

Sandric Bretecher - Louis Musial

# Projet Tutoré

Système d'acquisition des données embarquées

# Sommaire



- I. Présentation du projet
  - I.1. Les besoins
  - I.2. Cahier des charges
- II. Les composants utilisés
- III. La mise en oeuvre du projet
  - III.1. Schéma d'implantation et d'interconnexion
  - III.2. Le protocole de communication
- IV. Le programme Arduino
  - IV.1. Diagramme fonctionnel et fonctions
- V. Les essais et validations
  - V.1. Calibration des modules
  - V.2. Calcul du cap
  - V.3. Relevé de trames du capteur LSM303
  - V.4. Test du programme final
- VI. Difficultés rencontrées & améliorations
  - VI.1. Problèmes rencontrés
  - VI.2. Améliorations possibles
- VII. Conclusion
- VIII. Bibliographie
- IX. Annexes

---

# I. Présentation du projet

# 1. Les besoins

Objectifs : Intégrer de nouveaux systèmes d'acquisitions

- 1 Capteur de pression statique & T°
- 1 GPS
- 1 Capteur de pression totale
- 1 Module LoRa
- 1 Module accéléromètre et compas

| Systèmes                                      | Binômes         |
|---|-----------------|
| AHRS NAVH                                     | Kevin - Théo    |
| Incidence & Pression statistique et dynamique | Carlos - Axel   |
| GPS L10                                       | Kevin - Théo    |
| Accéléromètre & boussole (LSM303)             | Sandric - Louis |
| Baromètre & Température                       | Kylian - Damien |
| LoRa  |                 |

---

# 1. Le cahier des charges

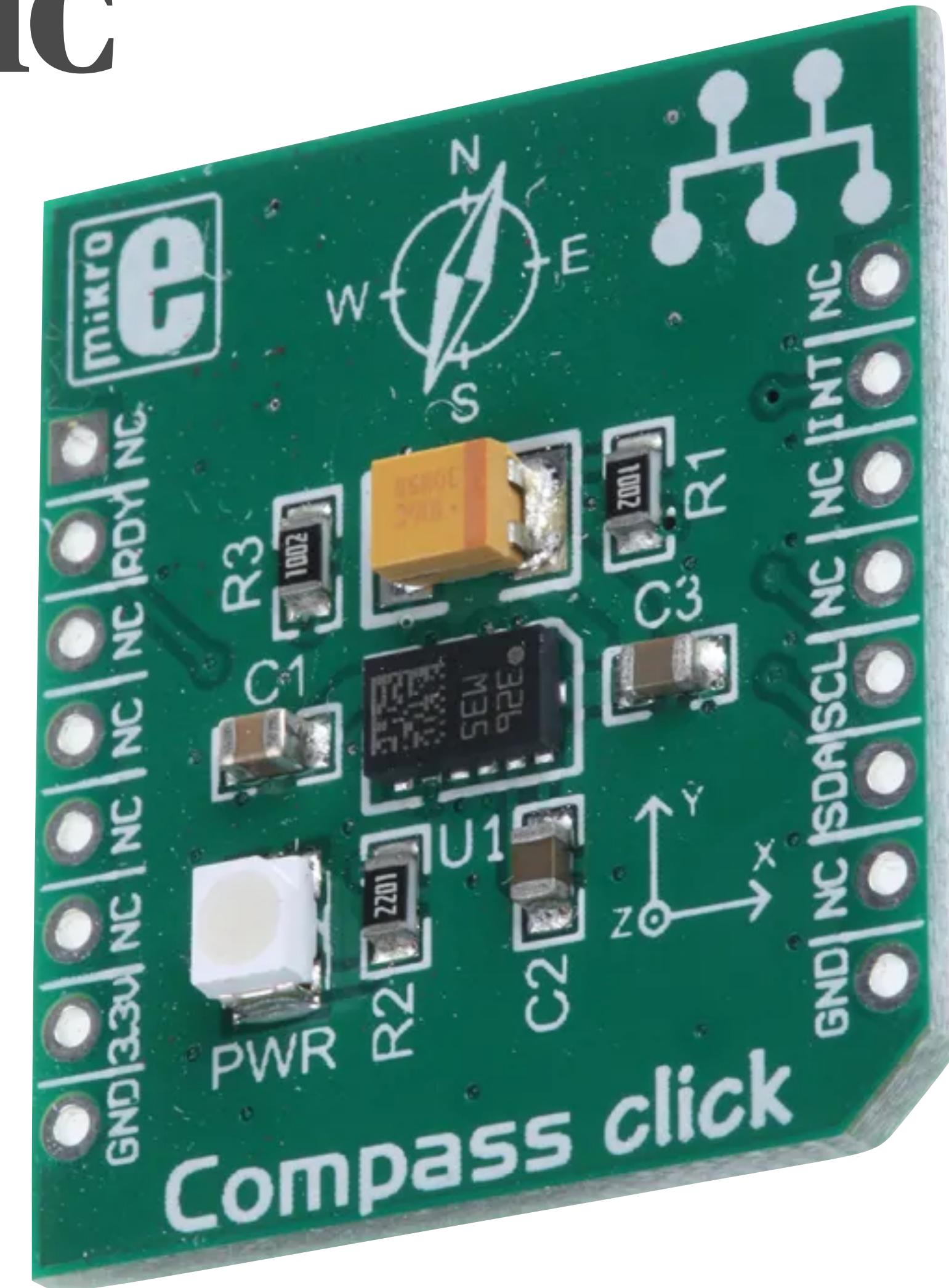
- Mise en oeuvre d'un bus de communication (i2c, SPI)
- Mesures en temps réel
- Stockage des données (carte SD)
- Protocole de communication commun (Taille limitée)

