

- **Contexte des travaux de recherche**
- **Problématique et objectifs**
- **Approche méthodologique**
- **Réalisations et résultats de travaux**
- **Conclusions et perspectives**

- **Contexte des travaux de recherche**
- **Problématique et objectifs**
- **Approche méthodologique**
- **Réalisations et résultats de travaux**
- **Conclusions et perspectives**



École Mohammadia d'Ingénieur, Rabat

Contexte des travaux de recherche

Lieu: Les travaux de recherche ont été menés au sein de l'Equipe de Recherche en Energie Electrique et Commande, Département Electrique, Ecole Mohammadia D'Ingénieur, Rabat

Objectif: Développer une recherche performante, innovante et productive en mettant particulièrement l'accent sur la recherche-développement ayant une application industrielle

- Contexte des travaux de recherche
- **Problématique et objectifs**
- Approche méthodologique
- Réalisations et résultats de travaux
- Conclusions et perspectives

Problématique et objectifs

Problématique

Transport et infrastructure routière

- 3.5 millions dont 80.000 véhicules poids lourds
- 4% du PIB
- 57.334 km / 44.180 Km revêtus dont 1800 km Autoroutes et 1451 voies express
- 107 millions véh.km/jour



Accidents

- Défectiosité des organes de sécurité et instabilité
- Energie cinétique élevée



Pollution

- Banque mondiale 2017, PM2.5 en microgramme/m³
- Maroc: 33
 - Algérie: 39
 - Tunisie: 38
 - Égypte: 87



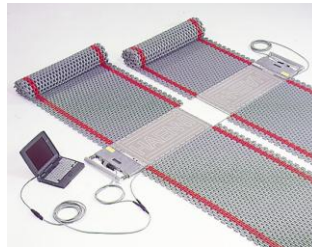
Problématique et objectifs

- Équipements opérationnels actuellement



Pont bascule 1

- ✓ Mesure précise en mode statique
- ✓ Rendement faible
- ✓ Usage commercial



Bascule mobile 2

- ✓ Mesure précise en mode statique
- ✓ Rendement faible
- ✓ Force de contrôle



Bascule fixe 3

- ✓ Mesure précise en mode statique
- ✓ Rendement faible
- ✓ Force de contrôle & commercial

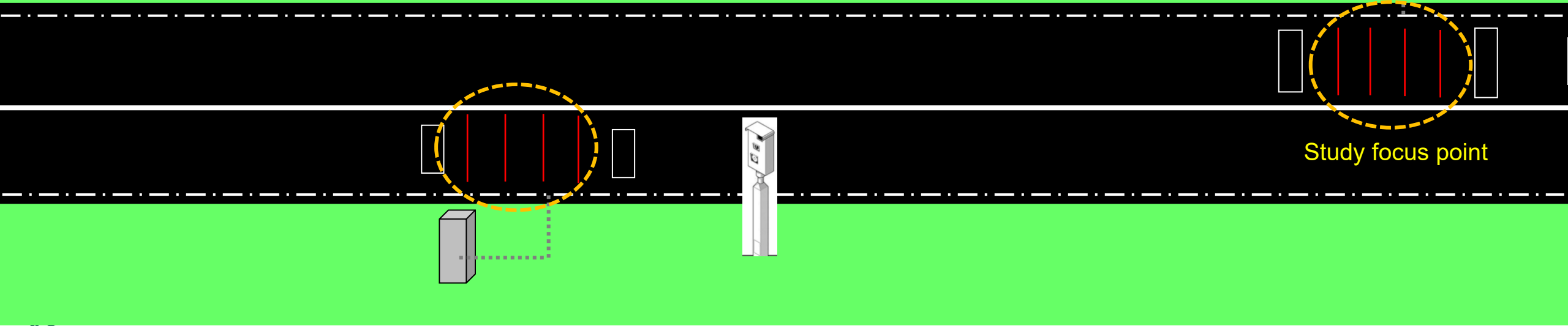
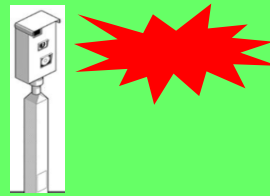
HS-WIM Cible (Design)

Back Office

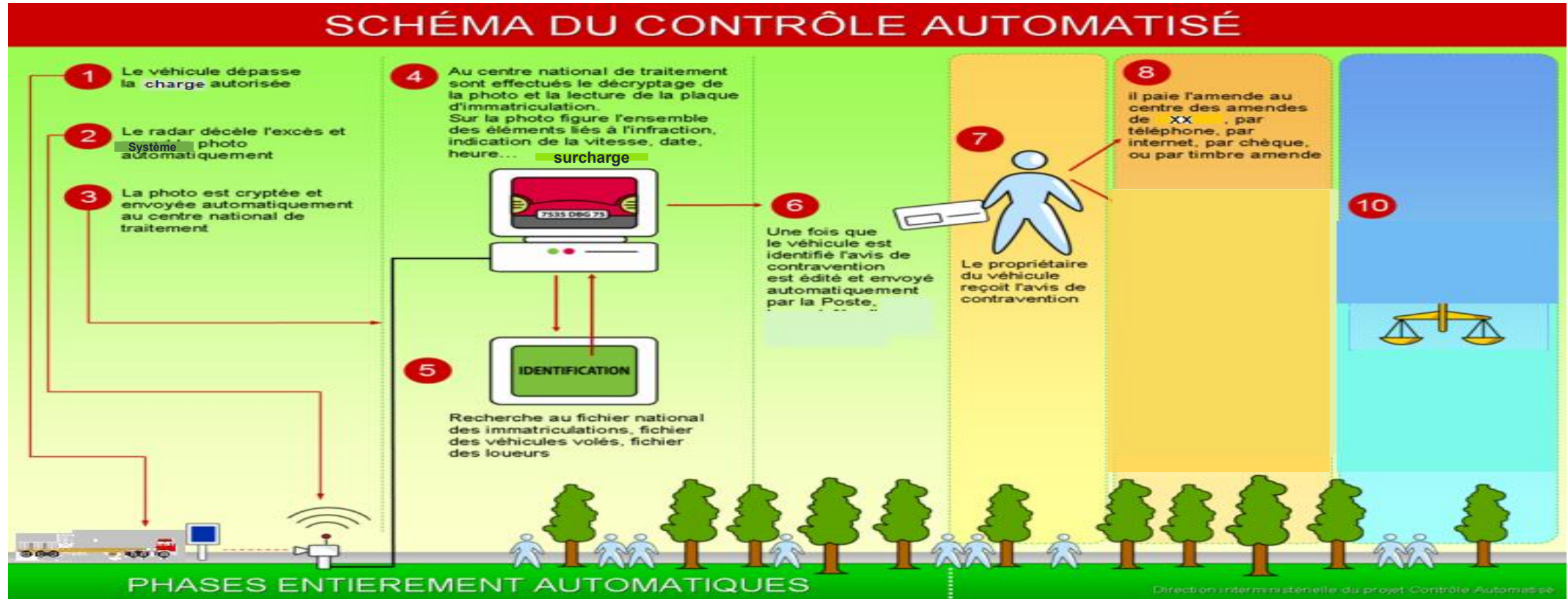
Data storage

Overloading

Internet data transmission



HS-WIM Cible (Process)



1- Détection

2- Exploitation

3- Transmission

4- Recouvrement

5- Contentieux

Objectifs ciblés

- Conservation des infrastructures routières par le respect des poids réglementaires
- Lutte contre l'agressivité au moyen des systèmes intelligents
- Un mécanisme innovant de financement routier « Entretien routier » par la consécration du principe « pollueur-payeur », « Smart sanctions », « ATF »

Cahier des charges du système HS-WIM



**Norme
OIML R 134-1**

01

GVW

5 pour le poids global du véhicule ($\varepsilon = \pm 5\%$)

02

**Charge à l'essieu
CR2E**

F pour l'essieu simple d'un camion rigide à deux essieux ($\varepsilon = \pm 8\%$)

03

**Charge à l'essieu
CR2E**

E pour l'essieu simple ou groupe d'essieux pour autres véhicules ($\varepsilon = \pm 8\%$)

