



**HAL**  
open science

## Villes connectées : détection du risque biologique

Alexia Comte, Tur Mathieu, Bayle Sandrine, Axelle Cadere, Roig Benoît,  
Courtin Sebastien, Dusserre Gilles

### ► To cite this version:

Alexia Comte, Tur Mathieu, Bayle Sandrine, Axelle Cadere, Roig Benoît, et al.. Villes connectées : détection du risque biologique. Congrès Lambda Mu 23 “ Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable ” - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. hal-03878564

**HAL Id: hal-03878564**

**<https://hal.science/hal-03878564v1>**

Submitted on 29 Nov 2022

**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.

# Villes connectées : détection du risque biologique

## Smart cities: detection of biological risk

COMTE Alexia  
*Laboratoire des Sciences des Risques,*  
*IMT Mines Ales*  
Ales, France  
Alexia.comte@mines-ales.fr

CADIERE Axelle  
*UPR Chrome, University of Nimes*  
Rue du Dr G. Salan, 30021 Nimes  
CEDEX 1, France  
axelle.cadiere@unimes.fr

COURTIN Sebastien  
*UPR Chrome, University of Nimes*  
Rue du Dr G. Salan, 30021 Nimes  
CEDEX 1, France  
sebastien.courtin@unimes.fr

TUR Mathieu  
*UPR Chrome, University of Nimes*  
Rue du Dr G. Salan, 30021 Nimes  
CEDEX 1, France  
mathieu.tur@unimes.fr

ROIG Benoît  
*UPR Chrome, University of Nimes*  
Rue du Dr G. Salan, 30021 Nimes  
CEDEX 1, France  
Benoit.roig@unimes.fr

DUSSERRE Gilles  
*Laboratoire des Sciences des Risques,*  
*IMT Mines Ales*  
Ales, France  
Gilles.dusserre@mines-ales.fr

BAYLE Sandrine  
*Laboratoire des Sciences des Risques,*  
*IMT Mines Ales*  
Ales, France  
Sandrine.bayle@mines-ales.fr

**Résumé** — La sécurité dans les villes est un enjeu majeur dans les pays européens. Le projet IMPETUS vise à développer une plateforme numérique pour améliorer la gestion des événements.

Parmi les outils disponibles, il apparait des manques pour la sécurisation. Un outil pour détecter une attaque biologique est proposé. Il fonctionne en continu et analyse de manière régulière la concentration en bactéries dans l'air. Il permet d'alerter lorsqu'une concentration mesurée présente une valeur supérieure à un seuil. Suite à cette alerte, une phase d'identification de l'organisme sera entreprise. Les campagnes d'essais réalisées dans 3 villes ont permis de montrer une différence entre le contenu microbien de l'air dans des salles vides, des salles avec des activités classiques et des salles avec une simulation d'attaque biologique.

**Mots-clefs** — *bioterrorisme, detection, alerte*

**Abstract** — Security in cities is a major issue in European countries. The IMPETUS project aims to develop a digital platform to improve event management.

Among the available tools, there are gaps. A tool to detect a biological attack is proposed. It works continuously and regularly analyses the concentration of bacteria in the air. It provides an alert when a measured concentration is above a threshold value. Following this alert, a phase of identification of the organism will be undertaken. The test campaigns carried out in 3 cities have shown a difference between the microbial content of the air in empty rooms, rooms with classical activities and rooms with a simulated biological attack

**Keywords** — *bioterrorism, detection, warning*

### I. INTRODUCTION

L'une des principales préoccupations des Européens est la sécurité des villes. Les lieux vulnérables aux attaques terroristes physiques sont souvent les lieux combinant la présence de nombreuses personnes peu conscientes de la menace comme les écoles, les lieux de divertissement (sports, concerts).