---

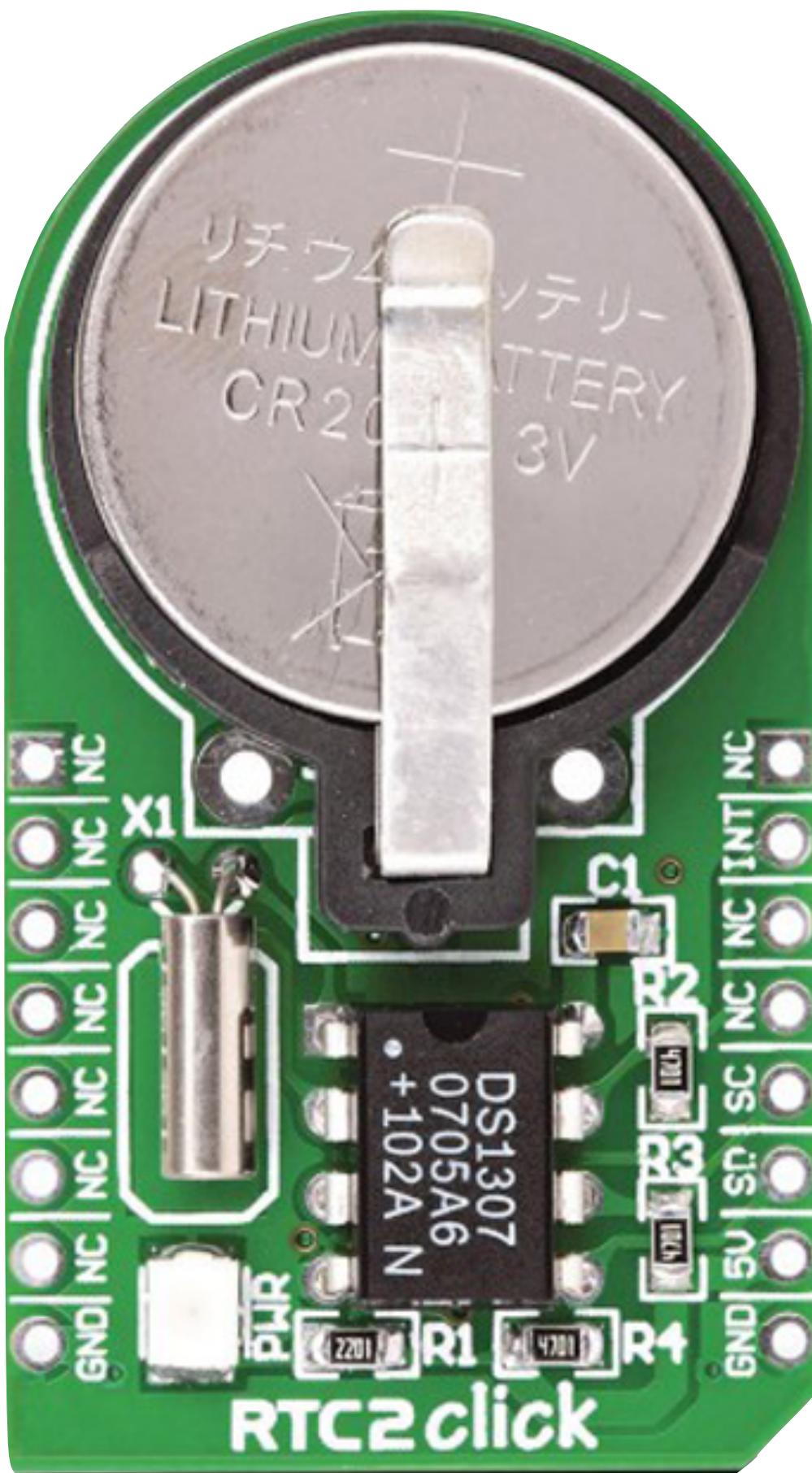
## II. Les composants utilisés

# LSM303DLHC

- Communication en I2C
- [2.16V ; 3.3V] |  $330\mu\text{A}$
- 48 adresses de registres
- Précision de  $\pm 2\%$
- L'accéléromètre :
  - Accélération linéaire sur 3 axes (x, y et z) en  $\text{m/s}^2$
  - Plage de mesure  $\pm 2\text{g}/\pm 4\text{g}/\pm 8\text{g}/\pm 16\text{g}$
  - Résolution en 12 bits
- Le magnétomètre :
  - Champ magnétique dans 3 dimensions (x, y et z) en  $\mu\text{T}$
  - Plage de mesure  $\pm 1.3/\pm 1.9/\pm 2.5/\pm 4.0$  Gauss (G)
  - Résolution en 16 bits