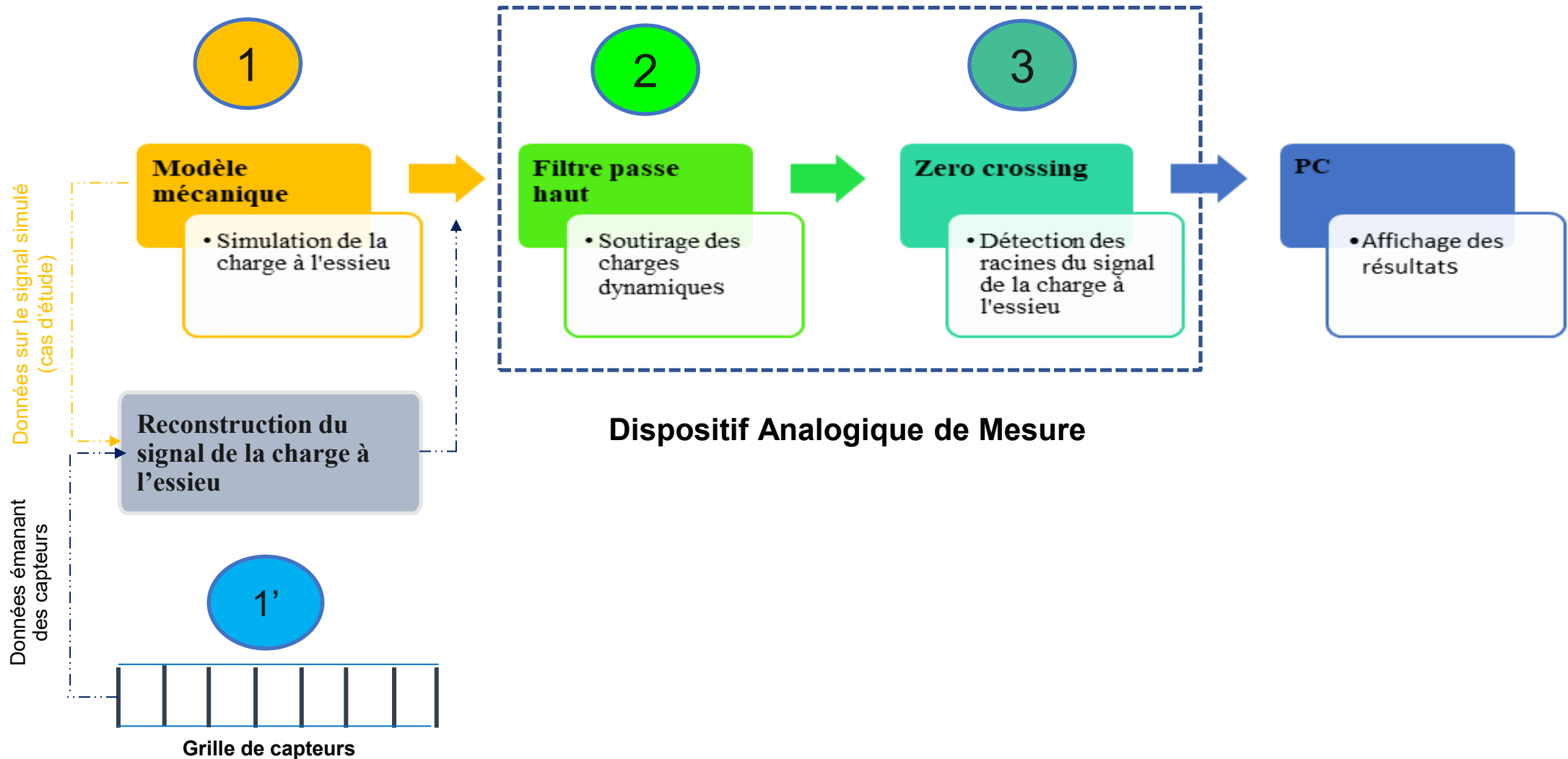
04

**Intervalle de confiance
+95%**

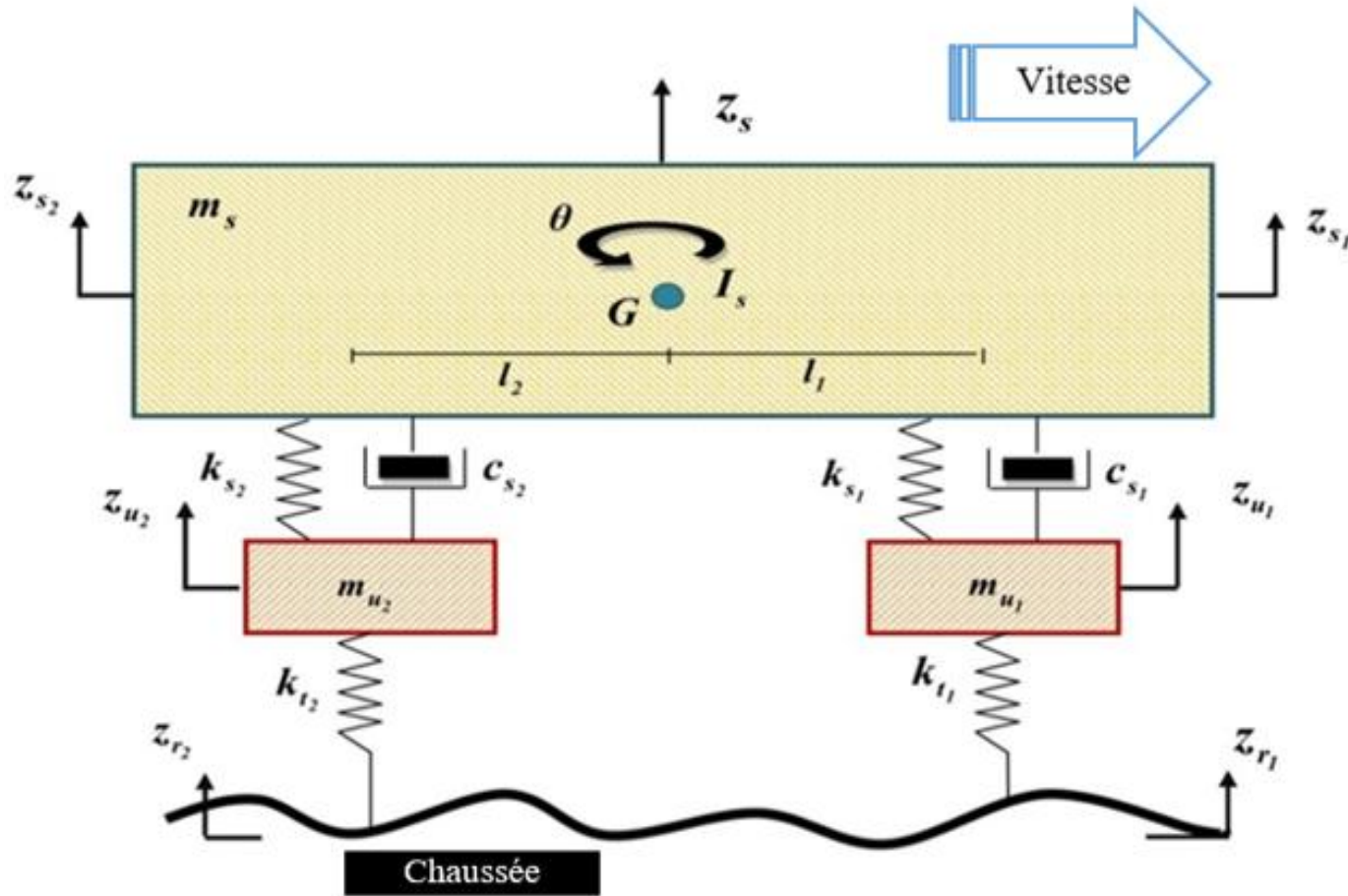
$P (Cr - \varepsilon < Cm < Cr + \varepsilon) > 95\%$
∇ Vitesse de 20 à 100 km/h

- Contexte des travaux de recherche
- Problématique et objectifs
- Approche méthodologique
- Réalisations et résultats de travaux
- Conclusions et perspectives

Conception du système de mesure HS-WIM



Modélisation mécanique du véhicule à 4DDL (1/2VL2E)



2^{ème} loi fondamentale de la dynamique

$$m_s \ddot{z}_s + c_{s1} (\dot{z}_{s1} - \dot{z}_{u1}) + c_{s2} (\dot{z}_{s2} - \dot{z}_{u2}) + k_{s1} (z_{s1} - z_{u1}) + k_{s2} (z_{s2} - z_{u2}) = 0$$

$$I_s \ddot{\theta}_s + l_1 (c_{s1} (\dot{z}_{s1} - \dot{z}_{u1}) + k_{s1} (z_{s1} - z_{u1})) - l_2 (c_{s2} (\dot{z}_{s2} - \dot{z}_{u2}) + k_{s2} (z_{s2} - z_{u2})) = 0$$

$$m_{u1} \ddot{z}_{u1} - c_{s1} (\dot{z}_{s1} - \dot{z}_{u1}) - k_{s1} (z_{s1} - z_{u1}) + k_{t1} (z_{u1} - z_{r1}) = 0$$

$$m_{u2} \ddot{z}_{u2} - c_{s2} (\dot{z}_{s2} - \dot{z}_{u2}) - k_{s2} (z_{s2} - z_{u2}) + k_{t2} (z_{u2} - z_{r2}) = 0$$

$$[M](\ddot{Z}) + [C](\dot{Z}) + [K](Z) = (F)$$

Équations des charges dynamiques

$$C_{df} = k_{t1} (z_{u1} - z_{r1})$$

$$C_{dr} = k_{t2} (z_{u2} - z_{r2})$$

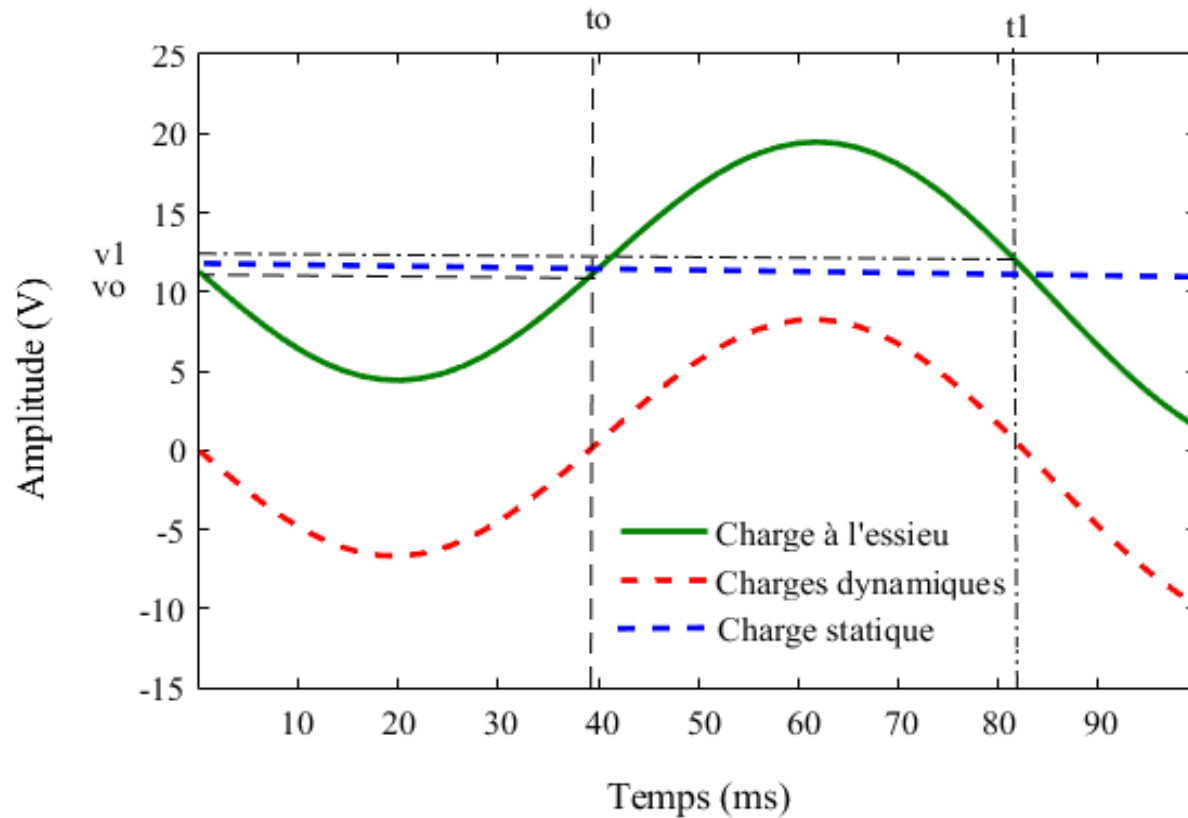
Interpolation par Polynôme de Lagrange-Tchebytchev (IPLT)

