

station météo RPI Zero W sans pièces mécaniques mobiles

Zeno Otten (Pays-Bas)

De nombreux aspects de notre vie quotidienne sont régis par le temps qu'il fait : prendre son parapluie ou pas, aller à pied ou en voiture, ouvrir la fenêtre ou la fermer, faire la grasse matinée ou se lever, etc. Un simple coup d'œil par la fenêtre suffit pour avoir un aperçu des conditions actuelles, mais seule la mesure permet de faire des prévisions, et notre station météo est parfaite pour ça.

La réalisation d'une station météo n'est pas très rentable de nos jours, du moins si on ne considère que les aspects financiers. On trouve dans le commerce des appareils *made in Asia* bon marché, mais

qui n'en sont pas moins performants, et un électronicien amateur ne peut pas les concurrencer. Ces appareils ont cependant quelques inconvénients, ce qui justifie l'approche *DIY (do it yourself)*, en

dehors de la satisfaction que l'on éprouve à fabriquer quelque chose soi-même. Pour mesurer la vitesse du vent, on utilise généralement une espèce de rotor avec des coupelles, et pour détecter sa

Caractéristiques

- mesure de la température, de l'humidité et de la luminosité
- mesure de la vitesse et de la direction du vent, sans pièce mobile
- calcul du point de rosée, de la température ressentie et de la hauteur des nuages
- plateforme Raspberry Pi Zero





Figure 1. Le Raspberry Pi Zero W.

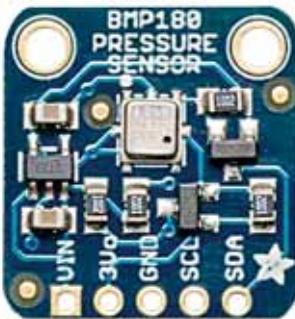


Figure 2. Le capteur de pression et de température BMP180.

direction un simple fanion. Ce sont des pièces mécaniques, qui vont s'user et qu'il faudra remplacer tôt ou tard (en fonction de leur qualité). Ces pièces mécaniques ne sont pas toujours proposées sous forme de pièces détachées, et les problèmes commencent. La plupart du temps, la communication entre les capteurs et la station de base est effectuée à l'aide d'émetteurs-récepteurs qui travaillent par ex. dans la bande 433 MHz, et avec un protocole « maison ». Il est dès lors très difficile de modifier ou d'étendre l'installation.

Enfin, certaines grandeurs dérivées, comme le point de rosée ou la température ressentie (ou indice de refroidissement éolien), ne sont pas disponibles.

Le défi

Les raisons exposées ci-dessus étaient suffisantes pour relever le défi et concevoir sa propre station météo. Le cahier des charges est le suivant :

- pas de pièces mobiles ;
- mesure de la pression atmosphérique, de l'humidité, de la température, de la luminosité ambiante, de la vitesse et de la direction du vent ;
- calcul du point de rosée, de la température ressentie et de la hauteur des nuages ;
- utilisation du protocole I²C pour les capteurs ;
- tension d'alimentation de 3,3 V ;
- stockage des résultats des mesures dans une base de données ;
- affichage des résultats via une interface réseau ;
- communication Wi-Fi par réseau local ou internet ;



Figure 3. Le capteur de température et d'humidité HYT221.

- possibilité d'extension (par ex. pour un pluviomètre) ;
- logiciel compréhensible et évolutif.

Le projet

Au vu de notre cahier des charges, le choix du cœur de notre circuit a été vite fait. Le Raspberry Pi Zero W est parfait pour la tâche : ce microcontrôleur a suffisamment de broches d'E/S, une bonne puissance de calcul, et tout ce qu'il faut pour réaliser facilement une liaison sans fil avec un réseau local ou internet. Si on ajoute que sa taille est celle d'une carte de crédit (**figure 1**) et qu'il ne coûte que 10 €, pas besoin de chercher plus loin. Elektor nous a présenté la « bête » dans le numéro de septembre/octobre [1], et un kit de démarrage complet [12] est disponible dans l'e-choppe pour ceux qui n'ont pas encore d'expérience du RPi (Zero).

