aligner les repères d'acquisitions des centrales avec les axes de rotation des roues arrière.

**A noter :** les acquisitions de calibrage doivent être réitérées à chaque changement de position des centrales inertielles, même minime. Si les centrales ne sont pas déplacées et que le même FRM instrumenté des 3 centrales inertielles est utilisé avec un autre utilisateur, les acquisitions en statique et en ligne droite pourraient être réutilisées. Cependant, il est souhaitable de les réitérer avec le nouvel utilisateur, et de réaliser une nouvelle mesure du rayon des roues.

### 2.3. Acquisitions

Une fois les deux acquisitions de calibrage réalisées, passer à la mesure des déplacements d'intérêt.

**A noter :** Si possible, limiter le temps d'acquisition afin d'assurer un temps de traitement raisonnable.

**A noter :** Aucun fichier présentant des données manquantes (ou NaN) ne sera traité par l'application.

### 3. Structuration des données

Cette première étape a pour objectif de regrouper les données brutes des centrales inertielles de chaque déplacement mesuré en un fichier structuré pour alimenter l'étape suivante de prétraitement des données. Cela permet d'étendre l'utilisation de cette application à de nombreux modèles de centrales inertielles différents.

#### 3.1. Chargement des fichier bruts

Dans un premier temps, les fichiers contenant les données brutes des centrales inertielles doivent être chargés dans l'application. Pour une meilleure compatibilité, les formats suivants sont acceptés : .csv, .txt, .json, .tsv.

**A noter :** WheelMove-ID ne gère pas la lecture des fichiers constructeurs. Utilisez la fonctionnalité d'« export » des données du logiciel constructeur pour alimenter l'application.

**A noter :** Les données issues des accéléromètres sont attendus en  $\text{m/s}^2$  et celles issues des gyroscopes en  $\text{deg/s}$ .

#### 3.2. Identification des colonnes d'intérêt

Dans la sous-partie « Première acquisition » de la page (Figure 2), utilisez les menus déroulants pour associer à chaque centrale inertielle l'un des fichiers bruts préalablement chargés.

**A noter :** Si les données brutes des 3 centrales inertielles sont regroupées dans le même fichier, il est possible de ne le charger qu'une fois et de le sélectionner à plusieurs reprises.

La sélection provoque l'affichage du tableau de correspondance. Ce tableau présente en ligne les titres de chaque colonne du fichier brut et en colonne les données à identifier pour la suite du traitement.

Associez ensuite une ligne à chaque colonne en sélectionnant les cases correspondantes (Figure 2).

▼ Première acquisition

Châssis : 2min-Frame.txt

	Acc X	Acc Y	Acc Z	Gyr X	Gyr Y	Gyr Z
PacketCounter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_X	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_Y	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_Z	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_Y	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_Z	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Figure 2: Tableau de correspondance pour la centrale inertielle du châssis

### 3.3. Traitement par lots

Le traitement par lot permet d'appliquer la correspondance préalablement réalisée à un grand nombre de fichiers. Pour cela, indiquez dans le tableau (Figure 3) les fichiers de chaque centrale pour chaque acquisition à l'aide des menus déroulants. Utilisez la première colonne « **Nom de l'acquisition** » pour les nommer.

Les deux boutons sous le tableau permettent d'ajouter et de supprimer une ligne au tableau.

▼ Traitement par lots

Nom de l'acquisition	Fichier IMU Châssis	Fichier IMU Roue Droite	Fichier IMU Roue Gauche
batch_1	2min-Frame.txt	2min-RightWheel.txt	2min-LeftWheel.txt
batch_2	Static-Frame.txt	Static-RightWheel.txt	Static-LeftWheel.txt
batch_3	StraightLine-Frame.txt	StraightLine-RightWheel.txt	StraightLine-LeftWheel.txt

Ajouter une ligne
Supprimer la dernière ligne

Figure 3: Traitement par lot avec les données de démonstration

### 3.4. Boutons de bas de page

#### 3.4.1. Nouvelle(s) acquisition(s)

Ce bouton recharge la page.