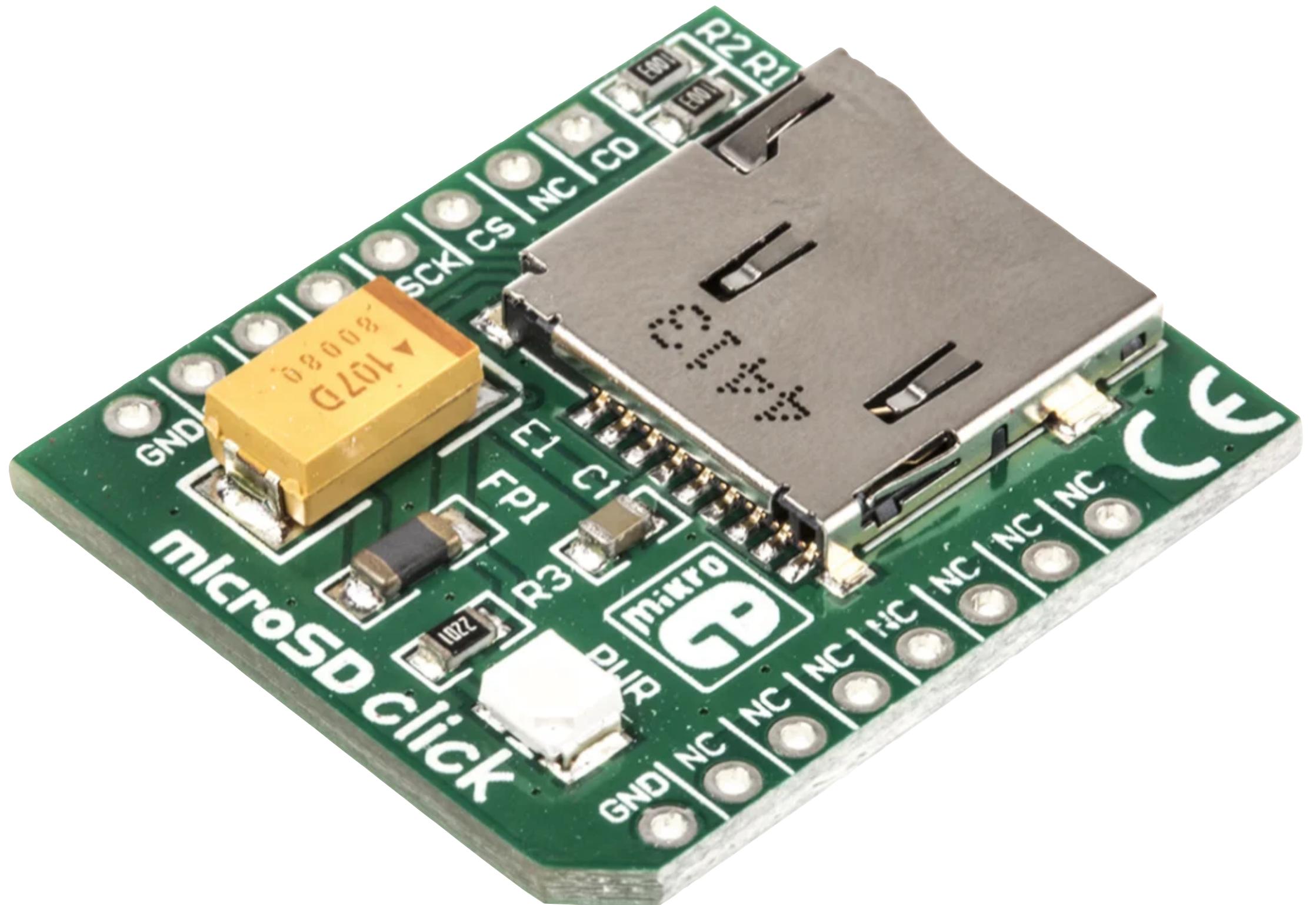
# RTC2 Click



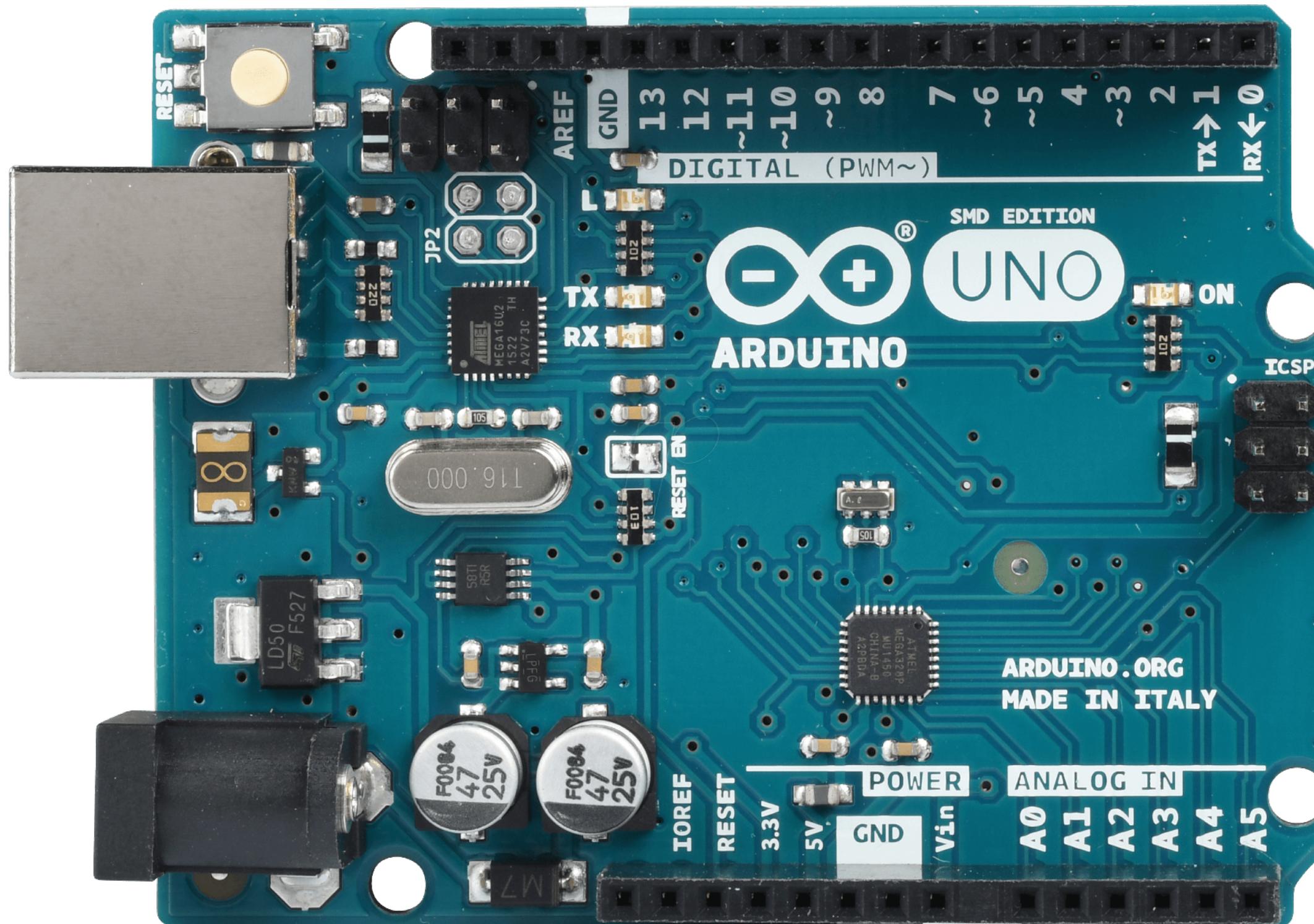
- Communication en I2C
- 3.3V ou 5V
- Cristal quartz (32,768 kHz)
- Précision de  $\pm 1$  ppm
- Réalisation de tâches temps réel

# MicroSD Click

- Communication en SPI
- Module : 3.3V ou 5V
- Carte SD : [2.16V ; 3.3V]
- Vmax de lecture 25Mo/s
- Vmax d'écriture 18Mo/s