Les capteurs communiquent avec le RPi Zero via le bus I²C ; deux fils sont aussi nécessaires pour leur alimentation. Le bus I²C, développé initialement par Philips, est très populaire ; il permet la communication entre microcontrôleurs, systèmes complets ou divers circuits intégrés via deux fils : *SDA* (Serial Data) pour les données, et *SCL* (Serial Clock) pour l'horloge. Avec l'alimentation, nous aurons donc des liaisons à quatre fils avec les capteurs.

Le protocole de communication est un système maître-esclave : le maître, dans notre cas le RPi, s'adresse à un esclave (un des capteurs) et lui demande la transmission des données disponibles (par ex. la température). Chaque esclave dispose d'une adresse unique, que l'utilisateur peut en général – et au moins partiellement – choisir lui-même.

Le bus utilise des résistances de rappel dont la valeur est de 4,7 à 10 kΩ ; les lignes *SDA* et *SCL* sont à l'état haut au repos. Ces résistances sont parfois intégrées au capteur, il faut donc veiller à ce que la valeur totale reste dans les limites acceptables.

Les capteurs

La mesure de la pression atmosphérique, de la température, de l'humidité et de la luminosité ne pose pas de problème particulier ; c'est un peu plus compliqué pour la vitesse et la direction du vent, mais chaque chose en son temps...

Pression atmosphérique

Pour la pression atmosphérique, nous uti-



Figure 4. Le capteur de luminosité ambiante BH1750.

lisons un BMP180 [2], un capteur barométrique qui mesure la pression absolue entre 300 et 1 100 hPa (mbar). Comme la pression atmosphérique est inversement proportionnelle à l'altitude – ceux qui ont déjà escaladé l'Everest le savent bien, le capteur peut aussi être utilisé comme altimètre.

Le capteur est monté sur une petite carte de liaison (*Breakout Board – BoB*), **figure 2**. La résolution est de 12 bits, soit 0,03 hPa. La tension d'alimentation est de 3,3 V et les résistances de rappel du bus I²C sont déjà montées sur le BoB. La communication avec le RPi se fait via les lignes SDA et SCL.

Il est possible que le BMP180 soit difficile à trouver. On peut utiliser le BME280, qui est disponible dans l'e-choppe [3]. Une adaptation du microgiciel sera peut-être nécessaire.

Température et humidité

Nous avons choisi un capteur robuste, le HYT221 [4], **figure 3** ; il est idéal pour un usage à l'extérieur. Il mesure l'humidité relative de 0 à 100% avec une précision de ±1,8%, et la température de -40 à +120 °C avec une précision

de ±0,2 °C.

Les résistances de rappel pour le bus I²C sont intégrées au capteur, et la tension d'alimentation couvre la plage de 2,7 à 5,5 V.

Luminosité ambiante

La mesure de la luminosité ambiante est utilisée pour détecter la nuit, la couverture nuageuse, ou l'ensoleillement ; ces caractéristiques sont converties en valeurs concrètes. Le capteur est un BH1750 [5], dont la plage de mesure s'étend de 1 à 65 535 lx. Le capteur est monté sur un BoB (**figure 4**), de même que les résistances de rappel pour le bus I²C. La tension d'alimentation varie

de 3,3 à 5 V.

Valeurs indicatives : 0,001 à 0,02 lx pour la nuit, 500 à 25 000 lx pour un ciel couvert, et 50 000 à 100 000 lx pour une journée ensoleillée.

Direction et vitesse du vent

Nous expliquons brièvement dans un cadre séparé comment ces deux valeurs sont obtenues à l'aide de deux capteurs de pression différentielle.

La plage de mesure est l'élément essentiel pour le choix du capteur. Le **tableau 1** reprend les vitesses de vent courantes dans nos régions. Si nous considérons une vitesse de 20 m/s pour une tempête moyenne et une masse

Intermède : « Éole, ce fils de Poséidon... »

La plupart des anémomètres pour la maison ou le jardin utilisent une espèce de rotor avec des coupelles (par ex. des balles de tennis de table coupées en deux) pour mesurer la vitesse, et un fanion ou une girouette pour la direction ; bref, des pièces mobiles. À notre époque, où microcontrôleur et logiciel règnent en maître absolu, l'électronicien amateur a horreur de la mécanique ; il nous fallait donc trouver une solution à ce problème.

