
Université de Poitiers, Année universitaire 2024–2025
U.F.R. Sciences Fondamentales Appliquées
Master 1 TDSI - parcours Objets Connectés

Station Météo

Projet Module Systèmes Embarqués 2024

GROUSSARD Tristan & DJESSOU Koundeme Nobel & MORET Maxime

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| 1 Cahier des charges | 1 |
| 1.1 Objectifs détaillés | 1 |
| 1.2 Table des Entrées/Sorties | 2 |
| 1.3 Spécifications fonctionnelles | 2 |
| 1.3.1 Acquisition des données | 2 |
| 1.3.2 Traitement et stockage | 2 |
| 1.3.3 Interface utilisateur | 2 |
| 1.3.4 Gestion de l'énergie | 3 |
| 1.3.5 Communication | 3 |
| 2 Analyse technique des composants | 3 |
| 2.1 Caractéristiques du shield ST X-NUCLEO-IKS01A3 | 3 |
| 2.2 Étude des capteurs | 3 |
| 2.2.1 Température, humidité et pression | 3 |
| 2.2.2 Anémomètre et girouette | 4 |
| 2.2.3 Pluviomètre | 4 |
| 3 Analyse préliminaire | 5 |
| 3.1 Organisation du système | 5 |
| 3.2 Diagramme des bords du modèle | 6 |
| 3.3 Diagramme de flot de données | 6 |
| 3.4 Diagramme de flot d'événements | 7 |
| 3.5 Machine d'états / GRAFCET | 7 |
| 3.6 Table des interruptions et priorités | 8 |
| 4 Développement et validation unitaire | 8 |
| 4.1 Stratégie de test | 8 |
| 4.2 Capteurs environnementaux (HTS221 et LPS22HH) | 8 |
| 4.2.1 Configuration | 8 |
| 4.2.2 Tests réalisés | 8 |
| 4.3 Anémomètre et Girouette | 9 |
| 4.3.1 Configuration matérielle | 9 |
| 4.3.2 Validation | 9 |
| 4.4 Pluviomètre | 9 |
| 4.4.1 Configuration matérielle | 9 |
| 4.4.2 Tests de validation | 9 |
| 4.5 Interface utilisateur LCD | 9 |
| 4.5.1 Configuration | 9 |
| 4.5.2 Tests effectués | 9 |
| 4.6 Stockage sur carte SD | 10 |
| 4.6.1 Configuration | 10 |
| 4.6.2 Validation | 10 |
| 5 Intégration et validation finale | 10 |
| 6 Tableau récapitulatif des fonctionnalités | 10 |
| 7 Tableau récapitulatif des fonctionnalités | 10 |
| Conclusion | 13 |

Table des figures

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| 1 | Interface utilisateur | 5 |
| 2 | Bords du modèle | 6 |
| 3 | Flot de données | 7 |

Introduction

Le réchauffement climatique est un des défis majeurs auquel l'humanité aura à faire face dans les prochaines années. L'influence de l'activité humaine, longtemps contestée, ne fait plus aucun doute. D'après un récent rapport de l'Organisation Météorologique Mondiale, 2019 est la 5^{ème} année la plus chaude depuis le début des relevés météorologiques en 1850. La température moyenne en 2018 est de 1°C supérieure à celle relevée à l'ère préindustrielle.

Selon les travaux des scientifiques du GIEC, si l'humanité veut continuer à vivre sur la planète sans subir des changements climatiques catastrophiques mettant en cause sa survie et celle de tous les êtres vivants, cette température moyenne ne devra pas excéder 1.5°C d'ici à la fin de ce siècle.

Dans ce contexte, il est intéressant de pouvoir disposer d'un équipement permettant de relever les différentes grandeurs météorologiques du lieu où l'on se trouve.

L'objectif de ce projet, utilisant un système embarqué, est donc de concevoir et de réaliser une station météorologique.

