

## LES CAPTEURS *LOW COST* DE POLLUTION : UN NOUVEL ELDORADO POUR L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AUX PARTICULES ?

DUCHÉ S., MADELIN M.

Univ Paris Diderot Sorbonne Paris cité, CNRS UMR 8586 PRODIG, UFR GHSS (c.c. 7001), 5 rue Thomas Mann – 75205 PARIS CEDEX 13 [sarah.duche@univ-paris-diderot.fr / malika.madelin@univ-paris-diderot.fr]

**Résumé** - Les projets de science participative sont actuellement en plein essor et montrent un véritable intérêt des citoyens pour des questions scientifiques et environnementales. En parallèle, le développement de l'électronique open source et des capteurs low cost, miniaturisés et portatifs rendent la mesure de pollution accessible au public. Il ouvre de nouvelles perspectives de recherche sur la variabilité à une échelle spatio-temporelle fine (mètre, minute). Dans ce contexte, nous avons testé deux capteurs low cost de particules fines, le Shinyei PPD42NS et le Sharp GP2Y10, en intérieur. Leurs niveaux sont comparés à ceux d'un capteur homologué, Dustmate de Turckey Instrument, et montrent une évolution similaire pour tous les capteurs avec une variabilité importante pour les capteurs low cost. Les résultats sont plutôt concluants et prometteurs, ouvrant la voie vers le développement de capteurs de mesures extérieures.

**Mots clés** : science participative, capteurs, particules, Shinyei PPD42NS, Sharp GP2Y10.

**Abstract** – *Low cost pollution sensors: a new Eldorado for evaluating the individual exposure to particles?* Citizen science projects are currently increasing and show an interest of citizens for scientific and environmental issues. In parallel, the development of electronic open source and low cost, miniaturized and portable sensors make available air pollution measurements to the public. New prospects are emerging to improve data coverage of near-real-time and high-resolution pollution data. In this context, two low cost sensors of fine particles, Shinyei PPD42NS and Sharp GP2Y10 are tested and compared with the Dustmate sensor of Turckey Instrument. The results show a similar trend for all sensors, with more noise for Shinyei and Sharp than Dustmate. They are satisfactory, paving the way to the development of sensors to measure outside.

**Keywords** : citizen science, sensors, particles, Shinyei PPD42NS, Sharp GP2Y10.

### Introduction

Les particules sont actuellement un des polluants les plus problématiques à l'origine de problèmes cardio-vasculaires et respiratoires (Host *et al.*, 2008). Les particules les plus fines, dites PM<sub>2,5</sub> (d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5µm) sont d'autant plus dangereuses pour la santé qu'elles pénètrent plus profondément dans les voies respiratoires que les particules plus grossières et sont généralement issues de transformations chimiques, toxique pour la santé. Actuellement, la densité des stations officielles de mesure des concentrations de PM<sub>2,5</sub> par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air en France est faible, contrairement au PM<sub>10</sub> prenant en compte les particules les plus grossières.

Au-delà de l'exposition, la perception de cette pollution peut aussi engendrer un stress et avoir des répercussions sur le bien-être et la santé des individus (Annessi-Maesano, 2007). Actuellement, l'exposition est difficilement quantifiable à l'échelle de l'individu car les mesures et les modèles sont à une échelle temporelle et spatiale trop large. Or, elle présente une forte variabilité à une échelle locale car elle dépend d'une multitude de sources d'émission (Duché, 2013) et de la météorologie des différents micro-environnements. De plus, l'évolution de chaque particule dans l'atmosphère varie selon son état (solide et/ou liquide), sa granulométrie et sa composition chimique. Enfin, à l'échelle de l'individu, l'exposition chronique aux particules change selon ses activités, sa mobilité et les espaces intérieurs fréquentés.