Cette solution saute aux yeux quand on réfléchit à ce qui maintient un avion en l'air. L'aile d'un avion est plus courbée sur le dessus que sur le dessous. Dans un même laps de temps, l'air sur le dessus de l'aile doit parcourir un trajet plus long, et il en résulte une différence de pression (elle est plus faible sur le dessus de l'aile). Cette différence de pression induit une force vers le haut, qui maintient l'avion en l'air. Ce principe a été formulé au 18^e siècle par Daniel Bernoulli.

Le tube de Pitot [11], utilisé en aéronautique pour mesurer la vitesse de l'air, repose sur un principe identique. La pression d'un fluide en mouvement, l'air par exemple, est mesurée face au flux et perpendiculairement à l'écoulement du fluide. La différence de pression permet de calculer la vitesse d'écoulement du fluide, en m/s, à l'aide de la formule établie par Bernoulli :

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

Δp est la différence de pression, et ρ la masse volumique du fluide (1,3 kg/m³ pour l'air).

Pour un anémomètre statique, c'est-à-dire sans pièces mobiles, nous utilisons un cylindre vertical autour duquel l'air s'écoule, comme représenté en **figure 5**.

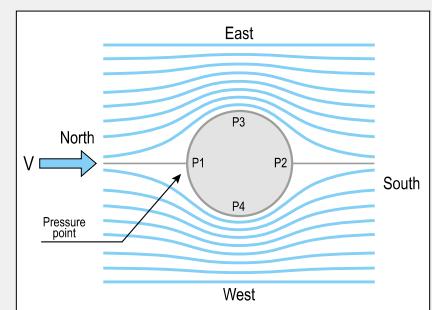


Figure 5. Écoulement de l'air autour d'un cylindre.

Deux capteurs de pression différentielle sont montés à l'intérieur du cylindre. Nous avons donc quatre points de mesure, P1 à P4, qui permettent la mesure de la différence de pression entre P1 et P2 d'une part, P3 et P4 d'autre part.

Pour obtenir la direction du vent, on compte pendant un intervalle de temps constant combien de fois la pression maximale apparaît à chaque point. Le calcul de la moyenne permet de déterminer la direction.

Tableau 1 : vitesse du vent

vent violent à tempête	> 17 m/s
fortes bourrasques	14 à 17 m/s
forte brise	10 à 14 m/s
brise fraîche	8 à 10 m/s
brise légère à modérée	1,5 à 8 m/s
très légère brise	0,3 à 1,5 m/s
calme	0 à 0,2 m/s



Figure 6. Le capteur de pression différentielle SDP600/610-125Pa.

volumique de l'air (ρ) de $1,3 \text{ kg/m}^3$, la formule de l'encadré nous donne une différence de pression de 260 Pa . En théorie, le capteur devrait donc au moins pouvoir mesurer cette différence de pression. Comme les tempêtes ne sont heureusement pas trop fréquentes sur la majeure partie de notre territoire, nous avons choisi le SDP600/610-125Pa de Sensirion [6], qui peut mesurer une différence maximale de 125 Pa . La précision de ce capteur est cependant meilleure. La tension d'alimentation est de $3,3 \text{ V}$, et les données sont transmises via le bus I²C, mais il y a un hic : le fabricant a fixé l'adresse du capteur à $0x40$ (valeur

hexadécimale). Or nous avons besoin de deux capteurs ; nous devrions alors utiliser deux bus I²C, ce qui n'est guère pratique. Heureusement pour nous, l'adresse se trouve dans une mémoire EEPROM interne, et le fabricant nous a aimablement expliqué comment la modifier (ce qui annule la garantie...). Nous avons fixé l'adresse d'un des deux capteurs à $0x21$. Vous pouvez vous aussi demander au fabricant la procédure à suivre. Il suffit d'exécuter une routine avec un seul des deux capteurs connecté ; celle-ci est contenue dans le programme *weerstation.py* qui est disponible sur la page du projet [7].