**A noter :** Il n'est utile qu'en cas de changement de marque/modèle de centrales inertielles entre des acquisitions. Sinon, privilégier le « Traitement par lots ».

### 3.4.2. Générer le(s) fichier(s) CSV

Télécharge dans le dossier « **.../Téléchargement** » un dossier compressé « imu\_batch\_export.zip » contenant les fichiers .csv des acquisitions. Ces fichiers ainsi générés contiennent 18 colonnes représentant les données des accéléromètres et gyroscopes de chaque centrale inertielle (Châssis, roue droite et roue gauche).

### 3.4.3. Prétraitement des données

Permet d'accéder à la page de prétraitement des données (cf. 4. Prétraitement des données).

## 4. Prétraitement des données

Le prétraitement des données se fait en 5 étapes présentées ci-dessous. Pour chaque étape, l'utilisateur doit renseigner les données nécessaires puis cliquer sur le bouton « **Valider** » afin de passer à l'étape suivante. Suite à une première validation, le bouton « **Modifier** » s'active et permet de modifier des valeurs.

Si le bouton « **Valider** » est grisé et inaccessible alors cela signifie que des données sont manquantes dans l'étape en cours.

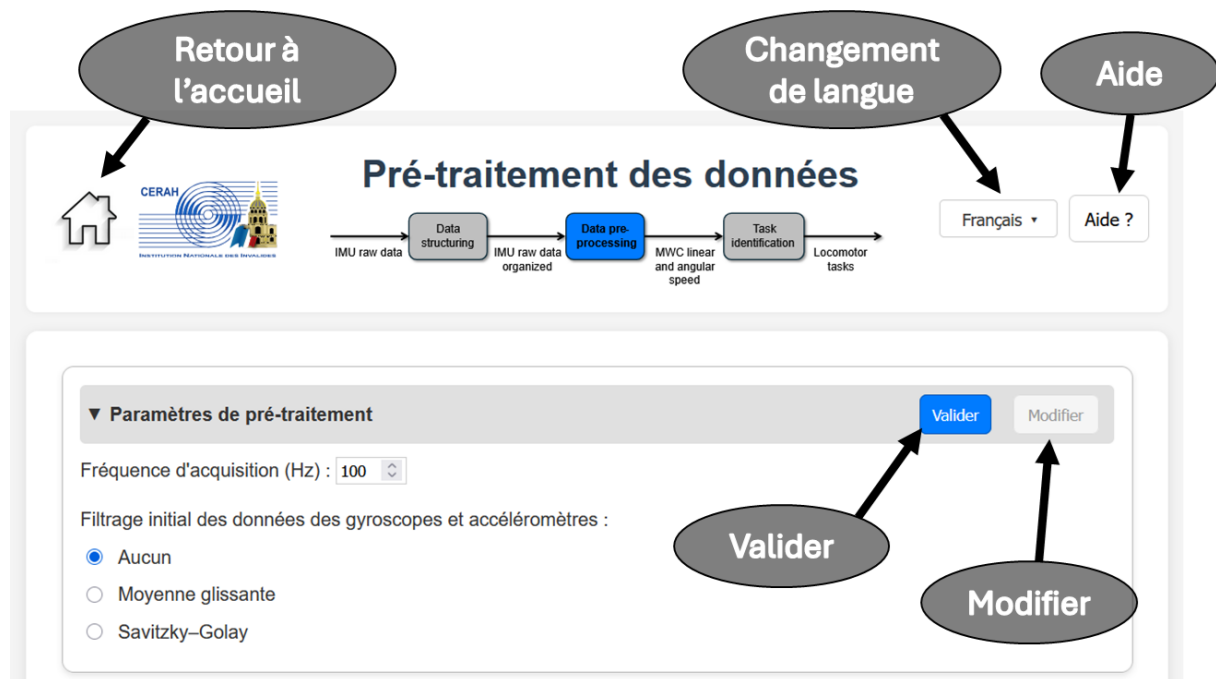


Figure 4: Présentation de l'interface

### 4.1. Paramètres de prétraitement

Renseigner la **fréquence d'acquisition (en Hz)** des centrales inertielles. La fréquence d'acquisition doit être identiques pour toutes les centrales et toutes les acquisitions à traiter.