Soit $n+1$ points $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, avec les x_i sont distincts deux à deux, définis sur un intervalle $[a, b]$. L'IPL consiste à déterminer un polynôme unique de degré minimal (au plus de n) qui passe par les points (x_i, y_i) .

$$L_w(x) = \sum_{j=0}^n y_j \left(\prod_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n \frac{x - x_i}{x_j - x_i} \right) \left\{ \begin{array}{l} l_j(x) = \prod_{i=0, i \neq j}^n \frac{x - x_i}{x_j - x_i} \\ l_j(x_i) = \delta_{i,j} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} L_w(x) = \sum_{j=0}^n y_j l_j(x) \\ L_w(x_i) = y_i \quad \forall i \end{array} \right.$$

$$\forall x \in I = [a, b], \exists \xi \in I / W(x) - L_w(x) = \frac{W^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \prod_{i=0}^n (x - x_i) \left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_n = \frac{1}{2^{n-1}} T_n \\ T_n(t) = \cos(n \operatorname{Arccos}(t)) \\ x_i = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} \cos \frac{2i+1}{2(n+1)} \pi \end{array} \right. \left. |W(x) - L_w(x)| \leq \frac{(b-a)^{n+1}}{(n+1)! 2^{2n+1}} \sup_{x \in [a,b]} |W^{(n+1)}(x)| \right.$$

Conception d'un nouveau dispositif analogique de Mesure (DAM)



$$W(t) = W_s + K \cdot \sum_{i=0}^n A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

$$W'(t) = W(t) - W_s = K \cdot \sum_{i=0}^n A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

K : La raideur du système de suspension

A_i : L'amplitude d'oscillation de la charge (harmonique de rang i)

f_i : La fréquence du signal de rang i

φ_i : La phase à $t=0$ (conditions initiales d'oscillations)

n : Le nombre d'harmoniques existant dans le signal

Circuit global du système HS-WIM

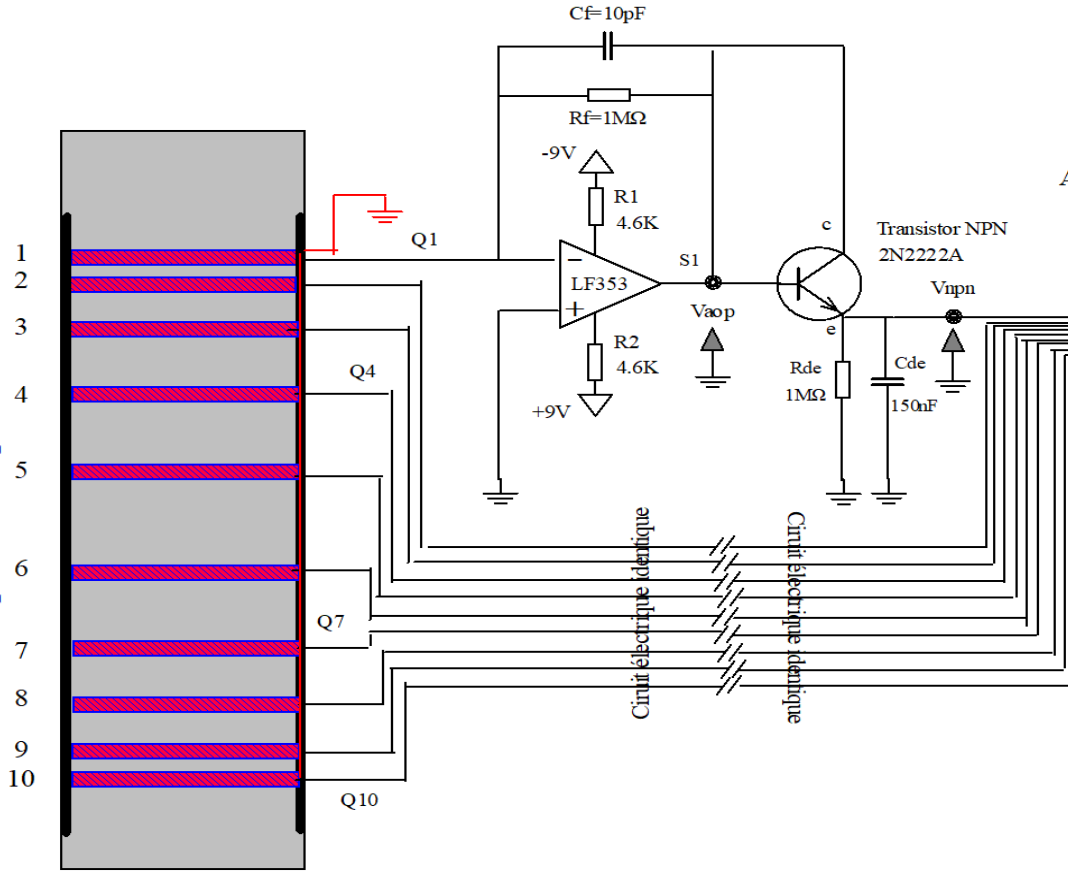
Chaussée

Circuit électrique de conditionnement et de pré-acquisition

Dispositif analogique de mesure (DAM)

PC

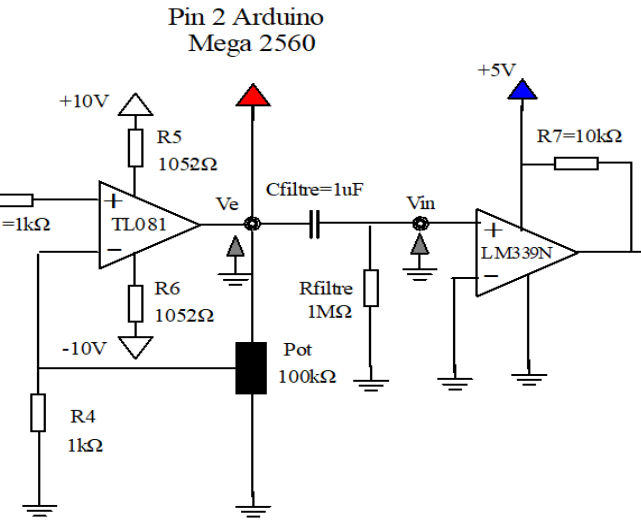
Grille de capteurs piézoélectriques



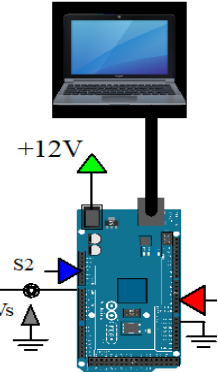
Arduino DUE



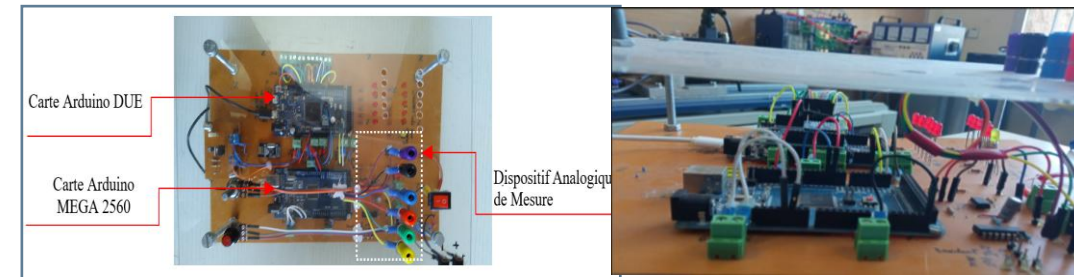
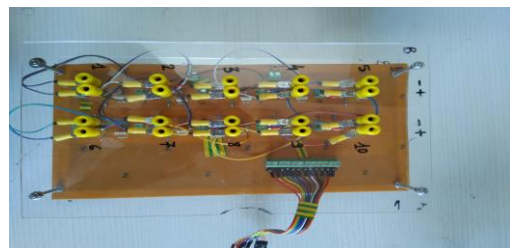
+12V