Ce capteur ne possède pas les résistances de rappel pour le bus I²C, il faut les ajouter.

Les grandeurs dérivées

Jusqu'à présent, notre station météo n'est en rien différente de ce que l'on peut trouver dans le commerce ; nous ne mesurons que les grandeurs habituelles : température, humidité, pression atmosphérique, luminosité, vitesse et direction du vent. Ce qui rend notre projet intéressant, c'est le calcul de quelques valeurs dérivées moins connues.

Point de rosée

Le point de rosée est la température à laquelle l'air est saturé d'humidité. C'est un paramètre appréciable en météorologie ; il permet d'estimer la couverture nuageuse, le risque de brouillard, et le risque de formation de glace, ce qui est important pour le trafic aérien. Une valeur élevée du point de rosée indique également un plus grand risque d'orage. Le point de rosée peut être calculé à partir des valeurs de l'humidité relative et de la température de l'air, comme expliqué sur Wikipédia [8].

Température ressentie ou indice de refroidissement éolien (ou facteur vent)

Il y a température et température : il y a la valeur mesurée avec un thermomètre, et puis il y a celle que nous ressentons. La différence entre ces deux températures peut être significative ; avec un vent fort et une humidité relative élevée, une température de -3°C peut être ressentie comme -10°C , voire encore moins !

L'indice de refroidissement éolien, aussi appelé facteur vent, est calculé à partir des valeurs de l'humidité relative et

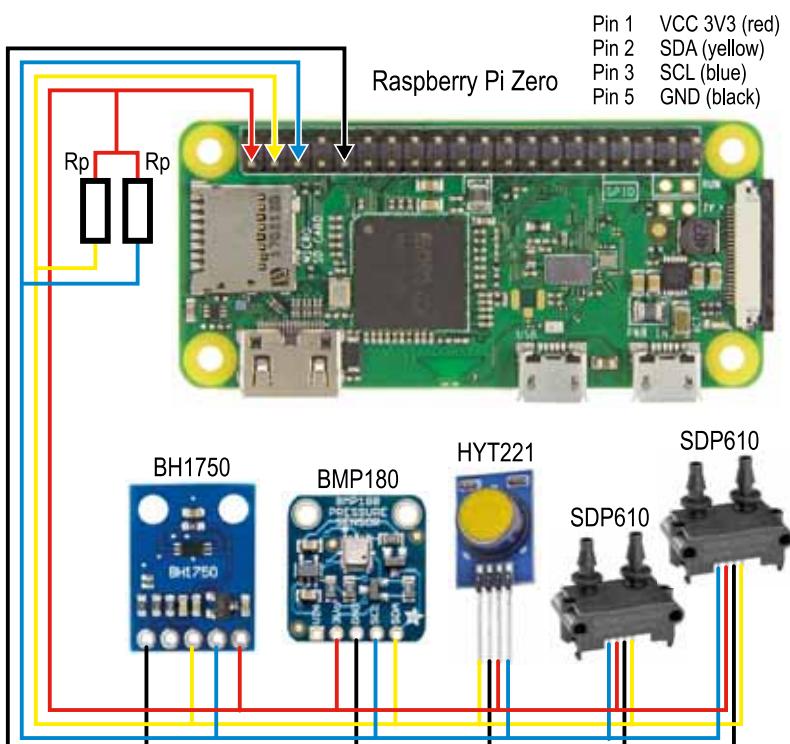


Figure 7. Connexion des capteurs au RPi Zero W via un bus à quatre fils.

Tableau 2 : composants I²C et leur adresse

composant	adresse (hexa)	fonction
BMP180	0x77	capteur de pression
HYT221	0x28	capteur de température et d'humidité
SDP01	0x40	capteur de pression différentielle 1
SDP02	0x21	capteur de pression différentielle 2
BH1750	0x23	capteur d'éclairement lumineux

de la vitesse du vent. Il existe plusieurs modèles pour ce calcul, nous avons choisi celui du service météo australien [9].