1 Cahier des charges

1.1 Objectifs détaillés

L'objectif de ce projet est de réaliser une station météorologique utilisant une carte STM32F746G DIscovery. Cette station doit être capable de mesurer :

- La température
- La pression atmosphérique
- L'humidité
- La luminosité
- La direction et la vitesse du vent
- La quantité d'eau tombée en une journée (pluviométrie)

Ces mesures seront affichées et stockées directement sur la station (en utilisant le LCD et le lecteur de carte SD de la carte Discovery) et pourront également être transmises par radio vers un dispositif distant (smartphone, Raspberry Pi, etc.).

1.2 Table des Entrées/Sorties

TABLE 1 – Table des Entrées/Sorties du système

| Composant | Type | Interface | Pins STM32 | Caractéristiques |
|-------------|--------|-----------|--|--|
| HTS221 | Entrée | I2C1 | PB8 (SCL) PB9 (SDA) | Humidité : 0-100% Temp : -40 à +120°C |
| LPS22HH | Entrée | I2C1 | PB8 (SCL) PB9 (SDA) | Pression : 260-1260 hPa |
| Anémomètre | Entrée | GPIO | PC6 | 2,4km/h = 1Hz |
| Girouette | Entrée | ADC | PA8 | 16 positions (0-360°) |
| Pluviomètre | Entrée | GPIO | PA15 | 0,2794mm/impulsion |
| Écran LCD | Sortie | LTDC | Multiple pins (voir datasheet) | 480x272 pixels |
| Carte SD | E/S | SDIO | PC8-PC11 (données) PC12 (CLK) PD2 (CMD) | Mode 4-bits |

1.3 Spécifications fonctionnelles

La station météorologique doit répondre aux fonctionnalités suivantes :

1.3.1 Acquisition des données

- Mesure de la température ambiante (plage de -40°C à +120°C)
- Mesure du taux d'humidité relative (0-100%)
- Mesure de la pression atmosphérique (260-1260 hPa)
- Mesure de la vitesse du vent (conversion 2,4 km/h = 1 Hz)
- Mesure de la direction du vent (16 positions sur 360°)
- Mesure de la pluviométrie (résolution de 0,2794 mm par basculement)

1.3.2 Traitement et stockage

- Calcul des moyennes sur différentes périodes (horaire, journalière)
- Détection des valeurs extrêmes (minimum et maximum)
- Stockage des données sur carte SD
 - Format de fichier structuré pour exploitation ultérieure
 - Horodatage de chaque mesure
 - Organisation par jour/mois
- Conservation de l'historique des mesures

1.3.3 Interface utilisateur

- Affichage en temps réel sur écran LCD 480x272 pixels
 - Valeurs courantes des capteurs
 - Graphiques d'évolution
- Navigation entre différents écrans
 - Écran principal des mesures

- Écrans détaillés par type de mesure
- Écran de configuration
- Écran des graphiques
- Configuration système
- Réglage date et heure

1.3.4 Gestion de l'énergie

- Optimisation de la consommation énergétique
- Adaptation de la fréquence d'échantillonnage selon les besoins
- Utilisation des modes basse consommation lorsque possible

1.3.5 Communication

- Transmission des données vers un dispositif distant
- Possibilité de configuration à distance
- Remontée des alertes en cas de dépassement de seuils

2 Analyse technique des composants

2.1 Caractéristiques du shield ST X-NUCLEO-IKS01A3

- **LSM6DSO** : Accéléromètre 3D ($\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16g$) et gyroscope 3D ($\pm 125 / \pm 250 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000$ dps)
- **LIS2MDL** : Magnétomètre 3D (± 50 gauss)
- **LIS2DW12** : Accéléromètre 3D ($\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16g$)
- **LPS22HH** : Capteur de pression (baromètre à sortie numérique absolue de 260-1260 hPa)
- **HTS221** : Capteur d'humidité relative et de température
- **STTS751** : Capteur de température (plage de $-40C$ à $+125C$)

2.2 Étude des capteurs

2.2.1 Température, humidité et pression

La récupération des données des capteurs sur la carte d'extension **X-NUCLEO-IKS01A3** se fait principalement via le bus **I2C** (Inter-Integrated Circuit).

