THÈSE

Pour obtenir le grade de

Docteur

Délivré par **Université Paul Valéry Montpellier**

Préparée au sein de l'école doctorale 60

Territoires, Temps, Sociétés et Développement

Et de l'unité de recherche IRD Mivegec et CNRS Cefe

Spécialité : **Biologie des populations et écologie**

Présentée par **Béatrice Gaillard**

OPTIMISATION DES STRATEGIES DE COMMUNICATION

DURANT LES EPIDEMIES D'ARBOVIROSES

Soutenue le 12 novembre 2019 devant le jury composé de

Mme Anna-Bella FALLOUX, DR, Institut Pasteur Paris	Rapportrice
Mme Gozlan FLEURY-BAHI, Professeure, Laboratoire de psychologie des Pays de la Loire	Rapportrice
Mme Florence FOURNET, CR, IRD MIVEGEC	Examinatrice
M. Laurent DORMONT, MCU, CNRS CEFE	Directeur
M. Frédéric SIMARD, DR, IRD MIVEGEC	co-Directeur
M. Pierre JAY-ROBERT, Professeur, CEFE	co-Directeur
M. Jocelyn RAUDE, MCU, EHESP	Parrain scientifique

Résumé

Le fardeau des arbovirus à *Aedes* (comme la dengue, le chikungunya, le Zika, la fièvre jaune, etc.) s'est considérablement accru au cours des deux dernières décennies. En l'absence de vaccins (excepté pour la fièvre jaune), leur prévention et leur contrôle reposent principalement sur le contrôle des vecteurs moustiques, par le biais de stratégies intégrées de lutte antivectorielle dans lesquelles la participation collective est essentielle. Ainsi, comme le préconise l'Organisation Mondiale de la Santé qui fait de la mobilisation sociale l'un des piliers de la lutte contre les arbovirus, les plans de communication doivent être constamment optimisés.

L'objectif général de cette thèse est donc d'évaluer l'influence des messages de prévention et la pertinence des nouveaux médias tels que Twitter pour optimiser les stratégies de communication afin d'influencer efficacement le comportement des populations exposées.

Ce travail a été effectué dans deux zones épidémiologiques: le sud de la France, où ce risque est récent suite à l'invasion du vecteur *Aedes albopictus*, et la Martinique, où le moustique *Aedes aegypti* est implanté.

Dans une première partie, nous définissons la nature du message la plus efficace au travers d'entretiens avec les populations du sud de la France et de la Martinique. Dans une deuxième partie, nous évaluons la robustesse de Twitter en tant que source de stratégies de communication en temps réel. Enfin, dans une troisième partie, nous évaluons les résultats de l'analyse des effets du chikungunya et l'expliquons, d'un point de vue sociologique.

Mots-clés: réseaux sociaux, twitter, comportement humain, arboviroses, chikungunya

Abstract

The burden of Aedes-borne arbovirus (ie dengue, chikungunya, Zika, yellow fever...) has increased substantially during the last two decades. In the absence of vaccine and / or curative treatment for most of these pathogens, their prevention and control are mainly based on the control of mosquitoes vectors, through integrated strategies of vector control where collective participation is pivotal. Thus, as advocated by WHO that makes social mobilization one of the pillars of the fight against arboviroses, communication plans must be constantly optimized.

Therefore, the overall goal of this PhD is to evaluate the influence of prevention messages and the relevance of new media such as Twitter to optimize communication strategies to effectively influence the behavior of exposed populations. This work was carried out in two epidemiological situations: the south of France, where this risk is recent following the invasion of the potential vector *Aedes albopictus*, and Martinique where the mosquito *Aedes aegypti* is implemented since decades and can generates an habituation feeling of the inhabitants.

In a first part, we aim defining the nature of the most efficient message through interviews with the populations of southern France and Martinique. In a second part, we evaluate the robustness of twitter as a source of revalant information to adapt ni real-time communication strategies. Finally, in a third part, we estimate the feelings as measured on Twitter during an outbreak of Chikungunya and explain, from a sociological point of view, how the different communication strategies performed by the authorities have impacted population feelings.

Keywords: social networks, twitter, human behavior, arboviroses, chikungunya

Remerciements

Cette thèse a été une expérience inestimable aussi bien au niveau personnel qu'au niveau professionnel. J'ai donc énormément de personnes à remercier, je tenterai de n'oublier personne.

Je remercie tout d'abord les membres du jury, d'avoir gentiment accepté d'évaluer mon travail de thèse et d'avoir été si disponibles pour les différentes réunions que nous avons eues.

Un énorme merci à Frédéric Simard, pour son accueil à Mivegec, qui, comme à son image, est composé de personnes souriantes, attentives et accueillantes. C'était un honneur et un plaisir d'avoir fait partie de cette grande équipe. Merci à certain(es) pour toutes les pauses, vous vous reconnaitrez j'en suis sûre.

Je dois ensuite remercier Pierre Jay-Robert et Laurent Dormont pour m'avoir donné la possibilité de me lancer dans ce défi complètement dingue.

Jocelyn, cher parrain, tu as été un modèle que j'ai essayé de suivre, et de ne pas décevoir. Merci.

Merci à l'EID et au CEDRE, votre présence indispensable sans qui je n'aurais pas pu faire cette étude.

Un grand merci tout particulier à Benjamin, Etienne et Capucine ; qui m'ont soutenue et supportée sous n'importe quel prétexte, sans qui je n'aurais pas pu en arriver là. Vous avez été patients et compréhensifs.

Merci à Anna-Bella et Vincent, pour leur écoute et leur pédagogie durant mon DU d'entomologie.

Merci à mes ami(e)s de Montpellier et de Mexico, qui m'ont aidé à surmonter mes doutes et mes questions.

Merci à ma famille pour avoir cru en moi, même si je sais qu'au départ vous vous êtes beaucoup interrogés sur la nécessité de cette nouvelle idée…

Ma chère maman, je te dédicace ce mémoire, car tu vois, même tardivement, c'est une preuve que l'on peut reprendre des études !

Ces trois années m'auront profondément marquée et changée.

Table des matières

Résumé 1
Abstract 2
Remerciements 3
Table des matières 4
Préface 6
Article publié sur le site The Conversation (https://theconversation.com/fr/), « Epidémie on line : comment les réseaux sociaux aident à surveiller la grippe et les épidémies ». 7
Liste des figures et des illustrations 12
Liste des abréviations 13
Introduction 14
Un problème sanitaire majeur 15
Le problème des arboviroses sur le territoire français 17
La lutte antivectorielle 19
Le concept de comportement en sciences humaines 21
Des variables indispensables à la compréhension 22
Problématique 26
Article de revue soumis à OMS Bulletin : « Behavioural change in public health communication campaigns : perspectives for emerging vector-borne diseases » 28
Objectifs et démarches de cette thèse 50
Partie 1 : Impact du message et du canal des stratégies d'information sur le comportement des populations 53
Axe 1 : La suggestion ou la répétition : quelle est la meilleure stratégie pour influer sur le comportement des populations ? 56
Article soumis dans Plos Neglected and Tropical Deseases : "Communication strategies in vector control : is it better to suggest rather than to repeat?" 58
Axe 2 : Quel niveau de crédibilité peut-on apporter à la perception des populations ? 72
Article publié dans American Journal of Tropical and Hygiene : "Is perceived exposure to mosquito associated with actual exposure? Results from studies in high risk and low risk geographic areas." 73
Conclusion 84
Partie 2 : les réseaux sociaux, une innovation dans l'évaluation des stratégies de communication en santé 85
Les réseaux sociaux peuvent-ils compléter les outils classiques de mesure d'évaluation? .. 89

Article soumis dans PNAS : « Inferring human behavior though digital networks provides accurate behavioral estimations for outbreak forecasting of arboviruses.” 91

Conclusion 110

Partie 3 : Utilisation des réseaux sociaux pour la quantification de la transmission d’arboviroses et pour la caractérisation de l’impact des stratégies de communication 111

Axe 1 : Evolution des sentiments émis sur twitter durant de l’épidémie de chikungunya en Martinique 113

Article publié dans Scientifics Reports: “An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 chikungunya outbreak in Martinique”. 114

Axe 2 : Relations entre les stratégies de communication et les sentiments émis sur les posts publiés sur twitter ? 123

Article soumis dans Eco Health: « Raison et sentiments: Evaluation of the impact of health communication campaigns on attitudes related to mosquito-borne diseases though digital network analysis. 124

Conclusion 139

Partie 4 - Discussion générale et perspectives 141

Discussion générale 142

Perspectives générales 145

L’expertise profane 147

Une grande complexité dans l’art et la manière 148

Bibliographie 150

Glossaire 155

Préface

Nous voyons de plus en plus de risques épidémiques. Face à cela, les services de santé publique recommandent un certain nombre de précautions. Cependant il apparait indispensable de faire de la surveillance épidémiologique afin d'anticiper les risques pandémiques.

Aujourd'hui, si internet est un moyen, les réseaux sociaux sont un outil qui peuvent nous aider à suivre et prédire l'arrivée d'épidémies.

Article publié sur le site The Conversation (https://theconversation.com/fr/), « Epidémie on line : comment les réseaux sociaux aident à surveiller la grippe et les épidémies ».

