

Le Raspberry Pi : un nano-ordinateur au service de la science et de l'enseignement

Julien Cartailier¹, Richard Rocca-Poliméni¹

Résumé. Dans le cadre de la veille technologie au sein de l'équipe de recherche CALIPRO (construction de la qualité des aliments par la chimie et le procédé), membre de l'UMR 1145 Ingénierie Procédés Aliments (composée de cinq équipes basées principalement sur le site de Massy de l'école d'ingénieur AgroParisTech), plusieurs Raspberry Pi ont été achetés. Un Raspberry Pi est un nano-ordinateur qui nous a permis de développer différents dispositifs à faible coût (25€) et faible encombrement (taille d'une carte de crédit) autant pour la recherche scientifique que pour l'enseignement. Par exemple, il peut être utilisé comme centrale d'acquisition (tensions, courants, températures), ou système déporté pour le contrôle/commande et la visualisation de dispositifs expérimentaux, ainsi que comme client vocal pour les applications code-barres. L'intérêt de cet ordinateur repose principalement sur sa polyvalence, sa rapidité d'acquisition, ses possibilités d'interfaçage avec d'autres matériels ou cartes d'extension ainsi que sa capacité à être, au besoin, indépendant du réseau électrique et de l'Internet filaire (fonctionnement sur piles ou batteries grâce à sa faible consommation d'énergie, dispositif wifi, etc.).

Mots clés : instrumentation, nano-ordinateur, acquisition, interface

Introduction

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur monocarte caractérisé, entre autres, par une très petite taille et un faible coût (prix moyen suivant les versions : environ 30 €). Il a été créé par David Braben, dans le cadre de sa fondation Raspberry Pi, dans le but initial d'encourager l'apprentissage de la programmation informatique à l'école. Il est fourni nu (carte mère avec un processeur, une RAM et un port GPIO sans boîtier, ni alimentation, ni clavier, ni souris, ni écran) afin de diminuer au maximum les coûts et de permettre l'utilisation de matériel de récupération. Le 17 février 2015, la fondation annonçait avoir vendu plus de 5 millions de Raspberry Pi, tous modèles confondus.

Le Raspberry Pi

Caractéristiques techniques

Jusqu'en juillet 2014, les deux modèles principaux étaient le Raspberry Pi A (**Figure 1**) et le Raspberry Pi B (**Figure 2**) ayant les caractéristiques générales suivantes : un processeur ARM1176JZF-S de 700 MHz Broadcom, une RAM de 256 Mo pour le modèle A et 512 Mo pour le modèle B, une unité de lecture-écriture de carte mémoire, une carte graphique Broadcom VideoCore IV et une interface API logicielle vidéo (OpenGL). Les dimensions sont proches d'une carte de crédit (85,60 mm × 53,98 mm × 17 mm) pour une de 45 g voire même réduites pour le modèle A+ (65 mm × 53,98 mm × 17 mm ; masse : 23 g).

Les systèmes d'exploitation compatibles avec Raspberry Pi / ARM incluent diverses distributions Linux dont la version Debian dédiée et nommée Raspbian qui est celle que nous avons choisie d'utiliser.

1. INRA, UMR1145, Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech., Université Paris-Saclay, F - 91300 Massy, France
julien.cartailier@agroparistech.fr