Configurations possibles

La carte peut être configurée de deux manières différentes pour la communication I2C :

- **Mode standard** : Tous les capteurs sont connectés sur un seul bus I2C.
- **Mode SensorHub** :
 - **LSM6DSO** et **LIS2DW12** sont connectés au bus **I2C2**.
 - Les autres capteurs (**LIS2MDL**, **LPS22HH**, **HTS221**, **STTS751**) sont connectés au **LSM6DSO** via le bus **I2C1**.

Le choix du mode se fait par la configuration des cavaliers **JP7** et **JP8** sur la carte.

Particularités

- La carte s'interface avec les microcontrôleurs **STM32** via la broche **I2C1**.
- Il est possible de modifier le port I2C par défaut si nécessaire.
- Le **LSM6DSO** peut fonctionner comme un hub I2C pour les autres capteurs.

Cette flexibilité dans la configuration du bus I2C permet d'adapter la carte à différents besoins et scénarios d'utilisation.

2.2.2 Anémomètre et girouette

Le capteur de vitesse du vent, ou **anémomètre**, est de type à coupelles. Il mesure la vitesse du vent en fermant un contact lorsqu'un aimant passe devant un interrupteur.

- Une vitesse de vent de **2,4 km/h** provoque la fermeture de l'interrupteur une fois par seconde.
- L'interrupteur de l'anémomètre est connecté aux deux conducteurs intérieurs du câble **RJ11** partagé par l'anémomètre et la girouette (broches 2 et 3).

Le capteur de direction du vent, ou **girouette**, est le plus complexe des trois capteurs.

- Il possède huit interrupteurs, chacun connecté à une résistance différente.
- L'aimant de la girouette peut fermer deux interrupteurs à la fois, ce qui permet d'indiquer jusqu'à **16 positions différentes**.
- Une résistance externe peut être utilisée pour former un diviseur de tension, produisant une tension de sortie mesurable avec un convertisseur analogique-numérique.

Les valeurs de résistance pour toutes les 16 positions possibles sont données dans le tableau du document source. Les valeurs de résistance pour les positions intermédiaires sont le résultat de deux résistances adjacentes connectées en parallèle lorsque l'aimant de la girouette active deux interrupteurs simultanément.

2.2.3 Pluviomètre

Le capteur de pluie utilise le principe du « **tipping bucket** », aussi appelé **auget basculeur**. Ce type de pluviomètre est constitué de deux petits récipients montés sur un axe horizontal. Lorsqu'un récipient est rempli par l'eau de pluie, il bascule sous son poids, vidant son contenu et permettant à l'autre récipient de se remplir. Chaque basculement ferme un contact électrique qui peut être enregistré par un compteur numérique ou une interruption de microcontrôleur.

Récupération des données de pluviométrie avec le STM32

Pour récupérer l'information de pluviométrie avec le **STM32**, il faut :

- Connecter l'interrupteur du pluviomètre aux deux conducteurs centraux d'un câble **RJ11**.
- Configurer une broche du **STM32** en entrée d'interruption pour détecter la fermeture du contact.
- Compter le nombre d'interruptions pour déterminer la quantité de pluie tombée.

Chaque basculement correspond à une quantité de pluie précise. Dans ce cas, chaque basculement de l'auget représente **0,2794 mm** de pluie.

3 Analyse préliminaire

Afin que tout fonctionne au mieux, on a eu plusieurs séances de travail en groupe pour bien comprendre le fonctionnement de chaque capteur et de la carte STM32F746G Discovery. Voici les questions principales auxquelles on a répondu lors de ces séances de travail :

- Comment fonctionne chaque capteur ?
- Comment sont-ils connectés à la carte STM32 ?
- Combien de timers seront utilisés ? A quoi vont servir ces timers ?
- Quelles sont les fonctionnalités nécessaires pour l'interface utilisateur ?
- Comment stocker les données sur la carte SD ?
- Que souhaite-t-on afficher sur l'écran LCD ?
- Comment gérer les interruptions pour les capteurs de vitesse et de pluie ?
- Tout doit fonctionner à quelle fréquence ?
- Quel sera la fréquence pour chaque timer ?
- Comment gérer les erreurs ?