THE CONVERSATION
L'expertise universitaire, l'exigence journalistique

Epidémie on line : comment les réseaux sociaux aident à surveiller la grippe et les épidémies

13 septembre 018, 05:30 CEST •Mis à jour le 7 octobre 2018, 11:45 CEST



Une voyageus en temps d'épidémie. 王 圣 捷/Flickr, CC BY-NC-SA

Auteur



Béatrice Gaillard
Socio-écologu , Inst tut de r cherch pour le développ ment (IRD)

La campagne de vaccination contre la grippe a été lancée ce week-end dernier en France. L'objectif est, comme chaque année, de contrôler la survenue d'une épidémie dont on sait qu'elle est particulièrement dangereuse pour les malades chroniques, les personnes âgées ou les femmes enceintes. La grippe est un virus particulièrement surveillé compte-tenu de ce qui s'est passé ces dernières années.

H1N1, par exemple. Le 30 avril 2009, un virus de la grippe originaire de fermes industrielles de l'État du Veracruz au Mexique fait son apparition. D'abord dénommée grippe mexicaine, puis grippe H1N1, ce virus s'est très vite propagé et les autorités se sont trouvées confrontées à une véritable pandémie. Des mesures ont été rapidement imposées, comme la vaccination des plus jeunes et des personnes à risques. Des « tests rapides » (RIDT ou Rapid Influenza Diagnostic Tests) sont apparus sur le marché, permettant de détecter en 15 minutes plusieurs virus de grippe A, dont le H1N1. Les services de santé publique ont également recommandé l'adoption de précautions élémentaires d'hygiène afin d'espérer contrôler la progression du virus.

La grippe sur Google

La propagation mondiale de H1N1 a mis en lumière la difficulté d'arriver à faire de la surveillance épidémiologique à une telle échelle, étape essentielle pour arriver à anticiper les réponses face à ce type de pandémie. Le problème n'est bien sûr pas nouveau, et des solutions ont été déjà envisagées. Probablement la plus innovante est l'utilisation d'Internet en épidémiologie. Chaque jour, des millions de recherches sont effectuées sur les moteurs, notamment sur la recherche de certains symptômes (« fièvre », « douleurs articulaires », etc.). En 2008, Google lançait une application, *Google Flu trends*, qui permet d'analyser les requêtes saisies dans le moteur de recherche et ainsi de suivre et prédire l'évolution des cas de grippe saisonnière. Crédible au début, le service a surestimé les épidémies de grippe et a depuis été abandonné.

Si les requêtes effectuées sur les moteurs de recherche ne se sont pas révélées être de si bons indicateurs, un autre outil a complètement changé la donne : les réseaux sociaux. Espace d'échange pour des milliards de personnes, le contenu des messages et les différents fils de discussions se sont révélés extrêmement précieux pour détecter rapidement les épidémies, mais également la façon dont elle se propage et même inférer le comportement des populations.

Marcel Salathé, de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, l'un des précurseurs de « l'épidémiologie digitale », a montré que l'activité épidémique de la pandémie H1N1 reflétait de façon relativement précise l'activité épidémiologique observée par des moyens plus conventionnels. Ainsi, ce type d'analyse, mêlant *big data*, sociologie et épidémiologie, est extrêmement prometteur dans un contexte d'émergence de maladies infectieuses car il peut servir de nouveau système de surveillance. Il est également possible, grâce à cet outil, de détecter une tendance sur les comportements humains face à une épidémie.

Twitter sociologie

En analysant les données des géants du monde numérique, notamment sur les déplacements d'individus et leurs interactions grâce à des algorithmes sophistiqués de traitement de texte, il devient alors possible de faire une sorte d'enquête sociologique de façon instantanée sur plusieurs milliers d'individus.

C'est ainsi qu'en 2014, nous avons analysé les messages postés sur les comptes Twitter de Martinique où sévissait une épidémie du virus Chikungunya particulièrement importante.



Tw ts n 014. Tw tt r, CC BY

En traitant les sentiments exprimés dans ces messages grâce à des modèles mathématiques, il nous est apparu que l'épidémie ne pouvait pas s'expliquer uniquement par l'abondance des moustiques (le vecteur de ce virus), mais également par l'état psychologique de la population. En effet, les pics épidémiques étaient synchronisés dans le temps avec l'expression, par les utilisateurs des réseaux sociaux, d'une demande de protection contre les moustiques. De façon intéressante, nous avons également pu noter que les campagnes de communication mise en œuvre tout au long de la période épidémique ont été plus ou moins bien reprises en fonction de la pertinence du message apporté au moment le plus opportun.

Bien évidemment, ce type d'approche est forcément biaisé : toutes les catégories de la population n'utilisent pas les réseaux sociaux. C'est pour cela que nous sommes en train de réaliser une étude comparative, en collaboration avec Santé Publique France, entre les différents messages postés sur Twitter (plus de 160 000 tweets ont été analysés concernant le besoin de protection, les moyens de lutte et la peur occasionnée) et les données sociologiques du baromètre de la santé, un vaste sondage réalisé sur un panel de 15 000 personnes.

Protection des données

Une fois les concordances quantifiées entre les sondages « classiques » et cette approche d'épidémiologie digitale, il sera alors possible de comprendre plus précisément dans quel contexte ce type d'approche peut être utilisé. Il faut également soulever les potentiels problèmes éthiques que pose ce genre d'approches. La plupart des réseaux sociaux offrent de façon gratuite un accès aux contenus des différents messages postés, ce qui peut poser des problèmes de protection des données personnelles.

Si l'émetteur du message est bien évidemment rendu anonyme dans les études scientifiques, cela soulève tout de même des questions d'éthique et d'un contrôle possible par Le Comité national de l'informatique et des libertés (CNIL) qui a pour mission de protéger les données personnelles. Néanmoins, au regard de l'énorme capacité de ce type d'approche, en termes de volume de données et d'instantanéité, il s'agit d'un défi pertinent à relever.

réseaux sociaux maladies infectieuses grippe aviaire épidémiologie grippe pandémie maladies

Vous avez apprécié cet article ? Pour soutenir la publication d'autres articles de qualité, faites un don, fiscalement déductible.

Faites un don

Liste des figures et des illustrations

Figure 1 – Le système vectoriel

Virus du chikungunya

Figure 2 – Distribution des arboviroses dans le monde- Anna Bella Falloux – Institut Pasteur Paris

Figure 3- Distribution du moustique *Aedes albopictus* en Europe en 2019-Europa.eu

Figure 4- Stratégie de lutte antivectorielle de l'OMS-OMS 2017

Figure 5- Identification des théories comportementales élaborées au cours du temps

Figure 6- Plan général de la thèse

Figure 7- Audience de Twitter en France-Médiamétrie 2018

Figure 8- Comparatif Twitter/Baromètre de la santé

Figure 9- Processus du changement de comportement des populations

Figure 10- Diffusion d'une information dans un média de masse

Figure 11- Carte des pays bloquant l'accès aux réseaux Twitter, Facebook et Youtube.

Liste des abréviations

CCHFV : virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo

CFES : Comité français d'éducation pour la santé

CHIKV : virus du chikungunya

CNAMTS : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés

CNEV : Centre national d'étude des vecteurs

DENV : virus de la dengue

DREES : Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques

DROM-COM : départements et régions d'outre-mer et collectivités d'outre-mer

FJV : virus de la fièvre jaune

INVS : Institut national de veille sanitaire

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

MTV : Maladie à transmission vectorielle

OFDT : Observatoire français des drogues et des toxicomanies

OMS : Organisation mondiale de la santé

SPF : Santé publique France

TCP : Théorie du comportement planifié

TRA : Théorie de l'action raisonnée

WHO : World Health Organization

ZIKV : virus du Zika

Introduction

Un problème sanitaire majeur

Les maladies à transmission vectorielle sont dues à des agents pathogènes, parasites, bactéries ou virus, transmis d'un hôte vertébré à un autre par l'intermédiaire d'un vecteur, arthropode hématophage. Chaque année, on relève dans le monde plus d'un milliard de cas et plus d'un million de décès imputables à des maladies à transmission vectorielle (Wang et al., 2017). Ces chiffres montrent l'importance de ces maladies en terme de santé publique.

Ces maladies à transmission vectorielle représentent 75% de toutes les maladies émergentes, telles que la dengue, le chikungunya ou le West Nile (Kraemer et al. 2015) (Taylor, Latham, and Woolhouse 2001). L'épidémiologie des maladies à transmission vectorielle dépend des vecteurs, des agents infectieux et des hôtes mais aussi de facteurs environnementaux et sociaux. La transmission de l'agent infectieux est ainsi généralement le résultat d'interactions complexes et souvent très spécifiques entre les protagonistes du système vectoriel, le vecteur, le pathogène et son ou ses hôtes au sein d'un environnement donné (Figure 1).

Ces trois protagonistes jouent un rôle dans l'incidence, la distribution géographique, l'épidémiologie et la pathogénicité de la maladie. Cependant, le lien entre ces trois acteurs peut évoluer au fil du temps, ce qui peut conduire à l'émergence ou la réémergence de certaines maladies (Verwoerd 2015). Ainsi, le contrôle de la maladie dépendra de notre bonne connaissance du système vectoriel et de notre compréhension des facteurs qui influencent la dynamique de la transmission.