Pin 2 Arduino Mega 2560

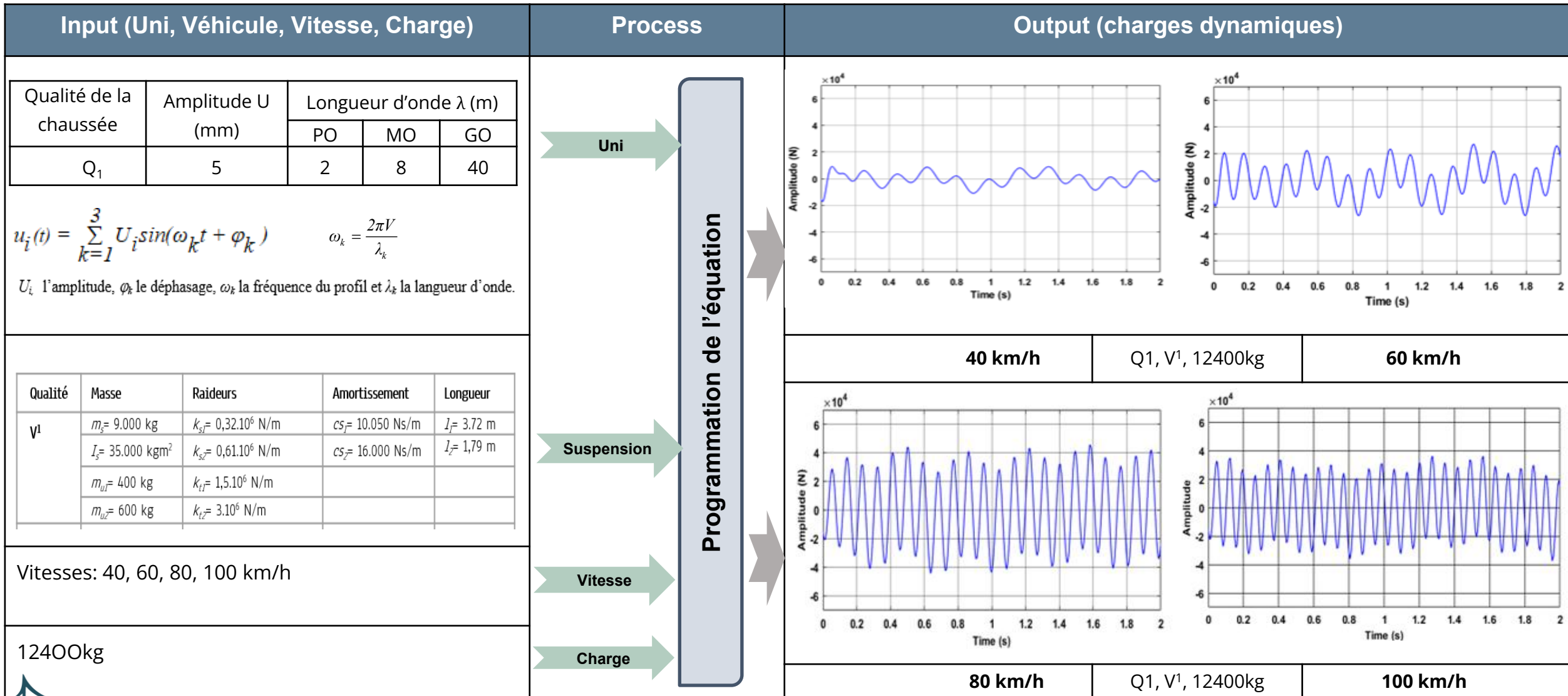


Arduino MEGA 2560

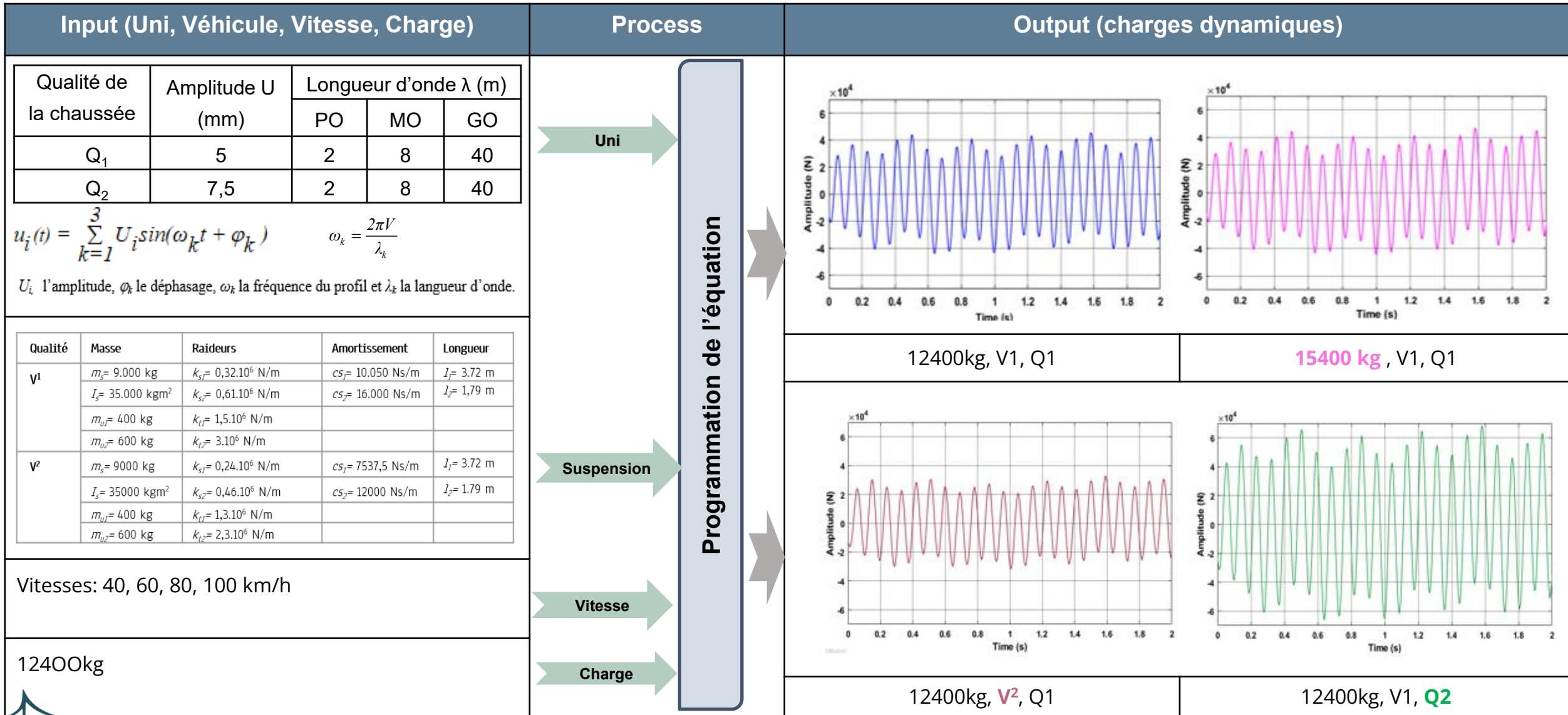


- Contexte des travaux de recherche
- Problématique et objectifs
- Approche méthodologique
- Réalisations et résultats de travaux
- Conclusions et perspectives