Actuellement, nous constatons à une forte mobilisation des citoyens sur leur exposition aux nuisances environnementales (au travers d'associations, de forums, etc.). Dans le contexte de l'essor de l'électronique *open source* et *low cost*, des projets émergent sur des capteurs miniaturisés, portatifs ou d'intérieur. Dans cette communication orale, l'accent n'est pas mis sur l'appropriation citoyenne, mais sur la pertinence et l'utilité de ces capteurs d'un point de vue scientifique. En d'autres termes, peuvent-ils nous permettre d'accéder à une connaissance

plus fine de l'exposition individuelle et de la variabilité spatiale des concentrations en particules ?

## 1. Mouvement des sciences participatives et citoyennes

Les sciences citoyennes désignent une démocratisation de la science et une ouverture du public aux débats scientifiques et aux problématiques environnementales (nucléaire, OGM, changement climatique...). La convention Arrhus signée en 1998 permet l'accès à l'information, la participation de la population au processus décisionnel et l'accès en justice en matière d'environnement. Les acteurs de la gestion des risques et du développement durable impliquent de plus en plus les citoyens, en les concertant par exemple sur les questions d'adaptation au changement climatique ou de la pollution de l'air (Bäckstrand, 2003 ; Ifop, 2014 ; Wamsler et Brink, 2014).

Le premier programme de science citoyenne, intitulé *Christmas Bird Count*, a été lancé en 1900 par la société nationale Audubon aux États-Unis et a lieu chaque année depuis : des bénévoles recensent les oiseaux lors de la période de Noël. En France, ces projets citoyens ont connu leur essor dans les années 1990, avec le programme de Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHM) qui fut initié en 1989 et relancé dans les années 2000. Depuis, plusieurs programmes de science participative ont vu le jour, tels que Vigie-Nature, Vigie-Flore, Sauvages de ma rue (Levrel *et al.*, 2007 ; Dupre et Micou, 2010). Cette production de savoirs scientifiques, initiée par des naturalistes, s'appuie sur la collecte de données par des non-scientifiques, à l'aide de protocole scientifique précis (ex: calculer le nombre de vers de terre dans 20 cm<sup>3</sup>...). Elle permet d'obtenir d'importantes bases de données, impossibles à constituer uniquement par des chercheurs et scientifiques, et de sensibiliser le public à la nature (Dickinson *et al.*, 2012). Actuellement, cette méthode de collecte de données par des citoyens s'ouvre à d'autres domaines de l'environnement. Par exemple, suite à la catastrophe de Fukushima, le scientifique américain Ken Buesseler a lancé un programme de récolte de l'eau de l'Océan Pacifique par des bénévoles pour analyser sa radioactivité.

Le développement de ces bases de données participatives est facilité par l'émergence des téléphones avec un GPS, qui permettent à des amateurs et des bénévoles de mesurer leurs activités quotidiennes et de participer à la construction de base de données importantes ouvertes à tous (ex : OpenStreetMap). La qualité de ces données est cependant variable car elle nécessite le respect de protocole précis (Goodchild, 2012). Enfin, l'essor des laboratoires de fabrication, dit "FabLab" et de matériels libres et peu coûteux depuis quelques années permet à tous de construire leurs propres instruments de mesures et de quantifier leur exposition à des nuisances environnementales, tels que la pollution de l'air.

## 2. Projets de capteurs citoyens mesurant des polluants atmosphériques

Plusieurs projets construisant et utilisant des capteurs à bas prix, miniaturisés et portatifs ont vu le jour depuis quelques années. Deux grands projets participatifs de grande envergure ont commencé en 2011, rassemblant des amateurs, des ingénieurs et des chercheurs dont les objectifs sont de rendre accessible les mesures de concentrations de polluants, la fabrication des capteurs et de participer à une grande base de données ouverte et mondiale. Le projet *AirCasting* (<http://aircasting.org/>), né à New-York, s'intéresse à la mesure de la pollution extérieure, lors des trajets. Pour cela, deux capteurs ont été créés : *Aircasting*, en 2013, mesurant le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone, et *Airbeam*, en 2014, mesurant les particules fines. Le projet *AirQualityEgg* (<http://airqualityegg.com/>) est un projet rassemblant des bénévoles de New-York et des Pays-Bas, et dont l'objectif est de mesurer la pollution de

l'air intérieur et actuellement, le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone. Les notices de montage, les codes pour interroger les capteurs et les données mesurées sont en libre accès.