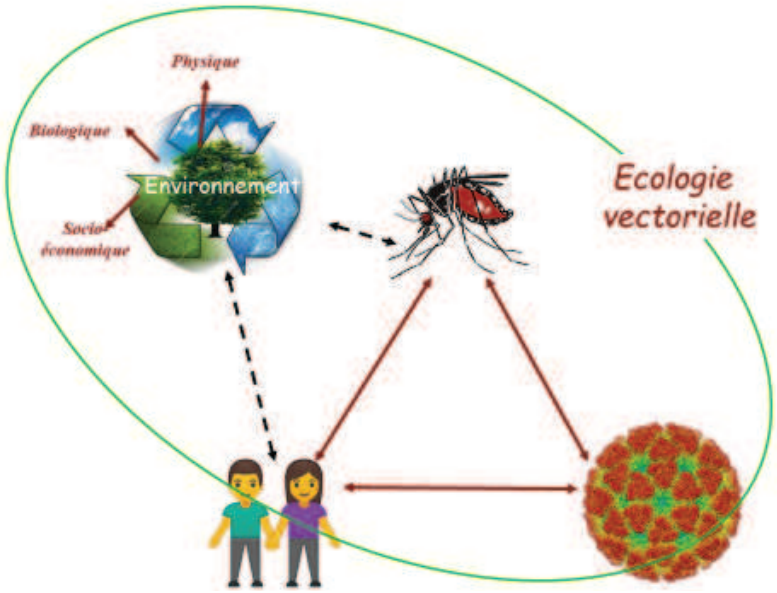
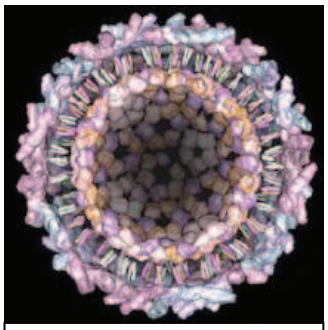


Figure 1. Le système vectoriel



Virus du chikungunya

Les principales maladies à transmission vectorielle sont liées à des parasites comme l'onchocercose, le paludisme, la maladie de Chagas, la leishmaniose, la filariose lymphatique, la trypanosomiase africaine, à des bactéries comme la borréliose de Lyme, les rickettsioses ou à des virus, comme le virus du chikungunya (CHIKV), de la dengue (DENV), de la fièvre jaune (FJV), de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (CCHFV) ou le Zika (ZIKV).

Les maladies à transmission vectorielle dues à des virus sont appelées arboviroses. Les arbovirus sont transmis par différents arthropodes hématophages (moustiques, simulies, tiques) et les maladies diffèrent quant à leur symptomatologie et surtout leur épidémiologie. Leur prévalence est élevée en période épidémique, et pour certaines leur gravité. Depuis le début de l'épidémie de dengue qui sévit à l'Ile de La Réunion en 2019, plus de 21 000 cas ont été recensés et 15 décès liés au virus de la dengue ont été dénombrés. (ARS 2019). Les arboviroses sont des maladies surtout tropicales mais qui tendent à s'installer de plus en plus dans les régions du sud de l'Europe, avec récemment 400 cas de chikungunya en Italie, en 2017, et quelques cas de dengue en Espagne en 2018 (Figure 2).

Parmi les 4 000 espèces de virus recensés actuellement, regroupés en 80 familles, 265 arbovirus (Duvallet, Fontenille, and Robert 2018) sont reconnus comme étant transmis par des moustiques. Les principaux vecteurs sont des moustiques de la famille des Culicidae, du genre Aedes. Parmi eux: *Aedes aegypti,* d'origine africaine et qui sévit actuellement dans les régions tropicales et sub-tropicales, et *Aedes albopictus,* appelé « moustique tigre », originaire d'Asie mais qui est en pleine expansion en Europe, notamment dans le sud de la France. Ces deux vecteurs sont capables de transmettre les principaux arbovirus, de la dengue, du chikungunya et du Zika, qui sont responsables régulièrement d'épidémies dans les départements et régions d'outre-mer et collectivités d'outre-mer (DROM-COM), et qui menacent le sud de la France.

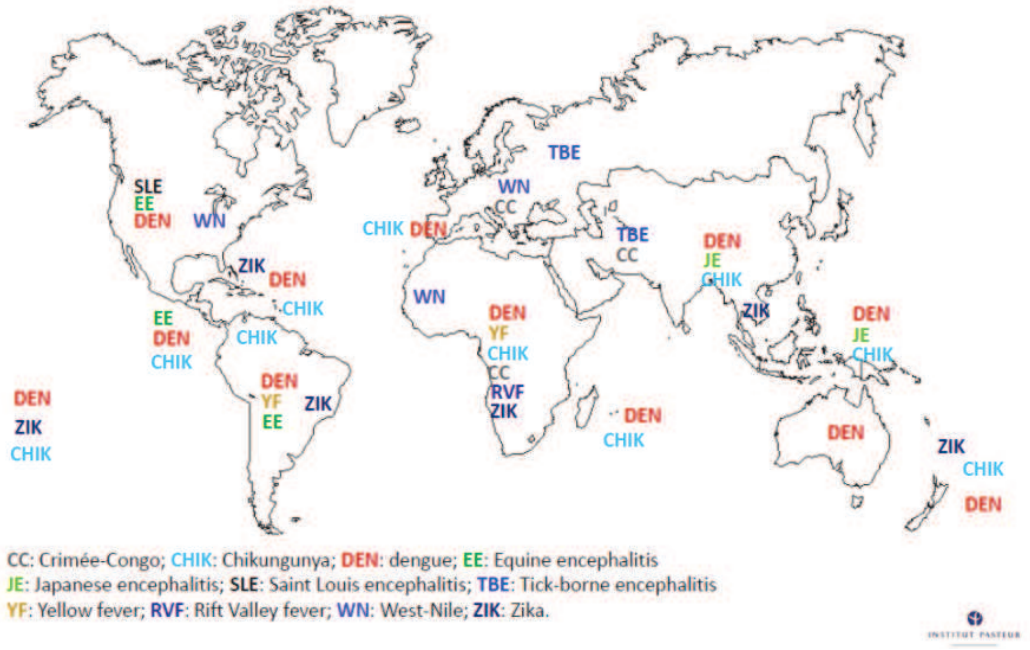


Figure 2. Distribution des arboviroses dans le monde. Anna Bella Failloux – Institut Pasteur Paris

Le problème des arboviroses sur le territoire français

L'émergence des arboviroses est une source de préoccupation croissante dans les pays à hauts revenus, en particulier dans les régions tempérées telles que l'Europe occidentale, en raison notamment de la colonisation de nouvelles espèces de vecteurs, comme le moustique *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) qui est en constante expansion (Figure 3). En outre, dans ces régions, il n'est pas coutume pour les populations et les autorités de traiter ces problèmes et d'envisager des mesures de prévention. Des programmes tels que le « plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole » (https://bit.ly/2yByi4n) ont été mis en œuvre à partir de 2006 en métropole, mais cela reste un enjeu nouveau pour les autorités sanitaires car elles sont peu préparées pour contrôler et prévenir des épidémies d'arboviroses à grande échelle (Parreira and Sousa 2015). En France, certains territoires d'Outre-Mer, tels que la Martinique ou la Réunion, sont concernés depuis de nombreuses années par la problématique des arboviroses transmises par les *Aedes*. Des arboviroses émergent ainsi régulièrement dans les DROM-COM. On peut citer l'épidémie de chikungunya à La Réunion en 2005-2006 qui a provoqué une véritable crise sanitaire, touchant 40% de la population et engendrant plus de 200

décès (Josseran et al. 2006). En Guadeloupe, en 2016, l'épidémie de Zika a touché plus de 30 000 personnes dont 800 femmes enceintes (Prisant et al. 2016). L'intense circulation de personnes depuis les territoires d'Outre-Mer vers la Métropole fait alors craindre le risque d'importation de virus et d'émergence d'arboviroses sur le territoire métropolitain.

Pour mon travail de thèse, je me suis appuyée sur la Martinique et le sud de la France. Dans ces deux régions, différentes espèces vectrices sont présentes. En effet, la distribution géographique du moustique *Aedes aegypti* est limitée aux régions tropicales et sub-tropicales alors qu'*Aedes albopictus*, espèce invasive, a eu une expansion mondiale récemment. Installé en France depuis 2004, *Aedes albopictus* a déjà été responsable de plusieurs cas autochtones de chikungunya et de dengue, notamment dans l'Hérault et en région Provence-Alpes-Côte d'Azur depuis 2014 (DGS 2017). Le moustique colonise de plus en plus de départements français chaque année. En 2019, ce vecteur est implanté dans 51 départements métropolitains (Ministère des Solidarités et de la Santé 2019). En Martinique, une épidémie de chikungunya a sévi en 2014 (CIRE Antille Guyane 2014), et le moustique vecteur implanté sur l'île est *Aedes aegypti*.