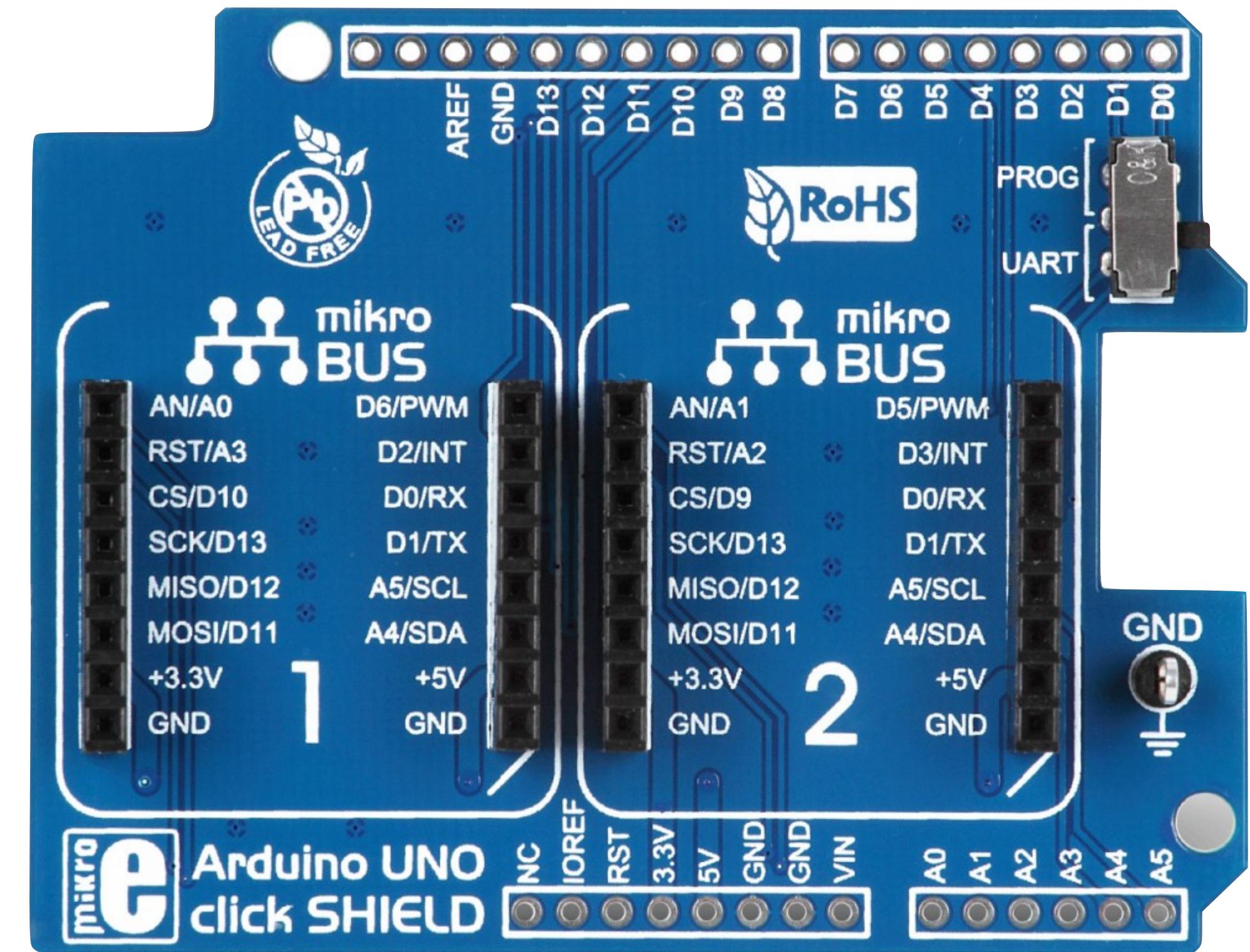
# Arduino uno



- 14 entrées sorties numériques
  - 6 PWM / 6 entrées analogiques
  - Communication UART, SPI, I2C

# Arduino uno click shield

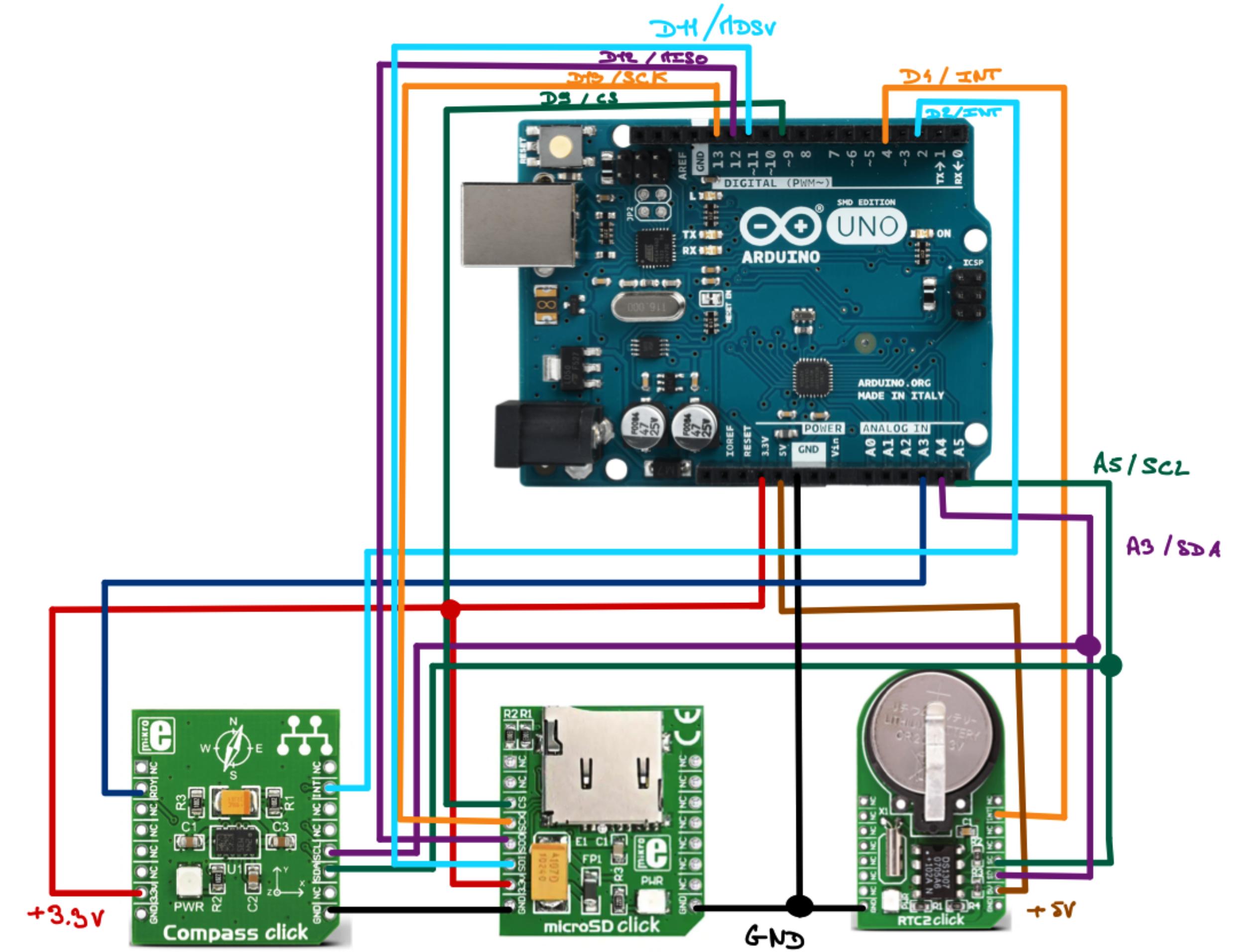
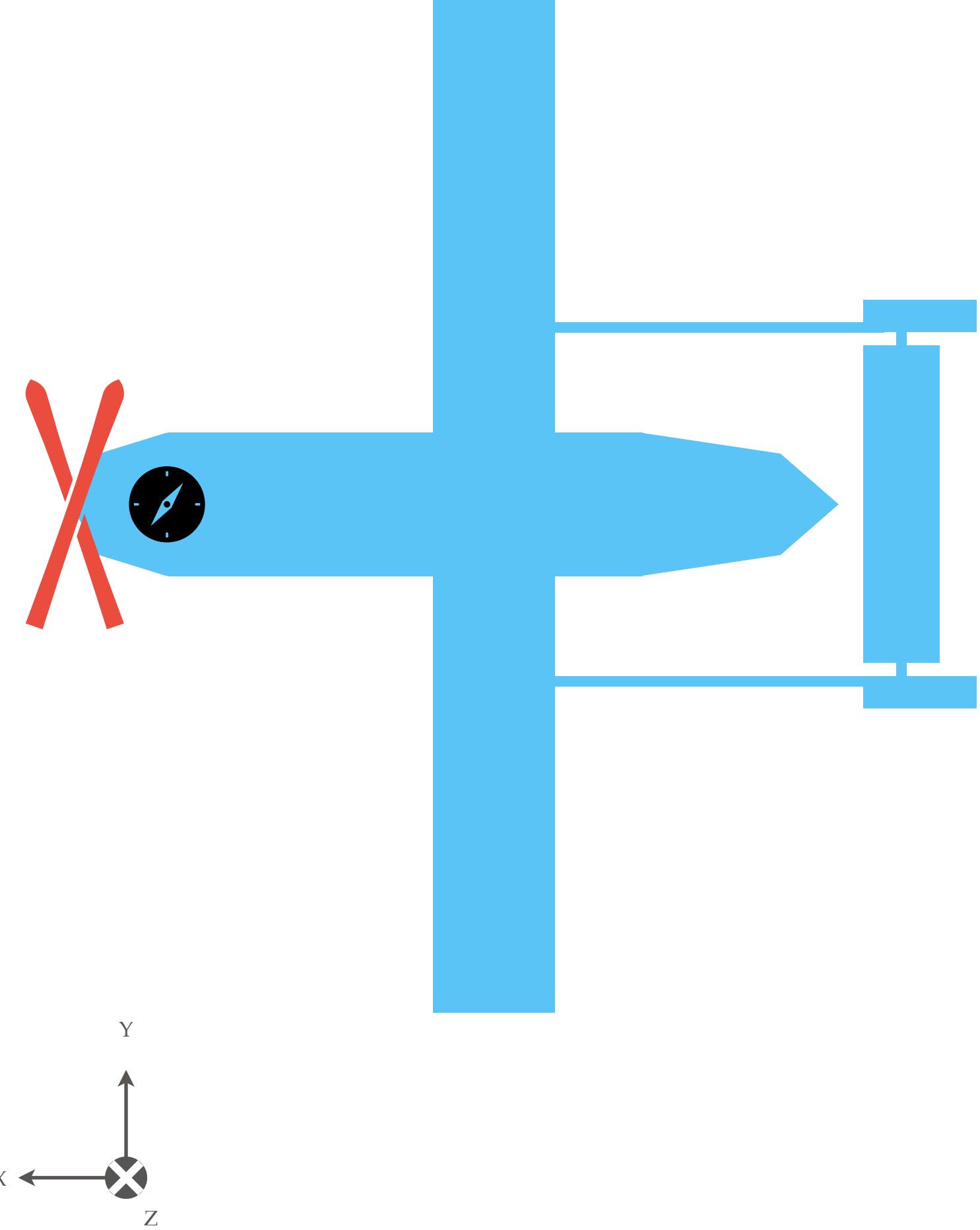
- Extension pour Arduino Uno
- Deux connecteurs pour module Click



