



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة  
National Higher School of Advanced Technologies



Département Génie électrique Et Informatique Industrielle  
Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

## Master

-Filière -

Electronique

-Spécialité-

Systèmes Embarqués

- Sujet -

# Développement d'un banc de test post-production pour un tableau de bord de moto

Realisé par

**ELABASSI Mohammed Yassine**

**KHOULA Omar**

Soutenu le 23/06/2025

### Membres de Jury:

| First LAST NAME     | University        | Grade     | Quality      |
|---------------------|-------------------|-----------|--------------|
| Mme.BOUCHAMA Samira | ENSTA             | MCB       | Présidente   |
| Mme.CHOUAF Selma    | ENSTA             | MAA       | Examinateuse |
| Mr.CHETTAT Hicham   | Externe           | MCB       | Examinateur  |
| Mme.ZELLAT Khadija  | ENSTA             | MCA       | Promotrice   |
| Mr.MAOUCHE Idris    | Béjaïa University | Ingénieur | Promoteur    |

**2024/2025**

# Développement d'un banc de test post-production pour cartes électroniques de motos

**ELABASSI Mohamed**  
Yassine  
ENSTA  
Etudiant  
*m\_elabassi@ensta.edu.dz*

**KHOULA Omar**  
ENSTA  
Etudiant  
*o\_khoula@ensta.edu.dz*

**ZELLAT Khadija**  
ENSTA  
Superviseur  
*khadidja.zellat@ensta.edu.dz*

**MAOUCHÉ Idris**  
FIBONOVA  
Superviseur  
*idris.maouche@fibonova.com*

**Résumé**— Cet article présente la conception, le développement et la validation expérimentale d'un banc de test automatisé pour la validation post-production de cartes électroniques embarquées dans les tableaux de bord de motos. Motivé par la nécessité d'améliorer la fiabilité et de réduire les coûts liés aux retours SAV, ce travail s'appuie sur des techniques éprouvées de test PCBA [1][2] et sur les principes d'Automated Real-Time Testing (ARTT) pour systèmes embarqués [3].

La solution développée au sein de la startup Fiponova combine une architecture matérielle modulaire (microcontrôleur Arduino Mega 2560, convertisseur DAC MCP-4725, interface RS-485 via MAX-485) et un firmware embarqué évolutif, permettant de simuler des signaux analogiques (tension batterie, jauge carburant, température extérieure) et numériques (impulsions vitesse, clignotants, phares) de manière réaliste et reproductible. Le logiciel intègre une machine à états pour piloter trois modes de test (automatique, semi-automatique, manuel), un auto-diagnostic interne garantissant la fiabilité du banc avant chaque série, ainsi qu'un enregistrement des résultats pour traçabilité.

Les campagnes de validation démontrent une précision supérieure aux tolérances industrielles ( $\pm 0,05V$  pour la tension,  $\pm 0,3^\circ C$  pour la température, jitter  $< 2\%$  pour les impulsions), un taux de détection des défauts de 100%, et une stabilité de fonctionnement adaptée à une production à grande échelle.

**Mots-clés:** banc de test, électronique embarquée, validation post-production, Arduino, PCBA testing, automation.

## 1 INTRODUCTION

Avec l'essor rapide des technologies embarquées dans les véhicules, notamment dans le secteur des deux-roues motorisés, l'électronique embarquée joue un rôle de plus en plus central dans l'optimisation des performances, l'amélioration de la sécurité et le confort des usagers. Parmi les composants critiques de ces systèmes, les cartes électroniques des tableaux de bord occupent une place

stratégique, car elles assurent la collecte, le traitement et l'affichage en temps réel de données essentielles telles que la vitesse, le niveau de carburant, la température extérieure ou encore l'état de charge de la batterie [1][4]. En raison de cette fonction vitale, la fiabilité de ces cartes est devenue un impératif industriel.