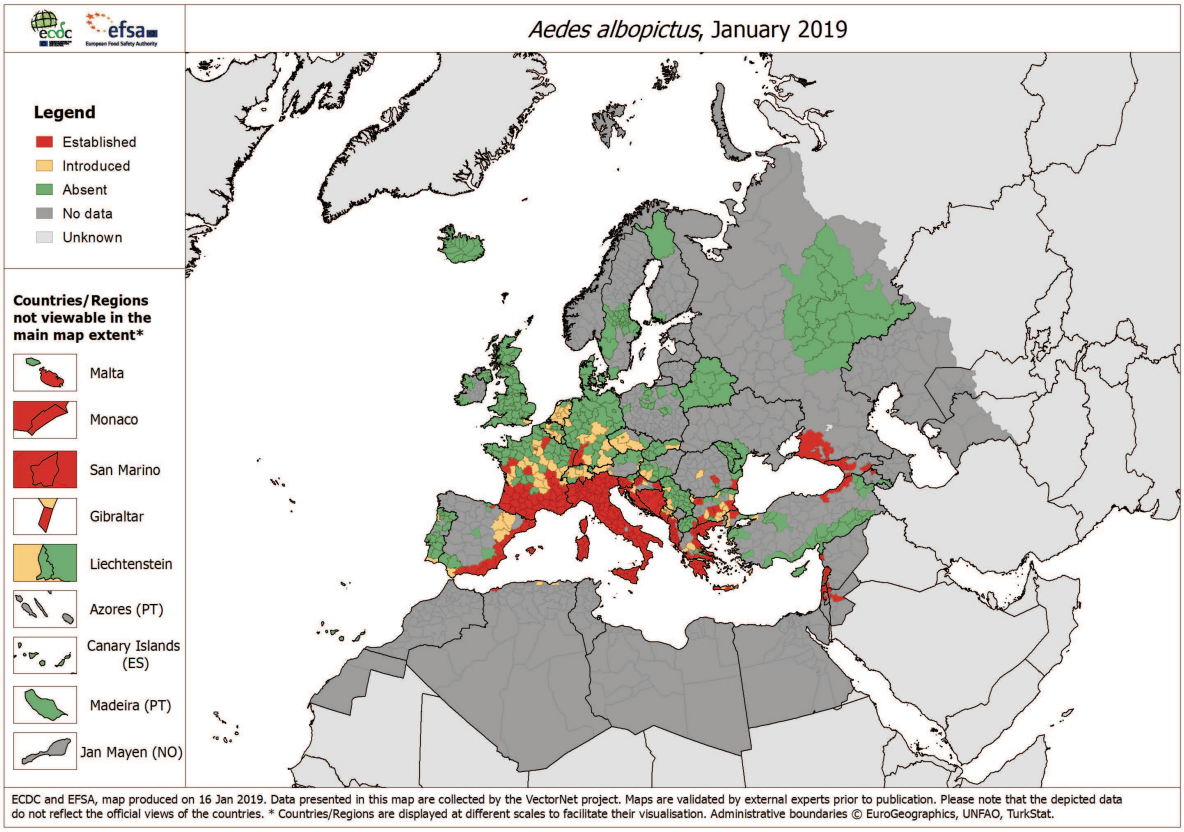


Figure 3. Distribution du moustique *Aedes albopictus* en Europe, 2019. ECDC – europa.eu

La lutte antivectorielle

La lutte antivectorielle est un élément essentiel dans la prévention des arboviroses (Mieulet and Claeys 2016). C'est le seul moyen de prévention de masse, car il y a peu de vaccins (à l'exception de la fièvre jaune et de l'encéphalite japonaise) et peu de moyens curatifs à ce jour, si ce n'est le traitement des symptômes. De plus, le contrôle des vecteurs représente un outil contre la transmission de ces pathogènes ainsi que contre la nuisance qu'ils occasionnent (dans le cas des moustiques, simulies, blattes, etc…).

L'objectif de la lutte antivectorielle s'articule autour de la réduction du contact entre les humains et les vecteurs (Figure 4). A l'échelle individuelle, l'objectif spécifique est la protection contre les piqûres d'arthropodes infectants. En revanche, à l'échelle collective, l'objectif est de diminuer la transmission en agissant sur les paramètres clés de la capacité vectorielle (densité de vecteurs, longévité des vecteurs et intensité du contact homme-vecteurs) et de la compétence vectorielle (aptitude d'un moustique à transmettre un pathogène). Cela peut passer par la réduction des populations d'adultes grâce à des traitements adulticides, ou par l'utilisation de différents types de pièges avec différents types de leurres adaptés aux différents stades de vie physiologique du moustique, ou encore par la réduction de la densité de larves par la destruction mécanique des gites larvaires ou l'utilisation des larvicides. Il est également possible de réduire chimiquement le contact entre personnes et moustiques à l'aide de répulsifs et par l'utilisation de moustiquaires imprégnées, ou encore de diminuer la compétence vectorielle notamment par des infections avec la bactérie *Wolbachia*.

Alors que la lutte antivectorielle repose principalement sur l'utilisation d'insecticides chimiques (Bowman, Donegan, and McCall 2016), on s'aperçoit qu'il y a une augmentation de l'émergence de résistances aux insecticides entraînant une diminution de l'efficacité des interventions de première ligne (Van den Berg et al. 2012). L'objectif n'est pas de remplacer les insecticides, mais de diminuer leur utilisation ou de trouver des compléments à des traitements devenus inefficaces et que les populations supportent de moins en moins (Roiz et al. 2018). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Lambo 2013) a clairement reconnu l'importance de cibler le comportement humain et a inclus la mobilisation sociale parmi les piliers majeurs de la lutte contre les maladies à transmission vectorielle (Dunn 1979).

Le contrôle des vecteurs a pour but de diminuer durablement la transmission dans des proportions telles que la maladie ne soit plus un problème de santé publique, ni un obstacle au développement socio-économique (Figure 4). Néanmoins, l'élimination locale (zéro cas

autochtone pendant 3 ans pour obtenir la certification OMS) est rarement atteinte et l'éradication globale n'a jamais été obtenue pour une arbovirose.

Pour l'OMS, la gestion intégrée des vecteurs est un processus rationnel de prise de décisions dans la perspective d'une utilisation optimale des ressources affectées au contrôle des vecteurs. Cela implique une amélioration de l'efficacité et de l'efficience des interventions de contrôle des vecteurs afin de réduire le nombre d'interventions en agissant sur plusieurs vecteurs et/ou plusieurs maladies à transmission vectorielle, tout en minimisant l'impact écologique du contrôle et donc le recours aux insecticides. Ce processus repose sur des « piliers » et doit faire l'objet d'un suivi et d'une évaluation. La sensibilisation et la mobilisation sociale des populations est l'un des piliers de la gestion intégrée des vecteurs pour l'OMS.

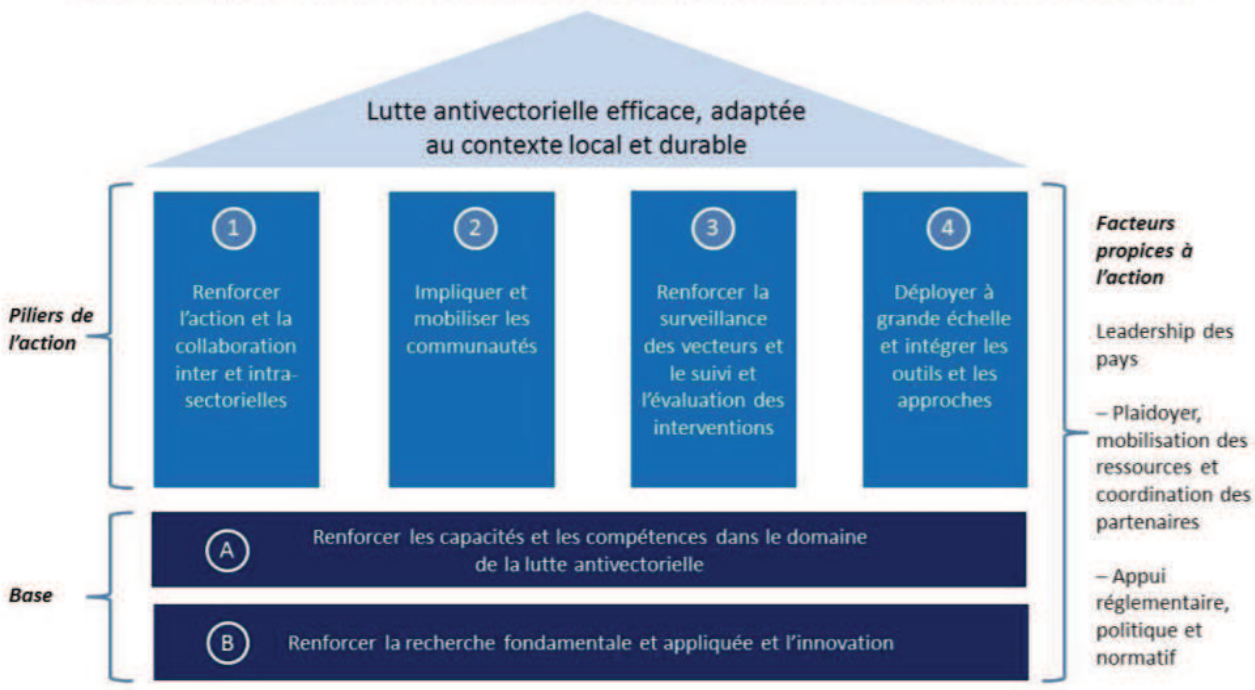


Figure 4. Stratégie de lutte antivectorielle de l'OMS. OMS 2017

Néanmoins, les stratégies de communication ayant pour objectif le changement de comportement des populations face au risque vectoriel constituent un champ disciplinaire récent qui reste à défricher (Funk et al. 2009). De plus, l'impact de ces stratégies sur les aspects entomologiques, épidémiologiques et comportementaux reste particulièrement difficile à évaluer et à quantifier.