Sélectionner le filtre à appliquer aux données brutes des gyroscopes et accéléromètres :

- **Aucun** : Données non filtrées
- **Moyenne glissante** : Applique une moyenne glissante centrée avec extrapolation linéaire pour limiter les effets de bords. Le traitement est réalisé dans les deux sens pour minimiser l'apparition de déphasage. La taille de la fenêtre de traitement est laissée libre à l'utilisateur (NB : La fenêtre de traitement doit être un nombre impair).
- **Savitzky-Golay** : Applique l'algorithme de Savitzky-Golay pour lisser les données. L'utilisateur doit renseigner la fenêtre de traitement (nombre impair) et l'ordre du polynôme utilisé. NB : la taille de la fenêtre doit être au moins égale à l'ordre du polynôme + 1 (par exemple, ou moins 3 valeurs pour un polynôme d'ordre 2, 5 valeurs, pour des polynômes d'ordre 3 et 4, 7 valeurs pour un polynôme d'ordre 5, etc).

## 4.2. Paramètres du FRM

- **Carrossage** : Correspond à l'angle d'inclinaison des roues du FRM par rapport à la verticale.
- **Rayon/Circonférence des roues arrière** : L'utilisateur peut décider de renseigner le rayon ou la circonférence des roues arrière du FRM en cliquant sur le bouton bascule. Le mot entouré de bleu est sélectionné. Les valeurs doivent être renseignées en centimètres. Pour plus de précision dans l'analyse l'utilisateur peut différencier les mesures des roues droite et gauche en cliquant sur le bouton « **Différencier gauche/droite** ».

**A noter :** Il est recommandé de réaliser la mesure de la circonférence et de différencier les roues. La mesure de la circonférence peut être déterminée par la distance parcourue par la roue en ligne droite en un tour complet de roue, en prenant par exemple la valve placée verticalement au sol comme repère.

- **Voie arrière (cm)** : Renseigner la distance entre les points de contact des deux roues arrière avec le sol, en centimètres. Cette mesure, complétée par la connaissance de l'angle de carrossage permet de déterminer automatiquement la distance entre les centres des roues arrière.

## 4.3. Acquisition statique

Utilisez le bouton ou la zone de glisser-déposer pour charger une acquisition statique (cf. Calibrage).

Si la mauvaise acquisition a été chargée celle-ci peut être supprimée en cliquant sur la croix rouge dans la colonne « **Action** » du tableau correspondant.

## 4.4. Acquisition en ligne droite

Utilisez le bouton ou la zone de glisser-déposer pour charger une acquisition en ligne droite (cf. Calibrage).

Si la mauvaise acquisition a été chargée celle-ci peut être supprimée en cliquant sur la croix rouge dans la colonne « **Action** » du tableau correspondant.

## 4.5. Acquisitions à traiter

Utilisez le bouton ou la zone de glisser-déposer pour charger les acquisitions à traiter.

**A noter :** Les centrales inertielles ne doivent à aucun moment être déplacées entre les acquisitions de calibrage et les acquisitions à traiter.

Les acquisitions chargées peuvent être supprimées en cliquant sur la croix rouge dans la colonne « **Action** » du tableau correspondant.

