



**HAL**  
open science

# Détection des anomalies environnementales via les capteurs des smartphones

Moez Krichen

► **To cite this version:**

Moez Krichen. Détection des anomalies environnementales via les capteurs des smartphones. [Rapport de recherche] Sfax University - ReDCAD Laboratory. 2021. hal-03214225

**HAL Id: hal-03214225**

**<https://hal.science/hal-03214225v1>**

Submitted on 1 May 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Détection des anomalies environnementales via les capteurs des smartphones

Moez Krichen

Laboratoire ReDCAD, Université de Sfax, Tunisie  
moez.krichen@redcad.org

**Résumé.** Les smartphones étant si omniprésents, plus connectés et largement équipés de plusieurs types de capteurs tels que GPS, microphones, caméras, magnétomètres, accéléromètres, etc. il existe une opportunité croissante dans le développement de systèmes de capteurs basés sur les smartphones. Dans cet article, nous proposons une brève enquête sur l'utilisation des capteurs de smartphone dans la détection de différents types d'anomalies environnementales. Nous listons également les principaux avantages et limites de l'utilisation des systèmes de capteurs pour smartphone dans ces domaines.

## 1 Introduction

Les smartphones sont de plus en plus omniprésents et puissants. Le nombre de smartphones devrait atteindre environ 4 milliards d'unités dans le monde d'ici 2021 (27). La puissance de calcul et les capacités de stockage des smartphones se sont considérablement améliorées grâce aux puces multicœurs et aux mémoires plus volumineuses. Les smartphones sont naturellement équipés de différents types de capteurs tels que thermomètre, magnétomètre, baromètre, microphone, caméra, capteur de lumière ambiante, GPS, capteur de proximité, accéléromètre, etc. Outre l'augmentation de la capacité des smartphones, les coûts d'accès au réseau sont de plus en plus bas. Une connexion Wi-Fi gratuite est également disponible dans de nombreux endroits, permettant aux utilisateurs de téléphones de se connecter facilement à Internet. Tous ces facteurs ouvrent une excellente opportunité de profiter des smartphones dans la construction systèmes de capteurs capables de mesurer des entités physiques (43; 19), de surveiller les conditions routières et de circulation (73; 9), d'estimer la qualité du sommeil (50), de surveiller les niveaux d'exercice (14), nombre de pas personnels (14), interaction sociale (15), etc. Par exemple, dans nos travaux récents précédents (24; 23), nous avons utilisé un smartphone caméras pour détecter la somnolence des conducteurs et nous développons actuellement une nouvelle plate-forme appelée *Road Scanner*<sup>1</sup> qui surveille la qualité de la surface des routes à l'aide de capteurs de smartphones.

Le smartphone surveille son environnement grâce à des capteurs spécifiques. Les données collectées peuvent être traitées par le smartphone lui-même si seules des ressources de calcul limitées sont nécessaires. Sinon, lorsque des ressources de calcul plus

---

1. <http://road-scanner-app.org>

importantes sont nécessaires, les données collectées sont envoyées aux machines locales (5) ou aux serveurs cloud distants (8; 68).

Le reste du document est organisé comme suit. Dans la section 2, nous donnons un bref aperçu de la liste des capteurs des smartphones modernes et des principaux avantages de leur utilisation par rapport aux réseaux de capteurs sans fil (WSN). La section 3 est dédiée à l'utilisation de capteurs de smartphones pour la surveillance des aspects environnementaux. La section 4 passe en revue certaines des limitations des systèmes de capteurs basés sur les smartphones. Enfin, la section 5 conclut l'article.

## 2 Préliminaires

### 2.1 Capteurs de smartphone

Dans cette section, nous proposons un bref aperçu des capteurs des smartphones modernes :

- GPS : Les appareils GPS (Global Positioning System) interagissent avec les satellites afin de calculer des emplacements précis. Ils sont utilisés dans des applications telles que Google Maps et Uber.
- Magnétomètre : un magnétomètre sur les smartphones est largement connu sous le nom de boussole. Il peut détecter les champs magnétiques et est utilisé pour pointer vers le nord.
- Capteur de proximité : un capteur de proximité utilise une LED infrarouge et un détecteur de lumière infrarouge pour déterminer la distance entre un objet externe et le téléphone. Le capteur détecte lorsqu'un smartphone est tenu contre le visage et désactive l'affichage sur l'écran tactile.
- LiDAR Sensor : Le capteur LiDAR (Light Detection and Ranging) utilise des lasers pour mesurer la profondeur et les distances. Il sera très probablement intégré dans l'iPhone 12 Pro et l'iPhone 12 Pro Max dans un proche avenir.
- Microphone : Le microphone est essentiellement un détecteur de son qui surveille le volume sonore. Outre les appels, il a été utilisé dans des applications d'assistant numérique telles que Cortana, Siri, Google Assistant, etc.
- Appareil photo : Un appareil photo pour smartphone permet de capturer des photos et d'enregistrer des vidéos avec différents niveaux de résolution selon le type et la qualité du smartphone.
- Capteurs de code QR/code-barres : De nombreux smartphones incluent des capteurs de code-barres qui peuvent détecter la lumière réfléchie par le code pour lire le code QR/code-barres.
- Accéléromètre : L'accéléromètre mesure l'accélération, l'inclinaison et les vibrations et calcule le mouvement autour des 3 axes afin d'évaluer précisément l'orientation. L'accéléromètre est également capable de mesurer la vitesse linéaire du téléphone.
- Gyroscope : Le gyroscope fournit des détails de direction et d'orientation tels que gauche/droite et haut/bas avec une plus grande précision. Il peut également calculer la rotation.