En effet, la moindre défaillance dans l'une de ces cartes peut engendrer des conséquences graves, allant de simples dysfonctionnements à des incidents compromettant la sécurité du conducteur. Ces défauts peuvent également entraîner des coûts importants pour l'entreprise en termes de retours produits, de maintenance post-vente, voire de perte de réputation sur le marché [2]. Il est donc crucial de mettre en place des dispositifs rigoureux de validation et de test, notamment à l'étape post-production, afin de garantir la conformité des cartes avant leur intégration finale dans les véhicules.

Dans cette perspective, le présent projet, mené au sein de la startup algérienne Fiponova, a pour objectif la conception et la réalisation d'un banc de test post-production capable de valider automatiquement le bon fonctionnement des cartes électroniques destinées aux tableaux de bord de motos. Ce banc permet de simuler de manière réaliste les conditions réelles de fonctionnement de la carte, en injectant des signaux analogiques et numériques simulant ceux d'un véhicule en mouvement, puis d'observer et analyser les réponses du système testé. L'ensemble du processus vise à détecter de manière fiable toute anomalie fonctionnelle, tout en réduisant le temps de test et la dépendance à l'intervention humaine [5].

Ce travail de recherche se divise en plusieurs étapes clés. Tout d'abord, nous présentons la phase de conception matérielle, qui s'est appuyée sur des composants accessibles, modulaires et adaptés à un usage industriel, notamment des microcontrôleurs Arduino, des convertisseurs numériques-analogiques, des buffers et des interfaces de communication robustes. Ensuite, la section suivante est dédiée à l'implémentation logicielle, qui couvre le développement du code embarqué nécessaire à la génération des signaux, à la gestion des profils de test et à l'interfaçage avec l'utilisateur. Enfin, une phase de val-

idation expérimentale conclura ce travail, en mettant en lumière les performances du banc conçu, ses capacités de détection des erreurs, sa précision temporelle, ainsi que ses perspectives d'évolution vers une ligne de test industrielle à plus grande échelle.

## 2 CONCEPTION MATÉRIELLE DU BANC DE TEST

Le banc de test développé dans le cadre de ce projet repose sur une architecture matérielle et logicielle soigneusement conçue pour répondre aux exigences de précision, de fiabilité, de rapidité, et d'évolutivité industrielle. L'objectif principal est de reproduire fidèlement les signaux que recevrait la carte électronique dans des conditions réelles de fonctionnement sur une moto, tout en automatisant les séquences de test afin de minimiser l'intervention humaine et d'améliorer le rendement global de la chaîne de production.

### 2.1 Le microcontrôleur du système

Le cœur du système est basé sur un microcontrôleur *Arduino Mega 2560*, largement utilisé dans les systèmes embarqués pour sa robustesse, sa disponibilité et ses nombreuses broches d'E/S (plus de 50 digitales et 16 analogiques) [6]. Ce choix permet une grande flexibilité dans le contrôle des périphériques du banc et la gestion des signaux simulés. La figure 1 illustre l'architecture matérielle centrée sur ce microcontrôleur et son rôle dans le pilotage des différents composants du banc.

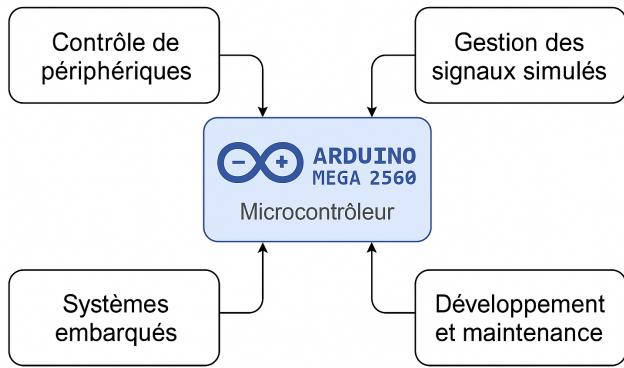


Figure 1: Schéma de l'architecture matérielle autour du microcontrôleur Arduino Mega 2560

### 2.2 La génération des signaux

Pour la génération des signaux analogiques, un convertisseur numérique-analogique (DAC) MCP-4725 est utilisé [7][8]. Ce composant 12bits offre une sortie stable et précise, essentielle pour tester des signaux tels que la jauge de carburant, la température extérieure ou la ten-

sion de batterie. Le DAC est piloté via le bus I<sup>2</sup>C grâce à la bibliothèque `Adafruit_MCP4725`.