Après avoir répondu à ces questions, nous avons défini le prototype de notre interface utilisateur :

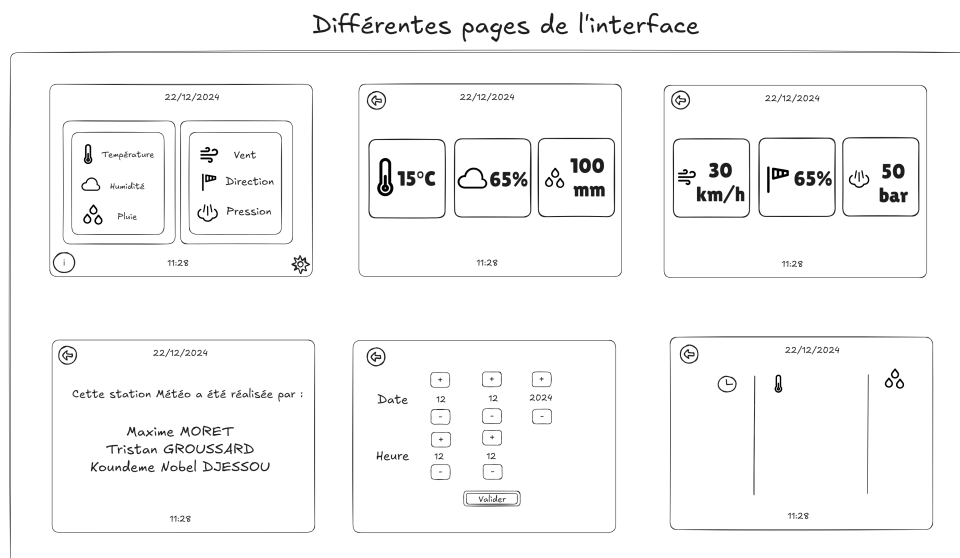


FIGURE 1 – Interface utilisateur

Notre interface utilisateur est divisée en cinq parties principales :

- L'écran principal : affichage des grandeurs mesurées en temps réel
- Deux pages qui affichent les valeurs en temps réel des capteurs
- L'écran configuration qui permet de configurer la date et l'heure
- La page des informations qui affiche les informations sur le projet
- Les pages des graphiques

Une fois cette interface définie, nous avons pu commencer à travailler sur les différents diagrammes de flot de données, de flot d'événements et de GRAFCET.

3.1 Organisation du système

Le système peut être divisé en trois sous-systèmes principaux interagissant entre eux :

- **Système d'acquisition** : gestion des capteurs et conversion des données

- **Système de traitement** : traitement des données et gestion des interruptions
- **Système d'interface** : affichage LCD et stockage SD

3.2 Diagramme des bords du modèle

Le diagramme des bords du modèle montre les interactions entre le STM32 et ses périphériques externes :