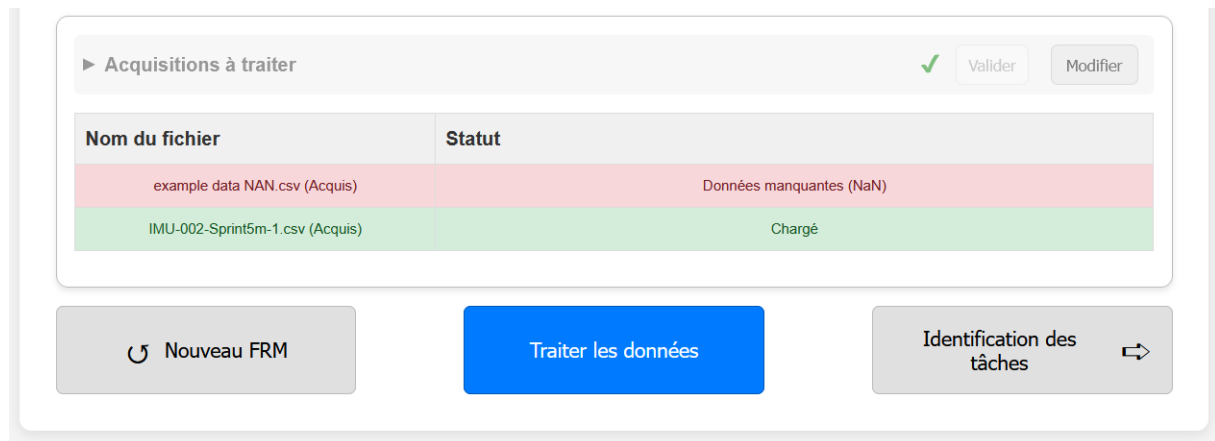


Figure 5: Exemple du chargement d'un fichier avec données manquantes (ligne rouge) et d'un fichier fonctionnel (ligne verte)

La validation de cette étape actionne le bouton de bas de page « **Traiter les données** ».

## 4.6. Boutons de bas de page

### 4.6.1. Nouveau FRM

Permet de revenir à l'étape 4.2 pour renseigner les données d'un nouveau FRM à traiter.

Bouton à utiliser après sauvegarde des résultats d'un FRM afin de passer au prétraitement d'un autre FRM tout en conservant les paramètres de prétraitement renseignés en 4.1.

### 4.6.2. Traiter les données

Permet de réaliser le prétraitement des acquisitions chargées.

Télécharge dans le dossier « **.../Téléchargement** » un fichier .csv par acquisition à traiter. Les fichiers « **...\_pretraitement.csv** » contiennent 3 colonnes :

- Temps (s) : Signal temporel indiquant la progression du temps pendant l'acquisition.
- Vitesse linéaire (m/s) : Vitesse de déplacement selon l'axe antéro-postérieur du FRM.
- Vitesse angulaire (deg/s) : Vitesse de déplacement angulaire du FRM, c'est-à-dire sa vitesse de rotation autour de l'axe vertical.

### 4.6.3. Identification des tâches

Permet d'accéder à la page d'identification des actions locomotrices (cf. 5. Identification des actions locomotrices).

## 5. Identification des actions locomotrices

Cette page a pour objectif d'identifier les actions locomotrices à partir des vitesses linéaire et angulaire du FRM.

L'identification des actions locomotrices se fait en 4 étapes principales :