La communication avec l'afficheur 7 segments du banc repose sur le protocole RS485, mis en œuvre via le circuit MAX485 [9]. Ce protocole est réputé pour sa robustesse en environnement industriel, sa résistance aux interférences et sa capacité à fonctionner sur de longues distances. Le MAX-485 convertit les signaux TTL de l'Arduino en signaux différentiels compatibles RS-485 [10].

Un afficheur 7 segments à 4 chiffres est utilisé pour indiquer les informations critiques (résultat du test, code d'erreur, étape en cours). Ce choix s'explique par sa rapidité d'affichage, sa simplicité d'implémentation et sa visibilité en conditions lumineuses variables.

### 2.3 Modes de fonctionnement

Le système proposé intègre trois modes de fonctionnement intelligents, sélectionnables soit via un interrupteur à trois positions, soit depuis une interface logicielle :

- **Mode automatique** : permet l'exécution séquentielle complète des tests sans intervention humaine, idéal pour une utilisation en production à grande échelle.
- **Mode semi-automatique** : autorise la sélection manuelle des tests, utile pour les opérations de validation partielle ou les vérifications après réparation.
- **Mode manuel** : offre un contrôle direct sur les signaux simulés, destiné à des diagnostics approfondis, des tests de tolérance ou l'expérimentation.

Le passage d'un mode à l'autre interrompt automatiquement tout test en cours afin de garantir la sécurité matérielle. Un verrouillage logiciel empêche également les conflits dus à des activations simultanées.

Par ailleurs, un **auto-test interne** (`selfCheck()`) est exécuté à chaque démarrage. Il vérifie l'état de fonctionnement des circuits critiques tels que l'alimentation, le bus I<sup>2</sup>C, la liaison RS485 et les relais. En cas de défaillance, un code d'erreur explicite est affiché (par exemple : E01 si le DAC n'est pas détecté), assurant ainsi une fiabilité optimale avant toute utilisation.

Le banc de test est alimenté par une source continue de 16 V. Des relais électromécaniques et des commutateurs sont utilisés pour simuler les signaux numériques. Le câblage interne a été soigneusement réalisé afin de garantir à la fois une robustesse mécanique et une isolation électrique efficace. Un port USB permet également la reprogrammation rapide du microcontrôleur en cas de mise à jour logicielle.

La figure 2 présente une vue d'ensemble de l'architecture générale du banc de test.

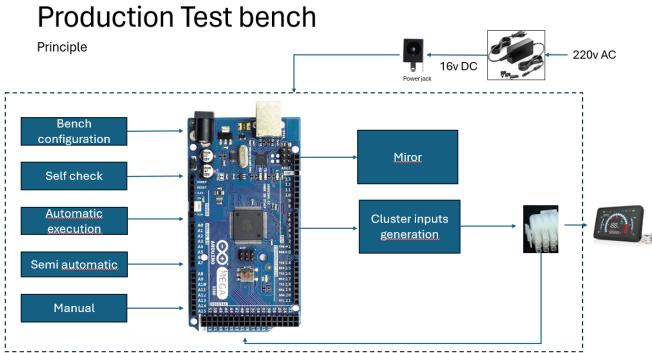


Figure 2: Diagramme général du banc de test développé

## 2.4 Le schéma du banc de test

Le schéma général du banc de test est présenté en Annexe A, illustrant l'ensemble des composants matériels et leurs interconnexions.