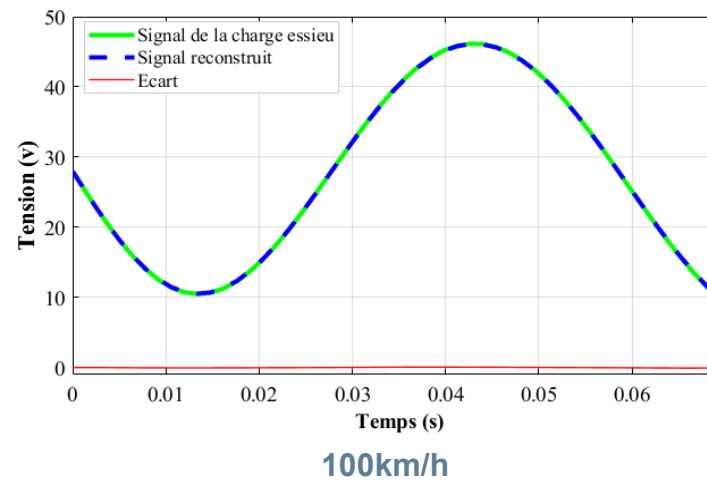
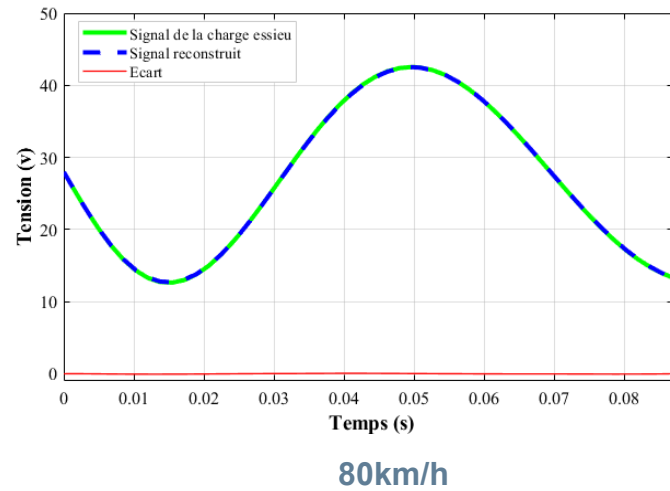
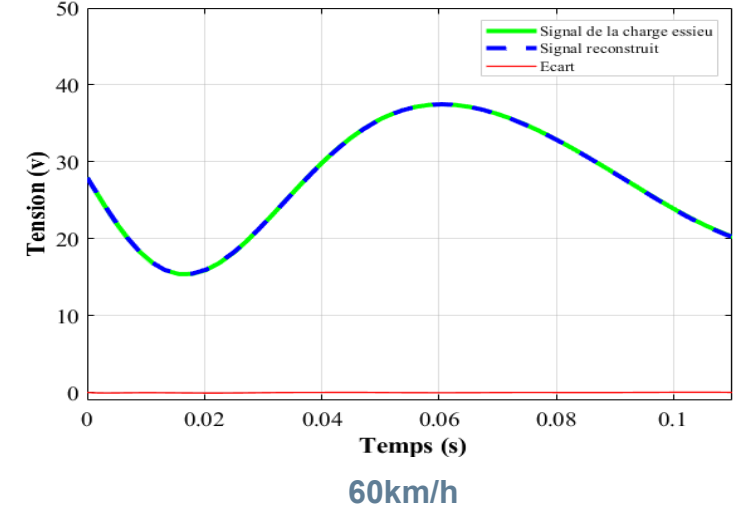
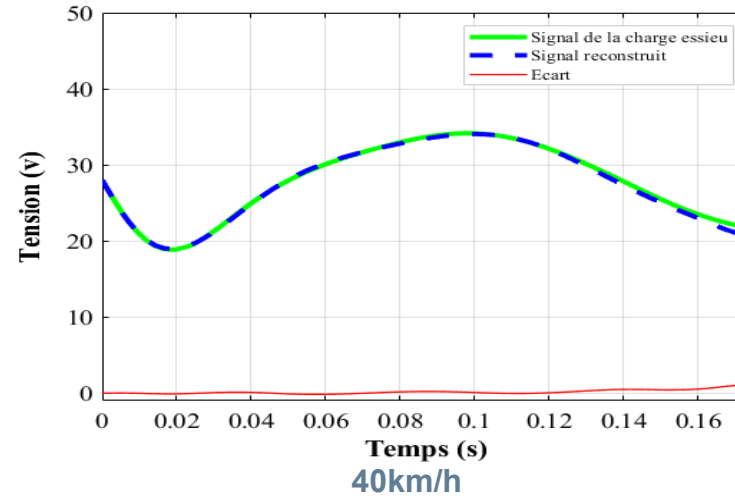
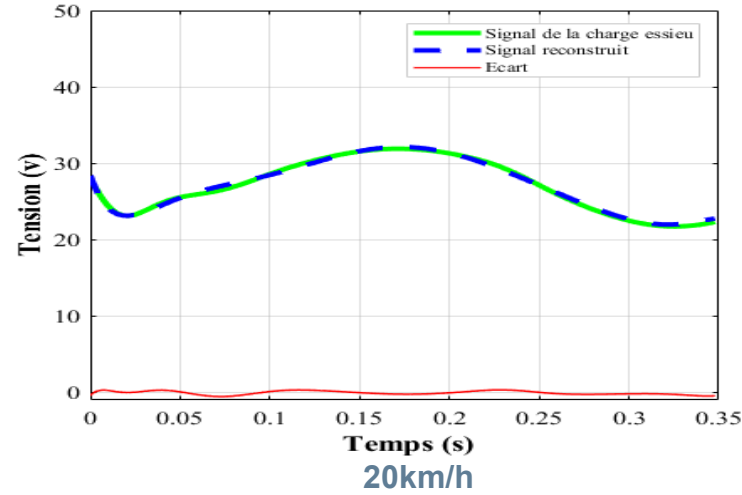
Simulation des charges dynamiques



Simulation des charges dynamiques



Simulation de reconstruction du signal analogique de la charge à l'essieu



Erreur de la reconstruction du signal

	20	40	60	80	100
e_r (%)	2.001	1.780	0.345	0.491	0.540
TRD (dB)	-40	-38.92	-59.56	-58.7	-57.82

$$e_r(\%) = 100 * \frac{f(t) - L_g(t)}{f(t)}$$

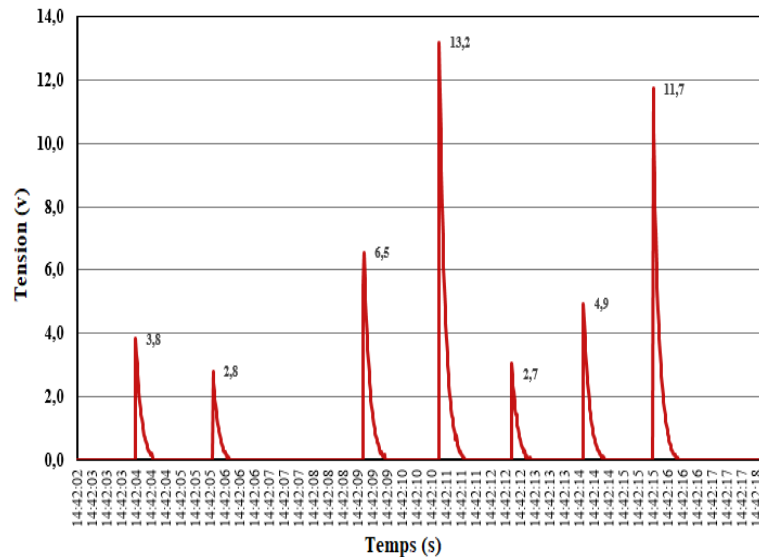
$$TRD = 10 * \log_{10} \frac{\int (f(t) - L_g(t))^2}{\int (f(t))^2}$$

Résultats d'expérimentation

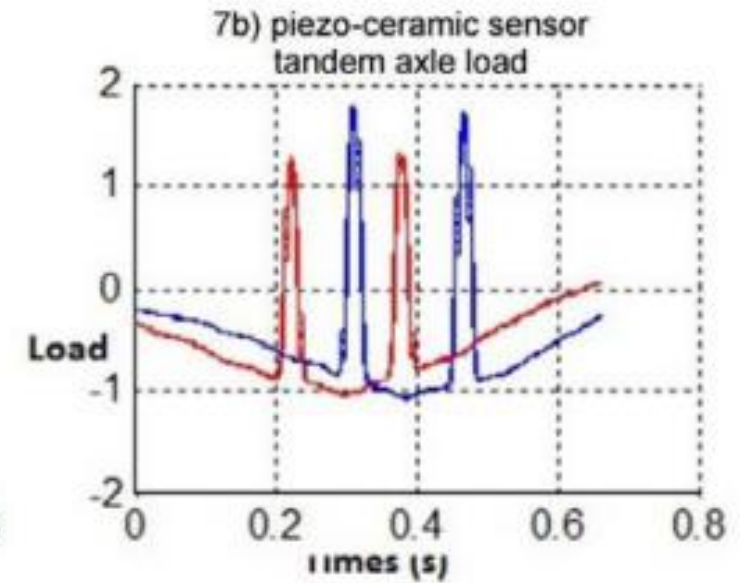
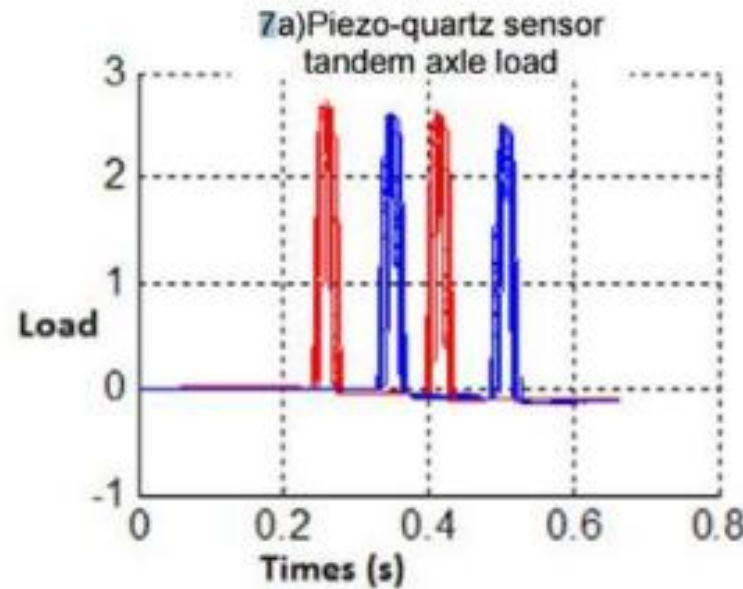
Circuit électronique de conditionnement et de préacquisition de données

Qualité du capteur

Piézo-polymère

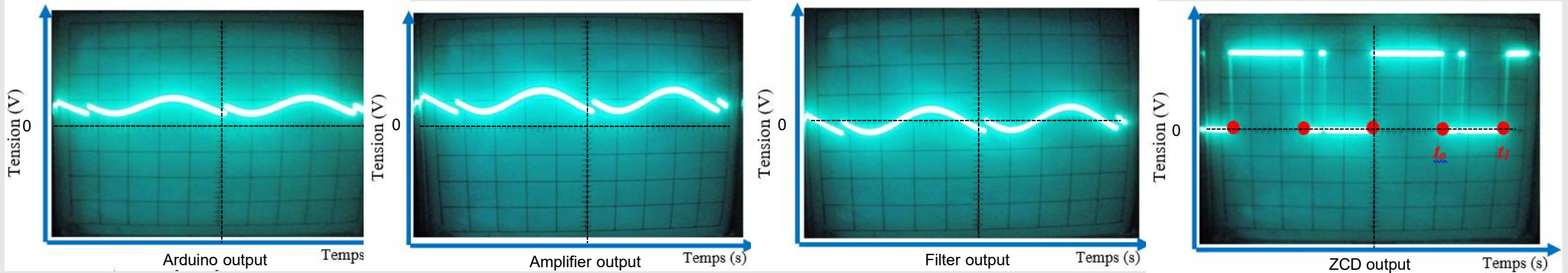


Circuit proposé



« Weigh-in-motion for direct enforcement of overloaded commercial vehicles », Bernard Jacob IFSTTAR & Louis-Marie Cottineau Université Paris Est, France

Mesure de la charge statique d'un essieu au moyen du Dispositif Analogique de Mesure