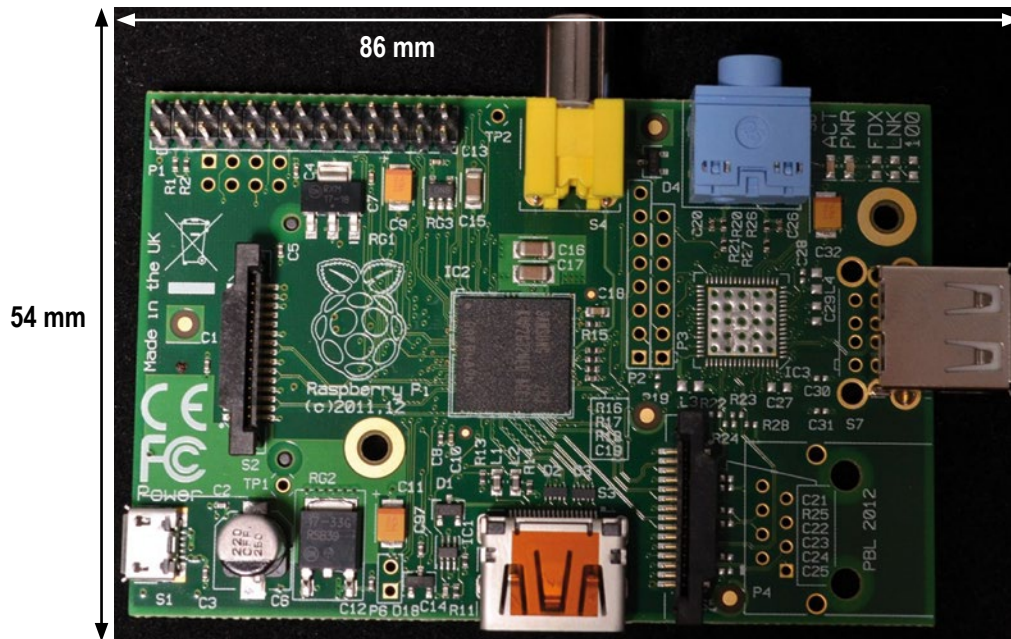


Figure 1. Photographie d'un Raspberry Pi modèle A.

Source : <http://www.raspberrypi.org/>

Les périphériques

Le modèle B (**Figure 2**), qui est le plus utilisé, dispose comme périphériques, de deux sorties vidéo (RCA et HDMI), d'une sortie audio, d'un lecteur de carte mémoire (SD), de deux ports USB (un seul pour le modèle A), d'un port réseau RJ45 (qui n'est pas présent pour le modèle A), et surtout de 26 broches entrées / sorties (GPIO) accessibles directement sur la carte mère.

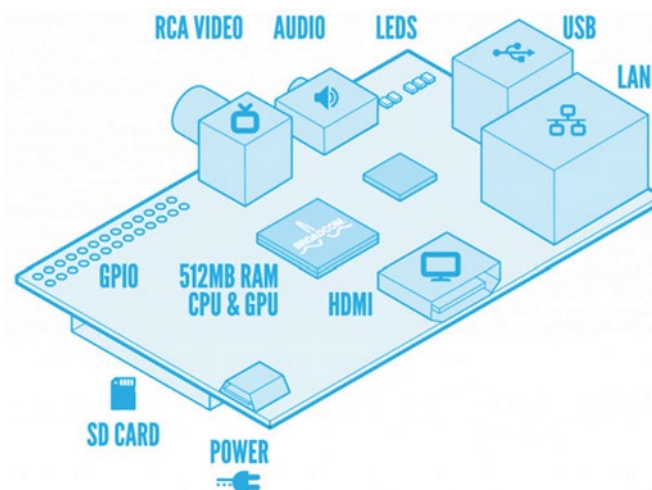


Figure 2. Schéma des périphériques du Raspberry Pi modèle B.

Source : <http://www.ipatx.eu/>



Le port GPIO

Le port GPIO (General purpose input/output) offre un accès direct à l'alimentation en 5 V ou 3,3 V (quatre broches + cinq broches de masse), la communication série synchrone (SPI et I²C), la communication série asynchrone (RS232) et à des entrées/sorties à usage général (huit broches) (**Figure 3**). Chacune de ces broches peut être configurée pour jouer le rôle d'une entrée (réception d'un signal) ou d'une sortie (émission d'un signal). En revanche, le GPIO ne peut traiter que des signaux numériques de 0 à 3,3 V. Pour le traitement d'un signal analogique, il faudra utiliser un convertisseur analogique numérique (CAN) comme le MCP3008 par exemple.

