

---

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

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Cahier des charges</b>	<b>2</b>
1.1 Table des Entrées/Sorties . . . . .	2
<b>2 Caractéristiques du shield ST X-NUCLEO-IKS01A3</b>	<b>2</b>
2.1 Capteurs . . . . .	2
2.2 Connectivité et compatibilité . . . . .	3
2.3 Caractéristiques supplémentaires . . . . .	3
2.4 Configuration matérielle . . . . .	3
2.5 Alimentation . . . . .	3
<b>3 Choix des capteurs</b>	<b>3</b>
3.1 Température, humidité et pression atmosphérique . . . . .	3
3.2 Capteurs de vitesse et direction du vent . . . . .	4
3.3 Capteur de pluie . . . . .	4
<b>4 Développement et validation unitaire</b>	<b>5</b>
4.1 Stratégie de test . . . . .	5
4.2 Capteurs environnementaux (HTS221 et LPS22HH) . . . . .	5
4.2.1 Configuration . . . . .	5
4.2.2 Tests réalisés . . . . .	5
4.3 Anémomètre et Girouette . . . . .	5
4.3.1 Configuration matérielle . . . . .	5
4.3.2 Validation . . . . .	5
4.4 Pluviomètre . . . . .	5
4.4.1 Configuration matérielle . . . . .	5
4.4.2 Tests de validation . . . . .	6
4.5 Interface utilisateur LCD . . . . .	6
4.5.1 Configuration . . . . .	6
4.5.2 Tests effectués . . . . .	6
4.6 Stockage sur carte SD . . . . .	6
4.6.1 Configuration . . . . .	6
4.6.2 Validation . . . . .	6
4.7 Communication radio . . . . .	6
4.7.1 Configuration matérielle . . . . .	6
4.7.2 Tests de validation . . . . .	6
<b>5 Développement et validation des éléments d'assemblage</b>	<b>7</b>
5.1 Agrégation des mesures . . . . .	7
5.1.1 Architecture logicielle . . . . .	7
5.1.2 Stratégie d'échantillonnage . . . . .	7
5.1.3 Tests d'intégration . . . . .	7
5.2 Gestion de l'IHM . . . . .	7
5.2.1 Organisation de l'interface . . . . .	7
5.2.2 Gestion des événements . . . . .	7
5.2.3 Tests de validation . . . . .	8
<b>Conclusion</b>	<b>8</b>

## Table des figures

## 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<sup>ème</sup> 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

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.).

### 1.1 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	PA0	16 positions (0-360°)
Pluviomètre	Entrée	GPIO	PC8	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

## 2 Caractéristiques du shield ST X-NUCLEO-IKS01A3

### 2.1 Capteurs

- **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 ( $\pm 50$  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 Connectivité et compatibilité

- Compatible avec la disposition du connecteur Arduino UNO R3
- S'interface avec les microcontrôleurs STM32 via la broche I2C (possibilité de modifier le port I2C par défaut)
- Compatible avec les cartes Nucleo STM32

## 2.3 Caractéristiques supplémentaires

- Embase DIL 24 broches disponible pour adaptateurs MEMS supplémentaires et autres capteurs
- Fonctionnalités de hub pour capteurs I2C avec LSM6DSO
- Bibliothèque de firmware de développement complète et gratuite, avec exemples pour tous les capteurs, compatible avec le micrologiciel STM32Cube

## 2.4 Configuration matérielle

La carte peut être configurée en deux modes :

1. **Mode standard** : Tous les dispositifs sur le même bus I2C
2. **Mode SensorHub** : LSM6DSO et LIS2DW12 sur I2C2, autres dispositifs connectés au maître LSM6DSO via I2C1

## 2.5 Alimentation

- Chaque dispositif dispose d'une alimentation séparée pour la mesure individuelle de la consommation d'énergie
- Un LDO génère 1,8V pour la plupart des capteurs MEMS
- Un LDO séparé génère 2,5V pour le STTS751

# 3 Choix des capteurs

## 3.1 Température, humidité et pression atmosphérique

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.

## 3.2 Capteurs de vitesse et direction du vent

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.

## 3.3 Capteur de pluie

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.

## 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]

### 4.7 Communication radio

#### 4.7.1 Configuration matérielle

- Configuration du module radio
- Paramétrage du débit et de la puissance d'émission
- Configuration du protocole de communication

#### 4.7.2 Tests de validation

- Test de portée
- Validation de la fiabilité de la transmission

- Test de la consommation énergétique
- Vérification de l'intégrité des données transmises
- [Insérer capture d'écran des données reçues]

## 5 Développement et validation des éléments d'assemblage

### 5.1 Agrégation des mesures

#### 5.1.1 Architecture logicielle

L'agrégation des mesures a été implémentée selon une architecture à trois niveaux :

- Niveau acquisition : lecture des capteurs avec gestion des temporisations
- Niveau traitement : moyennage et filtrage des données
- Niveau stockage : formatage et sauvegarde des données

#### 5.1.2 Stratégie d'échantillonnage

- Capteurs I2C (température, humidité, pression) : échantillonnage périodique (1Hz)
- Anémomètre : calcul de la vitesse sur fenêtre glissante de 5 secondes
- Pluviomètre : cumul sur période configurable (heure/jour)
- Horodatage via RTC pour chaque série de mesures

#### 5.1.3 Tests d'intégration

- Validation de la synchronisation des mesures
- Test de charge (acquisition continue sur 24h)
- Vérification de la cohérence temporelle des données
- Test des mécanismes de reprise sur erreur

### 5.2 Gestion de l'IHM

#### 5.2.1 Organisation de l'interface

L'interface utilisateur a été conçue pour être intuitive et fonctionnelle :

- Écran principal : affichage en temps réel des mesures courantes
- Écran statistiques : valeurs min/max/moyennes sur 24h
- Écran configuration : paramètres système et calibration
- Zone d'état : indication des erreurs et état du système
- [Insérer capture d'écran de l'interface principale]

#### 5.2.2 Gestion des événements

- Rafraîchissement périodique des valeurs (1Hz)
- Gestion des alertes (dépassement de seuils)
- Historique des événements remarquables
- Interface de configuration des paramètres

### 5.2.3 Tests de validation

- Test de réactivité de l'interface
- Validation du comportement avec charge CPU importante
- Test des différents scénarios d'utilisation
- Vérification de la persistance des paramètres

## 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.