## 2.5 Les signaux simulés

Les huit signaux moto en temps réel constituent les variables essentielles du banc. Ils sont reproduits via un connecteur neuf broches mâle relié directement au tableau de bord sous test (regarde tableau 1). Les spécifications électriques sont détaillées à la [subsection 2.5](#).

| Broche | Signal           | Type       | Plage |
|--------|------------------|------------|-------|
| Pin 1  | Alimentation     | Analogique | 0-14V |
| Pin 2  | Masse (GND)      | Référence  | 0V    |
| Pin 3  | Contact clé      | Numérique  | 0-12V |
| Pin 4  | Phares           | Numérique  | 0-12V |
| Pin 5  | Cligno Gauche    | Numérique  | 0-12V |
| Pin 6  | Cligno Droit     | Numérique  | 0-12V |
| Pin 9  | Jauge carburant  | Analogique | 0-12V |
| Pin X  | Vitesse (Hall)   | Numérique  | 0-10V |
| Pin Y  | Température ext. | Analogique | 0-3V  |

Tableau 1: Signaux simulés et leurs caractéristiques électriques

## 3 IMPLÉMENTATION LOGICIELLE

Le développement logiciel constitue une composante essentielle du banc de test, permettant d'assurer la coordination entre les différents modules matériels, la génération précise des signaux, la communication avec les périphériques externes, ainsi que le bon déroulement des séquences de test. Ce logiciel embarqué a été conçu avec une approche modulaire afin de garantir flexibilité, maintenabilité et évolutivité. Il repose principalement sur le langage C/C++ et exploite les capacités du microcontrôleur Arduino Mega 2560 pour orchestrer l'ensemble des opérations nécessaires au fonctionnement du banc.

### 3.1 Développement logiciel

Le logiciel embarqué est écrit en C/C++ pour l'Arduino Mega, optimisé pour :

- gestion des signaux simulés
- communication périphériques (DAC, RS-485, relais)
- affichage des résultats
- exécution automatique des séquences de test

### 3.2 Structure générale du programme

Architecture modulaire:

1. Fonctions dédiées pour chaque mode (*auto*, *semi-auto*, *manuel*).
2. Machine à états pour orchestrer le flux selon les entrées.
3. Modules isolant I/O, I<sup>2</sup>C, communication série.

### 3.3 Gestion des signaux

La gestion des signaux du banc de test se décompose en deux catégories principales :

**Signaux numériques** Les états ON/OFF sont générés directement par les sorties digitales du microcontrôleur Arduino Mega 2560. Ces sorties pilotent notamment les clignotants, les phares et le contact moteur selon le mode de fonctionnement sélectionné.

**Signaux analogiques** La conversion numérique-analogique est assurée par un DAC MCP-4725, commandé via le bus I<sup>2</sup>C à l'aide de la bibliothèque `Adafruit_MCP4725` [8]. Des profils de test (tension, fréquence, durée) sont préenregistrés en mémoire flash pour simuler des grandeurs physiques telles que le niveau de carburant ou la température extérieure.

Pour la simulation de la vitesse, un train d'impulsions de 10.3 V est généré sur une sortie digitale, puis amplifié par un transistor NPN et filtré avant d'être injecté dans la carte sous test.

### 3.4 Communication série

Pour la communication en série on a utilisé RS-485 via `MAX-485` [9] et `SoftwareSerial`. Trames ASCII (adresse, commande, valeur).

### 3.5 Auto-diagnostic et sécurité

`selfCheck()` teste alimentation, I<sup>2</sup>C, RS-485, relais. Code d'erreur en cas d'anomalie.

### 3.6 Bibliothèques

- `Wire.h` (I<sup>2</sup>C) ;
- `Adafruit_MCP4725` ;
- `SoftwareSerial` ;
- `EEPROM.h`.

## 4 VALIDATION ET RÉSULTATS

La méthodologie de test s'inspire de [1][2][4]. On va voir la méthodologie ainsi que les outils utilisés et les différents

résultats obtenus

#### 4.1 Méthodologie de test

la méthodologie du test consiste de:

1. Préparation des cartes (sans et avec défauts) [1].
2. Mode automatique.
3. Injection analogique et numérique [2].
4. Observation et mesure.
5. Analyse comparative versus spécifications.