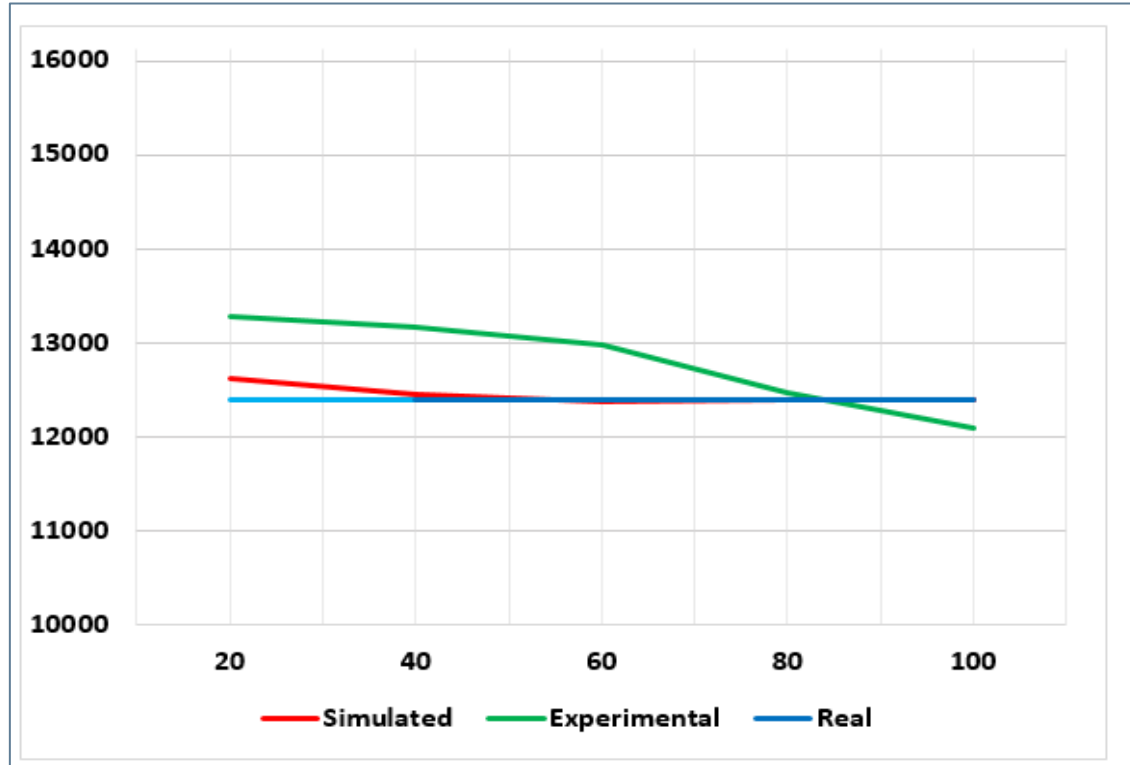
V(km/h)	w_f (kg)	v(vol t)	$C_{cal} = w / v$	$W_{sf} \text{ (kg)} = v \cdot C_{cal}$	$e_r(\%)$
80	15.400	35,10	438.746439	-	-
100	12.400	28,03		12.298,0627	0,8
80	12.400	28,90		12.679,7721	2,2
60	12.400	30,09		13.201,8803	6,5
40	12.400	30,53		13.394,9288	8,0
20	12.400	30,78		13.504,6154	8,9

Résultats d'expérimentation du DAM

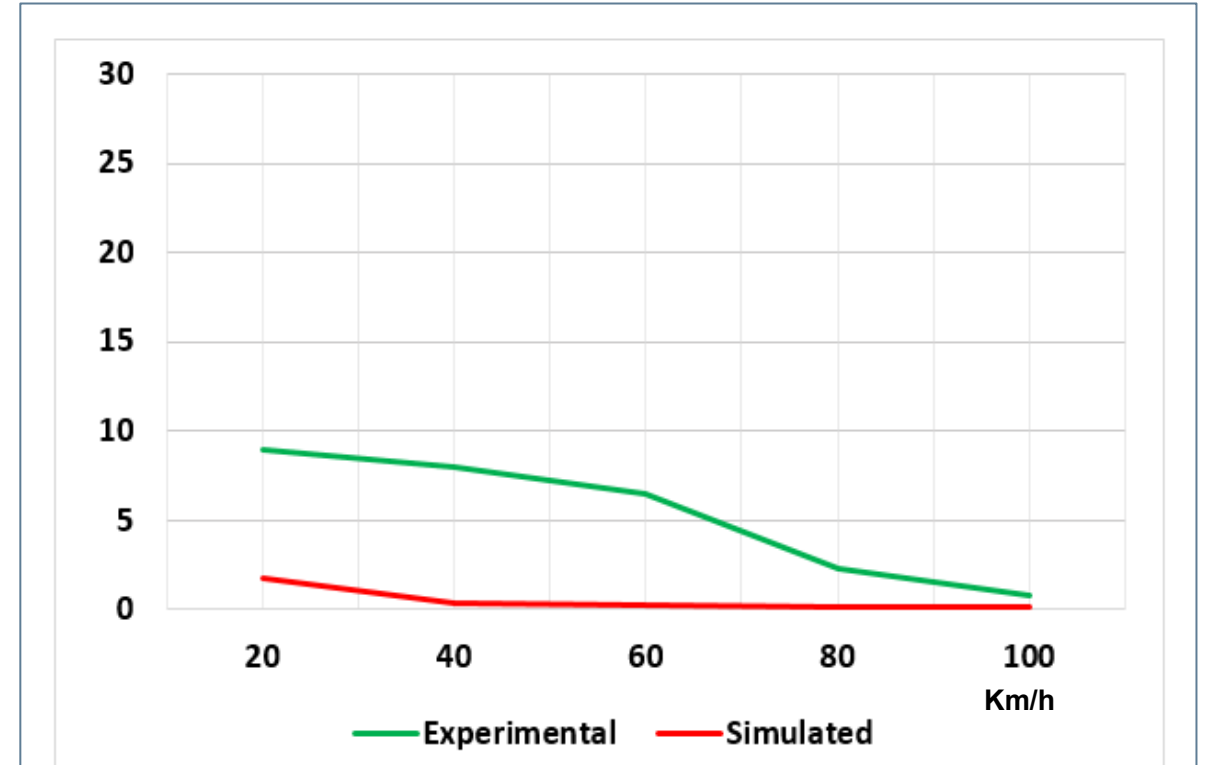
V(km/h)	w_f (kg)	v (volt)	$C_{cal} = w / v$	$W_{sf} \text{ (kg)} = v \cdot C_{cal}$	$e_r(\%)$
80	15.400	34,50	446,376812	-	-
100	12.400	27,75		12.384,7246	0,12
80	12.400	27,74		12.384,2783	0,13
60	12.400	27,72		12.371,7797	0,23
40	12.400	27,89		12.449,6725	0,40
20	12.400	28,27		12.618,6261	1,76

