

La smartphonique au service de la photonique

Ulysse DELABRE^{1,2}, Nicolas BRUNI¹, Nicolas-Alexandre GOY¹, Antoine GIROT¹

¹ Université de Bordeaux, CNRS, LOMA, UMR 5798, F-33400 Talence, France

² Université de Bordeaux, CeDS, UR 7440, F-33600 Pessac, France

*ulyse.delabre@u-bordeaux.fr



Les smartphones sont omniprésents et sont aujourd'hui dotés de multiples capteurs. Il devient possible de détourner ces capteurs pour faire des expériences scientifiques – un domaine né il y a quelques années que l'on peut désigner par le terme smartphonique. Nous détaillons ici quelques-unes de ces expériences réalisables avec smartphone initialement dédiées à l'enseignement mais nous montrons aussi quelques utilisations récentes du smartphone en recherche en nous focalisant principalement sur le domaine de l'optique.

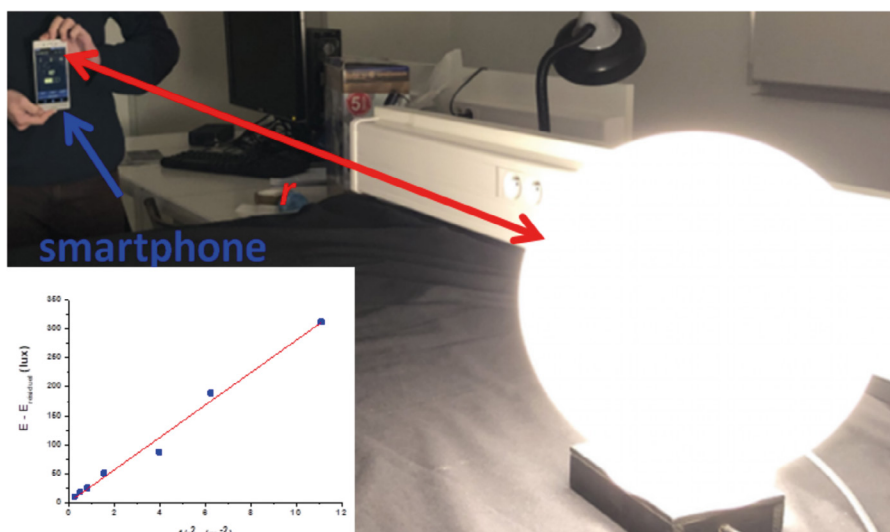
<https://doi.org/10.1051/photon/202211519>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Les smartphones sont des objets de notre quotidien. Nous nous en servons pour communiquer, prendre des photos, nous orienter, etc. Derrière ces fonctions se cachent de multiples capteurs très performants qui font que nos smartphones sont devenus de véritables mini laboratoires scientifiques mobiles. Quand nous tournons nos téléphones, l'écran pivote grâce aux accéléromètres qui mesurent le champ de pesanteur. La localisation dans l'espace s'effectue grâce au GPS mais également grâce à un capteur de pression disponible sur certains smartphones qui est plus précis pour estimer l'altitude. Quand nous approchons le smartphone de notre oreille pour téléphoner, l'écran se désactive pour éviter des

manipulations hasardeuses grâce au capteur infrarouge de proximité. La luminosité de l'écran s'adapte également en fonction de la lumière ambiante grâce au capteur de luminosité. Tous ces capteurs sont dans nos poches. Depuis quelques années, plusieurs applications ont été développées et permettent d'accéder aux données brutes de ces capteurs, ce qui permet de les détourner pour faire des expériences scientifiques. Parmi les applications les plus complètes, on peut citer *Phyphox* [1] conçue par l'Université de Aachen qui est entièrement gratuite et disponible sur iOS et Android. Tout aussi performante, l'application *Physics Toolbox Suite* a été développée aux États-Unis et permet également d'accéder à tous les

capteurs. Une dernière application est apparue récemment, l'application *FizziQ* développée en France en partenariat avec la Main à la Pâte. Avec son design plus simple d'utilisation et la possibilité de transférer les données dans un cahier expérimental, elle est davantage destinée aux collégiens et lycéens. Ces applications permettent d'accéder très facilement aux capteurs, d'enregistrer des mesures (jusqu'à 100 points/sec) et ensuite d'exporter ces mesures pour les analyser plus en détails. Le smartphone devient un véritable couteau suisse pour le physicien et peut avantageusement être détourné de ses fonctions initiales pour réaliser des expériences scientifiques simplement, n'importe où et à n'importe quel moment.