Hauteur des nuages

La hauteur des nuages est aussi une donnée importante : plus ils sont bas, plus le risque de précipitations est élevé ; les agriculteurs l'ont d'ailleurs toujours su... Météo France explique comment calculer cette hauteur à partir des valeurs de la température de l'air et du point de rosée [10].

L'électronique

Si nous considérons le RPi et les capteurs comme des boîtes noires, il n'y a pas grand-chose à dire sur l'électronique.

La **figure 7** reprend schématiquement l'ensemble du montage : un RPi Zero W, les capteurs, et un bus à quatre fils (deux pour l'I²C et deux pour l'alimentation). Nous n'avons pas repris l'alimentation du RPi sur ce schéma, on peut utiliser un chargeur/adaptateur USB relié au connecteur d'alimentation de la carte (en bas à droite sur la photo de la figure 1). Les deux résistances R_p sont les résistances de rappel vers le haut des capteurs de pression différentielle. La **figure 8** montre le prototype de l'auteur, installé dans un petit boîtier en plastique. Le câble d'alimentation passe par un serre-câble à étrier. Il en va de même pour le câble UTP à quatre fils de l'anémomètre, qui sur ce prototype a une longueur de 5 m ; cela ne pose pas de problème pour la transmission des données, et permet l'installation des capteurs sur le toit.

Le **tableau 2** reprend les adresses I²C des différents capteurs.

Le montage

Pour le montage de l'anémomètre, il faut faire preuve d'un peu d'ingéniosité. L'auteur a utilisé un tube en PVC de 10 cm de diamètre, dans lequel il a percé quatre trous, aux quatre points cardinaux. Des morceaux de tuyau flexible, par ex. celui utilisé pour une pompe d'aquarium, sont collés au tube en PVC et connectés aux ouvertures des capteurs de pression différentielle. La **figure 9** montre le résultat final. Les dessus et dessous du tube doivent bien entendu être étanches, afin de protéger l'électronique ; les extrémités des morceaux de tuyau doivent aussi être protégées des insectes, qui pourraient s'y installer, par exemple avec de la gaze. En tout cas, les bricoleurs peuvent s'en donner à cœur joie.

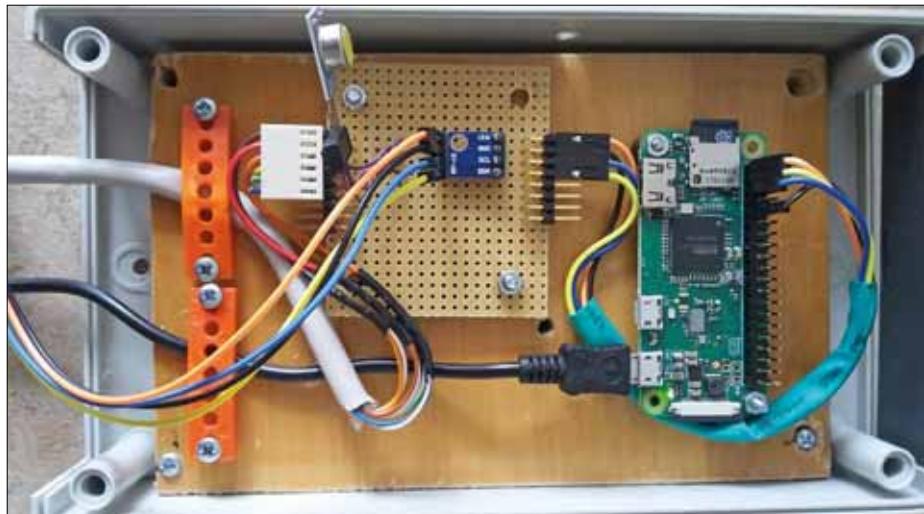


Figure 8. Le prototype de l'auteur.



Figure 9. Le capteur éolien dans son élément, au-dessus du toit.



Figure 10. Page web avec les résultats des mesures.

Le micrologiciel

Le micrologiciel de la station météo comporte deux parties. Tout d'abord le programme *weerstation.py*. Celui-ci est écrit en Python, ce qui est pratique, puisque *Python 2.6* est partie intégrante de la distribution Linux Jessie du RPi Zero. Le programme collecte les données des capteurs toutes les dix minutes, exécute les calculs nécessaires, et entrepose les résultats dans une base de données MySQL.