---

### **III. Mise en oeuvre du projet**

# 1. Schéma d'implantation et d'interconnexions



# 2. Le protocole de communication

| Entête   | Label & Version | Secondes | Minutes | Heures  | Jours   | Mois    | Année    | Data 1             | Data 2 | Data N |
|----------|-----------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|--------------------|--------|--------|
| \$23EAS  | 0x 00           | 00 à 59  | 00 à 59 | 00 à 23 | 00 à 31 | 00 à 12 | ≥ 2023   |                    |        |        |
| String   | Char            | Int      | Int     | Int     | Int     | Int     | Int      | -                  | -      | -      |
| 6 octets | 2 octet         | 2 octet  | 2 octet | 2 octet | 2 octet | 2 octet | 2 octets | 12 octets au total |        |        |

- Taille maximale : 32 octets
- 20 octets d'en-tête
- 12 octets de datas

| Label | Numéro de Data | Nom data   | Taille octet | Type data |
|-------|----------------|------------|--------------|-----------|
| 90    | 1              | Cap (Deg°) | 4 octets     | Float     |

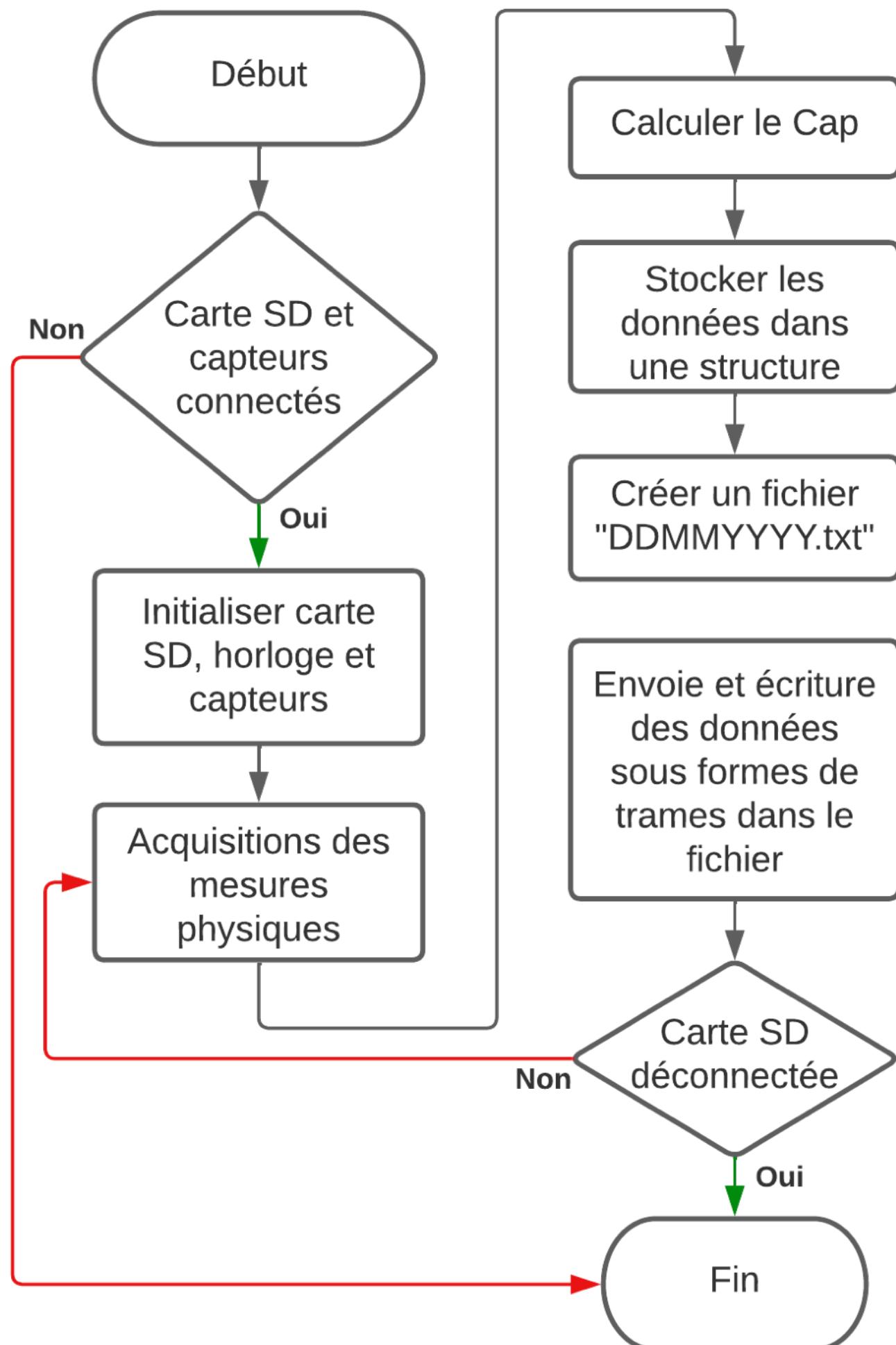
  

| Label | Numéro de Data | Nom data             | Taille octet | Type data |
|-------|----------------|----------------------|--------------|-----------|
| A0    | 1              | X (m/s) <sup>2</sup> | 4 octets     | Float     |
|       | 2              | Y (m/s) <sup>2</sup> | 4 octets     | Float     |
|       | 3              | Z (m/s) <sup>2</sup> | 4 octets     | Float     |

---

# IV. Le programme Arduino

# 1. Diagramme fonctionnel et fonctions



Fonctions :

- Void Accelero\_setup()
- Void Compas\_setup()
- Void Clock\_setup()
- Void OpenFile(string nom)
- Void setup()
- Void loop()
- String NomFichier()

Librairies :

- Adafruit\_LSM303DLH\_Mag.h
- Adafruit\_LSM303\_Accel.h
- Adafruit\_Sensor.h
- Wire.h
- SD.h
- RTCLib.h

---

# V. Les essais et validations

# 1. Calibration des modules

Max!Accelerometer Test

-----

Sensor: LSM303  
Driver Ver: 1  
Unique ID: 54321  
Max Value: 0.00 m/s<sup>2</sup>  
Min Value: 0.00 m/s<sup>2</sup>  
Resolution: 0.00 m/s<sup>2</sup>

-----

Range set to: +- 4G  
Mode set to: Normal  