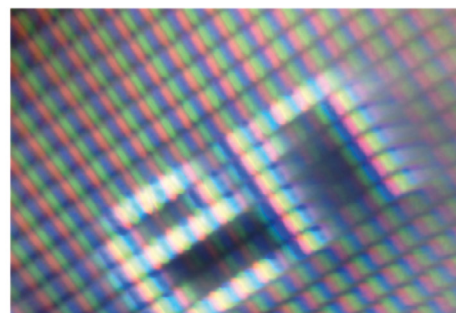
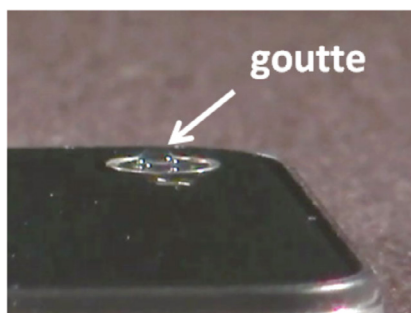
Le smartphone : un couteau suisse pour le physicien

L'enseignement s'est bien évidemment emparé de ce nouvel outil [2-3] que nos étudiants ont dans leur poche pour la très grande majorité. Et si initialement la présence des accéléromètres a facilité l'utilisation du smartphone pour les cours de mécanique en testant les expériences de chute libre ou la physique du pendule, les autres domaines et notamment l'optique peuvent aussi être abordés. Dans le domaine de l'optique, le capteur principal est bien évidemment le ou les appareils photos du smartphone. Mais il ne faut pas oublier le capteur de luminosité et le capteur infrarouge. Nous décrivons ci-dessous quelques expériences qui peuvent être réalisées avec ces capteurs. L'expérience la plus simple est d'étudier la variation de l'intensité lumineuse en fonction de la distance à une source. Pour cela, il suffit de travailler dans le noir avec une lumière suffisamment isotrope (une simple ampoule fonctionne très bien). À l'aide d'un smartphone et d'un mètre, et de la fonction « Luminosité » de *Phyphox* par exemple (ou d'une application Luxmètre), on peut enregistrer l'éclairement (en lux). En mesurant cet éclairement en fonction de la distance r à la source, on peut

Figure 1. Expérience de mesure de l'éclairement en fonction de la distance à l'aide de la fonction Luxmètre de l'application *Phyphox*. En insert, la courbe de l'éclairement en fonction de $1/r^2$.

retrouver très rapidement la loi en $\Phi \sim 1/r^2$. Pour les étudiants, même si la mesure paraît simple, cette expérience nécessite une grande attention : il faut d'une part soustraire la luminosité ambiante, d'autre part le capteur peut saturer si la distance r est trop petite... L'interprétation des données peut donc demander une réflexion plus fine. Une expérience dérivée consiste à étudier l'éclairement en fonction de son angle d'inclinaison par rapport à la source. Pour cela, il peut être utile d'associer

Figure 2. Smartphone transformé en microscope à l'aide d'une petite goutte d'eau déposée sur la vitre de l'appareil photo.



les mesures d'angles avec l'accéléromètre et la mesure de l'éclairement avec le capteur de luminosité. Les applications citées plus haut telle que *Phyphox* permettent d'enregistrer les mesures sur plusieurs capteurs simultanément. On retrouve à nouveau des mesures en accord avec la loi standard $E = E_0 \cos^2\theta$ en lien par exemple avec l'éclairement du soleil en fonction de la latitude à la surface du globe. Un des avantages du smartphone utilisé comme outil scientifique est que les mesures sont très simples. Il est donc possible de répéter plusieurs fois l'expérience pour améliorer son dispositif et ses mesures. On se rapproche alors pour les étudiants d'une démarche d'investigation comme dans les laboratoires de recherche. Il est également possible de détourner l'appareil photo pour travailler certaines parties du cours d'optique géométrique. En prenant par exemple des photographies d'un objet à plusieurs distances et en analysant la taille de l'image sur l'écran, on va travailler les notions de grandissement et il devient possible à partir des formules de conjugaison d'estimer la distance focale de la lentille du smartphone. Pour cela, il faut supposer que la lentille de l'appareil photo se comporte comme une lentille mince, ce qui donne des résultats tout à fait satisfaisants en première approximation. Pour les étudiants, cela leur permet de travailler les notions et les formules d'optique géométrique très simplement en lien avec un objet de leur quotidien pour mieux comprendre le fonctionnement d'une lentille, des capteurs CMOS et de l'écran. S'il semble très important de manipuler des lentilles standards en

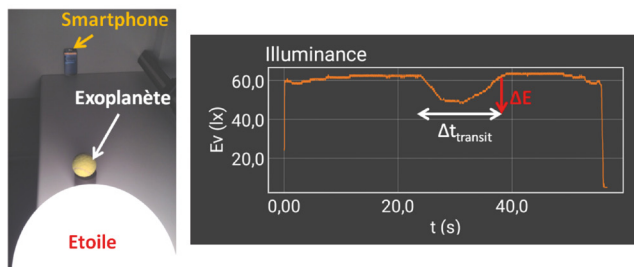


Figure 3. Transit d'exoplanète observé avec un smartphone en laboratoire. À gauche, le montage. À droite, la baisse d'intensité lumineuse enregistrée lors du transit.

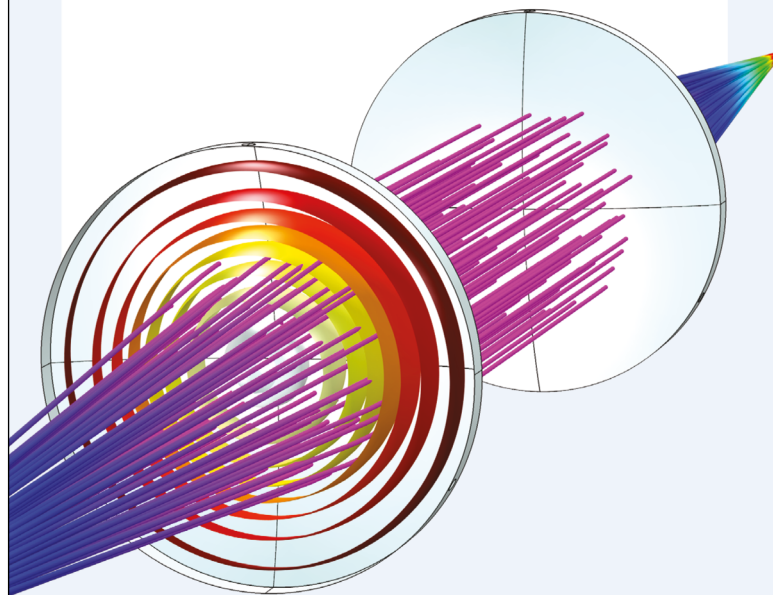
salle de travaux pratiques, cette expérience est très instructive en complément. L'écran est aussi un élément du smartphone très intéressant à étudier. Une des expériences les plus simples consiste à déposer une petite goutte d'eau par-dessus pour commencer à distinguer les pixels de l'écran. On peut observer alors les différentes couleurs. Néanmoins, il n'est pas possible de quantifier facilement la taille des pixels. Pour cela, on peut transformer son smartphone en microscope ou plutôt en super loupe en y associant une autre lentille. Il est bien sûr possible d'utiliser des modules externes pour rajouter une lentille de fort grossissement. Sinon le plus simple est de déposer une petite goutte sur la vitre de l'appareil photo (voir figure 2a). Il faut bien sûr que la goutte soit très petite et relativement bombée. Pour cela, une astuce consiste à passer son doigt sur la vitre pour favoriser un mouillage partiel et un angle de contact proche de 90°. Grâce à cette petite goutte, la distance de travail du smartphone est fortement réduite passant de quelques centimètres à quelques millimètres. On peut alors observer les pixels d'un écran facilement. Si avec le même dispositif, on a au préalable calibré son grossissement avec une règle graduée par exemple, on peut mesurer la taille des pixels d'un écran. Les étudiants sont en général impressionnés. On voit ici l'énorme avantage du smartphone : il permet de quantifier simplement et très rapidement. Bien sûr cette expérience peut être effectuée aussi pour mesurer l'épaisseur d'un cheveu, expérience classique en lycée et des programmes de première année à l'université, où l'on demande souvent de mesurer l'épaisseur d'un cheveu par microscopie et par diffraction. De la même manière, les pixels de l'écran peuvent être estimés en envoyant un faisceau laser sur l'écran et en analysant la figure de diffraction. Dans le domaine de l'optique polarisée, il est très simple de tester la loi de Malus. Pour cela, il suffit de se munir des lunettes de cinéma 3D (en les utilisant dans le bon sens – à l'envers !) ou de polariseurs linéaires. En mesurant l'intensité lumineuse transmise entre deux lunettes 3D, on retrouve la loi de Malus. Cette expérience peut être réalisée encore plus simplement avec un seul polariseur et l'écran d'un ordinateur [4]. Il suffit de faire pivoter son smartphone devant l'écran d'ordinateur et d'enregistrer simultanément l'intensité lumineuse (avec le capteur de luminosité) et l'angle de rotation du smartphone avec l'accéléromètre. Il suffit ensuite d'exporter les données et de tracer l'intensité lumineuse en fonction ●●●

ÉTUDE DE CAS

Analyser l'interaction laser-matière à l'aide de la simulation

L'interaction laser-matière, et le chauffage qui en découle, est souvent étudiée par le biais de la simulation en utilisant l'une des nombreuses techniques de modélisation. Pour choisir l'approche la plus appropriée, vous pouvez vous baser sur des informations telles que les propriétés optiques du matériau, les tailles relatives des objets à chauffer, ainsi que la longueur d'onde et les caractéristiques du faisceau laser. Pour effectuer votre simulation, vous pouvez utiliser COMSOL Multiphysics®.

EN SAVOIR PLUS comsol.blog/laser-heating



 COMSOL

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des dispositifs et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche.

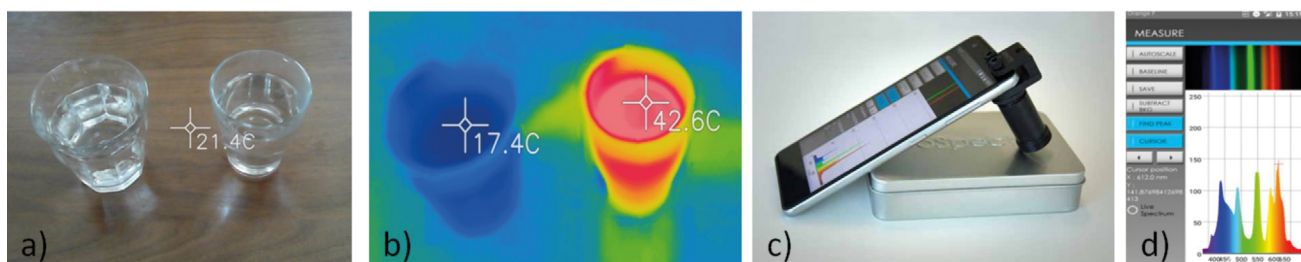


Figure 4. a) et b) Images visible et infrarouge avec un module de caméra Infrarouge (FLIR One caméra). Le module s'attache sur la prise USB et permet de capturer des images ou des films en infrarouge. c) et d) module de spectroscopie (Goyalab, GoSpectro).