Résultats de simulation du DAM

Représentation graphique des résultats de la charge à l'essieu

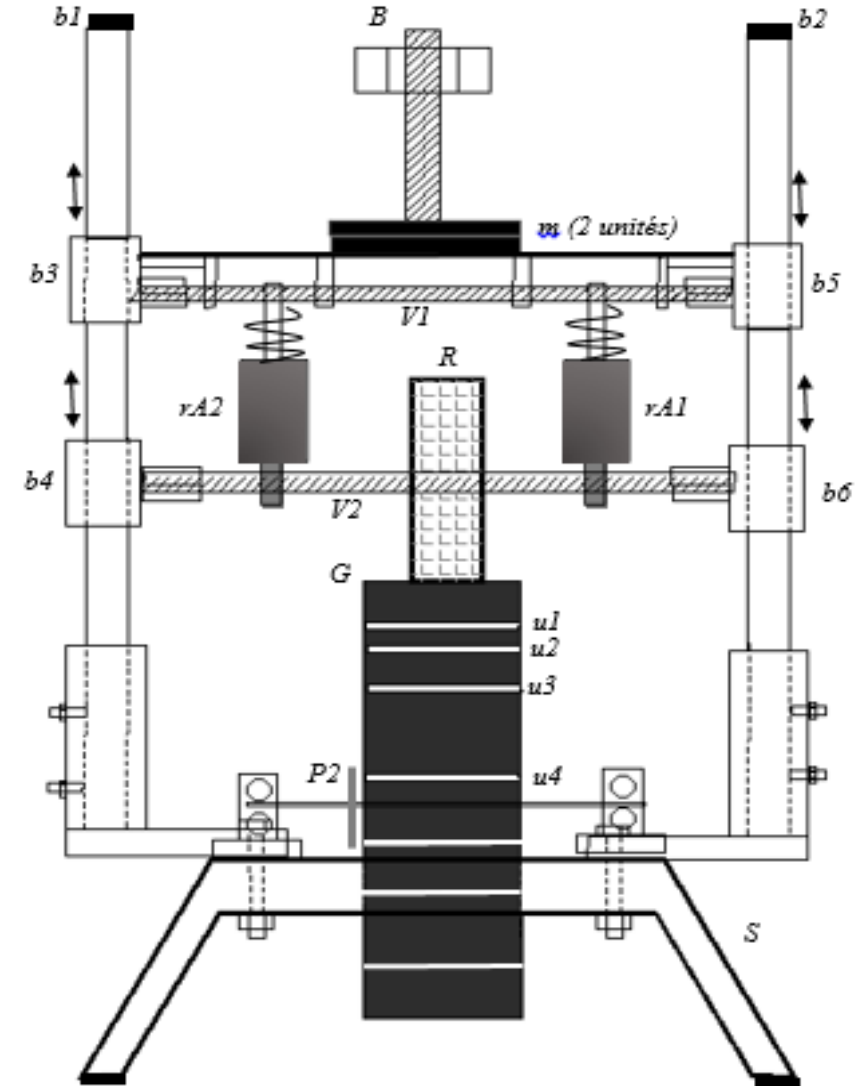
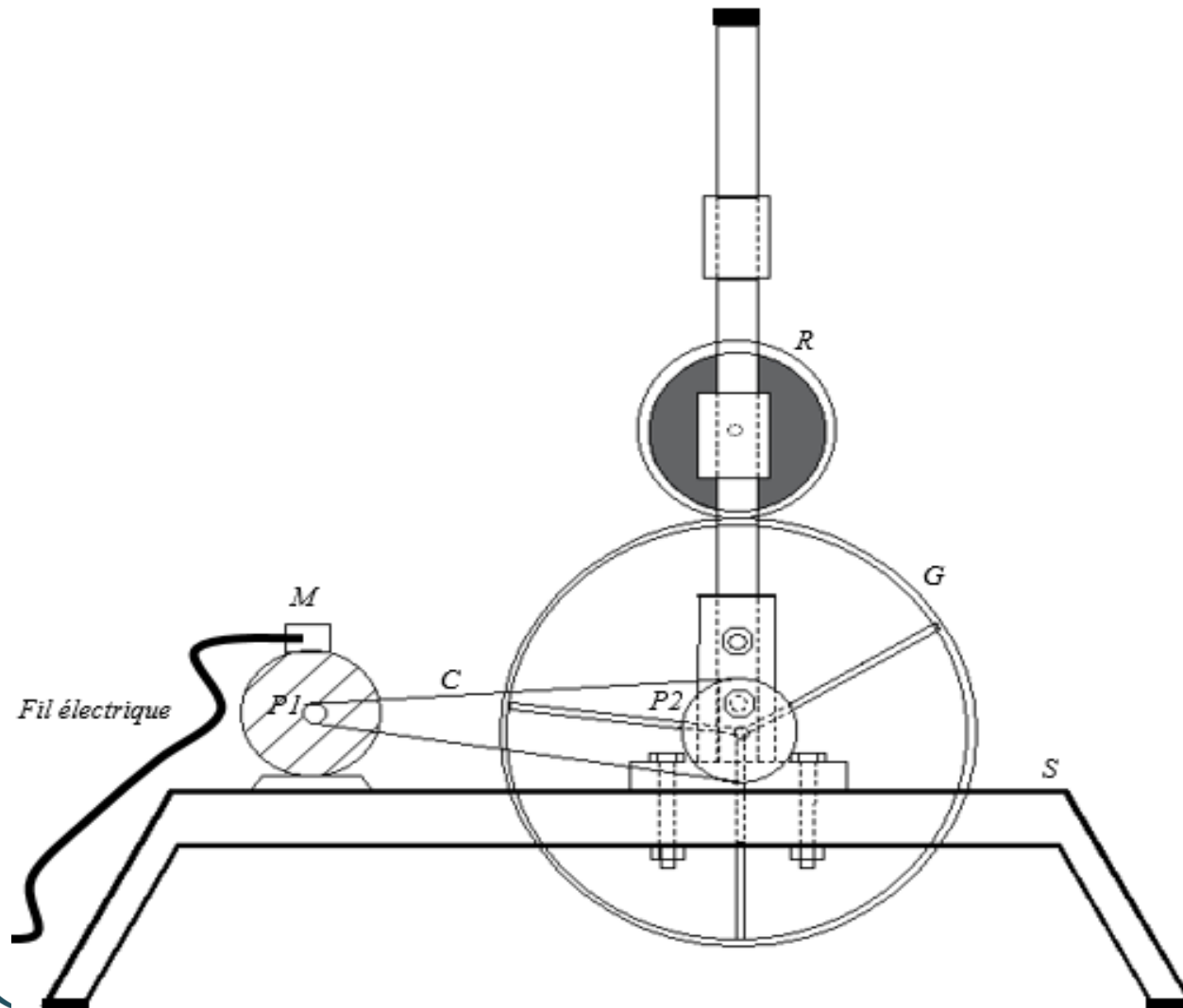


Charge à l'essieu (Kg)

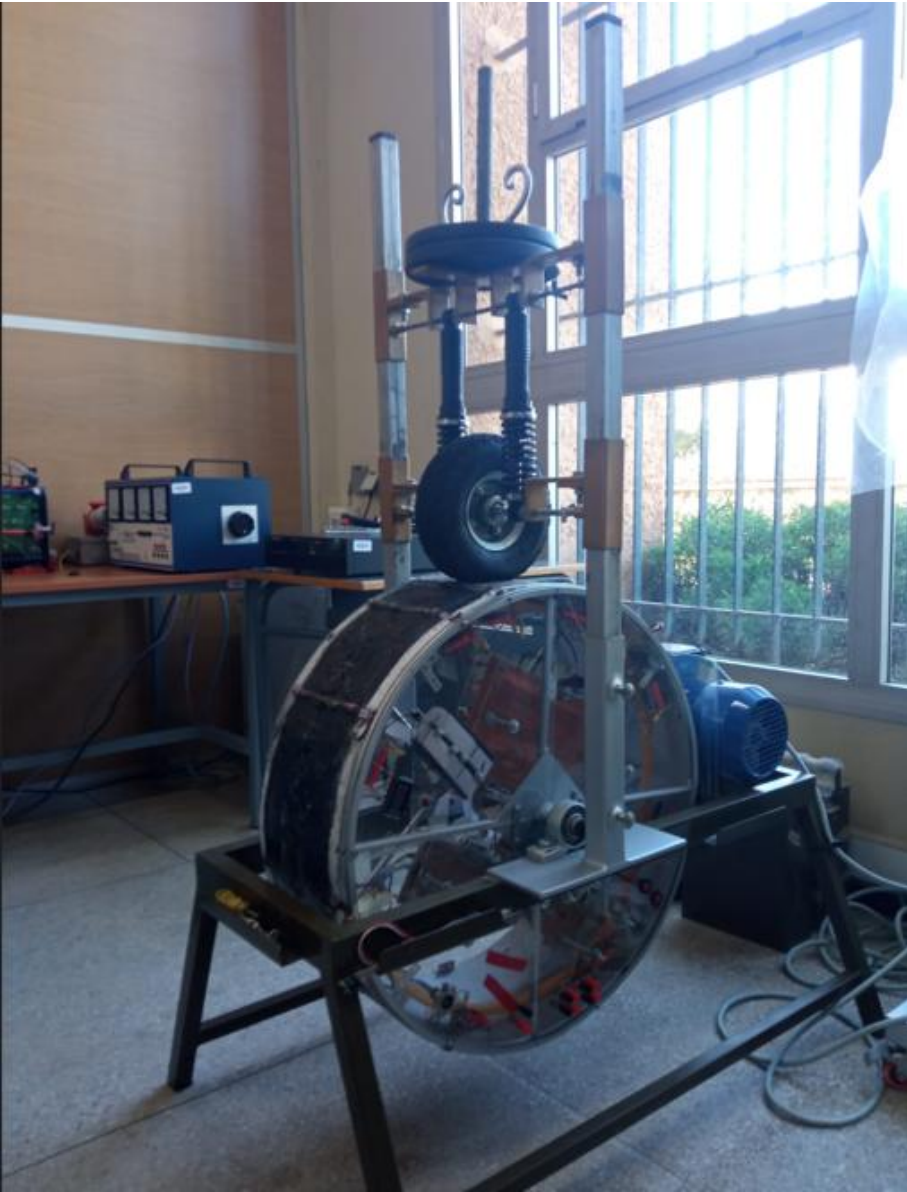


Erreur de mesure (%)

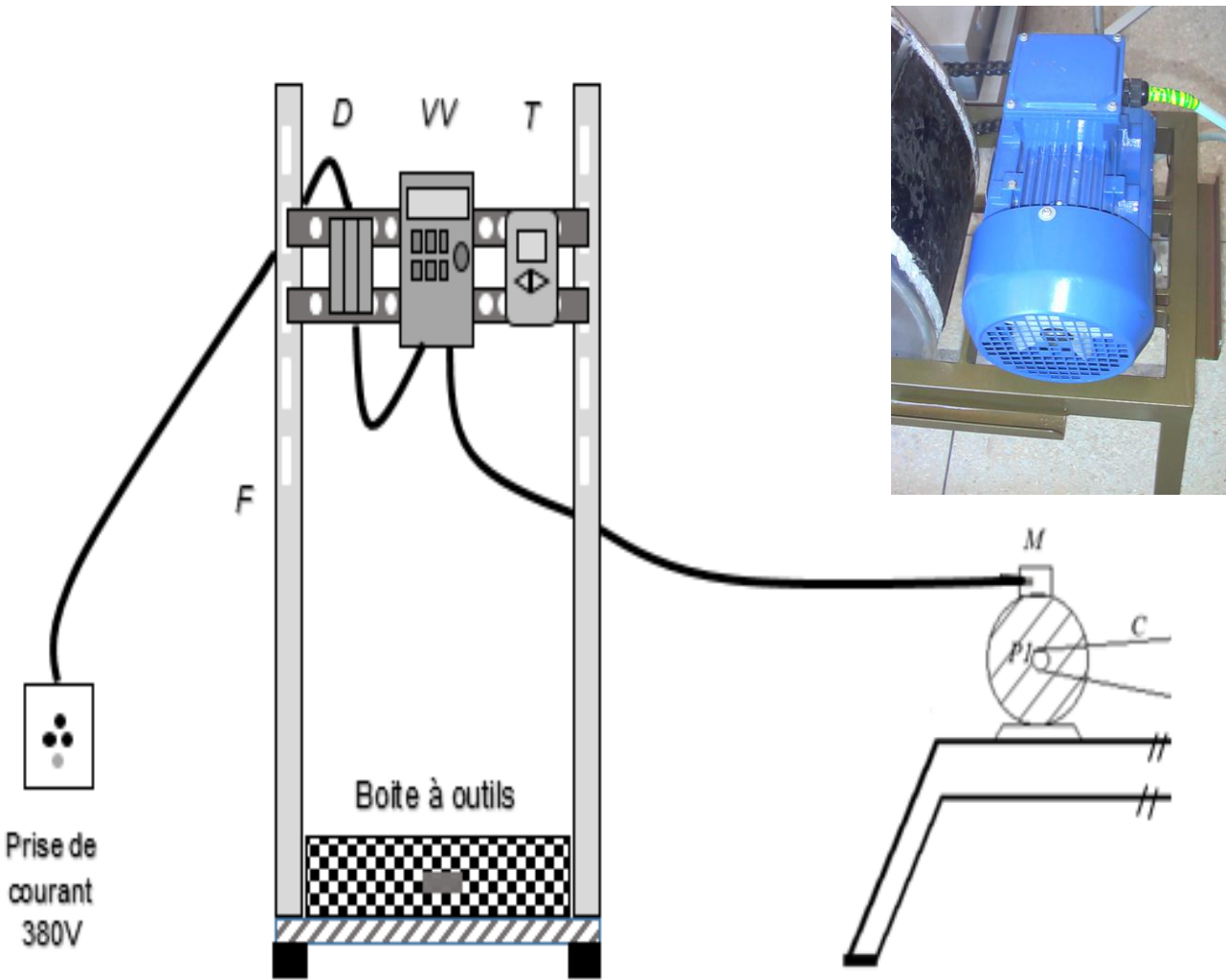
Réalisation du banc d'essai au sein du laboratoire