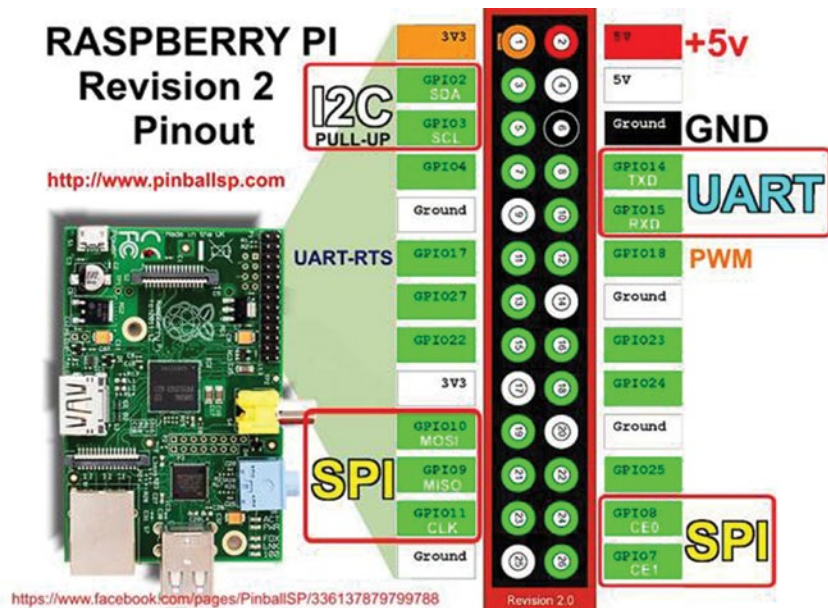


Figure 3. Configuration des entrées / sorties du Raspberry Pi modèle B.
Source : <http://www.pinballsp.com/>

Les intérêts scientifiques

Le premier intérêt scientifique du Raspberry Pi réside dans le fait que le Raspberry Pi est un vrai ordinateur : donc, en plus des capteurs physiques connectables, il est possible de rajouter des capteurs logiciels aussi complexes que nécessaires car la capacité de calcul du Raspberry Pi est assez grande. De plus, il peut faire des opérations purement informatiques comme des mails, et récupérer des informations sur le réseau. Enfin, on peut ajouter des périphériques grâce aux ports USB intégrés sur la carte.

Le deuxième intérêt scientifique est sa rapidité d'acquisition : pour la vérifier, nous avons mesuré la tension de réseau électrique 50 hz avec un convertisseur 220 V – 3 V redressé (**Figure 4**). Six mille points par seconde ont été acquis soit une période de 166 μ s. Sur la courbe, nous remarquons que les points sont bien répartis, excepté à un endroit dû au fait que le Raspberry Pi réalise d'autres tâches en même temps. Pour régler ce problème il existe des systèmes d'exploitation « temps réel ».

De plus, la consommation d'énergie d'un Raspberry Pi est très faible. En effet, sa puissance est au maximum de 5 W. Nous avons d'ailleurs réussi, en enlevant les périphériques, à réduire l'intensité jusqu'à 600 mA, en alimentant le Raspberry Pi en 3,3 V en passant directement par le GPIO. Ainsi, sa consommation minimale est de 2 W.

Pour finir, sa faible consommation lui permet d'être indépendant du réseau électrique, mais aussi, du réseau Internet filaire grâce à un dongle wifi ou une clé 3G.