du cosinus carré de l'angle pour voir les données s'aligner sur une droite. Il existe bien sûr plusieurs autres expériences remarquables notamment associées à l'astrophysique pour estimer le diamètre angulaire de la lune ou encore reproduire la méthode du transit d'une exoplanète chez soi en mesurant la baisse d'intensité lumineuse lors du passage d'une balle de tennis par exemple entre une lumière (qui joue le rôle de l'étoile) et le capteur du téléphone (figure 3). Néanmoins, comme les capteurs sont à l'intérieur du téléphone, il n'est pas possible de les manipuler pour réaliser toutes les expériences. Pour aller au-delà de ces premières manipulations, on peut rajouter des modules externes. Il existe ainsi plusieurs modules pour augmenter le grossissement de l'appareil photo. On peut également trouver des modules de spectroscopie. Si avec l'application *Fizziq* par exemple, il est possible de déterminer les couleurs RGB des objets en les prenant en photo, cela n'est pas suffisant pour faire une analyse fine. La start-up Goyalab en Aquitaine a ainsi développé un module de spectroscopie GoSpectro. Celui-ci peut être utilisé pour caractériser le spectre d'une source lumineuse, des filtres lumineux ou encore de solutions en chimie. On trouve d'ailleurs plusieurs solutions publiées dans les journaux éducatifs de chimie dédiées à la spectroscopie avec un smartphone.

Parmi les autres modules accessibles, un autre module intéressant qui est devenu abordable est celui des caméras thermiques infrarouges. On peut en trouver pour quelques centaines d'euros (~300 euros chez FLIR par exemple). Il devient ainsi possible de travailler avec

ce rayonnement si particulier : tester la transmission des différents matériaux, mesurer des températures.

Grâce à ces modules externes, le smartphone s'en trouve véritablement augmenté et on peut même envisager de l'utiliser dans le cadre de la recherche. Plusieurs articles de recherche ont présenté des études et des dispositifs de spectroscopie ou de microscopes mobiles avec smartphone afin de réaliser des analyses sur des cellules biologiques [5]. Ces dispositifs sont souvent associés à des applications spécifiques ou du machine learning pour analyser les images obtenues. On peut citer également le développement d'application pour contrôler les pixels de l'écran et s'en servir comme source lumineuse texturée spatialement ou temporellement (stroboscope) pour étudier par exemple le comportement de bactéries en biophotonique. Il ne faut pas non plus oublier que la caméra de certains

smartphones peut aller jusqu'à 1000 images par seconde ce qui permet de caractériser des phénomènes physiques très rapides

Conclusion

Alors que le smartphone n'était à ses débuts qu'un simple gadget technologique, il est devenu aujourd'hui un véritable mini laboratoire scientifique mobile qui permet de réaliser des expériences scientifiques où l'on veut et à n'importe quel moment. Si les expériences avec smartphone sont d'abord dédiées à l'enseignement, il existe de plus en plus d'articles académiques qui proposent des analyses poussées avec un smartphone notamment vis-à-vis de la recherche dans les pays en voie de développement. Avec les évolutions des smartphones et des capteurs qui sont de plus en plus sophistiqués, on peut anticiper un fort développement à venir du domaine de la smartphonique. ●

RÉFÉRENCES

- [1] Application Phyphox <https://phyphox.org/> ; Application Physics Toolbox Suite <https://www.vieyrasoftware.net/> ; Application Fizziq <https://www.fizziq.org/> ;
- [2] Smartphonique, Expériences de physique avec un smartphone, Ulysse Delabre, DUNOD
- [3] MOOC Smartphonics, France Université Numérique, <https://www.fun-mooc.fr/en/courses/mooc-smartphonics/>
- [4] Monteiro *et al.*, The Physics Teacher **55**, 264 (2017)
- [5] Meng, Xin *et al.*, Lab on a Chip **17**, 104-109 (2017) ; Liu X *et al.*, Ann Biomed Eng.2205-17 (2014); I. Hussain, A. K. Bowden, Biomed. Opt. Express **12**, 1974-1998 (2021)