Partie puissance



Partie commande



- **Contexte des travaux de recherche**
- **Problématique et objectifs**
- **Approche méthodologique**
- **Réalisations et résultats de travaux**
- **Conclusions et perspectives**

Conclusions des travaux de recherche

1. Définition des charges dynamiques, qui sont la source principale de l'imprécision des systèmes HS-WIM, dont :
 - L'amplitude varie entre **0 et 30% et plus** autour de la charge statique, dépendant de la vitesse et du système de suspension du véhicule ainsi que du profil de la chaussée
 - Le spectre de fréquences du signal des charges dynamiques est constitué de deux fréquences fondamentales f_1 et f_2 , respectivement, situées entre **3-5 Hz et 7-14 Hz** relatives aux masses suspendues et non suspendues du véhicule
2. **IPLT** est un algorithme efficace pour la reconstruction du signal dans une bande limitée, n'ayant aucune condition relative à l'estimation de spectre de fréquences du signal (efficacité prouvée via *TRD* et e_r)
3. IPLT a conduit à la conception de la grille de capteurs piézoélectriques dont l'**optimum en capteurs est 10**
4. Réalisation d'un nouveau **dispositif analogique de mesure** validé théoriquement et expérimentalement en tenant compte de la norme exigée par l'OIML R134-1
5. Réalisation du **circuit de conditionnement et de pré-acquisition** de données sur le signal analogique produit par le capteur
6. Réalisation d'un **banc d'essai** qui prend en considération de certaines conditions approchées au cas réel in situ

Perspectives

- Poursuite des essais pratiques, au sein du laboratoire, pour rendre le système proposé plus performant par :
 - ✓ L'utilisation des composants électroniques d'instrumentation de grandes performances
 - ✓ L'intégration des microprocesseurs très puissants et multitâches faisant des opérations en parallèle ayant une meilleure linéarité, précision et performance, tels que DSP...etc
- Lancement des essais in situ pour :
 - ✓ Des essais sur les capteurs piézoélectriques de capteurs de hautes performances techniques en tenant compte du rapport qualité/prix (rentabilité du système).
 - ✓ L'amélioration du système HS-WIM proposé à la lumière des données collectées sur les limites et contraintes constatées
- Réalisation du système intégré de la solution cible
- Recherche l'opportunité d'industrialisation de la solution

Étude de rentabilité du système cible

Analyse des coûts (En dirham)

Type capteur	Système proposé				Système (Semi automatique)	Gain
	Prix unitaire avec pose	Prix pour 10 unités avec pose	Complément SI	Total		
Polymère	35.000,00	350.000,00	300.000,00	650.000,00	10.700.000,00	94%
Céramique	60.000,00	600.000,00	300.000,00	900.000,00	10.700.000,00	92%
Quartz	300.000,00	3.000.000,00	300.000,00	3.300.000,00	10.700.000,00	69%

Rendement d'exploitation

Système	Journalier	Annuel	Volume horaire	Gain
Commercialisé	<= 6h/24h	<= 288j	1.728h/an	+7.032h/an (407%)
Proposé	24h/24h	365j	8.760h/an	

Brevets d'invention

Brevet HS-WIM



(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 50051 B1** (51) Cl. internationale : **G01G 19/03**

(43) Date de publication : **31.03.2022**

(21) N° Dépôt : **50051**

(22) Date de Dépôt : **12.06.2020**

(71) Demandeur(s) : **OUBRICH Lhoussaine**

(72) Inventeur(s) : **OUBRICH Lhoussaine ; OUASSAID MOHAMMED ; MAAROUFI MOHAMMED**

(74) Mandataire : **SMANI MOHAMED**

(54) Titre : **Système de pesage dynamique en marche à haute vitesse destiné pour la mesure de la charge statique des essieux et du poids global de véhicules de transports routiers.**

(57) Abrégé : L'invention concerne un système de pesage dynamique en marche à haute vitesse pouvant mesurer, dans les conditions normales de circulation, la charge statique des essieux ainsi que le poids global de véhicules de transport routier. Ce système est constitué d'une grille de capteurs piézoélectriques, d'un nombre minimal de dix capteurs, enfouis transversalement dans la voie de circulation de la route dont la distance entre capteurs est non-uniforme définie suivant la formule (3). Cette grille de capteurs piézoélectriques permet de reconstruire le signal analogique de la charge de l'essieu du véhicule sur la base des tensions générées par les capteurs dont les valeurs sont proportionnelles aux forces instantanées appliquées par les roues de l'essieu du véhicule sur la surface de la chaussée. Ce signal analogique comprend une composante continue (charge statique de l'essieu) et une composante variable (charges dynamiques générées par l'interaction roue-chaussée). La grille de capteurs est couplée d'un filtre analogique comprenant deux cartes électroniques. La première carte relative au conditionnement du signal produit par le capteur piézoélectrique qui procède au traitement du signal émanant des capteurs, caractérisé par son rapport signal à bruit trop faible, et ce afin d'augmenter sa lisibilité et son exploitabilité. La deuxième carte électronique dédiée au traitement du signal analogique et de mesure de la charge statique de l'essieu du véhicule permet d'enlever, à l'aide d'un filtre passe haut, la composante continue du signal analogique reconstruit de la charge statique de l'essieu et ensuite de définir les points du signal filtré dont la composante variable est

Brevet Banc d'essais



(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 50052 B1** (51) Cl. internationale : **G01M 13/04**

(43) Date de publication : **31.03.2022**

(21) N° Dépôt : **50052**

(22) Date de Dépôt : **12.06.2020**

(71) Demandeur(s) : **OUBRICH Lhoussaine,**

(72) Inventeur(s) : **OUBRICH Lhoussaine ; OUASSAID MOHAMMED ; MAAROUFI MOHAMMED**

(74) Mandataire : **SMANI MOHAMED**

(54) Titre : **Banc d'essai relatif au système de pesage dynamique en marche à haute vitesse destiné pour la mesure de la charge statique des essieux et du poids global de véhicules.**

(57) Abrégé : L'invention concerne un banc d'essai dédié à la vérification des fonctionnalités des systèmes de pesage dynamique en marche à haute vitesse. Ce banc d'essai permet de procéder à l'opération de mesure de la charge statique de l'essieu ainsi que le poids global de véhicules de transport, et ce dans une situation très proche à la mesure qui s'effectue dans les conditions normales de la circulation routière, caractérisées par une chaussée et un trafic réels. Le banc d'essai est constitué du galest (G) dont la partie faciale (contour) représente la structure de la chaussée et dans laquelle les capteurs piézoélectriques sont enfouis. Ce galest qui tourne autour de son axe est entraîné par le moteur électrique asynchrone (M) au moyen de la chaîne (C) de transmission de puissance. La vitesse de rotation du moteur est variable, pilotée par le variateur de vitesse (VV). Une roue (R) montée sur un système de suspension est placée sur la voie de circulation (contour du galest) à l'aide d'un système de fixation et de guidage. Sur la tige de fixation des amortisseurs, un boulon (B) est soudé sur lequel des masses étalons (m) calibrées, reconnues vraies, peuvent être rajoutées en fonctions du poids voulu. L'ensemble constitué de la roue couplée du système de suspension, du système de fixation et des masses étalons dispose d'un seul degré de liberté selon l'axe Z (axe verticale). La vitesse linéaire de la roue est faite selon la vitesse de rotation du moteur électrique. En raison des facteurs causaux liés à la vitesse de la roue, au profil du revêtement et au système de suspension, le mouvement de la roue permet de générer des forces instantanées qui sont appliquées sur la chaussée, et par conséquent

تحت الرعاية السامية لحامى الجلالة الملك محمد السادس
Ο ΞΟΛΞ ΞΗΗΞΙ | Θ.Θ | ΛΙΛΛΞΟ ΞΗΗΞΑ ΓΞΧΞΑ ΛΙΞ ΘΞΞΘ
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI

11^{ème} المؤتمر الوطني للطرق
ΞΟ.Λ. Ξ.Θ.Ξ | ΞΘΞΛ
Congrès National de la Route

MERCI

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure
routière dans le nouveau modèle
de développement économique
et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية
الطرقية في تنزيل النموذج
الجديد للتنمية الاقتصادية
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10 / 12
نوفمبر NOV
DAKHLA 2022

الداخلة
DAKHLA