Le concept de comportement en sciences humaines

La notion de comportement de santé est née au début des années 80 (D. Gochman 1997). Elle est souvent utilisée avec les concepts suivants : Actions, Habitudes, Pratique, Choix ou Décision. D'une manière générale, le concept de comportement fait référence à une action que les individus font ou s'abstiennent de faire, de manière plus ou moins intentionnelle. L'individu d'une manière plus ou moins involontaire expose sa santé.

Les théories en sciences sociales et comportementales ont pour objectif d'identifier ce qui va déterminer le comportement de santé de façon individuelle et de comprendre comment ces comportements se développent en fonction du contexte social et culturel de l'individu. L'idée est d'engager, habiliter et influencer des individus et des communautés. Influencer en communication de la santé est vu comme « l'art et la technique d'informer, motiver les individus, les institutions et le grand public sur les problèmes de santé » (Schiavo 2008).

En sciences humaines et sociales, on distingue généralement deux grands modèles d'explication de ce que l'on peut observer dans les comportements (Figure 5) : les facteurs endogènes, qui sont reliés à des motivations individuelles, c'est-à-dire qui se rapportent à l'individu propre et qui sont à l'origine de nos actions et les facteurs exogènes qui, eux, sont liés à des effets de contexte qui vont agir sur le comportement. (Schiavo 2008). Cette distinction procède de la division historique entre les approches individualistes/cognitivistes et les approches sociales/structuralistes qui tendent à dichotomiser les sciences humaines et sociales.

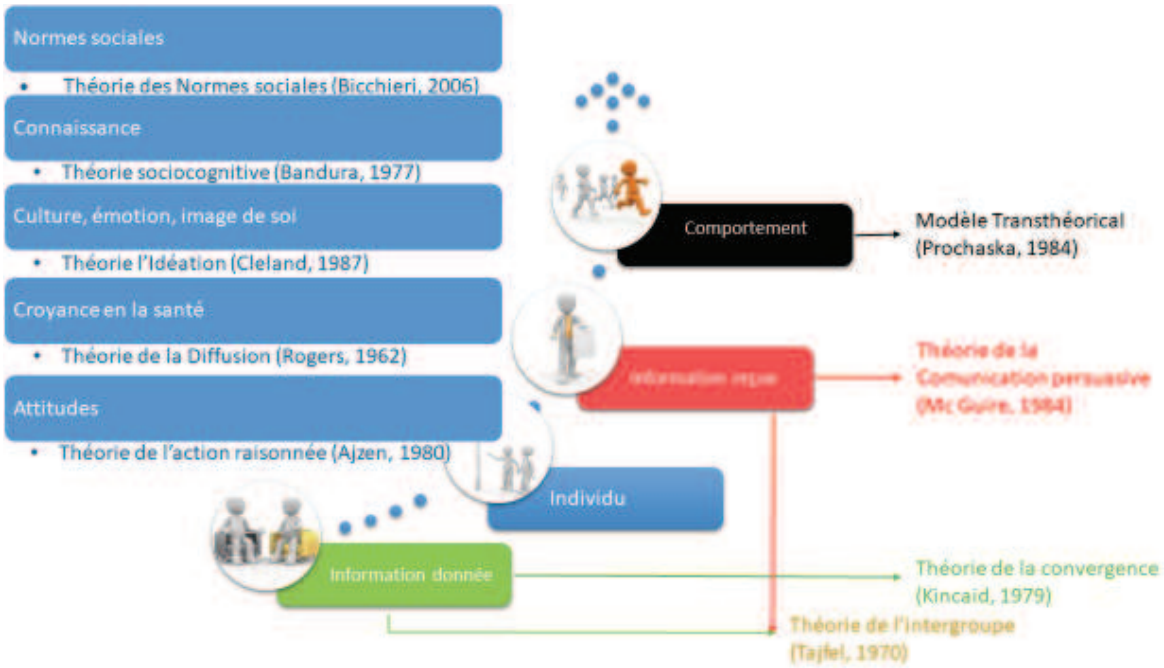


Figure 5. Identification des théories comportementales élaborées au cours du temps. Ce schéma représente les 4 éléments de la communication qui commence par l'envoi d'un message et qui va jusqu'au changement de comportement. Au cours du temps, différentes théories ont été élaborées, exerçant ainsi une action sur l'élément (e.g. Le modèle Transthéorique a été élaboré en 1984 par Prochaska. Ce modèle a pour but de s'appuyer sur le comportement de l'individu).

Des variables indispensables à la compréhension

De nombreuses théories (Figure 5), qui ne sont pas forcément mutuellement exclusives, se sont succédées depuis celle de la diffusion de l'innovation par Everett Rogers en 1962 (Valkonen 1970) qui traçait les contours du concept d'acceptabilité, ou comment les individus passent de la réception de l'information à son assimilation. Plusieurs modèles et théories ont suivi. En 1977, le modèle de la croyance de la santé (Health Belief Model) qui permet d'expliquer et de prédire les comportements en lien avec la santé, et particulièrement l'utilisation des services de santé, a vu le jour. Ce modèle stipule que l'engagement sur un comportement de santé est dû aux croyances des individus sur ce problème ainsi que de ces avantages et de ces obstacles. Il sous-entend qu'il faut un signal pour causer le comportement.

La théorie sociocognitive de Bandura en 1977, elle, pose le fait que l'acquisition de connaissances d'un individu peut être directement liée à l'observation d'autrui dans le cadre des interactions sociales, des expériences, et en dehors de l'influence des médias.

La connaissance des comportements en santé est primordiale pour préparer des interventions visant à modifier les attitudes individuelles et collectives et, par conséquent, à améliorer l'état de santé et le bien-être des populations. Un comportement de santé doit être clairement distingué des réponses psychologiques ou biologiques liées à des événements de santé (*e.g.,* influencer les populations pour mieux lutter contre les épidémies et vider les coupelles des pots de fleurs) (D. S. Gochman 1997). D'après Mary Douglas (Douglas 2003), chaque individu a un système de valeurs culturelles propre qui se structure autour de quatre principaux pôles : le fatalisme, l'individualisme, l'égalitarisme et la hiérarchisme. Ces valeurs se répartissent en fonction de la solidarité entre les individus d'un groupe, ou du poids que l'individu assigne à sa position sociale pour déterminer son comportement (D. Gochman 1971).

Pour expliquer le comportement, deux perspectives apparaissent ainsi, la première plutôt individualiste qui met en exergue l'autonomie des agents (individualisme méthodologique) et les variables subjectives. Dans ce cas, les variables explicatives privilégiées sont les intentions, les désirs, les motivations, les aspirations, les projets et anticipations ainsi que les attitudes, les croyances, idées, jugements, perceptions et les représentations, les traits de personnalité et les compétences et savoir-faire. La seconde perspective est structuraliste puisqu'elle privilégie les considérations contextuelles comme sociales sur les variables individuelles. Dans ce cas, les variables expliquant le comportement sont le plus souvent les normes, les conventions et les systèmes de valeurs, l'influence des pairs (proches, amis, parents), les ressources, les opportunités et les contraintes (notamment matérielles et sociales) ainsi que l'influence de l'environnement.

En 1980, la théorie des comportements planifiés (TCP), appelée aussi la théorie de l'action raisonnée (TRA) d'Ajzen et Fishbein (Ajzen and Fishbein 2004), est venue améliorer les premières théories en visant à expliquer les comportements à partir des attitudes, du sentiment d'auto-efficacité et des normes sociales. Elle repose ainsi sur trois concepts fondamentaux :

- Les attitudes, qui représentent « l'état mental et neural de préparation, organisé à partir de l'expérience, exerçant une influence directive ou dynamique sur la réponse de l'individu à tous les objets ou situations auxquels il est confronté » (Gilbert 2006),
- Les normes subjectives, c'est-à-dire « la perception de la personne quant à savoir si des personnes significatives l'approuveraient ou la désapprouveraient en adoptant le comportement» (Ajzen and Fishbein 2004) ;
- La croyance en sa capacité personnelle à maîtriser son activité et son comportement.

Les normes sociales jouent un rôle important dans le comportement des individus et on les retrouve très souvent dans les théories (Livet 2012). Ces normes sont elles-mêmes des influenceurs de l'individu. Bicchieri's en 2006 (Thogersen 2008) a suggéré que les normes sociales additionnées aux attitudes et aux sentiments d'auto-efficacité de l'individu étaient la clef pour expliquer un comportement.

Par exemple, le conseil « Perdre du poids c'est bien » repose sur un principe alors que « Je veux perdre du poids » est en réalité un raisonnement. Ainsi, à l'approche du dessert, mon comportement peut varier en quittant la table ou en prenant une part de dessert. Cela montre que le conscient travaille sur l'inconscient, mais que le comportement peut changer face à la perception immédiate et au contexte. Si l'action est de rester à table face à la perception du dessert, l'avenir n'est plus représenté et la capacité cognitive disparait. Si l'action est de sortir de table, alors la capacité cognitive de l'individu intervient, donc la représentation de l'avenir intervient dans la prise de décision.

Quatre autres théories ont vu le jour ensuite. La théorie de l'Idéation en 1987 (Rice and Atkin 2001) se focalise plus sur les éléments endogènes de l'individu. C'est une nouvelle forme de pensée qui prend en compte les interactions sociales au sein des communautés de cultures identiques.