Parallèlement, les villes s'équipent de capteurs et de caméras afin d'améliorer la vie des citoyens. Ces outils de détection peuvent être mis en œuvre pour améliorer la gestion du trafic routier, des transports en commun et le contrôle de la pollution. Ainsi, dans ces villes connectées, des services sont dédiés au suivi en continu des informations provenant de nombreux dispositifs.

Dans ce contexte, le projet IMPETUS (Intelligent Management of Processes, Ethics and Technology for Urban Safety), s'intéresse aux outils de ces villes connectées. Le projet interroge la communauté sur 2 thématiques, sur les potentiels risques engendrés par l'utilisation de ces outils et sur les données/outils qui apporteraient une meilleure sécurité à la ville et aux citoyens. Concernant les risques liés à ces outils, les questions ciblent aussi bien les aspects éthiques, par exemple que deviennent les données personnelles, que les aspects de sécurité, ces outils ne sont-ils pas une porte d'entrée d'attaque, notamment de cyber-attaque ? D'autre part, des nouveaux outils sont développés pour apporter de

nouvelles données, manquantes jusqu'ici ou pour améliorer l'information transmise aux utilisateurs finaux. Participant au projet, nous avons identifiés un manque concernant les outils de détection au niveau du risque bactériologiques.

Aujourd'hui, une attaque par des microorganismes aéroportés peut soit être détectée *via* la présence de témoins qui prennent conscience des événements en cours, soit être détectée par les services de santé lors de l'arrivée de patients à l'hôpital [1,2]. La particularité des symptômes orientera sur la présence d'un événement inhabituel et l'ouverture d'une enquête pour en déterminer la cause. Cette enquête devra entre autres faire la distinction entre une dispersion naturelle (épidémie) des microorganismes ou intentionnelle car les 2 voies émergent de la même manière.

En ce qui concerne les systèmes de surveillances des agents biologiques nuisibles, des dispositifs de suivi des allergènes sont assez répandus [3]. En revanche, concernant les attaques bioterroristes le programme BioWatch [4] est partiellement décrit est à notre connaissance le seul mis en place à l'échelle d'un pays. Les autres programmes de contre-mesure contre les agents biologiques sont axés sur la préparation du système de santé. Par exemple le programme SAKIGAKE [2] pour la sécurisation des JO 2020 sur le risque d'attaque biologique, la stratégie du Pays organisateur a été d'une part d'acheter un vaccin contre la variole et d'autre part d'accélérer la recherche sur les vaccins et les nouvelles thérapies médicamenteuses [2]. Dans la littérature scientifique des outils de surveillances sont présentés mais pas exploités commercialement [5]. En effet, des efforts ont été mis en œuvre depuis 2001 et les attentats aux Etats-Unis.

Les approches mises en œuvre ciblent généralement la détection d'organismes d'intérêt [4]. Cette stratégie peut se révéler consommatrice de temps et ne s'intéresse qu'à un nombre limité de micro-organismes.

L'adénosine triphosphate (ATP) est une molécule présente dans les cellules des organismes vivants. Ce composé organique fournit l'énergie nécessaire au déroulement des processus cellulaires et se retrouve dans toutes les formes de vie connues comme la cellule humaine, la cellule bactérienne et la cellule fongique. Cet indicateur est un bon marqueur de la biomasse présente dans un écosystème. Il a déjà été utilisé pour quantifier les niveaux de contaminations dans les réseaux d'eaux potables. Cette technique permet d'avoir des résultats en un temps très court et est facilement utilisable sur le terrain.

L'objet de cet article est de présenter une stratégie et un outil de détection d'une attaque bioterroriste associé à la plateforme d'information IMPETUS.

## II. MATERIEL ET METHODE

### A. L'outil de mesure

L'outil nommé la BRD, « Biological Risk Detection » est composé de deux parties qui sont respectivement un biocollecteur de micro-organismes de l'air et un analyseur d'ATP. Le biocollecteur est un impacteur en milieu liquide, il permet la capture des particules en suspension dans l'air dans un volume d'eau stérile. L'analyseur d'ATP, GLOW'N'CARE, a été conçu par GLBiocontrol. La méthode utilisée pour quantifier les micro-organismes présents dans l'air est l'ATP-métrie. En effet, l'ATP est facile

à utiliser, ce composé organique fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de nombreux organismes vivants.