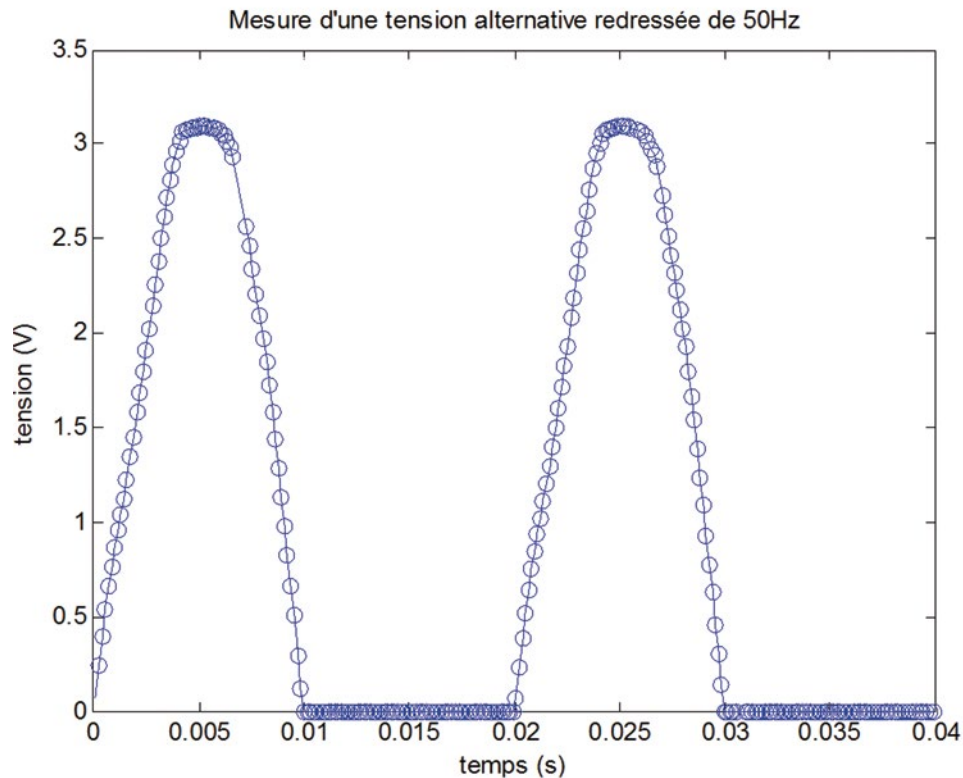


Figure 4. Courbe d'acquisition d'une tension alternative de 50 Hz redressée sur le MCP3008.

Exemples d'applications

Une centrale d'acquisition économique

Pour l'acquisition de signaux analogiques, nous avons utilisé un convertisseur numérique / analogique (CNA) : le MCP3008. Ce composant utilise quatre broches de communication série synchrone SPI du Raspberry Pi et lui rajoute huit entrées analogiques. La résolution est alors de 10 bits (cependant il existe des convertisseurs à 16 bits tel que le AD7706).

Pour utiliser facilement le Raspberry Pi comme une centrale à bas coût, nous avons fait créer des cartes électroniques prototypes sur lesquelles nous n'avons plus qu'à brancher nos capteurs analogiques (**Figure 5**). Le coût total revient alors à environ 50 € (Raspberry Pi : 25 €, MCP3008 : 5 €, platine : 15 €).

En parallèle nous avons développé des clients en langage TCL (tool command language) (voir § ci-après) pour visualiser à distance les mesures des capteurs sur n'importe quel ordinateur relié au Raspberry Pi via le réseau. Nous avons utilisé ce dispositif pour remplacer, par exemple, une solution d'acquisition NI (national instrument) de surveillance de chambres froides avec des sondes platines Pt100, ou pour récupérer le signal 0 – 5 V d'un pH-mètre.



Le Raspberry Pi comme un ordinateur

Le Raspberry Pi peut être utilisé comme un ordinateur peu encombrant et économique pour acquérir les données d'une centrale reliée par un câble RS232 ou directement par une prise Ethernet. Dans le cas d'une communication RS232, comme le Raspberry Pi ne dispose que d'une connexion « RS232 logiciel » via son port GPIO, nous avons développé une platine qui fait la conversion RS232 matériel/RS232 logiciel (**Figure 6**) à l'aide d'un convertisseur MAX3232. Le coût de mise en place est d'environ 50 € (Raspberry Pi : 25 €, MAX 3232CPE : 5 €, platine : 15 €). Cette application a été très utilisée pour surveiller des expérimentations à distance comme le suivi des températures et des flux dans un four domestique pendant la cuisson de pâtes alimentaires.