#### 4.2 Outils et environnement

On a utilisé un atelier semi-industriel : voltmètre, oscilloscope, simulateur de charge.

#### 4.3 Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont analogique et numérique :

- Analogique : tension batterie  $\pm 0,05V$  ; carburant  $R^2 = 0,998$  ; temp.  $\pm 0,3^\circ C$ .
- Numérique : jitter  $< 2\%$  ; commutation  $< 5ms$ .

##### 4.3.1 Vitesse (signal digital)

Les résultats des tests sont indiqués dans le tableau 2

| Fréquence (Hz) | V simulée (km/h) | V affichée (km/h) | Écart (km/h) |
|----------------|------------------|-------------------|--------------|
| 2              | 20               | 20                | 0            |
| 4              | 40               | 40                | 0            |
| 6              | 60               | 60                | 0            |
| 8              | 80               | 81                | +1           |
| 10             | 100              | 102               | +2           |

Tableau 2: Résultats de la simulation de vitesse

##### 4.3.2 Niveau de carburant (signal analogique)

Les résultats des tests sont indiqués dans le tableau 3

| Tension inj (V) | N attendu | N affiché | Écart |
|-----------------|-----------|-----------|-------|
| 0.0             | Vide      | Vide      | 0%    |
| 3.0             | 25%       | 25%       | 0%    |
| 6.0             | 50%       | 50%       | 0%    |
| 9.0             | 75%       | 75%       | 0%    |
| 12.0            | 100%      | 100%      | 0%    |

Tableau 3: Résultats de la simulation du niveau de carburant

##### 4.3.3 Température extérieure (signal analogique)

Les résultats des tests sont indiqués dans le tableau 4

| Tension inj (V) | T attendue (°C) | T affichée (°C) | Écart (°C) |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 0.213           | -10             | -10             | 0          |
| 1.0             | 20              | 21              | +1         |
| 2.0             | 43              | 44              | +1         |
| 3.0             | 55              | 55              | 0          |

Tableau 4: Résultats de la simulation de température extérieure

##### 4.3.4 Tension batterie (signal analogique)

Les résultats des tests sont indiqués dans le tableau 5

| Tension inj (V) | État attendu        | État affiché        |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| 11.0            | Batterie basse      | Batterie basse      |
| 11.7            | Batterie normale    | Batterie normale    |
| 12.4            | Batterie normale    | Batterie normale    |
| 13.2            | Surtension détectée | Surtension détectée |

Tableau 5: Résultats de la simulation de la tension batterie

##### 4.3.5 Clignotants (signal digital)

Les résultats des tests sont indiqués dans le tableau 6

| Signal num | État attendu | État observé | Résultat |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 0V         | Éteint       | Éteint       | OK       |
| 12V        | Allumé       | Allumé       | OK       |

Tableau 6: Résultats de la simulation des clignotants

## 5 CONCLUSION

Cet article a porté sur la conception et la mise en œuvre d'un banc de test post-production destiné à la validation de cartes électroniques embarquées dans les tableaux de bord de motos. L'approche adoptée, à la fois technique et méthodique, a permis de développer une solution complète combinant une architecture matérielle robuste et un logiciel embarqué modulaire. Le système ainsi conçu a démontré sa capacité à simuler avec précision les signaux fonctionnels (analogiques et numériques), à automatiser les séquences de test et à détecter les défaillances de manière fiable. Les résultats obtenus lors de la phase de validation ont montré une excellente concordance entre les données injectées et les valeurs mesurées, garantissant ainsi la fiabilité du banc dans un environnement de production industrielle. La flexibilité des trois modes de fonctionnement (automatique, semi-automatique et manuel) rend le dispositif particulièrement adapté à différents contextes d'utilisation, allant des tests en série aux diagnostics ciblés. Au-delà de ses performances actuelles, ce projet ouvre des perspectives prometteuses d'évolution. Parmi les pistes d'amélioration identifiées figurent l'intégration d'une interface graphique conviviale (HMI), l'ajout de connectivité réseau pour une gestion centralisée des données, et le support du test multi-cartes en parallèle. De plus, l'intégration future de protocoles de communication comme le CAN ou l'UART renforcerait encore la polyvalence du banc. Ce travail constitue ainsi une base solide pour le développement de systèmes de test évolutifs, applicables non seulement aux motos, mais également à tout autre système embarqué nécessitant une validation rigoureuse et automatisée. Il reflète une démarche d'ingénierie complète, centrée sur la fiabilité, l'innovation et l'adaptabilité aux besoins industriels. Le développement du banc de test post-production pour cartes électroniques de motos a permis de répondre à un besoin industriel concret, tout en mettant en œuvre une approche rigoureuse mêlant électronique, programmation embarquée et contrôle qualité. L'outil conçu se distingue par sa modularité, sa précision, et son potentiel d'évolution vers des versions plus avancées. Des perspectives d'amélioration sont déjà identifiées, notamment en