- Capteur d’empreintes digitales : le capteur d’empreintes digitales permet de protéger plusieurs smartphones afin que l’appareil ne soit accessible que par les empreintes digitales de son propriétaire. Ce capteur est très utile dans des applications telles que le paiement mobile nécessitant un haut niveau de sécurité.
- Capteurs d’écran tactile : Les capteurs d’écran tactile ont des courants électriques qui les traversent en permanence, et toucher l’écran permet à ces signaux de changer. Ce changement agira comme l’une des entrées de l’appareil.
- Baromètre : de nombreux smartphones incluent un baromètre. Le baromètre évalue la pression atmosphérique, et il est très utile pour suivre les changements météorologiques et pour calculer les altitudes.
- Thermomètre : chaque smartphone est livré avec un thermomètre intégré pour contrôler la température à l’intérieur de l’appareil et éviter tout dommage. Certains smartphones sont cependant équipés de thermomètres supplémentaires pour mesurer les températures ambiantes.
- Podomètre : Le podomètre sert à compter les pas de l’utilisateur du smartphone en marchant ou en courant en fonction des valeurs produites par l’accéléromètre de l’appareil.
- Capteur de lumière ambiante : Le capteur de lumière ambiante est utilisé pour mesurer le niveau de lumière à l’endroit où le smartphone est utilisé. Il permet également d’ajuster automatiquement la luminosité de l’écran du smartphone.
- Capteur de fréquence cardiaque : Le capteur de fréquence cardiaque permet de mesurer le rythme cardiaque grâce à l’utilisation de LED et de capteurs optiques. Il est utilisé par de nombreuses applications de santé et de fitness.
- Capteur d’humidité de l’air : le Galaxy S4 a été le premier téléphone à intégrer un capteur d’humidité de l’air qui mesure l’humidité de l’air ambiant. Jusqu’à présent, seule une classe restreinte d’appareils est équipée de ce type de capteurs.
- Geiger Counter : À notre connaissance, ce capteur n’a été intégré qu’à Pantone 5. Ce smartphone n’est sorti qu’au Japon. Grâce à ce capteur, il est possible de mesurer le niveau de rayonnement dans la zone environnante.

Compte tenu de l’évolution naturelle des progrès technologiques, nous sommes certains que l’avenir révélera un nombre croissant de capteurs installés dans les nouvelles générations de smartphones.

## **2.2 Les avantages de l’utilisation des capteurs de smartphone par rapport aux réseaux de capteurs sans fil**

Un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensors Network - WSN) se compose d’un ensemble de capteurs répartis géographiquement travaillant ensemble pour suivre les conditions environnementales et physiques. Aujourd’hui, le WSN est identifié comme l’une des technologies les plus importantes et les plus largement utilisées. Les déploiements de WSN (28; 65) couvrent de nombreux objectifs tels que : la surveillance de l’environnement (45; 3), les villes intelligentes (25; 75; 49), les bâtiments intelligents (56; 57), véhicules (74; 72), trafic routier (10; 46), soins de santé (12; 31; 11), IoT (60; 62), etc. Selon (58), les principaux avantages d’un Smartphone-Based Sensor System (SBSS) par rapport au WSN sont :

- Le faible coût de l'équipement : Profiter des capteurs déjà présents sur les smartphones permet de réduire considérablement les coûts SBSS qui se limitent principalement aux coûts des logiciels et des équipements centraux.
- Les smartphones ont une grande puissance de calcul : chaque smartphone est un ordinateur avec des capacités de calcul parallèle qui peuvent aider à traiter partiellement les données capturées. Cela réduit la quantité de données échangées et traitées au niveau du serveur central.
- La programmation pour les smartphones est pratique : les outils de développement sont gratuits et puissants. Pour les smartphones Android, il est possible de programmer en Java sur Eclipse ou Android Studio Integrated Development Environment (IDE) (18). Les applications pour iPhone peuvent être programmées avec Objective-C ou Swift sur l'IDE XCode (66; 26).
- Les smartphones sont largement connectés à Internet : les smartphones sont capables non seulement de se connecter les uns aux autres, comme dans les réseaux ad hoc, mais également de se connecter à Internet. En plus du faible coût de l'accès Internet et de la large couverture WiFi, les données collectées par les smartphones pourraient être envoyées directement aux serveurs centraux. En conséquence, le modèle de transfert de données devient plus simple et l'architecture réseau de SBSS devient également plus simple qu'un WSN traditionnel.
- Le nombre de smartphones est de plus en plus important : des milliards de smartphones sont potentiellement exploitables dans le monde. Plusieurs recherches (51; 71) ont été menées sur la construction de systèmes de capteurs utilisant des smartphones. Les résultats de l'analyse des données à l'échelle du système apporteront de nombreux avantages dont les participants pourront tirer parti. De tels systèmes sont appelés *crowdsensing systems* (16).

## 3 Surveillance environnementale

### 3.1 Surveillance du bruit

Le monde d'aujourd'hui nous confronte presque continuellement à des émissions sonores importantes (64). Les recherches ont lié la pollution sonore à la détérioration du bien-être et de la santé en général. Nous observons de plus en plus des problèmes, tels que des fonctions cognitives réduites, une perte auditive, une tension artérielle élevée, une irritation et même des problèmes psychiatriques comme conséquences probables (69). Le microphone des smartphones peut être utilisé pour calculer le niveau de bruit et donner un aperçu de la nature des événements contextuels. Dans des systèmes comme *NoiseTube* (55), *NoiseSpy* (29), *Ear-Phone* (63) et *WideNoise* (4), les niveaux de bruit peuvent être utilisés pour estimer la pollution sonore. Les données audio sont combinées aux données GPS pour créer une carte de la pollution sonore en temps réel. Étant donné que tous les téléphones mobiles sont équipés de microphones, ces initiatives peuvent être adoptées sans tenir compte de capteurs externes supplémentaires.

- *NoiseTube* (55) est un système qui comprend une application pour smartphone et un portail Web. Le programme permet d'initialiser les mesures de bruit et d'enregistrer sur le site Web pour les télécharger et les visualiser sur Google

- Earth. De plus, NoiseTube informe chaque utilisateur de sa dose quotidienne de pollution sonore.
- NoiseSpy (29) est un enregistrement de données à bas prix pour le suivi du bruit ambiant. NoiseSpy permet aux utilisateurs d'estimer le degré de leur exposition personnelle au nez. L'objectif de cette recherche était de prouver que la détection par smartphone au niveau de la ville pouvait être obtenue et qu'une carte du bruit produite par des participants dynamiques pouvait être fournie tout en préservant la confidentialité entre les utilisateurs individuels.
  - Ear-Phone (63) est un cadre de cartographie du bruit urbain qui utilise le microphone du smartphone pour mesurer le niveau de bruit et envoyer des données géolocalisées à un serveur pour analyse et cartographie. En utilisant la norme acoustique australienne, cette recherche s'est améliorée sur les cartes de bruit à l'échelle des villes, ce qui permet aux régions observées voisines de ne varier que de 5 dB.
  - WideNoise (4) est une application similaire, disponible pour iPhone et Android. L'application smartphone permet de mesurer le niveau de bruit initié par l'utilisateur. Les mesures doivent être transférées au serveur et affichées sur des cartes. En plus de cela, il permet aux participants de partager des mesures pour sensibiliser sur Twitter ou Facebook.

### 3.2 Surveillance de l'agriculture

Pour la plupart des pays en développement, l'agriculture est essentiellement la base de l'économie. La disponibilité limitée de travailleurs qualifiés et d'installations de soutien suffisantes rend les champs de culture vulnérables aux épidémies de maladies des cultures, probablement en raison de la propagation de virus et de champignons, ou d'environnements difficiles. Les téléphones portables sont devenus un outil puissant dans le secteur agricole (59; 1; 21) car leur mobilité correspond à la nature de l'agriculture. Par exemple, les auteurs de (13) ont suggéré une plate-forme de détection de foule pour distribuer des smartphones à certains des principaux agriculteurs responsables de la fourniture des activités de détection de base du système. Les téléphones portables sont équipés du *Nuru software*, qui identifie les maladies à un stade précoce des plantes. Dans (61), les chercheurs ont proposé un système de vision mobile qui aide à reconnaître les maladies des plantes. Le cadre fonctionnait en prenant des photographies des feuilles des plantes analysées pour l'infection, puis en prétraitant ces photographies et en transférant les images traitées vers des laboratoires éloignés. Afin de réduire les coûts de transmission liés au transfert des photographies de feuilles infectées aux phytopathologistes dans des laboratoires éloignés, la phase de prétraitement a été réalisée localement. La recherche (70) a analysé plusieurs applications optiques agricoles installées sur des téléphones mobiles. L'une de ces applications était un estimateur de couleur basé sur un smartphone dédié à l'estimation de la chlorophylle pour les feuilles de riz (22). En outre, dans (21), un nouveau fluoromètre portable qui combine la caméra du smartphone d'un smartphone avec une chambre d'échantillonnage compacte et simple fabriquée à l'aide de l'impression 3D a été développé pour la mesure du niveau de pH de l'eau de l'environnement dans des champs. Un filtre de couleur fixé sur la diode électroluminescente de lumière blanche de la caméra sélectionne une bande d'excitation

centrée autour de  $\lambda \simeq 450nm$  avec une bande passante de  $3dB$ ,  $\Delta\lambda \simeq 21nm$ . Une sonde thermostable spécifique à l'application basée sur le fluorophore 4-aminonaphtalimide a été synthétisée pour absorber à cette longueur d'onde tout en émettant dans la région verte du spectre visible. L'émission verte est facilement détectée à l'aide de la caméra du smartphone et d'une simple application Android rouge-vert-bleu. La suppression de l'émission verte augmente avec l'augmentation du pH, permettant un capteur de pH simple.

### 3.3 Surveillance de la qualité de l'air

En général, la qualité de l'air n'a pas pu être estimée par les capteurs intégrés des smartphones. Pour cette raison, des composants externes doivent être connectés aux appareils intelligents afin de surveiller la qualité de l'air ambiant. Dans ce cas, l'appareil mobile fonctionne comme une passerelle et un contrôleur, manipulant les capteurs, collectant des données et les transférant vers des serveurs distants (67; 44). Par exemple, les auteurs de (20) ont créé des capteurs supplémentaires pour surveiller la qualité de l'air lorsqu'ils sont connectés à des smartphones. De même, dans (30), un groupe de scientifiques a développé une solution basée sur un smartphone appelée *MobGeoSen* qui utilise plusieurs capteurs pour estimer la dégradation de l'air, comme le taux de monoxyde de carbone. L'application permet également à l'utilisateur de télécharger des photos des emplacements liés aux données. À l'aide de Google Earth, les photos et le calcul d'un utilisateur sont affichés. Dans le même sens, les auteurs de (2) ont proposé un capteur distant, compact et bon marché pour mesurer l'exposition aux rayons ultraviolets. Les participants sont invités à réduire l'exposition au soleil en dessous de la durée recommandée, en fonction des résultats de la mesure. La solution proposée pourrait être personnalisée pour tenir compte du type de peau et de l'utilisation de la crème solaire.

## 4 Principales limitations des capteurs de smartphone

Selon (58), l'utilisation des smartphones comme système de capteurs présente également de nombreux défis :

- Les données capturées ne sont pas complètes ou uniformes. La collecte des données dépend de la localisation du participant. Les participants peuvent démarrer ou arrêter le programme de collecte de données sur leur téléphone en fonction de la situation. En conséquence, les échantillons prélevés sur les téléphones portables sont généralement distribués de manière aléatoire dans l'espace et dans le temps et sont incomplets. De plus, la qualité des smartphones est très variable. Cela se traduit par différents niveaux d'exactitude des données. Les écarts dans la qualité et la distribution des données constituent également un défi majeur, qui nécessite des méthodes d'analyse adaptatives basées sur la qualité et la densité des données collectées.
- Il est assez difficile d'évaluer la fiabilité des données. Les participants peuvent par inadvertance positionner leurs appareils pour enregistrer des mesures incorrectes. Par exemple, un participant stocke le téléphone dans son sac pour

acquérir des informations sur le bruit urbain. Si des anomalies routières sont détectées (nids-de-poule, ralentisseurs, etc.), laisser le téléphone dans n'importe quelle orientation rend également sa détection difficile. De plus, les participants peuvent involontairement ajouter de fausses informations. Par exemple, faites un cri en participant à la collecte d'informations sur le bruit urbain, ou changez de téléphone si des anomalies de circulation sont détectées. Cette difficulté nécessite une analyse fiable et la suppression des fausses données des participants.

- Il est nécessaire de réserver les ressources du smartphone pour le participant. L'utilisation principale des smartphones a été réservée aux activités habituelles des participants, telles que passer des appels, accéder à Internet, jouer, etc. Les participants se porteront volontaires pour fournir des données si le processus proposé n'alourdit pas le téléphone en prenant beaucoup de CPU, mémoire, batterie et ressources réseau. Par conséquent, le mécanisme de collecte et d'analyse des données doit être construit avec soin afin d'optimiser le placement cite 6476832 et la consommation de ces différents types de ressources.
- Il est nécessaire de préserver la confidentialité des utilisateurs. Sans aucun mécanisme de protection approprié, les smartphones sont transformés en petits espions, révélant éventuellement des informations confidentielles sur leurs propriétaires. De nombreux participants sont conscients des conséquences possibles et peuvent par la suite hésiter à contribuer aux efforts de collecte de données et de détection des anomalies.

Domaine Général	Domaine Spécifique	Année Référence	Nom de l'Outil	Capteurs du Smartphone	Équipement Supplémentaire	Système d'Exploitation
Surveillance Environnementale	Surveillance du Bruit	2009 - (55)	NoiseTube	Microphone - GPS	GPS externe	Symbian/S60
		2009 - (29)	NoiseSpy	Microphone - GPS	GPS externe	Symbian/S60
		2010 - (63)	Ear-Phone	Microphone - GPS	-	Symbian/S60
		2013 - (4)	WideNoise	Microphone - GPS	-	Windows Mobile 5
	Surveillance de l'Agriculture	2020 - (13)	Nuru	Caméra	-	Android - iOS
		2014 - (61)	-	Caméra	-	Android
		2012 - (22)	BaiKhao	Caméra	Papier blanc 80 GSM	Android
	Surveillance de la qualité de l'air	2008 - (20)	N-SMARTS	GPS	Capteurs de pollution	Symbian/S60
		2007 - (30)	MobGeoSen	Microphone	Récepteur GPS	Series 60 v2
		2009 - (2)	-	Caméra	Enregistreur de données	-
		-	-	-	Capteur ML8511 UV	Symbian/S60

TAB. 1 – Résumé des principaux travaux couverts (le symbole “ - ” signifie que les informations considérées ne sont pas disponibles).

## 5 Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une brève enquête sur l'utilisation des Smartphone Based Sensor Systems (SBSS) dans la détection de différents types d'anomalies dans de nombreux domaines. Un résumé des travaux couverts par cette enquête est donné dans le tableau 1. En pensant à l'avenir, le nombre de téléphones mobiles ne cesse d'augmenter, la capacité des smartphones ne cesse de s'améliorer, les capteurs des smartphones se diversifient de plus en plus, la connexion à Internet depuis les smartphones devient également de plus en plus abondante. Les avantages du SBSS attirent les chercheurs dans ce domaine. Cependant, il reste encore de nombreux défis à relever pour tirer parti des énormes ressources disponible via les smartphones. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de mener des recherches pour améliorer l'ensemble des composants du système : la méthode de détection, l'échange de données, l'analyse des

données collectées, l'optimisation des ressources consommées, la protection des données privées et sensibles contre d'éventuelles attaques (41; 37; 17; 38; 40; 39; 36; 6) utilisant différentes techniques possibles disponibles dans la littérature comme les méthodes formelles (41; 34; 48; 53; 52; 54; 54; 47; 42; 7; 33; 32) et les arbres d'attaque (37; 35).

## Références

- [1] Matthew Aitkenhead, David Donnelly, Malcolm Coull, and Helaina Black. E-smart : environmental sensing for monitoring and advising in real-time. In *International Symposium on Environmental Software Systems*, pages 129–142. Springer, 2013.
- [2] Navid Amini, Jerrid E Matthews, Foad Dabiri, Alireza Vahdatpour, Hyduke Noshadi, and Majid Sarrafzadeh. A wireless embedded device for personalized ultraviolet monitoring. *Biodevices*, 9 :200–205, 2009.
- [3] Manlio Bacco, Franca Delmastro, Erina Ferro, and Alberto Gotta. Environmental monitoring for smart cities. *IEEE Sensors Journal*, 17(23) :7767–7774, 2017.
- [4] Martin Becker, Saverio Caminiti, Donato Fiorella, Louise Francis, Pietro Gravino, Mordechai Muki Haklay, Andreas Hotho, Vittorio Loreto, Juergen Mueller, Ferdinando Ricchiuti, et al. Awareness and learning in participatory noise sensing. *PLoS one*, 8(12) :e81638, 2013.
- [5] P. Beckman, R. Sankaran, C. Catlett, N. Ferrier, R. Jacob, and M. Papka. Waggle : An open sensor platform for edge computing. In *2016 IEEE SENSORS*, pages 1–3, 2016.
- [6] Ouissem Ben Fredj, Alaeddine Mihoub, Moez Krichen, Omar Cheikhrouhou, and Abdelouahid Derhab. Cybersecurity attack prediction : A deep learning approach. In *13th International Conference on Security of Information and Networks*, pages 1–6, 2020.
- [7] Saddek Bensalem, Moez Krichen, Lotfi Majdoub, Riadh Robbana, and Stavros Tripakis. A simplified approach for testing real-time systems based on action refinement. In *ISoLA*, pages 191–202, 2007.
- [8] A. Celesti, A. Galletta, L. Carnevale, M. Fazio, A. Łay-Ekuakille, and M. Villari. An iot cloud system for traffic monitoring and vehicular accidents prevention based on mobile sensor data processing. *IEEE Sensors Journal*, 18(12) :4795–4802, 2018.
- [9] Utsav Chaudhary, Army Patel, Arju Patel, and Mukesh Soni. Survey paper on automatic vehicle accident detection and rescue system. In *Data Science and Intelligent Applications*, pages 319–324. Springer.
- [10] H. Chen, C. Lai, and C. Shih. Toward community sensing of road anomalies using monocular vision. *IEEE Sensors Journal*, 16(8), 2016.
- [11] S. Cheng, K. Tom, L. Thomas, and M. Pecht. A wireless sensor system for prognostics and health management. *IEEE Sensors Journal*, 10(4) :856–862, 2010.
- [12] G. Cola, M. Avvenuti, A. Vecchio, G. Yang, and B. Lo. An on-node processing approach for anomaly detection in gait. *IEEE Sensors Journal*, 15(11) :6640–6649,

2015.

- [13] Andrea Coletta, Novella Bartolini, Gaia Maselli, Annalyse Kehs, Peter McCloskey, and David P Hughes. Optimal deployment in crowd sensing for plant disease diagnosis in developing countries. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020.
- [14] Sunny Consolvo, Katherine Everitt, Ian Smith, and James A Landay. Design requirements for technologies that encourage physical activity. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, pages 457–466, 2006.
- [15] Sunny Consolvo, David W McDonald, Tammy Toscos, Mike Y Chen, Jon Froehlich, Beverly Harrison, Predrag Klasnja, Anthony LaMarca, Louis LeGrand, Ryan Libby, et al. Activity sensing in the wild : a field trial of ubifit garden. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 1797–1806, 2008.
- [16] Venkat Surya Dasari, Burak Kantarci, Maryam Pouryazdan, Luca Foschini, and Michele Girolami. Game theory in mobile crowdsensing : A comprehensive survey. *Sensors*, 20(7) :2055, 2020.
- [17] Ouissem Ben Fredj, Omar Cheikhrouhou, Moez Krichen, Habib Hamam, and Abdelouahid Derhab. An owasp top ten driven survey on web application protection methods. In Joaquin Garcia-Alfaro, Jean Leneutre, Nora Cuppens, and Reda Yaich, editors, *Risks and Security of Internet and Systems*, pages 235–252, Cham, 2021. Springer International Publishing.
- [18] Ted Hagos. *Android Studio IDE Quick Reference : A Pocket Guide to Android Studio Development*. Apress, 2019.
- [19] K Hochberg, S Gröber, J Kuhn, and A Müller. The spinning disc : studying radial acceleration and its damping process with smartphone acceleration sensors. *Physics Education*, 49(2) :137, 2014.
- [20] Richard Honicky, Eric A Brewer, Eric Paulos, and Richard White. N-smarts : networked suite of mobile atmospheric real-time sensors. In *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions*, pages 25–30, 2008.
- [21] A. Hossain, J. Canning, S. Ast, P. J. Rutledge, T. Li Yen, and A. Jamalipour. Lab-in-a-phone : Smartphone-based portable fluorometer for ph measurements of environmental water. *IEEE Sensors Journal*, 15(9) :5095–5102, 2015.
- [22] Yuttana Intaravanne and Sarun Sumriddetchkajorn. Baikhao (rice leaf) app : a mobile device-based application in analyzing the color level of the rice leaf for nitrogen estimation. In *Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology II*, volume 8558, page 85580F. International Society for Optics and Photonics, 2012.
- [23] Rateb Jabbar, Mohammed Shinoy, Mohamed Kharbeche, Khalifa Al-Khalifa, Moez Krichen, and Kamel Barkaoui. Urban traffic monitoring and modeling system : An iot solution for enhancing road safety. In *2019 International Conference on Internet of Things, Embedded Systems and Communications (IINTEC)*, pages 13–18. IEEE, 2019.

- [24] Rateb Jabbar, Mohammed Shinoy, Mohamed Kharbeche, Khalifa Al-Khalifa, Moez Krichen, and Kamel Barkaoui. Driver drowsiness detection model using convolutional neural networks techniques for android application. In *2020 IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIOT)*, pages 237–242. IEEE, 2020.
- [25] R. Jain and H. Shah. An anomaly detection in smart cities modeled as wireless sensor network. In *2016 International Conference on Signal and Information Processing (IConSIP)*, pages 1–5, 2016.
- [26] Muhammad Javed and Mike Estep. Teaching undergraduate software engineering : Xcode mobile app development during dedicated lab periods. In *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pages 843–848. IEEE, 2019.
- [27] Deepak Kalra. Overriding fintech. In *2019 International Conference on Digitization (ICD)*, pages 254–259. IEEE, 2019.
- [28] Dionisis Kandris, Christos Nakas, Dimitrios Vomvas, and Grigorios Koulouras. Applications of wireless sensor networks : an up-to-date survey. *Applied System Innovation*, 3(1) :14, 2020.
- [29] Eiman Kanjo. NoiseSPY : A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mobile Networks and Applications*, 15(4) :562–574, November 2009.
- [30] Eiman Kanjo, Steve Benford, Mark Paxton, Alan Chamberlain, Danae Stanton Fraser, Dawn Woodgate, David Crellin, and Adrain Woolard. MobGeoSen : facilitating personal geosensor data collection and visualization using mobile phones. *Personal and Ubiquitous Computing*, 12(8) :599–607, August 2007.
- [31] David C. Klonoff. Fog computing and edge computing architectures for processing data from diabetes devices connected to the medical internet of things. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 11(4) :647–652, 2017. PMID : 28745086.
- [32] Moez Krichen. 2 state identification. In *Model-based testing of reactive systems*, pages 35–67. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [33] Moez Krichen. A formal framework for conformance testing of distributed real-time systems. In *International Conference On Principles Of Distributed Systems*, pages 139–142. Springer, 2010.
- [34] Moez Krichen. Improving formal verification and testing techniques for internet of things and smart cities. *Mobile Networks and Applications*, pages 1–12, 2019.
- [35] Moez Krichen. Un nouveau cadre basé sur des modèles pour le test de sécurité à l’aide d’arbres d’attaque et d’automates temporisés. 2020.
- [36] Moez Krichen. *Tests basés sur des modèles et méthodes formelles pour la sécurité des services Web*. PhD thesis, REDCAD Laboratory, 2021.
- [37] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. A new model-based framework for testing security of iot systems in smart cities using attack trees and price timed automata. In *14th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering - ENASE 2019*, 2019.

- [38] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. Towards optimizing the placement of security testing components for internet of things architectures. In *2019 IEEE/ACS 16th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pages 1–2. IEEE, 2019.
- [39] Moez Krichen and Roobaea Alroobaea. Optimizing the placement of security testing components for internet of things architectures. 2020.
- [40] Moez Krichen, Omar Cheikhrouhou, Mariam Lahami, Roobaea Alroobaea, and Afef Jmal Maâlej. Towards a model-based testing framework for the security of internet of things for smart city applications. In *International Conference on Smart Cities, Infrastructure, Technologies and Applications*, pages 360–365. Springer, Cham, 2017.
- [41] Moez Krichen, Mariam Lahami, Omar Cheikhrouhou, Roobaea Alroobaea, and Afef Jmal Maâlej. Security testing of internet of things for smart city applications : A formal approach. In *Smart Infrastructure and Applications*, pages 629–653. Springer, Cham, 2020.
- [42] Moez Krichen, Afef Jmal Maâlej, and Mariam Lahami. A model-based approach to combine conformance and load tests : an ehealth case study. *International Journal of Critical Computer-Based Systems*, 8(3-4) :282–310, 2018.
- [43] Jochen Kuhn. Relevant information about using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments. *American Journal of Physics*, 82(2) :94–94, 2014.
- [44] Jochen Kuhn, Alexander Molz, Sebastian Gröber, and Jan Frübis. iradioactivity—possibilities and limitations for using smartphones and tablet pcs as radioactive counters : Examples for studying different radioactive principles in physics education. *The Physics Teacher*, 52(6) :351–356, 2014.
- [45] Nihal Kularatna and BH Sudantha. An environmental air pollution monitoring system based on the iee 1451 standard for low cost requirements. *IEEE Sensors Journal*, 8(4) :415–422, 2008.
- [46] N. Kumar, A. Barthwal, D. Lohani, and D. Acharya. Modeling iot enabled automotive system for accident detection and classification. In *2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 1–6, 2020.
- [47] Mariam Lahami, Moez Krichen, Hajer Barhoumi, and Mohamed Jmaiel. Selective test generation approach for testing dynamic behavioral adaptations. In *IFIP International Conference on Testing Software and Systems*, pages 224–239. Springer, Cham, 2015.
- [48] Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaïel. Runtime testing approach of structural adaptations for dynamic and distributed systems. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 51(4) :259–272, 2015.
- [49] T. P. Lambrou, C. C. Anastasiou, C. G. Panayiotou, and M. M. Polycarpou. A low-cost sensor network for real-time monitoring and contamination detection in drinking water distribution systems. *IEEE Sensors Journal*, 14(8) :2765–2772, 2014.
- [50] Nicholas D Lane, Mashfiqui Mohammad, Mu Lin, Xiaochao Yang, Hong Lu, Sha-

- hid Ali, Afsaneh Doryab, Ethan Berke, Tanzeem Choudhury, and Andrew Campbell. Bewell : A smartphone application to monitor, model and promote wellbeing. In *5th int. ICST conf. on pervasive computing technologies for healthcare*, pages 23–26, 2011.
- [51] Yang Liu, Tong Feng, Mugen Peng, Zhongbai Jiang, Zhiyuan Xu, Jianfeng Guan, and Su Yao. Comp : Online control mechanism for profit maximization in privacy-preserving crowdsensing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(7) :1614–1628, 2020.
- [52] Afef Jmal Maâlej and Moez Krichen. Study on the limitations of ws-bpel compositions under load conditions. *The Computer Journal*, 58(3) :385–402, 2015.
- [53] Afef Jmal Maâlej, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Conformance testing of ws-bpel compositions under various load conditions. In *2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference*, pages 371–371. IEEE, 2012.
- [54] Afef Jmal Maâlej, Mariam Lahami, Moez Krichen, and Mohamed Jmaiel. Distributed and resource-aware load testing of ws-bpel compositions. In *ICEIS (2)*, pages 29–38, 2018.
- [55] Nicolas Maisonneuve, Matthias Stevens, Maria E Niessen, and Luc Steels. Noisetable : Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. In *Information technologies in environmental engineering*, pages 215–228. Springer, 2009.
- [56] S. Matsuguma and A. Kajiwara. Bathroom accident detection with 79ghz-band millimeter wave sensor. In *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 1–5, 2019.
- [57] V. Moreno, M. A. Zamora, and A. F. Skarmeta. A low-cost indoor localization system for energy sustainability in smart buildings. *IEEE Sensors Journal*, 16(9) :3246–3262, 2016.
- [58] Van khang Nguyen. *Detection and aggregation of anomalies in data from smartphone sensors*. Theses, Univ. Paris-Saclay, December 2019.
- [59] Suporn Pongnumkul, Pimwadee Chaovalit, and Navaporn Surasvadi. Applications of smartphone-based sensors in agriculture : a systematic review of research. *Journal of Sensors*, 2015, 2015.
- [60] J. Portilla, G. Mujica, J. Lee, and T. Riesgo. The extreme edge at the bottom of the internet of things : A review. *IEEE Sensors Journal*, 19(9) :3179–3190, 2019.
- [61] Shitala Prasad, Sateesh K Peddoju, and Debashis Ghosh. Energy efficient mobile vision system for plant leaf disease identification. In *2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 3314–3319. IEEE, 2014.
- [62] T. Rahman, X. Yao, G. Tao, H. Ning, and Z. Zhou. Efficient edge nodes re-configuration and selection for the internet of things. *IEEE Sensors Journal*, 19(12) :4672–4679, 2019.
- [63] Rajib Kumar Rana, Chun Tung Chou, Salil S Kanhere, Nirupama Bulusu, and Wen Hu. Ear-phone : an end-to-end participatory urban noise mapping system. In *Proceedings of the 9th Intl. Conf. on information processing in sensor networks*,

pages 105–116, 2010.

- [64] L. Ruge, B. Altakrouri, and A. Schrader. Soundofthecity - continuous noise monitoring for a healthy city. In *2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, pages 670–675, 2013.
- [65] Pokala Rupa, SP Singh, S Arvind, and Prashant Johri. A comprehensive survey on applications of wireless sensor networks and approaches to control congestion. In *ICDSMLA 2019*, pages 805–812. Springer, 2020.
- [66] Ahmad Sahar and Craig Clayton. *iOS 13 Programming for Beginners : Get started with building iOS apps with Swift 5 and Xcode 11*. Packt Publishing Ltd, 2020.
- [67] B Shane, Miluzzo Emiliano, D Nicholas, A Ronald, Ahn GahngSeop, and T Andrew. The bikenet mobile sensing system for cyclist experience mapping. *ACM Trans. on Sensor Networks Jour.*, 6(1), 2009.
- [68] X. Sheng, X. Xiao, J. Tang, and G. Xue. Sensing as a service : A cloud computing system for mobile phone sensing. In *SENSORS, IEEE*, 2012.
- [69] Stephen A Stansfeld and Mark P Matheson. Noise pollution : non-auditory effects on health. *British medical bulletin*, 68(1), 2003.
- [70] Sarun Sumriddetchkajorn. Mobile device-based optical instruments for agriculture. In *Sensing Technologies for Biomaterial, Food, and Agriculture 2013*, volume 8881, page 88810D. International Society for Optics and Photonics, 2013.
- [71] Peng Sun, Zhibo Wang, Liantao Wu, Yunhe Feng, Xiaoyi Pang, Hairong Qi, and Zhi Wang. Towards personalized privacy-preserving incentive for truth discovery in mobile crowdsensing systems. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2020.
- [72] F. Tabei, B. Askarian, and J. W. Chong. Accident detection system for bicycle riders. *IEEE Sensors Journal*, pages 1–1, 2020.
- [73] Pankaj P Tasgaonkar, Rahul Dev Garg, and Pradeep Kumar Garg. Vehicle detection and traffic estimation with sensors technologies for intelligent transportation systems. *Sensing and Imaging*, 21(1), 2020.
- [74] Y. Wang, N. Masoud, and A. Khojandi. Real-time sensor anomaly detection and recovery in connected automated vehicle sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pages 1–11, 2020.
- [75] Y. Zheng, S. Rajasegarar, C. Leckie, and M. Palaniswami. Smart car parking : Temporal clustering and anomaly detection in urban car parking. In *2014 IEEE Ninth Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pages 1–6, 2014.