### 1) Réalisation de la collecte

Le système de collecte aspire l'air ambiant à un débit de 30L/min pendant une durée de 5 min. Les particules de l'air sont récupérées dans un impacteur liquide dans un volume d'eau stérile de 20 ml. Ensuite l'échantillon est transféré dans le Glow'n'Care pour la réalisation de la quantification de l'ATP.

### 2) Réalisation de la mesure

La mesure d'ATP est réalisée grâce au kit Dendridiag (GL Biocontrol). La mesure de l'ATP nécessite 3 mesures de suite, les résultats sont exprimés en RLU (unité de lumière relative) :

- R0 : Signal de bruit de fond qui permet de déterminer le niveau du bruit électronique de la machine. Elle permet également de s'assurer que l'outil de mesure n'a pas été endommagé.
- R1 : Mesure de la quantité d'ATP contenu dans l'échantillon après extraction de cette molécule des micro-organismes.
- R2 : La quantité d'ATP est mesurée une deuxième fois après l'addition de l'étalon interne standard (1000 pg d'ATP).

Cette méthode analytique est très sensible, avec des limites de détection autour de 100 bactéries/L, et peut être facilement utilisée sur le terrain.

A partir de ces 3 valeurs la concentration d'ATP dans l'air, exprimée en pg par m<sup>3</sup>, est déterminée grâce à la relation suivante :

$$[\text{ATP}]_{\text{pg/m}^3} = \frac{R1q(\text{ATP}_{\text{sdd}})}{(R2-R1)} \times \frac{V_E}{V_a * V_{FA}} \quad (1)$$

q(ATP<sub>sdd</sub>) : Quantité en pg d'ATP contenu dans le standard utilisé

V<sub>a</sub> : Volume échantillon analysé (ml)

V<sub>E</sub> : Volume échantillon total (ml)

V<sub>FA</sub> : Volume d'air filtré (m<sup>3</sup>)

La concentration des bactéries contenue dans l'air est approchée grâce à une équivalence 1 pg d'ATP correspond à 1000 bactéries.

Un cycle complet comporte 3 phases : collecte, analyse et désinfection. Il est effectué en 17 min. Ainsi plusieurs analyses par heure sont possibles. Lors des essais présentés, une mesure par heure a été effectuée.

### B. Evaluation

Dans le cadre du projet IMPETUS, des campagnes d'essais ont été réalisées permettant de tester notre outil. Lors de chaque campagne, la concentration de bactéries dans l'air a été testée dans quatre conditions ont :

- Cas 1 : une salle sans occupant,
- Cas 2 : une salle avec des personnes assises
- Cas 3 : une salle avec des personnes en activités, soit un jeu amenant les personnes à se déplacer dans la pièce soit une partie de Baby-foot.

- Cas 4 : une salle dans laquelle nous avons répandu des bactéries dans l'air. Les bactéries utilisées pour être dispersés étaient des bactéries lactiques non pathogène et facile à cultiver.

Lors de ces campagnes, le seuil pour la distinction entre une concentration normale et anormale était placé à 90 pg/ml d'échantillon soit l'équivalent de 90 000 bactéries/ml et selon les conditions de fonctionnement de l'appareil  $15 \cdot 10^6$  bactéries/m<sup>3</sup>.

Les campagnes ont été menées à Alès et dans les villes partenaires Oslo (Norvège) et Padoue (Italie) respectivement au cours des mois d'octobre, novembre et décembre 2021. A Oslo, l'appareil était installé dans la mairie et les informations via la plateforme IMPETUS était transmise au service de surveillance de cette dernière. A Padoue, l'appareil était installé dans les locaux de l'université avec une transmission des informations au centre opérationnel de la police.

### III. METHODOLOGIE

#### A. Plateforme IMPETUS

La plateforme IMPETUS permet de sécuriser les villes connectées. Elle est développée en travaillant avec les services de sécurité de la ville de Padoue et de l'hôtel de ville d'Oslo. Les données provenant de différents capteurs ou produits par un outil sont traitées afin de transmettre à l'utilisateur final une information claire afin de faciliter la prise de décision : présence d'une alerte ou absence d'alerte. La Fig. 1 résume le fonctionnement de la plateforme et montre qu'elle est à l'interface entre les outils et les utilisateurs finaux.

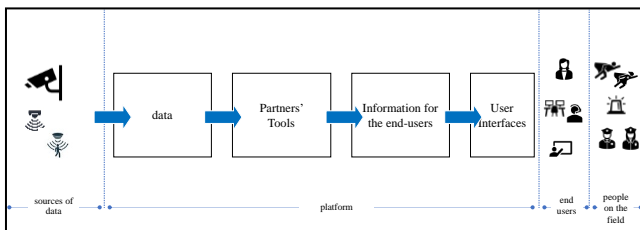


Fig. 1 – L'organisation générale de la plateforme IMPETUS

Le traitement réalisé sur les données produites par les outils est obligatoire en effet le nombre de capteurs, de caméras et d'outils ne cesse de croître rendant le travail des utilisateurs finaux de plus en plus complexe. En effet, ces derniers doivent dans un temps restreint prendre conscience des informations et les transmettre aux services d'intervention de façon la plus précises.

#### B. Notre outil

La BRD vise à suivre en continu le risque biologique à l'intérieur d'une salle.

##### 1) Stratégie globale d'obtention d'un diagnostic

L'outil développé par nos soins permet de détecter la contamination biologique anormale de l'air. Le diagnostic complet de la situation comporte deux étapes :

- 1) un premier niveau de surveillance basé sur un système d'alerte permettant l'identification des non-conformités avec la qualité biologique de l'air attendue. Ainsi, après la détermination de la

concentration des bactéries dans l'air, celle-ci est comparée à un seuil préalablement établi (Fig. 2). Si la concentration est inférieure au seuil l'alerte envoyée au service opérationnel est verte pour signaler l'absence de problème. Si la concentration est supérieure au seuil une alerte rouge est envoyée au service opérationnel.

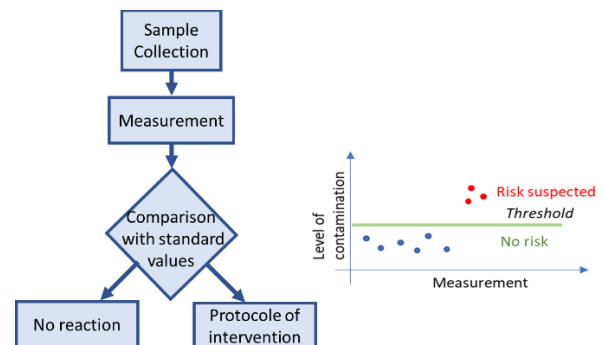


Fig. 2 – Principe de fonctionnement de l'outil BRD. A gauche le fonctionnement global, à droite la détermination du niveau d'alerte.

- 2) un deuxième niveau est activé lors d'une émission d'une alerte rouge par la premier niveau de surveillance. Cette étape de la stratégie de diagnostic d'attaque biologique implique une identification de l'agent biologique mis en cause sur site.

L'outil BRD permet la réalisation de la première étape, jusqu'à l'envoi *via* la plateforme IMPETUS de l'alerte à l'utilisateur final qui déclenche si besoin le niveau 2 du diagnostic.

Le choix de baser le système d'alerte sur le niveau de contamination biologique global de l'air a été décidé afin d'éviter un faux négatif c'est-à-dire une absence de détection d'une alerte par méconnaissance du micro-organisme servant à l'attaque. Cette stratégie de détection présuppose qu'en cas de menace biologique, la concentration en micro-organisme dans l'air et par conséquent en ATP sera plus élevée.

Le deuxième niveau de diagnostic sera réalisé par les équipes d'intervention sur le terrain. Compte-tenu de la diversité des organisations des pays les équipes d'intervention sont différentes. Le délai entre l'établissement de l'alerte lors de la première étape et l'intervention sur le terrain permettra la réalisation du diagnostic sur le terrain par un prélèvement sur de surface. Une partie de la microflore « contaminante » sera au moins partiellement retombée. L'identification pourra se faire par des méthodes d'amplification de l'ADN, séquençage ou immunologique. Il est essentiel, lors de cette étape pendant le déroulement de cette étape de se préoccuper des personnes qui potentiellement ont été exposées afin d'éviter/limiter la propagation du micro-organisme.

Notre stratégie est différente de celles définies jusqu'à présent. En effet, que ce soit pour des installations civiles ou militaire, dont le programme Biowatch, ces dernières sont basées sur la détection d'une ou des bactéries spécifiques connues comme menace biologique [5]. Parmi les organismes ciblés en priorité de nombreuses bactéries sont retrouvées comme par exemple *Bacillus anthracis*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Clostridium botulinum* ... [6].

#### IV. PRINCIPAUX RESULTATS ET DISCUSSION

Les bactéries dans l'air à l'intérieur des bâtiments ont plusieurs origines. Il est possible de distinguer cinq sources majeures de microorganismes en air intérieur : les humains, les animaux domestiques, les plantes, le bâtiment et ses matériaux (plomberie, ventilation, propreté, etc.) et les échanges avec l'extérieur [7,8]. Les humains comme les animaux sont des réservoirs à microorganismes et relarguent ces derniers via leurs échanges avec l'environnement (respiration, perte de cellules, etc.). De plus, lors d'activité comme la marche [9] ou le nettoyage (aspirateurs...) [10] les microorganismes qui ont sédimenté sont remis en suspensions.

Ainsi, la concentration dans l'air intérieur d'un bâtiment n'est pas la même en fonction de la localisation géographique, de son utilité, de l'heure de la journée... C'est pourquoi, les campagnes d'essais comprenaient 4 situations différentes ont été évaluées afin de s'approcher des différentes "conditions réelles" :

- Le cas 1 est conçu pour obtenir la ligne de base : chaque pièce a sa propre concentration de signature bactérienne qui dépend de la taille de la pièce, du système de ventilation, du niveau d'isolation, de l'orientation géographique ... Lorsque cela a été possible, le dispositif a fonctionné toute la nuit, permettant d'obtenir un niveau de base plus représentatif de la réalité.

- Le cas 2 : des personnes dans la pièce pendant une heure. Elles ne font que parler comme lors d'une réunion.

- le cas 3 : des personnes dans la pièce mais en panique : cette étape avait pour but de tester la sensibilité de l'outil BRD. En effet, les phénomènes de paniques avec des mouvements peut être désordonnés, des cris... ne doivent entraîner le déclenchement de l'alerte. Pour simuler ce cas à Oslo et Padoue un "jeu" a été mis en place. Cette solution était plus facile à organiser et évitait de traumatiser les personnes s'étant portées volontaires. Ainsi, un "jeu de mémoire géant" à Oslo et un tournoi de baby-foot à Padoue ont été organisés. Ainsi pour cette étape nous avons « mis en mouvement » les personnes dans une pièce.

- Cas 4 correspond à l'attaque. Lors de la réalisation de cette dernière, seule la personne en charge de l'étape était présente dans la pièce.

Un exemple des résultats obtenus est présenté sur la Fig. 3. L'outil est capable de fonctionner plusieurs jours sans coupure. Sur l'exemple, la BRD a réalisé des mesures toute la nuit dans une salle vide et lors des essais sur les cas 2, 3 et 4 en matinée. L'outil BRD détecte une stabilité de la concentration lorsqu'il n'y a personne dans la pièce. Les concentrations dans la salle vide dépend de la localisation de l'appareil.

La stabilité lorsque la pièce est vide laisse place à une augmentation de la concentration de bactéries dans l'air lorsque la présence d'individus dans la pièce est effective. Puis la concentration augmente encore lorsque l'activité s'intensifie. Le niveau maximal est atteint lors de l'attaque biologique. Pour cette simulation, l'outil BRD a détecté une augmentation significative de la concentration de bactéries dans l'air.

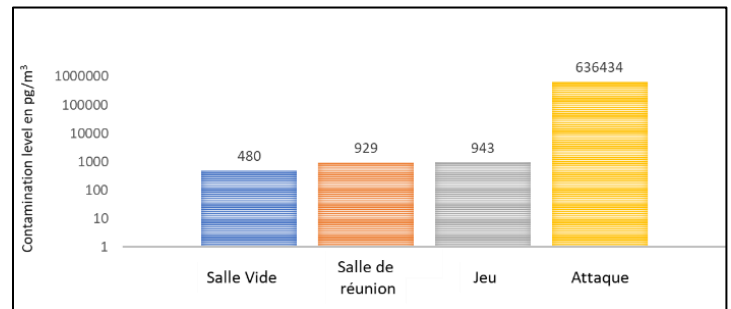
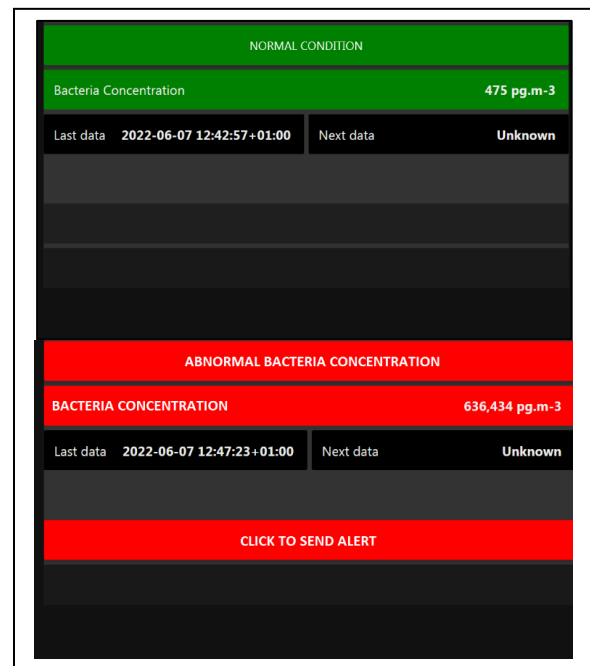


Fig. 3. Concentration d'ATP dans l'air lors des différentes situations

A chaque simulation, une alerte a été envoyée automatiquement à la plateforme et donc aux utilisateurs finaux immédiatement après l'analyse. Pour les différentes simulations, deux alertes différentes étaient attendues par le service opérationnel: une alerte verte lorsque la concentration en bactéries dans l'air est inférieure au seuil (cas 1 à 3), une alerte rouge pour une concentration anormalement élevée (Cas 4, Fig 4).

Fig. 4. L'interface utilisateur avec un exemple d'alerte envoyé au utilisateur final. En haut une « alerte verte » de conformité et sur la droite une alerte rouge de valeur anormale.