termes d'interface utilisateur, de connectivité réseau et de tests parallèles multi-cartes.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Mme ZELLAT pour son encadrement universitaire, M. MAOUCHE Idris et l'équipe Fibonova pour leur soutien, ainsi que nos enseignants, camarades et familles pour leur accompagnement.

## ANNEXE A — SCHÉMA COMPLET DU BANC DE TEST

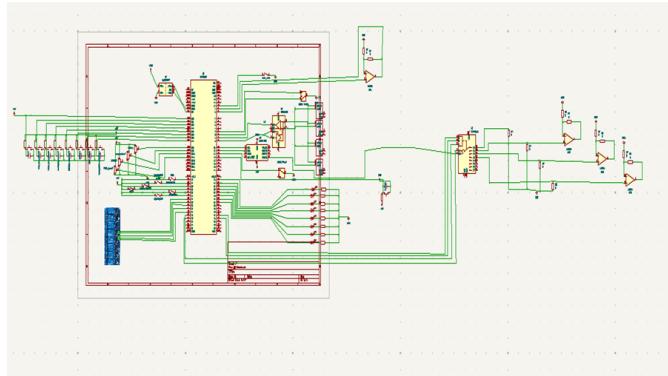


Figure 3: schéma général du banc de test

## REFERENCES

- [1] M. N. Khan, N. Arya, and A. P. Singh, "A comprehensive testing technique for embedded system PCBA," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 10, no. 30, pp. 1–6, 2017. [Online]. Available: <https://www.indjst.org/articles/a-comprehensive-testing-technique-for-embedded-system-pcba>
- [2] Y. Al Mashhadany *et al.*, "Design and implementation of an analogue tester board," *Circuits and Systems*, vol. 3, no. 3, 2012. [Online]. Available: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=20199>
- [3] J. Hawkins, H. V. Nguyen, and R. B. Howard, "Automated Real-Time Testing (ARTT) for Embedded Control Systems," *arXiv preprint cs/0111005*, 2001. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/cs/0111005>
- [4] S. Masood, S. A. Khan, A. H. Khan, and U. Fatima, "A novel framework for testing high-speed serial interfaces in multiprocessor based real-time embedded systems," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 16, p. 7465, 2021, doi:10.3390/app11167465.
- [5] P. Foster *et al.*, "An FPGA-based system for generalised electron devices testing," *arXiv preprint arXiv:2202.00499*, 2022.
- [6] Arduino, "Arduino Mega 2560 Rev3 Technical Specifications," 20XX. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
- [7] Microchip Technology Inc., "MCP4725 12-bit Digital-to-Analog Converter (DAC) Datasheet," 20XX. [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22039d.pdf>
- [8] Adafruit Learning System, "Using the MCP4725 12-Bit DAC with Arduino," 20XX. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/mcp4725-12-bit-dac-with-arduino>
- [9] Texas Instruments, "MAX485 Low-Power Transceiver for RS-485 and RS-422 Communications Datasheet," 20XX. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/max485.pdf>
- [10] Texas Instruments, "RS-485 Protocol Basics," Application Note SLLA272C, 20XX. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/slla272c/slla272c.pdf>