En 1979, la théorie de convergence communicationnelle (Saint-Charles and Mongeau 1998) a mis en évidence l'importance de l'information partagée et la compréhension et l'acceptation mutuelle dans une communauté. Le modèle transthéorique de Prochaska et Di Clemente (John C. Norcross 2005) est venu mettre en évidence cinq étapes du changement de comportement: la précontemplation, la contemplation, la prise de décision, la mise en œuvre et enfin la prise d'habitude autour de la nouvelle action. Enfin, la communication par la persuasion (Meunier 1995) et la théorie de l'intergroupe (Devos 2005) se concentrent sur l'information reçue et la manière dont elle a été transmise. C'est ainsi que l'on peut comprendre de quelle manière l'information est assimilée et comment elle a été utilisée.

De façon implicite, la promotion de la santé comporte une dimension idéologique puisque les programmes et les politiques d'intervention en santé publique s'appuient sur ces différentes composantes. L'adoption d'un comportement favorable ou nuisible dépendra de la responsabilité de l'individu. Le choix d'un comportement de santé est d'abord le produit de facteurs bio-sociaux, donc dépendant du contexte et le produit d'un choix personnel donc indépendant du contexte.

Pour illustrer cette tension entre contexte et individu, l'approche économique peut également nous éclairer. Chaque individu possède une espérance de vie optimale où l'utilité d'une année de vie supplémentaire est inférieure à l'utilité investie en temps et en argent. C'est l'équilibre coût/bénéfice. Ainsi, une personne peut massivement fumer et travailler, engendrant ainsi aucun exercice et un mode de vie sédentaire. Ce comportement n'intervient pas nécessairement parce qu'elle ignore les conséquences de son comportement ou qu'elle est incapable d'utiliser l'information qu'elle possède, mais parce que la durée de vie perdue ne vaut pas le coût pour elle d'arrêter de fumer ou de travailler de façon moins intensive. Selon l'approche économique, la plupart des décès sont en quelques sortes des « suicides » dans le sens où ils auraient pu être reportés si davantage de ressources avaient été investies dans la prolongation de la vie (Becker 1994).

Ce corpus conceptuel est relativement peu utilisé dans le cadre des maladies vectorielles, alors que les agents pathogènes impliqués sont complètement intégrés dans notre environnement (Elder and Lloyd 2007) (Williams and Jones 2003) (Heggenhougen, Hackethal, and Vivek 2003). En effet, cette capacité d'analyse des comportements peut s'appliquer aux épidémies d'arboviroses où l'on travaille activement sur la mobilisation sociale afin d'influer sur les comportements individuels et /ou collectifs pour changer les attitudes des populations. C'est sur cet aspect translationel des sciences de la communication sur le contrôle des arboviroses que se concentre ce travail de recherche.

Problématique

Malgré les progrès de la médecine moderne, le fardeau des maladies infectieuses a toujours un impact profond sur nos sociétés et nos économies. Parmi celles-ci, les maladies à transmission vectorielle (MTV) représentent une menace croissante pour la santé dans le monde entier, comme l'a récemment montré l'impact social et économique des épidémies de Zika en Amérique du sud. Alors que la recherche biologique se concentre sur la compréhension des processus de transmission et des opportunités de contrôle chimique et / ou biologique de ces agents pathogènes et de leurs vecteurs, une perspective sociale et psychologique est d'une importance majeure pour comprendre l'impact du comportement humain sur ces épidémies. À la recherche d'un changement de comportement, les campagnes de communication ont été utilisées à plusieurs reprises comme un outil permettant de contrôler les épidémies d'agents infectieux transmises par les moustiques. Dans l'article de revue intitulé « Change in public health communication campaigns: perspectives for emerging vector-borne diseases" soumis dans OMS bulletin, nous avons passé en revue les théories du changement de comportement dans le contexte de la conception et de la mise en œuvre d'interventions basées sur la communication contre les MTV et avons souligné les outils existants pour quantifier leur impact sur le comportement humain. En utilisant les récentes campagnes de communication françaises contre les maladies à arbovirus comme études de cas, nous avons essayé de tirer les leçons des interventions basées sur la communication qui pourraient aider à améliorer la préparation aux futures épidémies d'arbovirus et à atténuer leur impact.

Article de revue soumis à OMS Bulletin : « Behavioural change in public health communication campaigns : perspectives for emerging vector-borne diseases ».

Behavioural change in public health communication campaigns: perspectives for emerging vector-borne diseases

Beatrice Gaillard[1,2], Frédéric Simard[2], Laurent Dormont[1], Pierre Jay-Robert[1], Andres Garchitorena[2*], Jocelyn Raude[3*]

1. CNRS/IRD/UM/UM3 CEFE
2. IRD/CNRS/UM 5290 MIVEGEC
3. UMR "Emergence des Pathologies Virales" (Université Aix-Marseille, IRD 190, INSERM 1207, EHESP), Marseille

Corresponding author: Béatrice Gaillard : beatrice.gaillard@ird.fr

* Equal contribution

Abstract

Despite the progress of modern medicine, the burden of infectious diseases is still impacting deeply our societies and economies. Among them, vector-borne diseases (VBD) are an increasing health threat throughout the World, as recently illustrated by the social and economic impact of Zika epidemics. While biological research focuses on the understanding of transmission processes and opportunities for chemical and/or biological control of these pathogens, a social and psychological perspective is of major importance to understand the impact of human behavior on these epidemics. Seeking behavioral change, communication campaigns have been repeatedly used as a tool for mosquito borne-disease to control epidemics. In this paper, we review the theory of behavioral change in the context of the design and implementation of communication-based interventions against VBDs and highlight existing tools to quantify their impact on human behavior. Using recent French communication campaigns against arboviral diseases as case studies, we draw lessons learned from communication-based interventions that could help improve preparedness against arbovirus outbreaks in the future and mitigate their impact.

Introduction

Through the world, infectious diseases are still the main cause of premature mortality in human populations, with almost 725,000 deaths every year[1]. Vector-borne diseases, most of which are transmitted by mosquitoes, represent 75% of all emerging infections[2]. While the historically endemic vector-borne diseases (such as malaria or lymphatic filariasis) still contribute largely to this burden in the developing world, arboviruses are a raising concern in developed countries, especially in temperate areas such as Western Europe, where populations and authorities are not used, and therefore well prepared, to control and prevent them at a large scale[3].

While vector control relies mostly on the use of chemical insecticides, changes in mosquito behavior and the raising emergence of insecticide resistance are leading to a decrease in the efficacy of frontline interventions[4]. Consequently, the role of human behavior is increasingly recognized as fundamental in pathogens transmission[5,6], including for vector-borne diseases[7]. The importance of targeting human behavior has been clearly recognized by the World Health Organization (WHO), which has included social mobilization among the top 5 priorities to fight against vector-borne diseases.

The recent experience of France with social mobilization in recent years can contribute to advance in this field. Owing to their tropical and subtropical location, numerous arboviral outbreaks have been recently recorded in French overseas territories. The first outbreak of Chikungunya virus was recorded in Reunion island in 2005, where more than 140,000 people were infected[8]. More recently, other French overseas territories in South America and Caribbean islands have been stroke by outbreaks of Chikungunya in 2014[9] and Zika virus in 2016[10], in addition to recurrent Dengue epidemics[11]. Concern is also emerging in mainland France with the invasion of the mosquito *Aedes albopictus*. In addition to its potential economic impact on touristic activities because of its aggressive behavior, *Ae. albopictus* is able to transmit all of the above-mentioned arboviruses [12]. As a consequence, the invasion of *Aedes*

albopictus[13] combined with the high number of imported cases (several hundred of arboviral cases every year) [14], has resulted in several small outbreaks of autochthonous cases[15–19], demonstrating the emergency of this new health threat. For a population not used to fight against this type of diseases, awareness and education campaigns to promote preventive behaviors are necessary. Therefore, the French context offers epidemiological situations that can greatly inform the rest of American and European countries.

In this paper, we review the broad concepts involved in the different communication strategies in public health (hereafter referred to as "social mobilization") and how we can evaluate these approaches, with both qualitative and quantitative methods. Then, we show how they have been applied for vector-borne disease control in overseas French territories. Finally, we discuss how they can be applied in Metropolitan France and provide directions for population preparedness on arbovirus outbreaks in temperate, non-endemic areas.

Behavior and Communication campaigns. The main concepts for public health

In the field of public health, the construct of "behavior" refers to all the actions and habits that affect individuals and populations' health. From the fifties, the behavioral effects on human health have been generally characterized by identifying protective and risk factors through epidemiological studies, such as case-control studies and longitudinal cohorts. In the case of vector-borne diseases, exposure to mosquito bites, because of failure to -use of bed nets or repellents, and allowing proliferation of mosquito breeding sites (e.g. creation of bodies of stagnant water) are the main risky behaviors. To change this behavior, communication campaigns are recognized as a pivotal tool.

Communication in public health can be compared to classic Marketing strategies, because it conceptualizes the means to set up an action, what is done in this action and for which reason. Nevertheless, changing behavior still represents a considerable challenge. Even when

populations are well informed of the risks involved, they may maintain their risky behavior[20]. A communication campaign is therefore inefficient[20] as long as the behavioral change is not achieved.

An efficient communication campaign needs to trigger the desired feeling in the targeted populations through different channels. This, in turn, can lead to behavioral changes[21] that will impact the epidemic dynamics[22]. Nevertheless, the knowledge of the epidemiological dynamics can also change the feeling of the human population and consequently individual behavior[23–26] (Figure 1). Several aspects of a communication campaign need especial attention to increase their effectiveness and prevent unintended consequences: the emitter and the target; the message contents; and the communication scheme. Each part will be briefly described below.