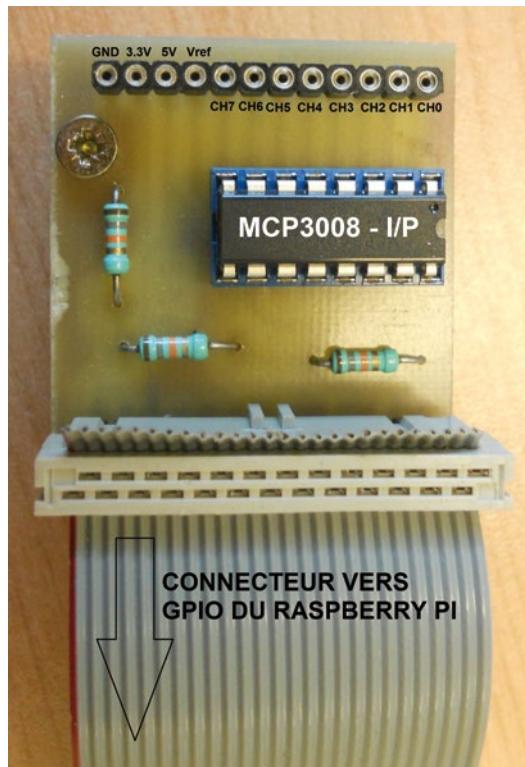


Figure 5. Platine de connexion entre le Raspberry Pi et les capteurs (photo : J. Cartailier).



Figure 6. Platine de connexion entre le Raspberry Pi et une centrale d'acquisition (photo : J. Cartailier).

La **Figure 7** présente une platine complète combinant les usages décrits ci-dessus et attribuant donc au Raspberry Pi une connexion « RS232 matériel » et huit entrées analogiques.

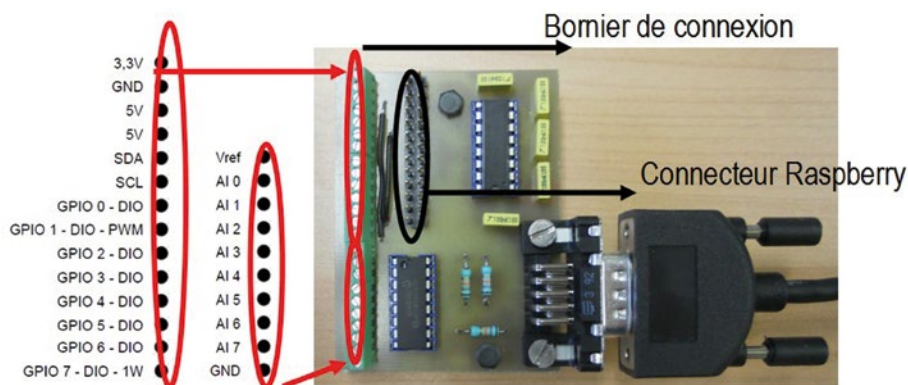


Figure 7. Platine complexe pour le Raspberry Pi (photo : J. Cartailier).

Clients vocaux de scannage de code-barres

Grâce au Raspberry Pi, sa sortie son et ses ports USB, nous avons pu miniaturiser les clients vocaux de notre application de gestion de produits chimiques décrite dans une précédente publication (Cartailier et Rocca-Poliméni, 2013).