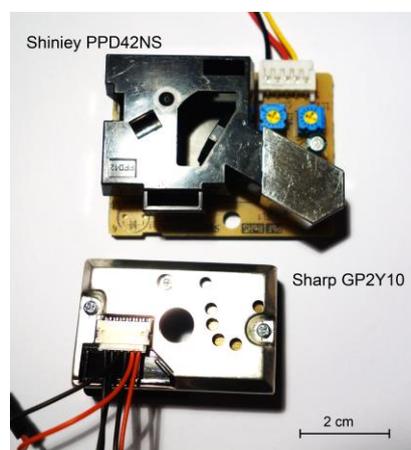
Ces capteurs accessibles offrent de nouvelles possibilités d'améliorer les connaissances sur la variabilité de polluants à une résolution spatio-temporelle fine (du mètre et de la minute) et d'obtenir de grandes bases données à l'aide de citoyens volontaires. Plusieurs projets de recherche vont dans ce sens : *MESSAGE* entre 2006 et 2009 en Grande-Bretagne ([bioinf.ncl.ac.uk/message/](http://bioinf.ncl.ac.uk/message/)), *CommonSense* entre 2008 et 2010 en Californie (Willett *et al.*, 2010), *CitiSense* à partir de 2010 en Californie (Bales, 2014) et depuis 2013, Citi-Sense-MOB, projet norvégien en collaboration avec le projet européen CITI-SENSE (Castell *et al.*, 2014). Tous ces travaux de recherche utilisent actuellement des capteurs de polluants gazeux car ils sont plus petits, plus documentés et faciles d'accès dans différentes conditions que les capteurs de particules.

### 3. Test de capteurs de particules

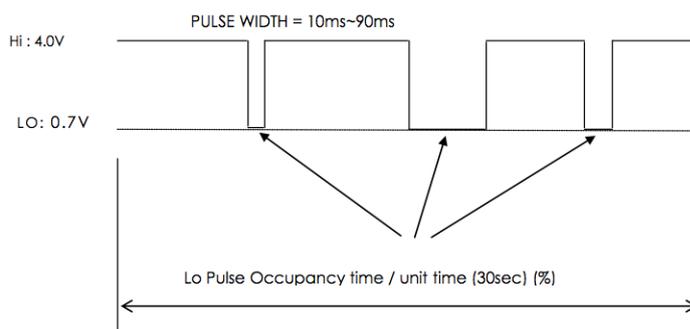
#### 3.1. Protocole de mesures avec le Shinyei PPD42NS et le Sharp GP2Y10

Après une recherche sur les capteurs (<http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/grovedust/>, <http://www.takingspace.org/>, Budde *et al.*, 2014), nous avons choisi de tester deux capteurs : le Shinyei PPD42NS et le Sharp GP2Y10. Ils mesurent des particules fines d'une taille aérodynamique comprise entre 1  $\mu\text{m}$  à 2,5  $\mu\text{m}$ , coûtent environ 10€ et ont une petite taille (fig. 1).

La mesure des particules se fait par lecture optique : détection de particules en fonction de l'obstruction de diffusion de la lumière devant une led infrarouge. Le signal impulsé est traduit par un temps d'occupation à basse tension, Pulse Occupancy time (LPO), correspondant à la concentration de particules par unité de volume (fig. 2).