The emitter and the target

Communication campaigns are generally organized and operated by governmental agencies. Mainly prescriptive, these campaigns aim to target the whole population to recommend a specific behavior regarding a health threat. Messages need to be "smoothed", in order to check the information and avoid ambiguities, but also to unify and homogenize the message. They can be broadcasted by different mass media, including new platforms such as digital social networks. The emitter has also to anticipate the objections and prepare the answers, being reactive and reliable[27]. In cases where the health problem is large, an effective strategy consists on splitting national communication campaigns into different actions (i.e. tools and diffusion channels) to reach correctly different targets or population groups, known as "message fragmentation"[6].

The message contents

The emitter can adapt campaign messages to match its population target according to the prevailing cultural codes, language, socio-economic context or the nature of the health threat. The content of message could be alarmist, persuasive, protective, pedagogic or threatening, or a combination of these orientations.

Alarmist messages rely on shocking visuals and text to create a feeling of urgency and gravity. This strategy, known as "fear appeal", is characterized by the fact that different levels of fear will have different impacts on human behavior. If the fear feeling is too weak, individuals will not have any motivation to protect themselves. Conversely, if the fear is too strong, individuals will put in place a defense strategy, necessary to reduce the emotional tension felt and could suddenly reject the message[28]. The classic fallback is to give the impression that nothing can be done. In contrast, **protective** messages aim to reassure the affected population, but such messages could initiate fear that the truth is hidden. In cases where the message is **pedagogic**, a learning effort is requested from the population, creating a feeling of investment within the society.

Decisions on the use of each type of message rely strongly on the understanding and management of population fear. According to Rogers, the feeling of **fear** is strongly associated with strong motivation for behavioral change[29] but can lead to very different and complex outcomes. This triggers an individual choice in which the costs and the benefits are evaluated. Nevertheless, an individual can (i) try to treat the potential source of danger himself or (ii) adapt its behavior to reduce this danger and decrease his feeling of fear. However, if the fear is too intense, a "defense" mechanism could appear and the individual will divert his attention and will not be receptive to the message. Therefore, a message focusing only on the danger could be detrimental because of this "defense" behavior[30]. As a coping strategy, individuals might instead adapt message reception and interpretation to make it match the current behavior[29], which is dependent on the level of vulnerability felt by the individual.

The communication scheme

In a communication scheme, one of the most common and intuitive techniques is that of **persuasive messages**, which aims at convincing the target to change its behavior through repetition[29,31]. Alternatively, **communication through commitment**[30] focuses on the

importance of the action and freedom of action as constituent factors of commitment. In these cases, the individual should receive a reward[30], pushing the adoption of the targeted behavior, also known as preparatory behavior[32]. In addition, internal and external reasons are put forward, helping to understand the individual behavior that gives a personal freedom status for the subject. The **Neuro-linguistic programming** aims to improve the message understanding by using the same understanding channels than the target, generating a sense of proximity and confidence. A range of visual, auditive, or kinesthetic (i.e., through individual sensations) means are used to attract such attention. Finally, the **willing submission** technique occurs when there is a punishment to not follow the recommendation (e.g. through fines) so that the recommended behavior has an obligatory nature. This technique relies on cognitive dissonance theory, whereby punishment transform this behavioral change as a benefit[30].

Capturing behavioral change

By definition, changes in behavior and/or feeling are qualitative social processes, with significant challenges to be measured rationally and objectively. However, characterizing successes or failures of communication campaigns require having a quantitative measure of such change. As a result, while impact evaluations of interventions against vector-borne diseases include multiple health and entomological indicators (e.g. entomological inoculation rates, disease incidence, etc.), measures of individual behavior are rarely accounted for. Such evaluations could benefit from classic and novel tools available to quantify human behavior.

Through questionnaires, semi-directive interviews or direct observations, **opinion polls** still represent one of the most commonly used tools for such quantification. *Questionnaires* use generally simple questions with several possible answers. While these questionnaires were traditionally conducted through phone interviews, the worldwide emergence of the Internet has dramatically changed how questionnaires are used and have speed up the availability of data. The use of close ended questions (e.g. dichotomous, multiple choice) allows, through the use of statistical analyses, to identify trends within the population. *Semi-directive interviews* allow a larger flexibility in the answers of individuals

interviewed, yielding a deeper understanding of their lexical field. At this individual scale, it can allow to identify the mismatch between the answer and the real behavior. *Direct observation* can be done in situations of interactions among different social actors *in situ*. While it relies on a possibly biased record made by the observer, the level of available details is not reachable by other methods.

It is worth mentioning that many innovative ways to analyze collected data from interviews have been developed during the last year. Visual methods commonly known as PCBR (Participatory Community Based Research) are new methods of participatory visual research[33]. Photovoice is one of those methods that allows older people to participate more simply in such sociological studies[34]. It is a collective method where the participants take pictures, videos [35] or drawings [36] of scenes representing the issue that are thereafter interpreted collectively with other participants.

One particular type of standardized questionnaire are Knowledge, Attitudes, Beliefs and Practices (**KABP) surveys**[6]**,** which are increasingly used in combination with prevalence studies for program evaluations or to better understand the reasons for its success/failure, particularly in the field of vector-borne diseases [38]. These studies can take a snapshot before and after an event (such as an epidemic or a communication campaign) to quantify how these different KABP components may have changed according to such event.

With the increasing use of the Internet and digital social networks, a new field called **digital epidemiology**[39] has risen and may be crucial to quantify change in human behavior. The main idea is to analyze what people are looking for on search engines[40] or are discussing on digital social networks[41,42,7]. This field is especially important for health research, since more than 30% of Google requests are about human health[43]. The importance and the outcomes of this field are growing exponentially with more than 51% of the world's population having internet access, which allows data availability almost in real-time. Digital platforms could have other applications, such as geolocation, which could help characterize human movement and identify areas with a potentially high number of contacts. Many different analyses can be done on the content of the messages exchanged on these social networks, as well as how these different feelings can be spread through different topologies of these networks.

Mathematical modeling has been increasingly used to understand the consequences of human behavior, and especially the reciprocal interaction between level of pathogen transmission and human behavior[44]. Combined with game theory, theoretical modeling can allow understanding how health-related human behaviors (e.g. bed-net use) change depending on the level of available information and the perceived risk of pathogens and how this affects pathogen transmission in the population[45].

Finally, some techniques have been developed in **communication and marketing theories**[31]. For instance, the *memorization rate* is a composite index, unique to each study, which aims quantifying what has been kept by the campaign target. The *raw score*, which corresponds to the number of people exposed to the communication campaign, could be also useful to quantify the number of people effectively reached. *The Day After Recall* is an index of advertising efficacy that aims quantifying message memorization one day after its broadcasting. Finally, the *Beta of Morgensztern* is a coefficient used to quantify the total memorization during each wave of a communication campaign, and quantifies the probability that a message is memorized as soon as it is first passed.

Implementation of communication concepts and evaluation methods during recent campaigns against vector-borne diseases in French overseas territories

Within this section, we focus on three emblematic case studies that have occurred in French overseas territories (figure 2).

1- Chikungunya, an emergency situation in La Réunion

In a nutshell:

a) Emitter: Regional authority of public health

b) Target: general public

c) Message contents: Protectionist and pedagogic, to reassure local populations and deliver key behaviors to adopt.

d) Communication scheme: proximity with the Neuro Linguistic Programming (NLP)

e) Evaluation of behavioral change: KAPB surveys

f) Evaluation results: Population behavior has been strongly impacted by media coverage of the outbreak.

Description:

The Chikungunya outbreak on Reunion Island in 2005-2006 has been a key event for the emergence of communication campaigns to fight vector-borne diseases in France because no plans existed before this episode. In 2006, a program including communication campaigns was initiated around 5 axes[46]: institutional mobilization (pedagogic material, training of local instructor in each locality), communitarian mobilization (training of local instructor in each locality , involvement of religious leaders, associations subventions), large broadcasting public campaign (TV and radio ads, display and media campaign), inter-personal communication (events organization around vector control) and promotion of information hotspots (*phone number and website*). The program focused on three individual behaviors: inspection and destruction of mosquitoes breeding areas, auto-notification of suspected cases (dedicated phone number) and use of individual protection means.

A 2014 evaluation of this campaign through sociological studies highlighted the role of the media in information and reception of the messages[46]. It suggested that stronger links with media outside of the outbreak period could be crucial to reinforce confidence of local populations on public health authorities early on. While population knowledge about the diseases improved, 25% still did not think that mosquitoes could be involved in vector-borne disease outbreaks. Two other retrospective evaluations showed that vigilance and collaboration behaviors, such as auto-notification of suspected cases and inspection of mosquito breeding sites, that have emerged during the Chikungunya outbreak [47] had significantly declined after several years[48]. Thus, despite a sharp increase in population knowledge about mosquitoes and

their involvement in pathogen transmission[47], prevention behaviors against mosquitoes in La Reunion were less assimilated than expected.

*2- **Dengue, a recurrent health threat in French Guyana**.*

In a nutshell:

a) Emitter: Regional agency for Public Health

b) Target: community leaders, school children and teachers

c) Message contents: Pedagogic to increase population knowledge about the disease

d) Communication scheme: Social communication, relying on key persons.

e) Evaluation of behavioral change: KABP surveys

f) Evaluation results: Many difficulties due to socio-cultural diversity and communities remoteness. 55% of the population still considered that Dengue is not dangerous, very few knew the origin of this outbreak and 25% of the population still declared to not protect themselves.