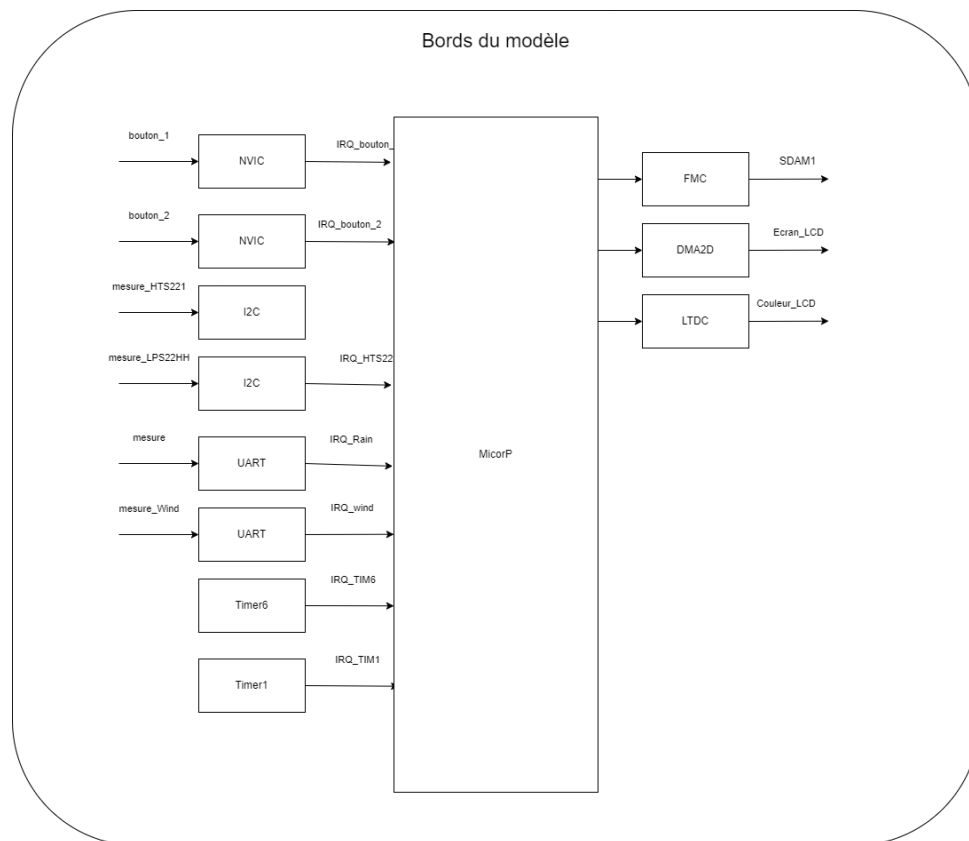


FIGURE 2 – Bords du modèle

Les principaux éléments sont :

- **Capteurs I2C** : HTS221 (température/humidité) et LPS22HH (pression)
- **Capteurs à impulsions** : anémomètre et pluviomètre
- **Capteur analogique** : girouette
- **Interface utilisateur** : écran LCD
- **Stockage** : carte SD

3.3 Diagramme de flot de données

Le diagramme de flot de données illustre le cheminement des données à travers le système :