La deuxième partie du micrologiciel est un script combiné HTML et PHP. Celui-ci tourne sur le serveur Apache du RPi Zero, lit les données de la base de données et les présente sur une page web (exemple en **figure 10**).

Cela n'aurait aucun sens de reproduire le code du micrologiciel ici, vous pouvez le télécharger en quelques clics de souris. Le programme est convenablement structuré et se passe de commentaires.

Nous ne citerons que les bibliothèques utilisées par *weerstation.py* :

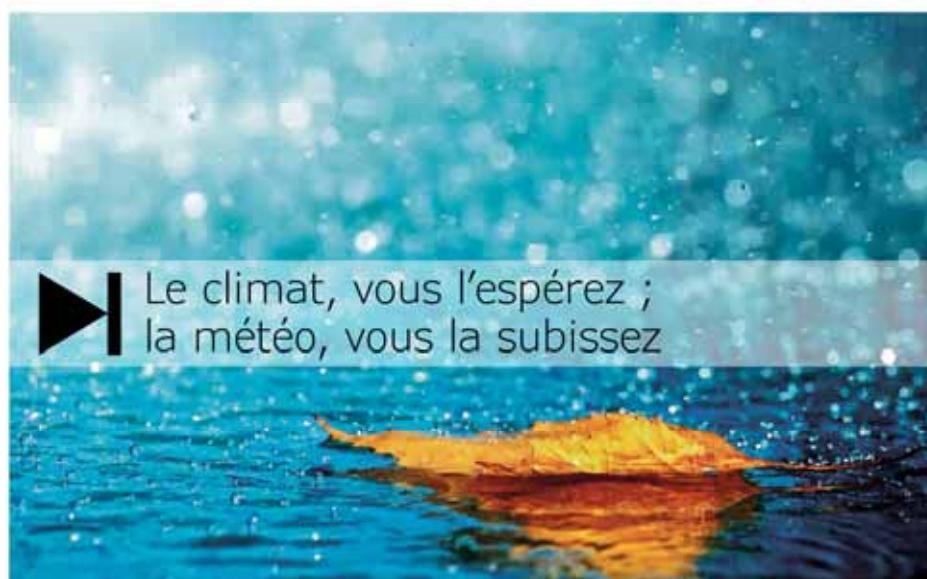
```
import MySQLdb as mdb
import sys
import time
import os
import smbus
from ctypes import c_short
import math
```

Conclusion

Ce projet ne sera pas proposé sous forme d'un kit prêt à l'emploi, c'est plutôt une source d'inspiration pour les lecteurs qui souhaitent réaliser un projet semblable. Nous serions heureux de recevoir vos remarques et suggestions. N'hésitez pas à nous présenter vos réalisations de station météo. ↵

(160566 – version française : Jean-Louis Mehren)

La page web *ws.php* (voir dossier de téléchargement) est publiée par le serveur Apache installé sur le RPi Zero. Chez l'auteur, le RPi Zero est relié au réseau local de la maison ; ainsi les données de la station météo sont consultables sur tous les appareils connectés au réseau. La page peut aussi être publiée sur internet via le routeur.



Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/160451
- [2] learn.sparkfun.com/tutorials/bmp180-barometric-pressure-sensor-hookup
- [3] www.elektor.fr/bme280-mouser-intel-i2c-version-160109-91
- [4] www.farnell.com/datasheets/1643979.pdf
- [5] domoticx.com/esp8266-wifi-lichtintensiteit-sensor-bh1750-gy-302-nodemcu
- [6] www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-differential-pressure-sensors-without-zero-point-drift
- [7] www.elektormagazine.fr/160566
- [8] fr.wikipedia.org/wiki/Point_de_rosée
- [9] www.bom.gov.au/info/thermal_stress/?cid=003bl08
- [10] www.meteofrance.fr
- [11] fr.wikipedia.org/wiki/Tube_de_Pitot
- [12] www.elektor.fr/raspberry-pi-zero-w-starter-kit