X: -0.31 Y: 0.08 Z: 9.20 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.23 Y: 0.08 Z: 8.97 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.31 Y: 0.08 Z: 9.05 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.31 Y: 0.15 Z: 9.13 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.31 Y: 0.15 Z: 8.97 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.31 Y: 0.15 Z: 8.97 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.31 Y: 0.00 Z: 9.05 m/s<sup>2</sup>  
X: -0.23 Y: 0.15 Z: 8.97 m/s<sup>2</sup>

Calibration accéléromètre

Magnetometer Test

-----

Sensor: LSM303  
Driver Ver: 1  
Unique ID: 12345  
Max Value: 0.00 uT  
Min Value: 0.00 uT  
Resolution: 0.00 uT

-----

X: -13.91 Y: 20.73 Z: -6.12 uT  
X: -14.00 Y: 20.82 Z: -5.92 uT  
X: -14.00 Y: 20.55 Z: -5.92 uT  
X: -13.55 Y: 20.45 Z: -5.92 uT  
X: -14.00 Y: 20.55 Z: -5.82 uT  
X: -14.00 Y: 20.45 Z: -5.92 uT  
X: -14.00 Y: 20.73 Z: -6.02 uT

Calibration magnétomètre

Arduino

Enter the time in format: "HH MM SS DD MM YY" - Timeout is 30 seconds  
Enter the day of week as number between 1 and 7 (Sunday-Saturday) -  
Time set to: 2023-04-03 15:09  
2023-04-03 15:09  
03.04.2023 15:09  
Monday, 3. April 2023 15:09:13  
04/03/2023 15:09  
Monday, April 3, 2023 15:09:13

2023-04-03 15:09  
03.04.2023 15:09  
Monday, 3. April 2023 15:09:14  
04/03/2023 15:09  
Monday, April 3, 2023 15:09:14

Calibration horloge

## 2. Calcul du cap

- Heading = atan2(Y, X) \* (180 / pi)
- Y = champ magnétique y en  $\mu\text{T}$
- X = champ magnétique x en  $\mu\text{T}$

```
Compass Heading: 107.43
Compass Heading: 107.74
Compass Heading: 107.91
Compass Heading: 108.12
Compass Heading: 107.69
Compass Heading: 107.85
Compass Heading: 107.23
Compass Heading: 107.24
```

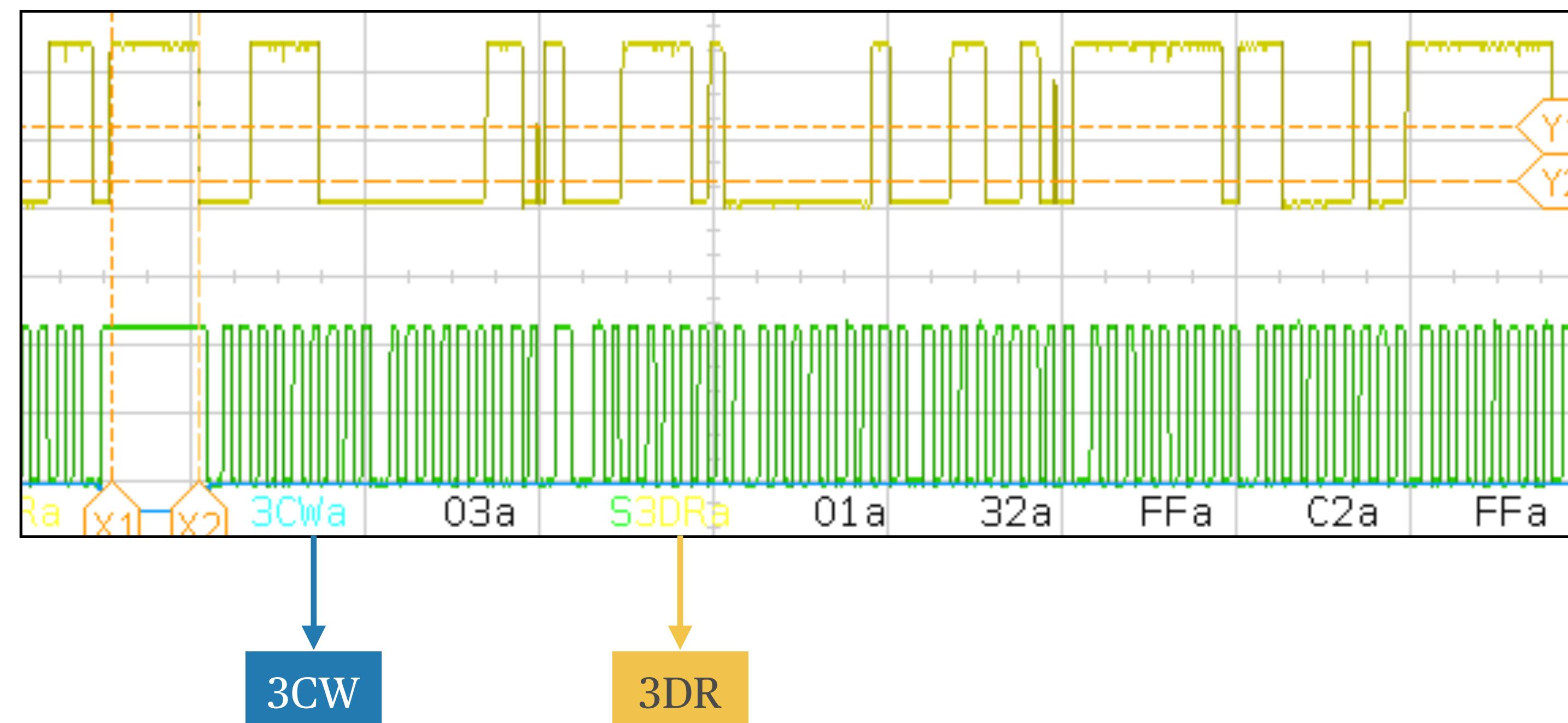
Affichage du cap

```
/*Magnétomètre*/
// Acquisition des données du magnétomètre (CAP)
mag.getEvent(&event); // récupère les données du magnétomètre dans la variable event
// Calcul de la direction du nord magnétique (heading) à partir des données du magnétomètre
float heading = atan2(event.magnetic.y, event.magnetic.x) * 180 / PI; // On calcule l'angle
heading += (heading < 0) ? 360 : 0; // On s'assure que l'angle est compris entre 0 et 360 de
```