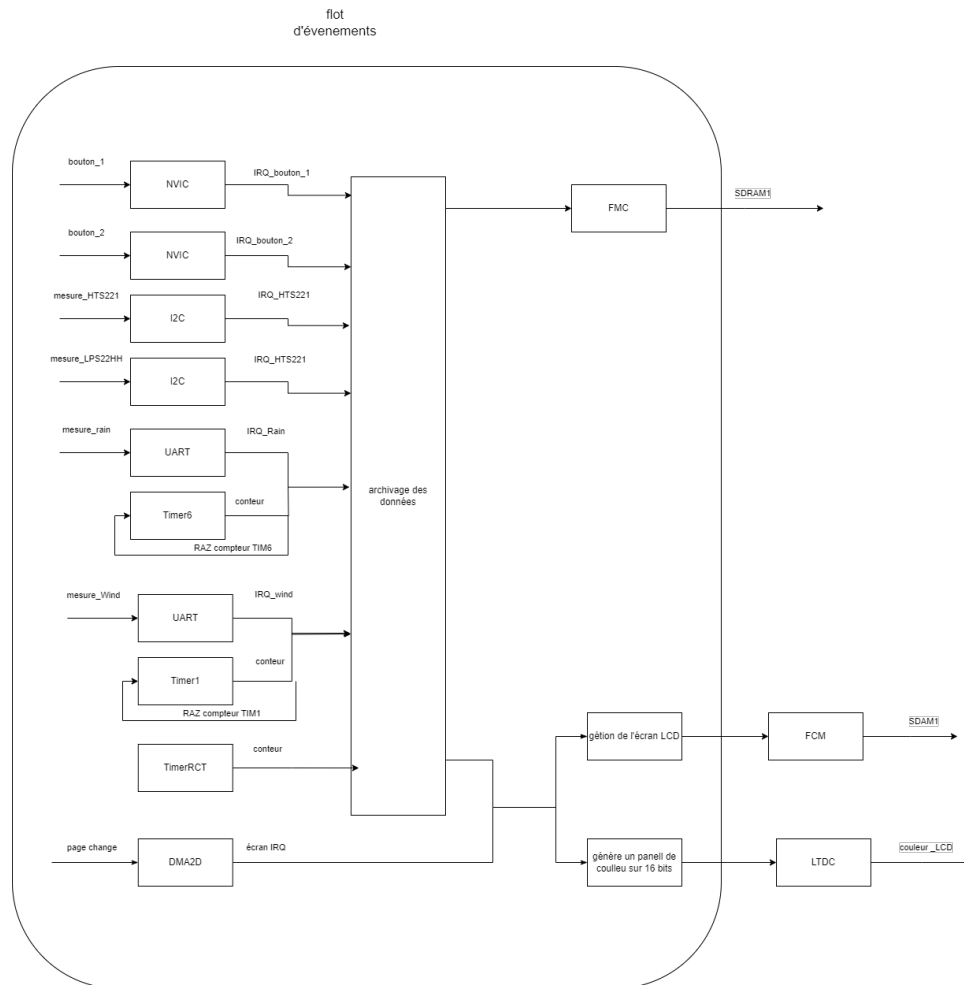


FIGURE 3 – Flot de données

Les principales transformations sont :

- Acquisition des données brutes des capteurs
- Conversion et mise en forme des données
- Calcul des moyennes et statistiques
- Formatage pour affichage et stockage

3.4 Diagramme de flot d'événements

Le diagramme de flot d'événements montre la séquence des événements système :

[Insérer votre diagramme de flot d'événements ici]

Les principaux événements sont :

- Interruptions des capteurs à impulsions
- Timers d'échantillonnage
- Événements utilisateur (interface LCD)
- Événements de stockage SD

3.5 Machine d'états / GRAFCET

La machine d'états globale du système comprend les états suivants :

[Insérer votre machine d'états ici]

Les principaux états sont :

- Initialisation du système
- Acquisition des données
- Traitement et mise à jour
- Gestion des erreurs

3.6 Table des interruptions et priorités

TABLE 2 – Priorités des interruptions

| Source | Priorité | Description | Utilisation |
|-----------------------|----------|------------------------|------------------------|
| EXTI Anémomètre | Haute | Mesure vitesse vent | Comptage impulsions |
| EXTI Pluviomètre | Haute | Mesure pluie | Comptage basculements |
| Timer Échantillonnage | Moyenne | Lecture capteurs I2C | Acquisition périodique |
| Timer LCD | Basse | Rafraîchissement écran | Mise à jour affichage |
| SDIO | Moyenne | Accès carte SD | Stockage données |

4 Développement et validation unitaire

4.1 Stratégie de test

Avant l'intégration complète du système, chaque composant a été testé individuellement pour garantir son bon fonctionnement. Cette approche nous a permis de :

- Valider le fonctionnement de chaque capteur individuellement
- Identifier et corriger les problèmes au plus tôt
- Établir une base solide pour l'intégration finale

4.2 Capteurs environnementaux (HTS221 et LPS22HH)

4.2.1 Configuration

La communication avec ces capteurs est réalisée via le bus I2C1. Voici les étapes de validation :

1. Test de présence des capteurs sur le bus I2C
2. Configuration des registres de contrôle
3. Validation de la récupération des données

4.2.2 Tests réalisés

- Lecture des identifiants des capteurs
 - Vérification de la cohérence des mesures
 - Test de la fréquence d'échantillonnage
- [Insérer capture d'écran du terminal montrant les mesures]

4.3 Anémomètre et Girouette

4.3.1 Configuration matérielle

L'anémomètre nécessite :

- Une entrée GPIO configurée en interruption externe
- Une résistance de pull-up pour stabiliser le signal

4.3.2 Validation

Tests effectués à l'aide d'un oscilloscope et du logiciel Analog Discovery :

- Mesure de la fréquence des impulsions
 - Validation de la conversion fréquence/vitesse
 - Test des 16 positions de la girouette
- [Insérer capture d'écran de l'oscilloscope]

4.4 Pluviomètre

4.4.1 Configuration matérielle

Le pluviomètre de type "tipping bucket" nécessite :

- Une entrée GPIO configurée en interruption externe
- Une résistance de pull-up interne activée
- Configuration de l'antirebond logiciel

4.4.2 Tests de validation

- Test unitaire avec simulation manuelle des basculements
- Vérification du comptage des impulsions
- Validation de la conversion (0,2794 mm par basculement)
- Test de l'antirebond