Application pour travaux pratiques sur la régulation

Cette application a été développée pour des travaux pratiques sur la régulation, inclus dans le cursus de formation des ingénieurs d'AgroParisTech (Figure 8). Il s'agit d'une platine comportant une résistance parcourue par un courant constant collée à un capteur de température, et un ventilateur qui permet la régulation de la température. On utilise la fonction PWM (pulse width modulation) du GPIO du Raspberry Pi pour commander la vitesse du ventilateur. Le capteur est un capteur numérique 1-Wire (réf : DS18B20) relié directement au GPIO et dont le signal est converti de façon logicielle par le Raspberry Pi pour obtenir la valeur en température.

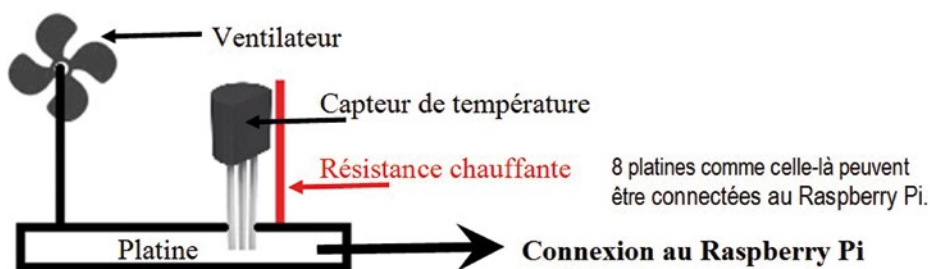


Figure 8. Schéma de fonctionnement de l'application des TP régulation.

Clients développés

Lorsqu'un Raspberry Pi est utilisé pour acquérir des données, il est complètement autonome pour cette tâche. Pour cela, il utilise un programme d'acquisition unique (voir ci-dessous) développé en interne et paramétré par un fichier de configuration lié au dispositif d'acquisition. Ce fichier de configuration inclut, par ailleurs, les coefficients d'étalonnage.



Client acquisition

Le client acquisition (**Figure 9**) qui se trouve sur le Raspberry Pi réalise les tâches essentielles d'une centrale d'acquisition, c'est-à-dire qu'il envoie les instructions nécessaires et reçoit les données souhaitées suivant le fichier de configuration fixant la fréquence d'acquisition. Il stocke ces données dans sa mémoire et enfin, il met à disposition ces données via son serveur web aux clients déportés.

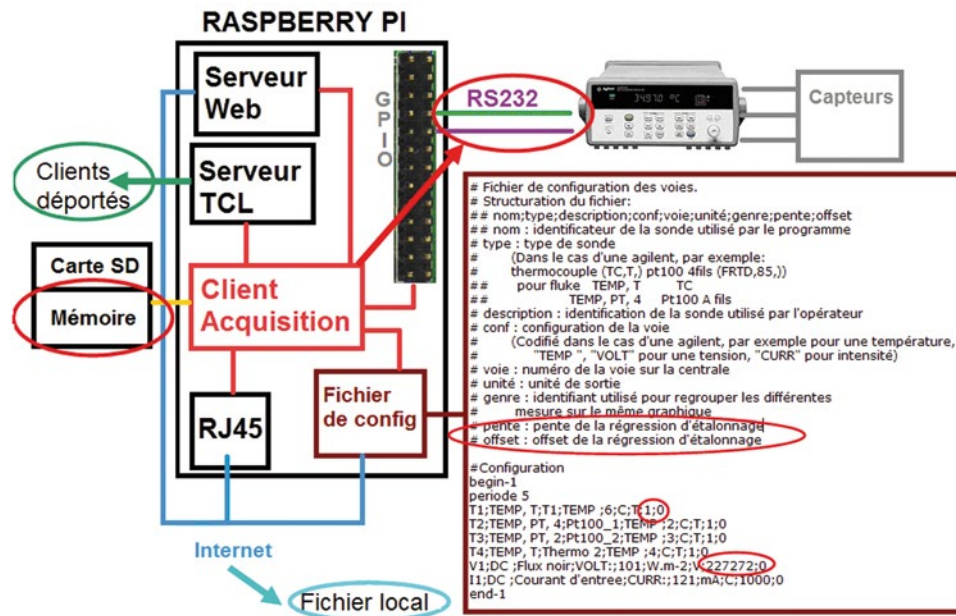


Figure 9. Schéma de fonctionnement du client acquisition.

Client visualisation

Le client visualisation (**Figure 10**) permet quant à lui de visualiser les valeurs d'une expérience en cours, de manière déportée (c'est-à-dire sur un ordinateur relié au Raspberry Pi par le réseau). Il est composé de trois groupes de fenêtres. La première, nommée « Acquisition », permet de lancer l'expérience, de l'arrêter mais aussi de quitter le client sans arrêter l'expérience et de mettre à jour les données. La deuxième est composée des dernières valeurs instantanées relevées et des calculs effectués par le Raspberry Pi, en fonction de son fichier de configuration. La troisième sert à visualiser le ou les graphiques triés par type de mesure (température, flux...) suivant le fichier de configuration et représentant toutes les valeurs stockées dans la mémoire du Raspberry Pi. Les graphiques sont ainsi réalisés localement, ce qui permet de ne pas saturer la mémoire du Raspberry Pi. Toutes les valeurs sont enregistrées sur le Raspberry Pi et consultables via le web à l'adresse donnée sur la fenêtre « Acquisition ».

Le client de visualisation peut comporter d'autres boutons sur sa fenêtre « Acquisition » dans le cas d'expériences nécessitant des systèmes de contrôles/commandes plus avancés (exemple TP sur la régulation cf. § ci-dessus).

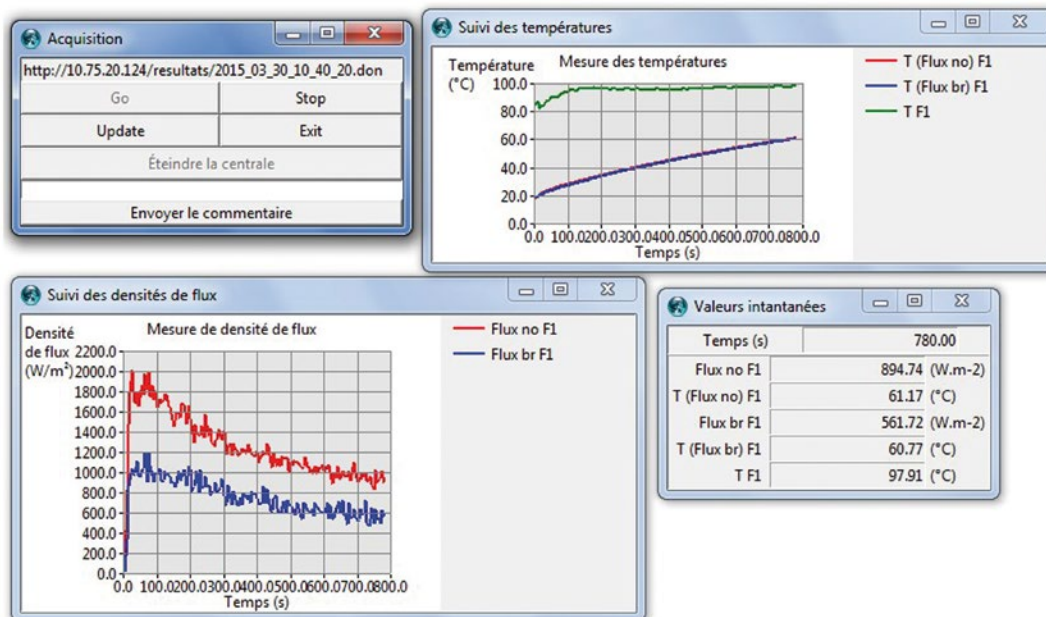


Figure 10. Fenêtres du client visualisation.

Conclusion et perspectives

Nous disposons d'environ 20 Raspberry Pi en fonctionnement dans l'école pour plusieurs utilisations dont principalement :

- ✓ quatre travaux pratiques du cursus ingénieur,
- ✓ la surveillance des chambres froides (-20°C et 4°C),
- ✓ la gestion des produits chimiques par système code-barres,
- ✓ un dispositif de contrôle des pipettes,
- ✓ plusieurs dispositifs pour la recherche : mesure de température dans des produits céréaliers pendant la cuisson dans un four industriel, mesure de flux thermique dans un four de cuisson et dans un dispositif de cuisson par contact, récupération des données de plusieurs pH-mètres en ligne.

A l'avenir, nous souhaitons développer l'aspect sans fil du Raspberry Pi, en remplaçant le wifi par un téléphone portable avec l'envoi de SMS pour des alertes et également l'envoi de données par GPRS ou 3G.

La deuxième évolution à court terme est de remplacer le Raspberry Pi B par le modèle B+ qui possède un port GPIO étendu à 40 broches (pour 16 entrées/sorties numériques) et quatre ports USB au lieu de deux (**Figure 11**). Par ailleurs, son alimentation a été améliorée, ce qui lui permet de consommer encore moins d'énergie et d'être plus stable.

Enfin, nous avons le projet de développer une centrale embarquée pour mesurer des flux de chaleur en ligne dans un four de cuisson industriel : pour ceci nous allons utiliser un Raspberry Pi alimenté par des piles et relié à une centrale d'acquisition TC-08 de chez Pico Technology. Les données seront sauvegardées sur la carte SD ce qui permettra de le rendre autonome. De plus, nous allons utiliser un bouclier thermique pour protéger le Raspberry Pi ainsi que la centrale durant la cuisson qui dure environ 1 h.



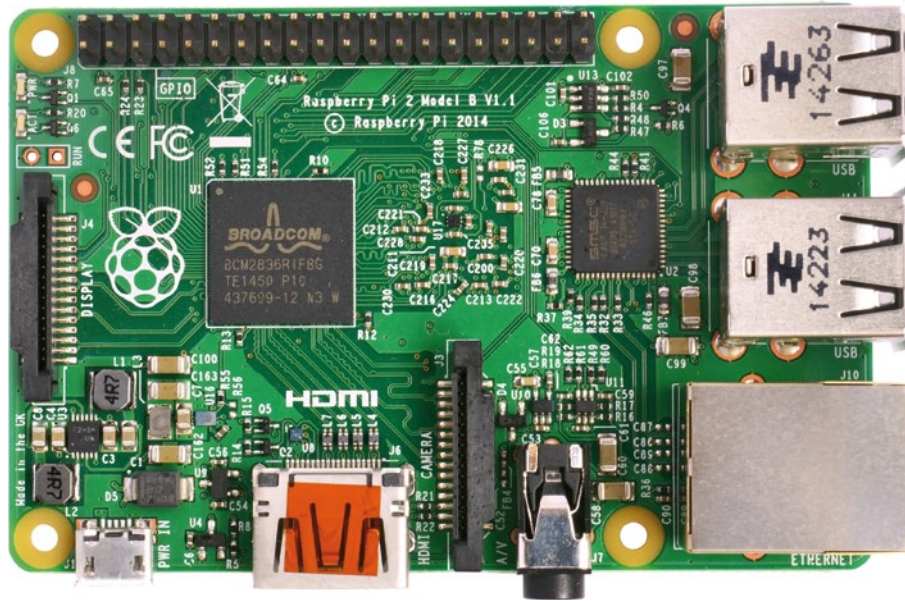


Figure 11. Photo d'un Raspberry Pi modèle B+.
Source : <http://en.wikipedia.org/>

Références bibliographiques

Cartailler J, Rocca-Poliméni R (2013) Mise en place d'une gestion de produits chimiques par code-barres. *Le Cahier des Techniques de l'INRA* 80 : n°3.