Code arduino pour le calcul du cap

# 3. Relevé de trames du capteur LSM303

- Registre du champ magnétique sur l'axe X
  - 0x3C : 8 bits (LSB)
  - 0x3D : 8 bits (MSB)
- $T = 50\mu s \rightarrow$  temps entre chaque boucle d'acquisition dans le programme



# 4. Test du programme final

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "20230407". The sheet contains a header row with the date "20230407" and several data rows. Each data row starts with "\$23EAS" followed by a timestamp "13:51:23" and a date "7-4-2023". The data includes various numerical values such as 359.11, -0.23, 0.08, etc.

|    | 20230407 |    |          |          |        |      |      |   |   |
|----|----------|----|----------|----------|--------|------|------|---|---|
| 1  | \$23EAS  | 90 | 13:51:23 | 7-4-2023 | 359.11 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 2  | \$23EAS  | A0 | 13:51:23 | 7-4-2023 | -0.23  | 0.08 | 8.97 |   |   |
| 3  | \$23EAS  | 90 | 13:51:23 | 7-4-2023 | 0.18   | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 4  | \$23EAS  | A0 | 13:51:23 | 7-4-2023 | -0.15  | 0.08 | 9.20 |   |   |
| 5  | \$23EAS  | 90 | 13:51:23 | 7-4-2023 | 359.64 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 6  | \$23EAS  | A0 | 13:51:23 | 7-4-2023 | -0.08  | 0.23 | 8.97 |   |   |
| 7  | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 359.64 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 8  | \$23EAS  | A0 | 13:51:24 | 7-4-2023 | -0.23  | 0.08 | 8.97 |   |   |
| 9  | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 358.93 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 10 | \$23EAS  | A0 | 13:51:24 | 7-4-2023 | -0.15  | 0.08 | 9.05 |   |   |
| 11 | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 358.73 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 12 | \$23EAS  | A0 | 13:51:24 | 7-4-2023 | -0.15  | 0.08 | 9.05 |   |   |
| 13 | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 358.91 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 14 | \$23EAS  | A0 | 13:51:24 | 7-4-2023 | -0.23  | 0.08 | 9.05 |   |   |
| 15 | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 359.64 | 0    | 0    | 0 | 0 |
| 16 | \$23EAS  | A0 | 13:51:24 | 7-4-2023 | -0.08  | 0.15 | 9.05 |   |   |
| 17 | \$23EAS  | 90 | 13:51:24 | 7-4-2023 | 359.11 | 0    | 0    | 0 | 0 |

Fichier.csv

The screenshot shows a text editor window titled "20230407.TXT — Partagé". The text file contains a series of data lines starting with "\$23EAS" and "\$23EASA" commands, followed by various numerical values and dates. The lines are separated by newlines.

```
$23EAS90141227420231.380000
$23EASA014122742023-0.310.159.05
$23EAS90141227420230.170000
$23EASA014122742023-0.080.239.13
$23EAS90141227420230.700000
$23EASA014122742023-0.150.009.13
$23EAS90141227420230.690000
$23EASA014122742023-0.150.089.05
$23EAS90141227420230.350000
$23EASA014122742023-0.080.159.13
$23EAS90141237420230.860000
$23EASA014123742023-0.150.158.97
$23EAS90141237420230.880000
$23EASA014123742023-0.150.089.13
$23EAS90141237420230.880000
$23EASA014123742023-0.230.089.13
$23EAS90141237420230.700000
$23EASA014123742023-0.150.089.13
$23EAS90141237420230.180000
$23EASA014123742023-0.080.088.90
$23EAS90141237420230.520000
$23EASA014123742023-0.080.089.13
$23EAS90141237420230.690000
$23EASA014123742023-0.150.239.05
$23EAS90141247420230.530000
$23EASA014124742023-0.080.088.97
$23EAS90141247420230.000000
$23EASA014124742023-0.230.239.05
$23EAS90141247420230.600000
```

Fichier.txt

La carte SD est initialisée.

Le fichier 20230407.txt a été créé avec succès !

14:00:03.044 -> Envoie des trames sur la carte SD...
14:00:03.148 -> \$23EAS901359577420230.520000
14:00:03.186 -> \$23EASA0135957742023-1.070.239.13
14:00:03.223 -> Envoie des trames sur la carte SD...
14:00:03.294 -> \$23EAS901359577420230.690000
14:00:03.328 -> \$23EASA0135957742023-0.150.088.90
14:00:03.362 -> Envoie des trames sur la carte SD...
14:00:03.465 -> \$23EAS901359577420231.210000
14:00:03.498 -> \$23EASA0135957742023-0.080.159.13
14:00:03.535 -> Envoie des trames sur la carte SD...
14:00:03.605 -> \$23EAS901359577420231.380000
14:00:03.643 -> \$23EASA01359577420230.080.469.05
14:00:03.680 -> Envoie des trames sur la carte SD...
14:00:05.728 -> Carte SD déconnectée

Moniteur série

---

## VI. Difficultés rencontrées et améliorations

# 1. Problèmes rencontrés

| Problèmes                     | Résolu | Solution ou moyen                           |
|-------------------------------|--------|---|
| Registres & adresses capteurs |        | Datasheet et visualisation à l'oscilloscope |
| Définition de la trames       |        | Limitations des trames à 32 octets          |
| Nom de fichier                |        | ...   |

## 2. Améliorations possibles

- Utiliser un RTOS



VxWorks



- Ajouter un entête au fichier
- Intégrer le système au drone
- Ajouter un gyromètre
- Meilleure précision dans l'espace



# VII. Conclusion

- Mettre en application le cours
- Meilleure compréhension du protocole I2C
- Interpréter des données issues de capteurs



# Merci de votre attention



---

# VIII. Bibliographie

- Datasheet du capteur LSM303DLHC
- Datasheet du module mikroBUSTM
- Librairie Arduino :
  - *Wire.h* pour la communication I2C
  - *SD.h* pour l'utilisation de la carte SD
  - *Adafruit\_LSM303DLH\_Mag.h* pour l'utilisation du magnétomètre
  - *Adafruit\_LSM303\_Accel.h* pour l'utilisation de l'accéléromètre
  - *Adafruit\_Sensor.h* pour l'utilisation du module LSM303DLHC
  - *RTClib.h* pour l'utilisation de l'horloge RTC

---

# VIII. Annexes

# Annexe n°1 : Tableau des registres du LSM303LDHC

| Name                     | Slave address            | Type | Register address |          | Default  | Comment  |
|--------------------------|--------------------------|------|------------------|----------|----------|----------|
|                          |                          |      | Hex              | Binary   |          |          |
| Reserved (do not modify) | <a href="#">Table 14</a> |      | 00 - 1F          | --       | --       | Reserved |
| CTRL_REG1_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 20               | 010 0000 | 00000111 |          |
| CTRL_REG2_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 21               | 010 0001 | 00000000 |          |
| CTRL_REG3_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 22               | 010 0010 | 00000000 |          |
| CTRL_REG4_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 23               | 010 0011 | 00000000 |          |
| CTRL_REG5_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 24               | 010 0100 | 00000000 |          |
| CTRL_REG6_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 25               | 010 0101 | 00000000 |          |
| REFERENCE_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 26               | 010 0110 | 00000000 |          |
| STATUS_REG_A             | <a href="#">Table 14</a> | r    | 27               | 010 0111 | 00000000 |          |
| OUT_X_L_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 28               | 010 1000 | output   |          |
| OUT_X_H_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 29               | 010 1001 | output   |          |
| OUT_Y_L_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 2A               | 010 1010 | output   |          |
| OUT_Y_H_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 2B               | 010 1011 | output   |          |
| OUT_Z_L_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 2C               | 010 1100 | output   |          |
| OUT_Z_H_A                | <a href="#">Table 14</a> | r    | 2D               | 010 1101 | output   |          |
| FIFO_CTRL_REG_A          | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 2E               | 010 1110 | 00000000 |          |
| FIFO_SRC_REG_A           | <a href="#">Table 14</a> | r    | 2F               | 010 1111 |          |          |
| INT1_CFG_A               | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 30               | 011 0000 | 00000000 |          |
| INT1_SOURCE_A            | <a href="#">Table 14</a> | r    | 31               | 011 0001 | 00000000 |          |
| INT1_THS_A               | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 32               | 011 0010 | 00000000 |          |
| INT1_DURATION_A          | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 33               | 011 0011 | 00000000 |          |
| INT2_CFG_A               | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 34               | 011 0100 | 00000000 |          |
| INT2_SOURCE_A            | <a href="#">Table 14</a> | r    | 35               | 011 0101 | 00000000 |          |
| INT2_THS_A               | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 36               | 011 0110 | 00000000 |          |
| INT2_DURATION_A          | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 37               | 011 0111 | 00000000 |          |
| CLICK_CFG_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 38               | 011 1000 | 00000000 |          |
| CLICK_SRC_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 39               | 011 1001 | 00000000 |          |
| CLICK_THS_A              | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 3A               | 011 1010 | 00000000 |          |
| TIME_LIMIT_A             | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 3B               | 011 1011 | 00000000 |          |

| Name                     | Slave address            | Type | Register address |          | Default  | Comment  |
|--------------------------|--------------------------|------|------------------|----------|----------|----------|
|                          |                          |      | Hex              | Binary   |          |          |
| TIME_LATENCY_A           | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 3C               | 011 1100 | 00000000 |          |
| TIME_WINDOW_A            | <a href="#">Table 14</a> | rw   | 3D               | 011 1101 | 00000000 |          |
| Reserved (do not modify) | <a href="#">Table 14</a> |      | 3E-3F            | --       | --       | Reserved |
| CRA_REG_M                | <a href="#">Table 16</a> | rw   | 00               | 00000000 | 0001000  |          |
| CRB_REG_M                | <a href="#">Table 16</a> | rw   | 01               | 00000001 | 0010000  |          |
| MR_REG_M                 | <a href="#">Table 16</a> | rw   | 02               | 00000010 | 00000011 |          |
| OUT_X_H_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 03               | 00000011 | output   |          |
| OUT_X_L_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 04               | 00000100 | output   |          |
| OUT_Z_H_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 05               | 00000101 | output   |          |
| OUT_Z_L_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 06               | 00000110 | output   |          |
| OUT_Y_H_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 07               | 00000111 | output   |          |
| OUT_Y_L_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 08               | 00001000 | output   |          |
| SR_REG_Mg                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 09               | 00001001 | 00000000 |          |
| IRA_REG_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 0A               | 00001010 | 01001000 |          |
| IRB_REG_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 0B               | 00001011 | 00110100 |          |
| IRC_REG_M                | <a href="#">Table 16</a> | r    | 0C               | 00001100 | 00110011 |          |
| Reserved (do not modify) | <a href="#">Table 16</a> |      | 0D-30            | --       | --       | Reserved |
| TEMP_OUT_H_M             | <a href="#">Table 16</a> |      | 31               | 00000000 | output   |          |
| TEMP_OUT_L_M             | <a href="#">Table 16</a> |      | 32               | 00000000 | output   |          |
| Reserved (do not modify) | <a href="#">Table 16</a> |      | 33-3A            | --       | --       | Reserved |

# Annexe n°2 : Tableau des labels

| Label | Type de data       | Groupe        |
|-------|--------------------|---------------|
| 1     | Pression statique  | Kylian Damien |
| 2     | Température        |               |
| 3     | Altitude           |               |
| 4     | Latitude           | Kevin Theo    |
| 5     | Longitude          |               |
| 6     | Pression dynamique | Axel Carlos   |
| 7     | Pression statique  |               |
| 8     | Vitesse (m / s)    |               |
| 9     | Cap magnétique     | Sandric Louis |
| A     | Accélération       |               |
| B     | Incidence          | Aliya Romain  |
| C     | Pente              |               |
| D     | Assiete            |               |
| E     | -                  | -             |
| F     | -                  | -             |