4.5 Interface utilisateur LCD

4.5.1 Configuration

- Initialisation du contrôleur LTDC
- Configuration de la résolution (480x272)
- Configuration du format de couleur (RGB565)

4.5.2 Tests effectués

- Test d'affichage des caractères
 - Validation du rafraîchissement de l'écran
 - Test des différentes zones d'affichage
 - Vérification du contraste et de la lisibilité
- [Insérer capture d'écran de l'interface]

4.6 Stockage sur carte SD

4.6.1 Configuration

- Initialisation du contrôleur SDMMC en mode 4 bits
- Configuration du système de fichiers FAT via FatFS
- Configuration du DMA pour les transferts

4.6.2 Validation

- Test de création de fichiers
 - Validation de l'écriture et lecture des données
 - Test de performance en écriture continue
 - Vérification de l'intégrité des données
- [Insérer capture d'écran du contenu d'un fichier de log]

5 Intégration et validation finale

[À compléter]

6 Tableau récapitulatif des fonctionnalités

Ce tableau résume l'état de développement de chaque bloc fonctionnel du projet, ainsi que son état de validation et d'intégration.

Le tableau ci-dessus présente :

- Chaque bloc fonctionnel identifié lors de la décomposition préliminaire
- L'état de développement de chaque bloc
- Le statut de la validation unitaire
- L'état d'intégration dans l'application finale
- Les sous-parties d'assemblage et l'intégration finale

7 Tableau récapitulatif des fonctionnalités

Ce tableau résume les tâches affectées à chaque membre de l'équipe et leur état d'avancement.

TABLE 3 – État des développements et validations

| Bloc fonctionnel | Développement | Validation unitaire | Intégration |
|----------------------------------|---------------|---------------------|-------------|
| Capteurs | | | |
| Température/Humidité (HTS221) | Effectué | Validé | Intégré |
| Pression (LPS22HH) | Effectué | Validé | Intégré |
| Anémomètre | Effectué | Validé | Intégré |
| Girouette | Effectué | Validé | Intégré |
| Pluviomètre | Effectué | Validé | Intégré |
| Interface utilisateur | | | |
| Écran d'accueil | Effectué | Validé | Intégré |
| Affichage des mesures | Effectué | Validé | Intégré |
| Graphiques temps réel | Effectué | Validé | Intégré |
| Configuration date/heure | Effectué | Validé | Intégré |
| Stockage | | | |
| Gestion carte SD | Effectué | Validé | Intégré |
| Sauvegarde des mesures | Effectué | Validé | Intégré |
| Sous-parties d'assemblage | | | |
| Agrégation des mesures | Effectué | Validé | Intégré |
| Gestion IHM | Effectué | Validé | Intégré |
| Intégration | | | |
| Intégration finale | Effectué | Validé | Intégré |

| Nom Prénom | Tâche affectée | Tâche effectuée | Implantée version courante |
|--|---|-----------------|----------------------------|
| Maxime MORET | Implémentation(lecture et agrégation) des capteurs I2C (Température, pluie, humidité) | Oui | Oui |
| Maxime MORET et Koundeme Nobel DJESSOU | Implémentation des capteurs de pluviométrie et de vent | Oui | Oui |
| Koundeme Nobel DJESSOU | Implémentation de l'interface utilisateur (pages de l'interface) | Oui | Oui |
| Koundeme Nobel DJESSOU | Implémentation de l'interaction de l'écran tactile(Partie 1) | Oui | Oui |
| Maxime MORET | Implémentation de l'interaction de l'écran tactile(Partie 2) | Oui | Oui |
| Koundeme Nobel DJESSOU | Implémentation de la RTC | Oui | Oui |
| Koundeme Nobel DJESSOU | Implémentation de la carte SD | Oui | Oui |
| Tristan GROUS-SARD | Schématisation Flow de données, Flow d'événements et GRAFCET | Oui | Oui |

TABLE 4 – Tâches affectées et effectuées

Conclusion

Ce projet a été d'une grande richesse en termes d'apprentissage. Il nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises en cours de systèmes embarqués. Nous avons pu découvrir les différentes étapes de la conception d'un système embarqué, de la spécification des besoins à la réalisation du système en passant par la conception et la programmation.