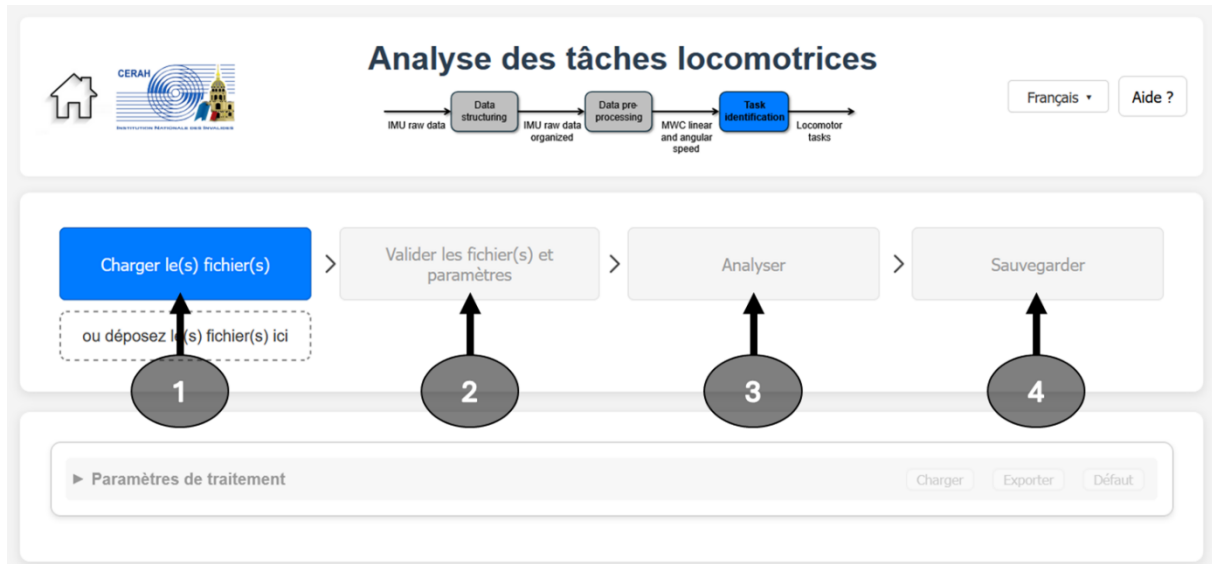


Figure 6: Etapes de l'identification des actions locomotrices

### 5.1. Chargement des données

Utiliser le bouton ou la zone de glisser/déposer pour charger les fichiers prétraités à analyser. Les fichiers issus de la page précédentes peuvent être chargés tels quels. De multiples fichiers peuvent être chargés en parallèle.

**A noter :** Lorsque ces vitesses sont obtenues à l'aide de capteurs autres que des centrales inertielles, l'application WheelMove-ID peut être utilisée directement à partir de cette étape. Dans ce cas, il est indispensable de s'assurer que, pour chaque instant, les vitesses linéaire et angulaire sont exprimées dans le repère du FRM. Dans ce repère, la vitesse linéaire doit être uniquement projetée selon l'axe antéropostérieur, et la vitesse angulaire selon l'axe vertical. Les fichiers doivent être fournis au format .csv et contenir au moins 2 colonnes avec titres :

- La première colonne doit présenter la vitesse linéaire du FRM en (m/s) et avoir au minimum dans son titre la chaîne de caractères « lin » pour « vitesse linéaire ».
- La seconde colonne doit présenter la vitesse angulaire du FRM en (°/s) et avoir au minimum dans son titre la chaîne de caractères « ang » pour « vitesse angulaire ».

### 5.2. Valider les fichiers et paramètres

Ce bouton permet de bloquer les fichiers chargés, visibles dans le tableau en haut de page ainsi que les paramètres de traitement.

Avant de cliquer sur ce bouton, la **fréquence d'acquisition** ainsi que les valeurs des **seuils** utilisés dans l'analyse peuvent être personnalisés.

Chaque seuil correspond à la valeur à partir de laquelle l'algorithme utilisé considère les transitions entre les **Etats 1, 2 et 3** précisés dans le tableau.

Les nouveaux seuils de vitesse linéaire et angulaire précisés sous le tableau permettent, suite à une première identification des actions locomotrices, de rendre plus précise l'identification de l'instant exact de transition entre les états par un traitement complémentaire.

Voir le manuel théorique en anglais disponible dans l'aide de l'application pour plus de détails concernant les calculs réalisés et l'utilisation de chaque seuil.