**Figure 1.** Photographie des capteurs de particules Sharp GP2Y10 et Shinyei PPD42NS



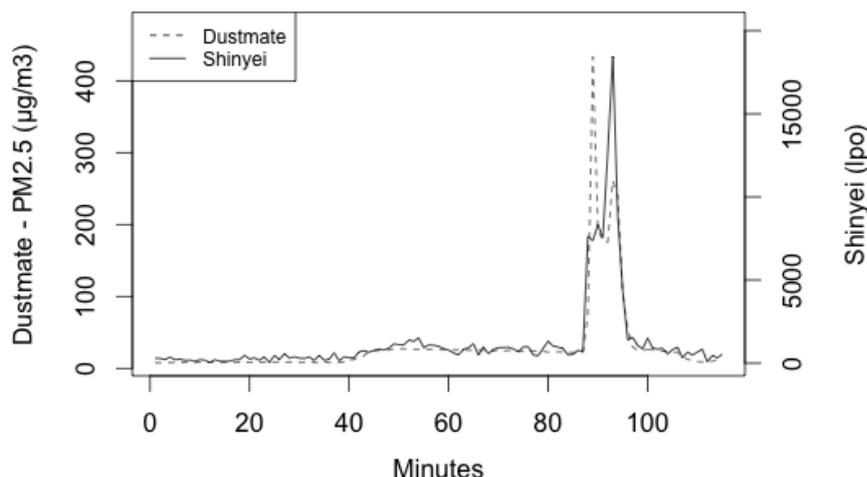
**Figure 2.** Schématisation du principe de temps d'occupation à basse tension (LPO), source : documentation du Shinyei PPD42NS

Nous avons testé les deux capteurs à l'intérieur avec une température autour de 19°C et d'humidité relative (48%) stables au cours des mesures. En prenant en compte les travaux de D. Holstius, nous avons placé le capteur Shinyei PPD42NS en position verticale et éloigné d'une source de lumière en le mettant dans une boîte (Holstius, 2014). Nous avons mis nos capteurs dans les mêmes conditions. Afin de calibrer les niveaux de particules issus des capteurs *low cost*, les niveaux ont été comparés à l'analyseur portable Turkey Instruments Dustmate utilisant une autre méthode de mesure, un laser néphélomètre, permettant de

mesurer l'exposition individuelle (Soubise *et al.*, 2008). Les données ont été tracées sur un même graphique et pour les comparer, les échelles minimales et maximales sont ajustées et égales à 0,1\*concentration minimale et à 0,1\*concentration maximale (fig. 3). Dans les résultats présentés ici, nous avons forcé les émissions de particules en brûlant du papier, entre la 87<sup>ème</sup> et 100<sup>ème</sup> minute pour le Shinyei et entre la 180<sup>ème</sup> et la 200<sup>ème</sup> minute pour le Sharp, afin de tester la réactivité des capteurs Shinyei et Sharp.

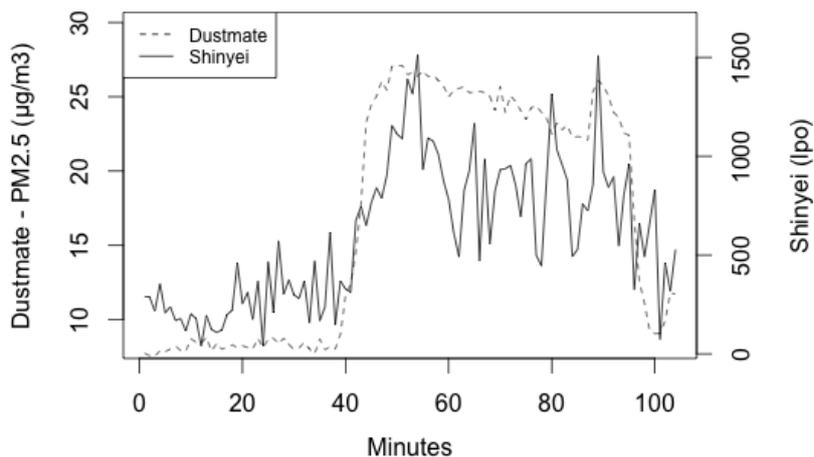
### 3.2. Résultats

La figure 3 présente l'évolution des niveaux de particules mesurés par le Shinyei et par le Dustmate en même temps avec un intervalle de temps d'une minute dans une situation calme (jusqu'à la mesure 87) et dans une situation forcée. Les deux courbes présentent la même allure. Le pic observé, dû à une émission importante de particules, est décalé pour le capteur Shinyei de 2 minutes par rapport au Dustmate, de référence. Durant la situation calme, les taux de particules mesurés par le Dustmate sont compris entre 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec deux paliers : le premier caractérisé par des taux relativement faibles, loin de tout mouvement d'air et le second, avec des niveaux plus importants, avec des mouvements d'air mettant des particules en suspension (fig. 4). Les niveaux mesurés par le Shinyei suivent cette tendance, mais ils sont beaucoup plus variables.