Les résultats et les alertes sont envoyés à la plateforme



sous format sécurisé. Le tableau de bord présent sur les écrans des utilisateurs finaux est épuré (Fig. 4). Ces données ne sont pas des données habituellement reçues par les services opérationnels. Il est ainsi essentiel d'une part de réaliser une information au personnel avant la mise en œuvre de l'outil pour expliquer les raisons d'une telle mesure d'autre part d'indiquer les démarches à suivre en cas d'alerte « rouge ». En effet, l'efficacité de la surveillance dépend de la réactivité des services opérationnels et donc de la bonne transmission d'information. Suite à la découverte d'une anomalie il est essentiel d'envoyer une équipe faire un prélèvement complémentaire pour identifier l'espèce microbienne mise en cause pour apporter la réponse adaptée aux personnes exposées.

Il est nécessaire de poursuivre les validations de l'outil. En effet des suivis sur des temps plus long, comme plusieurs semaines voire des mois dans des lieux différents permettraient notamment de mieux cerner le niveau de la concentration correspondant au seuil d'alerte.

Il serait de plus, dans le futur, particulièrement intéressant de coupler sur notre appareil une identification de l'agent biologique utilisée pour l'attaque. Cette analyse ne s'effectuerait que lorsque que le niveau d'alerte serait dépassé et permettrait la réalisation de la deuxième étape du diagnostic de manière anticipée, sans l'intervention de personnel sur le site, et donc une meilleure protection pour eux également.

#### V. CONCLUSION

Notre outil fait partie intégrante du projet IMPETUS en apportant une solution nouvelle à la surveillance bioterroriste. Il a pour but de détecter une anomalie dans la concentration des bactéries de l'air en surveillant en continu cette dernière. Une approche sans *apriori* sur l'organisme a été utilisée. Cet outil pourrait également détecter des anomalies dans la concentration des bactéries liées à des événements moins tragiques comme le dépôt de déchets organiques en décomposition dans le cadre d'une manifestation.

#### ACKNOWLEDGMENT

Les auteurs souhaitent remercier les équipes des villes de Padoue et d'Oslo pour la bonne tenue des campagnes d'essais ainsi que l'ensemble des partenaires du projet IMPETUS.

#### REFERENCES

- [1] Moser, R., White G., Lewis-Younger C.R., Garrett L.C. 2001. Preparing for expected bioterrorism attack. *Millitary medicine* 166(5): 369-374.
- [2] A. Eto, et Y. Kanatami, "Countering Bioterrorism: Current Status and Challenges - A Focus on Pharmaceutical Products and Vaccines". *ADC Letter for Infectious Disease Control* 5(2):50-52, 2018
- [3] <https://ean.polleninfo.eu/Ean/>
- [4] <https://www.dhs.gov/biowatch-program>;  
<https://www.dhs.gov/publication/biowatch-program-factsheet>
- [5] G.M Dougherty, D.S Clague, and R.R Miles, "Field-capable biodetection devices for homeland security missions" in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, April 2007.
- [6] H.J. Jansen, F.J Breeveld, Stijnis C., and MP. Grobusch, "Biological warfare, bioterrorism, and biocrime. *Review Clinical Microbiology and infection*, vol 20, pp 488-496, 2014.
- [7] A.J. Prussin, and Linsey C. Marr « Sources of airborne microorganisms in the built environment ». *Microbiome* vol 3(1) pp 78, 2015
- [8] R.I. Adams, M. Miletto, John W. Taylor, et Thomas D. Bruns. « Dispersal in Microbes: Fungi in Indoor Air Are Dominated by Outdoor Air and Show Dispersal Limitation at Short Distances ». *The ISME Journal* 7, n° 7 (juillet 2013): 1262-73J.
- [9] J. Qian, J. Peccia, et A.R. Ferro. « Walking-induced particle resuspension in indoor environments ». *Atmospheric Environment* 89 (1 juin 2014): 464-81
- [10] L.D.Knibbs, C. He, C. Duchaine, et L. Morawska. « Vacuum Cleaner Emissions as a Source of Indoor Exposure to Airborne Particles and Bacteria ». *Environmental Science & Technology* 46, n° 1 (3 janvier 2012): 534-42