Les boutons « **Charger** » et « **Exporter** » permettent d'exporter les valeurs des paramètres de traitement dans un fichier .json pour permettre par la suite de charger ce fichier afin de réaliser rapidement le même traitement sur différentes acquisitions.

Le bouton « **Défaut** » réinitialise les valeurs des seuils et de fréquence aux valeurs par défaut.

### 5.3. Analyser

Le bouton « **Analyser** » lance l'identification des actions locomotrices sur les fichiers précédemment chargés en utilisant les paramètres renseignés.

Cela abouti à l'affichage des chronogrammes, de leur légende en bas de page et de deux checkbox permettant l'affichage sur les chronogrammes des vitesses linéaire et angulaire pour visualisation.

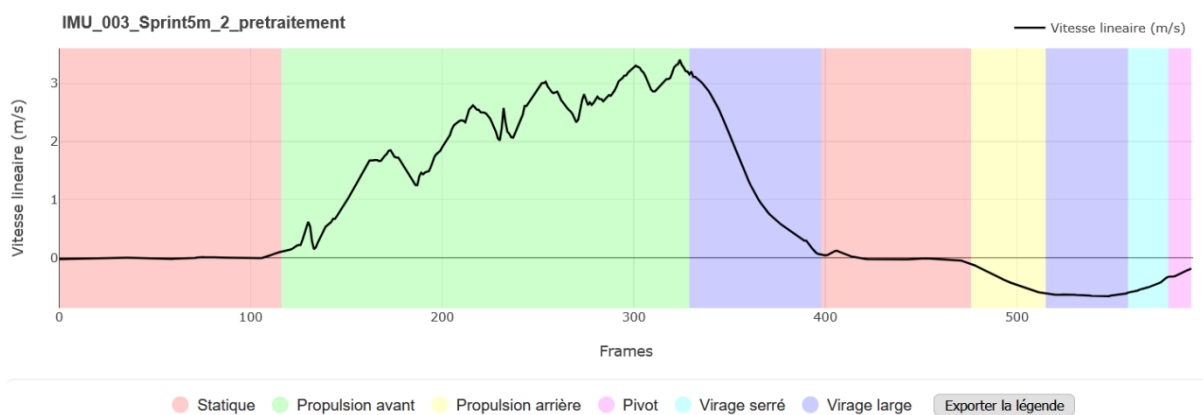


Figure 7: Exemple d'un chronogramme obtenu par l'analyse des données.

### 5.4. Sauvegarder

#### 5.4.1. Enregistrer les résultats

Le bouton « **Sauvegarder** » Télécharge dans le dossier « **.../Téléchargement** » un fichier .csv par acquisition chargée. Les fichiers nommés « **...\_résultat.csv** » contiennent 4 colonnes :

- Temps (s) : Signal temporel indiquant la progression du temps pendant l'acquisition.
- Vitesse linéaire (m/s) : Vitesse de déplacement selon l'axe antéro-postérieur du FRM.
- Vitesse angulaire (deg/s) : Vitesse de déplacement angulaire du FRM, c'est-à-dire sa vitesse de rotation autour de l'axe vertical.

- Actions locomotrices : Chiffre entre 1 et 6 représentant les 6 actions identifiées par l'application, dans l'ordre de la légende :
  - 1 : Statique
  - 2 : Propulsion avant
  - 3 : Propulsion arrière
  - 4 : Pivot
  - 5 : Virage serré
  - 6 : Virage large

#### 5.4.2. Exporter la légende

Le bouton « **exporter la légende** » en bas de page à droite de la légende permet son export.

### 6. Données de démonstration

Un jeu de données de démonstration est téléchargeable directement dans l'aide pour se familiariser avec l'application.

### 7. Nous contacter

[https://mobile.cerahtec.fr/fr/contact/cerah\\_site\\_invalides\\_recherches](https://mobile.cerahtec.fr/fr/contact/cerah_site_invalides_recherches)