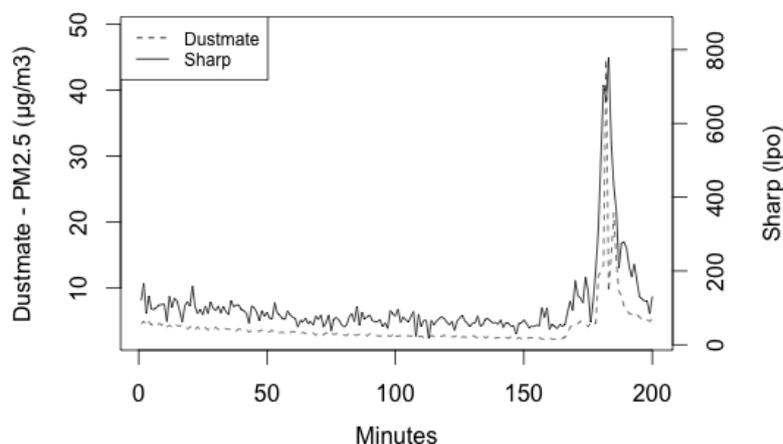


**Figure 3.** Comparaison entre le capteur Shinyei PPD42NS et le capteur homologué Dustmate en situation calme et forcée

La figure 5 représente les courbes des niveaux de particules mesurés simultanément par le Sharp et par le Dustmate avec un intervalle de temps d'une minute dans une situation calme et dans une situation forcée. Le pic de particules entre la 180<sup>ème</sup> et 200<sup>ème</sup> minute est similaire pour les deux capteurs. En situation calme, les deux courbes diminuent toutes les deux de la 1<sup>ère</sup> à la 160<sup>ème</sup> minute, ce qui s'explique par une absence de mouvement d'air (aucune présence dans la pièce durant ces minutes). Les niveaux mesurés par le Sharp présentent beaucoup de bruit par rapport au Dustmate.



**Figure 4.** Comparaison entre le capteur Shinyei PPD42NS et le capteur homologué en situation calme



**Figure 5.** Comparaison entre le capteur Sharp GP2Y10 et le capteur homologué Dustmate en situation calme et forcée

Les résultats sont donc probants pour les deux capteurs *low cost*, avec une évolution similaire des niveaux mesurés par le capteur Dustmate. La corrélation des mesures avec le capteur homologué est plus forte pour le Shinyei ( $r = 0,83$ ) que pour le Sharp ( $r = 0,74$ ). D'autres mesures réalisées en intérieur (non présentées ici) ont montré des résultats similaires et stables.

Des développements sont en cours pour essayer de diminuer le bruit des capteurs lors des niveaux les plus bas, a priori les plus réalistes, en ajoutant un ventilateur par exemple. Ils sont aussi testés en prenant en compte les variabilités des températures et de l'humidité.

Enfin, une station de mesure à l'extérieur est en cours de montage et devra répondre à d'autres problèmes pour être itinérante (autonomie d'énergie, enregistrement des données, ...). Les résultats de ces capteurs seront comparés et discutés par rapport aux réseaux officiels. Ces résultats en extérieur seront présentés lors du colloque.

## Conclusion

L'essor de la science participative et de l'électronique miniaturisée ouvre de nouvelles perspectives de recherche. Des mesures avec des capteurs *low cost* réalisées par des bénévoles lors de leurs trajets ou chez eux permettraient d'obtenir de larges bases de données de niveaux de pollution à une échelle spatio-temporelle fine, de l'ordre du mètre et de la minute. En

parallèle, la collaboration avec des citoyens permet de les sensibiliser sur leur propre exposition et sur la pollution de l'air. Cependant, il est nécessaire qu'un protocole de mesure précis soit défini et respecté pour que ces données soient exploitables dans des travaux de recherche.

Les deux capteurs *low cost* de particules, Shinyei PPD42NS et Sharp GP2Y10, testés en intérieur, montrent des comportements similaires au capteur homologué Dustmate. Les résultats sont assez concluants et prometteurs. D'autres développements et tests sont actuellement en cours pour utiliser les capteurs à l'extérieur par des citoyens.

### Références bibliographiques

- Annessi-Maesano I., 2007 : in Charles L., Ebner P., Roussel I., Weill A., *Evaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique*. La documentation Française, 87–96.
- Bäckstrand K., 2003 : Civic Science for Sustainability: Reframing the Role of Experts, Policy-Makers and Citizens in Environmental Governance. *Global Environmental Politics*, **3**, 24–41.
- Bales E., Nikzad N., Ziftci C., Quick N., Griswold W., Patrick K., 2014 : Personal Pollution Monitoring: Mobile Real-Time Air-Quality in Daily Life. <http://cseweb.ucsd.edu/~earrowsm/TR.pdf>.
- Budde M., Zhang L., Beigl M., 2014 : “Distributed, Low-Cost Particulate Matter Sensing: Scenarios, Challenges, Approaches.”. [http://www.teco.edu/~budde/publications/DUST2014\\_budde.pdf](http://www.teco.edu/~budde/publications/DUST2014_budde.pdf).
- Castell N., Kobernus M., Liu H.-Y., Schneider P., Lahoz W., Berre A.J., Noll J., 2014 : Mobile Technologies and Services for Environmental Monitoring: The Citi-Sense-MOB Approach. *Urban Climate*, September 2014.
- Dickinson JL, Shirk J, Bonter D, Bonney R, Crain R.L., Martin J, Phillips T, and Purcell K., 2012 : The Current State of Citizen Science as a Tool for Ecological Research and Public Engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**(6), 291–97.
- Duché, S., 2013 : *La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques*, Thèse de Doctorat de Géographie, Université Paris Diderot, Soutenue le 26 Juin 2013, 258 p.
- Dupre L., Micoud M., 2007 : Savoirs publics sur la nature et politiques publiques de l'environnement: rôle et place des naturalistes amateurs et des professionnels. *Des Sciences Citoyennes*, 219–32.
- Goodchild M. F., Li L., 2012 : Assuring the Quality of Volunteered Geographic Information. *Spatial Statistics*, **1**, 110–20.
- Holstius D. 2014 : “Monitoring Particulate Matter with Commodity Hardware.” University of California, Berkeley, Thèse soutenue au printemps 2014, 116 p.
- Host S., Chatignoux E., Gremy I., 2008 : *Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé : analyse des liens à court terme entre niveaux de pollution particulaire et morbidité (2003-2006)*. Rapport d'étude de l'Observatoire régional de santé d'Île-de-France, 63 p.
- Ifop pour la Mairie de Paris, 2014 : *Conférence de Citoyens : « Comment Lutter Contre La Pollution de L'air À Paris » ?* Rapport de l'Ifop, 12p.
- Levrel H., Fontaine B., Henry P.-Y., Jiguet F., Julliard R., Kerbiriou C., Couvet D., 2010 : Balancing State and Volunteer Investment in Biodiversity Monitoring for the Implementation of CBD Indicators: A French Example. *Ecological Economics*, **69**(7), 1580–86.
- Soubise J., Le Bihan O., Marchand C., 2008 : *Indicateurs optiques pour la mesure des particules dans les environnements intérieurs*, Rapport du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, 28p.
- Wamsler C., Brink E., 2014 : Interfacing Citizens' and Institutions' Practice and Responsibilities for Climate Change Adaptation. *Urban Climate*, **7**, 64–91.
- Willett W., Aoki P., Kumar N., Subramanian S., Woodruff A., 2010 : Common Sense Community: Scaffolding Mobile Sensing and Analysis for Novice Users. *Pervasive Computing*, 301–18.