Description:

In 2006, a communication strategy in three stages was developed[46] by the local public health authorities to fight against Dengue in French Guyana. The first phase aimed to evaluate the general perception about Dengue viruses in order to identify the main targets and support for the communication campaign through KABP method but also a socio-political analysis.

The objectives were to improve the general knowledge on the disease (symptoms, prevention behavior, etc.) across all cultural and socio-economic backgrounds. Two broad targets were identified: the general population and school-enrolled children. A unique style guide was designed. **Pedagogic** messages were available for a massive broadcasting (TV ads in French, radio messages, website, posters, text messages, etc.), for presentation to a specific group (e.g. educative material at school) or during specific events.

During the second phase, a KABP study was conducted in 2008 following the communication campaign, to quantify its impact at the population level. While this survey showed a significant improvement in people's knowledge about the disease, only 55% of these inhabitants considered Dengue as a dangerous disease[49]. These results suggested that the population might be getting used to this threat, which could trigger indifference and decrease the efficacy of the intervention through time[46].

In a third phase, the feedback from the KABP evaluation was used in 2009 to modify the communication efforts. The local public health authorities made available posters and leaflets throughout the year in order to improve communication persistence and reduce indifference. In addition, health protective behaviors were promoted through dedicated events and media broadcasting. For instance, the day of all saints was dedicated ever since to large vector control communication campaigns[26,50]**.** In parallel, a large effort is done to adapt the message to the different socio-cultural populations with the goal to involve local inhabitants in the coproduction of these prevention messages[47].

3- Participative communication against Dengue and Chikungunya in La Martinique

In a nutshell:

a) Emitter: Regional health agency, departmental council, regional council, mosquito control service and localities

b) Target: General public

c) Message contents: Pedagogic to explain epidemic origin and how to get protected

d) Communication scheme: Empower each Martinican to raise awareness of the importance of behavior. The willing submission is used here.

e) Evaluation of behavioral change: KAP survey, opinion polls and mathematical modeling.

f) Evaluation results: A dramatic importance of population behavior on epidemics dynamics, as well as improved knowledge of the population and their ability to adopt good behaviors.

Description:

Confronted with recurrent Dengue epidemics since 1995[51], the Martinique island has developed a vector control strategy based on four axes: environmental control, chemical control, communitarian control and population information. Since 2008, two communication campaigns have been organized on a yearly basis to reinforce the promotion of protective behaviors[50]. Frequent vector control workshops have been organized to strengthen the links between the different institutions and the vector control services. Second, a vector control day was initiated, where local populations are invited to carry out prevention activities and different events are organized throughout the island. Following a large outbreak in 2009, the community-based approach has been strongly reinforced ever since[52], with an increase in the number of workshops and the development and distribution of **Pedagogic** tools.

In 2013, a large Chikungunya outbreak (figure 3a) took place on this island. In order to sensitize local populations about this new virus, a large communication campaign was organized combining awareness of both Dengue and Chikungunya with the idea of capitalizing on the knowledge gained during previous Dengue outbreaks. Given the magnitude of the outbreak, a special day was organized named “Dechiktaj”, in which all employees of public institutions employees could have an additional leave day if it was dedicated to participate in the vector control effort (figure 3b). In addition, “operation Toussaint” (All saints) was particularly reinforced (figure 3c). **This communication effort relied on an alarmist message combined with the use of traditions, destined to increase awareness.** Indeed, by using this operation of All Saints where all the families flourish the cemeteries and thus created new potential breeding sites, this campaign allows combining daily life activities and outbreak reality.

Finally, this outbreak has seen also the emergence of numerous **rumors** throughout the island (e.g. extermination of black people or an airborne transmission of the disease among others), decreasing the confidence of local populations in vector control services. To address this, local authorities have spread a document to all administrations explaining why each rumor circulating was wrong and what the real scientific evidence was (figure 3d).

Discussion

Vector-borne diseases are a cause of increasing concern throughout the World (REFS). An integrative approach that targets human behavioral change can help reduce mosquito exposure, contributing to disease prevention. Here, we have reviewed the main theoretical concepts behind communication campaigns targeting health-related behavioral change and novel methods for accurate evaluation such as marketing tools or digital network analysis. French territories offer a compelling case study where recurrent arboviral outbreaks have been fought under conditions of few financial constraints. This could offer potential insights for European countries, especially those in the Mediterranean region that have been recently invaded by *Aedes albopictus* and are experiencing isolated arboviral outbreaks.

While all communication campaigns reviewed here resulted in a significant increase in population knowledge, this increase did not necessarily translate into concrete action or behavioral change against the diseases[49,47]. Notably, local socio-cultural diversity can strongly scramble message reception and its translation into behavioral change[47] . Therefore, communication campaigns should rely on local relays deeply involved within social networks to make a link between public health authorities and a heterogeneous local population, analogous to the raising role of community health workers in the developing world. Finally, there was a strong **cognitive dissonance** between the lay conception of local populations and message contents of these campaigns ("expert" perspective). Decreasing this gap, through the

use of simpler words or refining message contents to some essential aspects, could yield a more effective approach.

Emotional communication designed to trigger a variety of feelings was scarcely used. In the event of an epidemic, it is difficult to effectively target feelings because urgency imposes rapid action. In addition, fear or panic generated by a more alarmist communication was not used to avoid anti-productive reactions. The use of pedagogic and protectionist messages in the three case studies was intended to calm, rationalize the phenomenon and show the way forward to the people. However, the minimization of risk can be negatively perceived by the population to the extreme that, in La Reunion Island, the governmental representative had to be repatriated urgently during the Chikungunya epidemic as a result of the public's reaction.

An important lesson learned is that communication concepts can be adapted to a variety of epidemiological contexts. Within territories where the threat of arboviruses has been present for decades, the fight against an outbreak of a new emerging vector-borne disease can build upon communication strategies deployed for endemic arbovirus in the past. However, territories that have been free of arbovirus threats (e.g., Mediterranean region) can adapt communication strategies from these previous experiences but tailored to a population with little prior disease knowledge.

We focus on the French overseas territory context to avoid too great cultural disparities that we may face if we would have expanded it to other countries as well as allowing to considering emerging context and endemic contexts. Nevertheless, other actions in other countries have been carried out that do not have to be ignored when analyzing the relevance of the different opportunities for these communication strategies[49].

The different concepts and examples presented within this review highlight that the knowledge is already there to identify the most relevant communication strategies. Therefore, we do believe that preparedness is crucial in this regard, especially when considering the potential

setbacks of misconceived communication plans. Defining numerous scenarios and envisioning what would be the most effective communication regarding the different possible threats would not only save time, but can also be pivotal to slow down, or even stop, epidemics propagation.

Bibliography:

1. Wang, Haidong, Mohsen Naghavi, Christine Allen, Ryan M. Barber, Zulfiqar A. Bhutta, Austin Carter, Daniel C. Casey, et al. Global , regional , and national life expectancy , all-cause mortality , and cause-specifi c mortality for 249 causes of death , 1980 – 2015 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* **388: 1459–,** (2017).

2. Taylor, L. H., Latham, S. M. & Woolhouse, M. E. Risk factors for human disease emergence. *Philos Trans R Soc L. B Biol Sci* **356,** 983–989 (2001).

3. Parreira, R. & Sousa, C. A. Dengue fever in Europe: could there be an epidemic in the future? *Expert Rev. Anti. Infect. Ther.* **13,** 29–40 (2015).

4. Mathieu, R. B., Pocquet, N., Riaz, M., David, J. & Chandre, F. Insecticide Resistance in the Dengue Vector Aedes aegypti from Martinique : Distribution , Mechanisms and Relations with Environmental Factors. *PLoS One* **7,** (2012).

5. Funk, S., Salathé, M., Jansen, V. A. A., Funk, S. & Salathe, M. Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases : a review Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases : a review. *J. R. Soc. Interface* **7,** 1247–1256 (2010).

6. OMS. Communication pour un impact comportemental (COMBI). 136 (2013).
7. Roche, B. *et al.* An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique. *Sci. Rep.* 1–8 (2017). doi:10.1038/s41598-017-05957-y
8. Josseran, L. *et al.* Chikungunya disease outbreak, Reunion Island. *Emerg Infect Dis* **12,** 1994–1995 (2006).

9. Leparc-Goffart, I., Nougairede, A., Cassadou, S., Prat, C. & de Lamballerie, X. Chikungunya in the Americas. *Lancet* **383,** 514 (2014).

10. Faria, N. R. *et al.* Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. *Science* **352,** aaf5036 (2016).

11. Setbon, M. & Raude, J. Perceptions and preventive behavior against dengue fever in Martinique. *Med. Mal. Infect.* **38,** S78–S81 (2008).

12. Paupy, C., Delatte, H., Bagny, L., Corbel, V. & Fontenille, D. Aedes albopictus , an arbovirus vector : From the darkness to the light. *Microbes Infect.* **11,** 1177–1185 (2009).

13. Roche, B. *et al.* The spread of Aedes albopictus in Metropolitan France: contribution of environmental drivers and human activities and predictions for a near future. *PLoS One* (2015).
14. Paty, M. C. *et al.* Large number of imported chikungunya cases in mainland France, 2014: a challenge for surveillance and response. *Eurosurveillance* **19,** 20856 (2014).

15. Roiz, D., Boussès, P., Simard, F., Paupy, C. & