

# Des mesures sans fil avec son smartphone

par **Jacques VINCE**

Lycée Ampère - 69002 Lyon

Enseignant associé à l'IFé-ENS de Lyon - 69007 Lyon

[jacques.vince@ac-lyon.fr](mailto:jacques.vince@ac-lyon.fr)

**Frédéric BOUQUET, Julien BOBROFF, Gautier CREUTZER**

Université Paris-Saclay - CNRS

Laboratoire de physique des solides - 91405 Orsay

[frederic.bouquet@universite-paris-saclay.fr](mailto:frederic.bouquet@universite-paris-saclay.fr)

[julien.bobroff@universite-paris-saclay.fr](mailto:julien.bobroff@universite-paris-saclay.fr)

[gautier.creutzer@student-cs.fr](mailto:gautier.creutzer@student-cs.fr)

**Dominik DORSEL**

Institute of Physics I and II - RWTH Aachen University

52062 Aachen (Allemagne)

[dorsel@physik.rwth-aachen.de](mailto:dorsel@physik.rwth-aachen.de)

**C**ET ARTICLE propose aux enseignants de physique-chimie et plus généralement à tous les personnels impliqués dans la formation en sciences expérimentales une solution pratique pour élargir l'usage actuel des smartphones comme instruments de mesure. Il s'agit ici de déléguer l'acquisition à un microcontrôleur qui communique avec le smartphone. La simplicité de la prise en main et les possibilités d'adaptation permettent d'entrevoir des possibilités pédagogiques nouvelles, dont certaines sont évoquées et discutées.

## INTRODUCTION

L'usage du smartphone en physique et en chimie est en forte progression, tant dans l'enseignement secondaire que dans le supérieur. Son utilisation pour faire de la physique en classe a d'abord été confidentielle, initiée par quelques pionniers<sup>(1)</sup>. L'usage tend maintenant à se populariser, du fait de retours d'expériences nombreux, d'une grande variété d'expériences bien documentées (par exemple [1-2]), d'un taux d'équipement des élèves en augmentation (qui frôle 100 %), et de l'impulsion donnée par la présence explicite de l'expérimentation *via* smartphone dans les programmes de physique-chimie du lycée depuis la rentrée 2020.

(1) On peut ici mentionner, sans viser l'exhaustivité, quelques enseignants qui, en France, font figure de pionniers sur le sujet : Joël Chevrier dans le supérieur, Philippe Jeanjacquot pour le secondaire, mais également Ulysse Delabre qui a publié un ouvrage qui fait référence sur le sujet.

De fait, le smartphone comme instrument de mesure et d'investigation en cours de physique-chimie présente de nombreux avantages : les élèves maîtrisent les principales fonctionnalités de leur appareil, il est toujours disponible et portable, il permet d'enregistrer facilement des données et de les partager. Ces dernières années, de nouvelles applications gratuites sont en effet dédiées à ces usages, en constituant de bonnes interfaces pour les mesures scientifiques : on peut évidemment citer *Phyphox*<sup>(2)</sup>, la plus connue de toutes (et qui va être utilisée pour les expériences décrites dans cet article), mais l'offre tend à se diversifier et on peut par exemple citer une application plus récente au fort potentiel, *Fizziq*<sup>(3)</sup>. Doté de telles applications, le smartphone permet de nouvelles activités expérimentales qui n'étaient pas ou très difficilement réalisables sans lui. Enfin, et ceci n'a pas été négligeable dans la période récente qui a connu des interruptions parfois longues d'enseignement en établissement, il permet de (re)faire les expériences chez soi. Nous avons justement conçu une série d'énoncés proposant aux élèves de lycée des activités expérimentales avec leur propre smartphone<sup>(4)</sup>.

Une fois les avantages perçus, de nombreuses questions émergent, relevant d'inconvénients qui restent à lever :

- ◆ les élèves risquent d'endommager leur smartphone et il n'est pas toujours facile de prévenir ces risques, surtout dans le cas d'une utilisation autonome ;
- ◆ les capteurs utilisables dépendent du modèle de smartphone, ce qui gêne l'activité commune au sein d'une même classe (par exemple le baromètre n'est pas disponible sur tous les téléphones et les données du capteur de luminosité d'un iPhone ne sont pas accessibles) ;
- ◆ certains capteurs, pourtant essentiels en physique, ne sont pas disponibles sur la plupart des smartphones comme le capteur de température ou d'humidité, mais aussi le voltmètre par exemple.

## 1. LA SOLUTION TECHNIQUE

Nous présentons ici une solution peu onéreuse qui permet de lever en grande partie les trois inconvénients précédents. Le smartphone reste incontournable dans la visualisation et la sauvegarde des données, mais il « délègue » l'acquisition à un petit appareil qui ressemble à une tablette de chewing-gum de 8 cm<sup>2</sup> (45 mm × 18 mm) et qui coûte 25 € !

En effet, il existe des versions très compactes de microcontrôleurs qui intègrent

---

(2) <https://phyphox.org/>

(3) <https://www.fizziq.org/>

(4) Activités expérimentales de physique avec smartphone au lycée :

[https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/projet/tp\\_smartphone\\_en\\_lycee/](https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/projet/tp_smartphone_en_lycee/)

quelques capteurs et qui peuvent communiquer en Bluetooth. Le microcontrôleur que nous avons utilisé est l'*Arduino nano 33 BLE*<sup>(5)</sup> *Sense*. Il contient de nombreux capteurs : accéléromètre, gyroscope, capteur de luminosité, thermomètre, baromètre, magnétomètre, microphone. Comme pour les autres microcontrôleurs il est évidemment possible de mesurer un signal analogique.

Nous avons créé un programme permettant de faire dialoguer ce microcontrôleur avec le smartphone tout en continuant à utiliser l'application *Phyphox* dédiée à l'acquisition de données.



**Figure 1** - Le microcontrôleur *Arduino nano 33 BLE Sense*.

Comme pour tout microcontrôleur *Arduino*, il faut au préalable téléverser un petit script (fourni en ligne avec cet article ou en téléchargement donné en annexe), qui permet au nano arduino de rendre disponibles ses différents capteurs pour *Phyphox*. Ce script permet également de choisir le nom de l'arduino nano pour qu'un smartphone donné puisse s'y connecter (dans le cas où plusieurs arduino nano sont disponibles dans une même pièce). Le microcontrôleur, une fois alimenté par des piles boutons ou par une petite batterie portable (à condition qu'elle ne possède pas une mise en veille automatique), se connecte au smartphone par Bluetooth. Tout se passe alors comme si *Phyphox* fonctionnait maintenant avec de nouveaux capteurs sans fil, qui ne sont donc plus ceux du smartphone !

La procédure d'installation des bibliothèques nécessaires est décrite dans la vidéo accessible *via* le QR code et le lien disponibles en annexe. Ce petit tutoriel permet de se connecter au microcontrôleur et d'ajouter quelques expériences à *Phyphox* en flashant un QR code. Ces expériences permettent de lire et d'afficher les données du nano dans *Phyphox* comme dans n'importe quel capteur du smartphone. Si l'on souhaite aller plus loin, il est même assez facile, au prix de quelques simples lignes de code, d'adapter ces programmes pour créer une expérience personnalisée et adaptée à un usage particulier (capteurs utilisés, données collectées, affichage des représentations graphiques...).

(5) BLE : Bluetooth Low Energy.

Pour protéger le microcontrôleur, nous proposons également un boîtier à imprimer avec une imprimante 3D : vous avez alors en main un mini laboratoire, robuste et compact, dont la seule limitation « physique » sera la distance qui le sépare du téléphone : la communication Bluetooth fonctionne sur environ une dizaine de mètres normalement. Il est également possible d'encapsuler le nano dans une coque en silicone dédiée (et disponible sur le site officiel Arduino<sup>(6)</sup>) en l'alimentant par deux piles (cf. figure 2).



Figure 2 - Différents types de boîtiers et d'alimentation de l'Arduino nano.

## 2. UN FORT POTENTIEL POUR LES USAGES PÉDAGOGIQUES

La solution technique décrite ci-dessus ouvre des possibilités pédagogiques qui n'ont de limite que l'imagination. On cumule en effet ici les avantages de la mesure avec smartphone (disponibilité pour les élèves, portabilité, simplicité d'usage, facilité de mesures, tracés et lectures de données en temps réel...) et de celle d'un microcontrôleur (sur lequel on peut rajouter un capteur externe si besoin) sans les inconvénients de la récupération des données du port série d'un tel microcontrôleur.

Tous les domaines de la physique sont ainsi concernés : mécanique bien sûr, mais également thermodynamique, optique, acoustique... Sans viser l'exhaustivité, nous proposons ci-dessous quelques exemples d'utilisation, dans le secondaire ou à l'université.

### 2.1. Pour des expériences « de cours »

Le professeur peut aisément mener en direct des expériences variées réalisées avec Arduino nano sans mettre en danger, dans le cas de la mécanique, son propre smartphone. De plus, la facilité avec laquelle on peut maintenant « vidéoprojeter » son écran de smartphone permet une visualisation en temps réel des données acquises. Que ce soit pour introduire un nouveau sujet ou pour vérifier la validité d'un modèle ou un résultat théorique établi préalablement, ces expériences captent l'attention et rythment

(6) <https://www.arduino.cc>

les séances. C'est par exemple un moyen commode de donner du sens, dans un premier temps qualitativement, à des notions de mécanique : l'accélération bien évidemment, mais aussi la nécessité d'un repère (comme le smartphone, l'Arduino nano est vu comme un repère orthonormé direct).

On peut ainsi lancer le microcontrôleur vers le haut et suivre en temps réel la valeur de son accélération (allant contre l'idée erronée classique selon laquelle au sommet de la trajectoire l'accélération est nulle). On peut sans risque le lancer contre un obstacle ou le laisser tomber par terre : les mesures de protection n'ont pas à être aussi perfectionnées que lorsqu'on fait la même chose avec son smartphone.



Figure 3 - Les trois axes de l'accéléromètre indiqués sur le boîtier.

Citons un autre exemple comme l'effet d'une trompe à eau : il suffit de glisser l'Arduino nano dans le Büchner et faire afficher la pression au cours du temps. Ou alors, toujours au sujet de la pression, on peut étudier les différents régimes lorsqu'on gonfle un ballon de baudruche, en mesurant l'évolution de la pression à l'intérieur du ballon, ainsi que la lumière perçue (qui va traduire l'évolution de l'épaisseur du ballon). Autant d'expériences qu'il n'est pas possible de réaliser avec son smartphone.

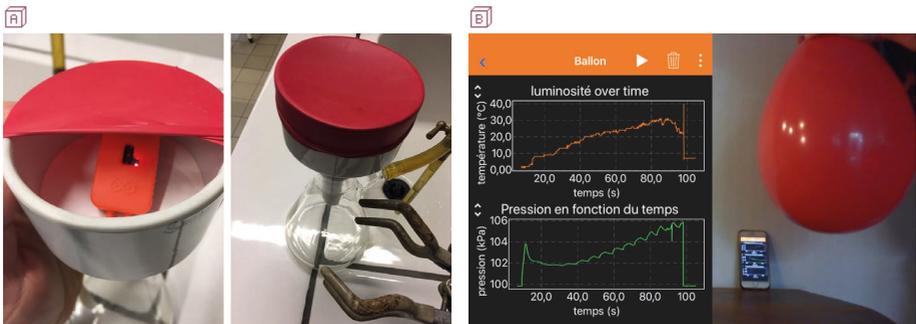


Figure 4 - Quelques exemples d'expériences de cours. [A] le nano est positionné dans le Büchner puis recouvert par une membrane (un morceau de ballon de baudruche convient), on peut alors suivre la pression lors de l'aspiration ; [B] le nano est situé dans le ballon et on suit pression et luminosité au fur et à mesure qu'on gonfle le ballon, jusqu'à son éclatement.

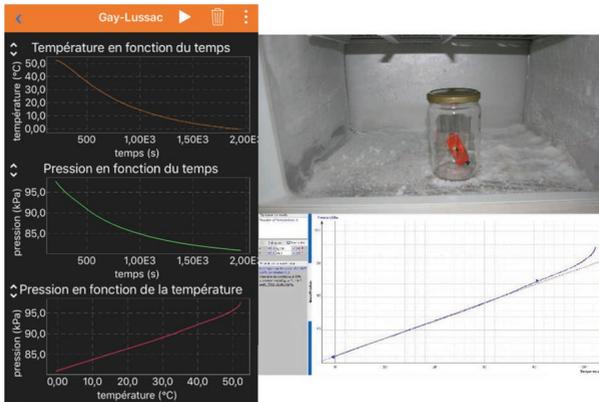
## 2.2. Lors d'activités expérimentales en classe

Une fois que l'enseignant est familier de l'usage pour des démonstrations en classe, il peut inciter ses élèves ou ses étudiants à s'en servir eux-mêmes, chez eux, mais aussi éventuellement en classe. L'utilisation en classe nécessite cependant une certaine vigilance : ce n'est pas tant le prix (compter 30 € en tout par poste) qui limite l'équipement pour plusieurs groupes d'élèves, mais la nécessité de connecter son smartphone à l'Arduino souhaité. Pour ceci, on aura intérêt à limiter le nombre de microcontrôleurs disponibles, mais il faudra surtout, dans le script téléversé nommer chaque microcontrôleur d'un nom spécifique.

Cet usage en classe ne signifie pas, comme habituellement avec un microcontrôleur, câblage complexe et fragile, programmation et difficile lecture de données... Il suffit juste que les élèves alimentent l'Arduino nano et le connectent au smartphone via *Phyphox* : les acquisitions peuvent alors commencer. Les élèves peuvent reproduire les essais qualitatifs évoqués dans la partie précédente, mais peuvent aussi faire des mesures quantitatives : par exemple en mécanique, mesurer la durée d'une chute, une vitesse de rotation, l'accélération en chute, une période d'oscillations ou leur amortissement...

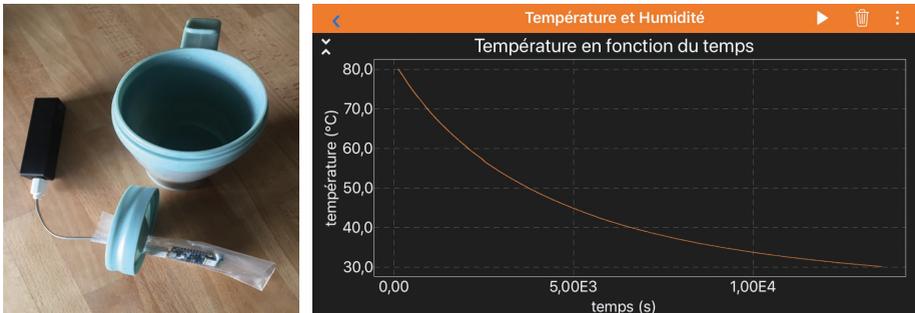
## 2.3. Des expériences « à la maison »

Ce dispositif permet aux élèves de faire des expériences chez eux (à condition de s'être équipés, mais on peut imaginer un système de prêt par l'établissement). C'est évidemment une solution dont certains enseignants auraient aimé pouvoir bénéficier pendant les périodes de confinement de ces dernières années. Mais ce peut être aussi une modalité pédagogique choisie, en particulier dans le supérieur. On évite ici la crainte des dommages que fait peser une préconisation d'utilisation du smartphone en autonomie pour faire des expériences chez soi, en particulier en mécanique. Les étudiants peuvent ainsi faire quelques expériences simples de thermodynamique avec des objets courants. Par exemple, on peut enfermer un Arduino nano dans un récipient hermétique qu'on met au congélateur. Le suivi temporel de la pression et de la température (qui peut être long, mais on peut aller faire autre chose pendant l'acquisition) permet de mettre à l'épreuve la loi de Gay-Lussac et d'estimer la valeur du volume molaire de l'air à température ambiante (lorsqu'on ferme le récipient). La communication Bluetooth permet l'envoi de données à travers le congélateur. Ce type d'expérience permet aussi de discuter de paramètres purement expérimentaux comme l'inertie du thermomètre ou le temps de réponse du baromètre.



**Figure 5** - Test de la loi de Gay-Lussac. Le nano est enfermé dans un récipient étanche à température élevée (ici de l'ordre de 50 °C) puis mis au congélateur. À volume constant, la pression et la température sont sensiblement proportionnelles et la modélisation linéaire permet d'estimer le volume molaire à la température initiale.

On peut enfin tester la loi phénoménologique de Newton (refroidissement conducto-convectif) récemment mis au programme de la spécialité de terminale. Il suffit pour ceci de plonger l'Arduino nano (préalablement mis dans un sac pour l'étanchéifier) dans un récipient cylindrique rempli d'eau chaude (et le plus hermétique possible pour éviter l'évaporation). Mais on peut aussi choisir de brancher un thermomètre étanche à l'Arduino, tout en continuant à lire les données sur le smartphone.



**Figure 6** - Test de la loi phénoménologique de Newton. Le nano doit être situé dans un sac étanche. La durée importante de l'expérience fait qu'il est conseillé d'utiliser une batterie externe pour l'alimentation.

## 2.4. Les projets expérimentaux

Pour finir, remarquons que l'usage du microcontrôleur associé au smartphone

se prête bien à la réalisation de projets en autonomie. On peut en effet envisager de prêter pour quelques semaines un microcontrôleur à un groupe d'élèves pour ses différentes expérimentations que ce soit à l'université ou en CPGE (Classes préparatoires aux grandes écoles) pour les TIPE (Travaux d'initiative personnelle encadrés) ou même en enseignement scientifique au lycée. Cette démarche est pratiquée depuis plusieurs années à l'Université Paris-Saclay, et les étudiants ont pu mener des études portant sur des sujets très variés de physique : loi de Beer-Lambert, instabilités mécaniques, effet magnétocalorique...

## CONCLUSION

Nous avons présenté ici une solution technique qui offre de nombreux avantages : accessible à tous les étudiants, bon marché, portable, simple à mettre en œuvre, peu gourmande en énergie... à l'avenir, et même si les technologies évoluent vite, elle doit permettre de modifier considérablement la façon dont les élèves et étudiants collectent des données expérimentales.

La communauté des utilisateurs enseignants (mais aussi des élèves réalisant des projets) saura exploiter toutes les potentialités d'un tel dispositif. Certains pourront aussi s'en emparer pour travailler des capacités de codages et d'électronique, puisque tous les programmes sont en open source.

## POUR ALLER PLUS LOIN...

- ◆ Des exemples d'expériences adaptées aux programmes du secondaire (dont celles évoquées ici) sont disponibles sur le site *CultureSciences Physique* :

<https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/>

(chercher Arduino dans le champ de recherche).

- ◆ Tous les outils (script arduino, plans 3D pour le boîtier...) pour faire fonctionner un microcontrôleur Arduino nano avec *Phyphox* sont disponible sur le site de *La Physique Autrement* :

[https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/projet/arduino\\_nano/](https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/projet/arduino_nano/)

On y trouve en particulier un tutoriel pour la configuration :

<https://vulgarisation.tiny.us/tuto-nano>

ou avec le QR code ci-contre.

- ◆ Un exemple de script arduino simple à téléverser :

[https://www.prof-vince.fr/arduino/ressources/nano\\_phyphox.ino](https://www.prof-vince.fr/arduino/ressources/nano_phyphox.ino)

et le QR code ci-contre compatible à flasher à partir de *Phyphox*.



- ◆ De nombreuses expériences réalisables avec son smartphone sont décrites, ainsi que des ressources complètes et variées sont disponibles sur le site de *La Physique Autrement* : <https://tinyurl.com/smartphonephysique>

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] U. Delabre, *Smartphonique : expérience de physique avec un smartphone*, Dunod, 2019.
- [2] J. Chevrier, L. Madani, S. Ledenmat and A. Bsiesy, “Teaching classical mechanics using smartphones”, *Phys. Teach.*, vol. 51, p. 376–387, Septembert 2013.
- [3] H. Landspurg, «Quelques utilisations du smartphone en cours de sciences physiques», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 108, n° 965, p. 955–963, juin 2014.
- [4] U. Delabre, N.-A. Goy, A. Grolleau, N. Dufour, M. Lavaud et Z. Denis, «Des travaux pratiques smartphones à l’université», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 112, n° 1003, p. 655–665, avril 2018.
- [5] T. Morisseau, «Applications sonométriques pour smartphones, quelle fiabilité ?», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 112, n° 1004, p. 711–724, mai 2018.
- [6] P. Marchou, R. Mathevet, E. Jammes, C. Fabre, N. Lamrani, S. Martin, J.-P. Castro et S. Staacks, «Une approche quantitative de la loi de Beer-Lambert avec un smartphone - Première partie», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 113, n° 1017, p. 1079–1089, octobre 2019.
- R. Mathevet, E. Jammes, C. Fabre, N. Lamrani, S. Martin, J.-P. Castro, P. Marchou et S. Staacks, «Une approche quantitative de la loi de Beer-Lambert avec un smartphone - Seconde partie », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 113, n° 1019, p. 1357–1366, décembre 2019.
- [7] B. Rafa, «Le smartphone comme laboratoire mobile : un exemple d’utilisation dans la détermination de la période d’un pendule», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 115, n° 1037, p. 893–897, octobre 2021.
- [8] C. Fabre, N. Lamrani, P. Marchou et R. Mathevet, «Pendule à la maison avec un smartphone», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 116, n° 1042, p. 309–323, mars 2022.



**Jacques VINCE**  
Professeur-formateur de sciences physiques  
Enseignant associé à l'IFé-ENS de Lyon  
Lycée Ampère  
Lyon (Rhône)



**Frédéric BOUQUET**  
Enseignant-chercheur  
Université Paris-Saclay - CNRS  
Laboratoire de physique des solides  
Orsay (Essonne)

**Julien BOBROFF***Enseignant-chercheur*

Université Paris-Saclay - CNRS  
Laboratoire de physique des solides  
Orsay (Essonne)

**Gautier CREUTZER***Étudiant en stage à « La physique autrement »*

Université Paris-Saclay - CNRS  
Laboratoire de physique des solides  
Orsay (Essonne)

**Dominik DORSEL***Doctorant*

Institute of Physics I and II  
RWTH Aachen University  
Aachen (Allemagne)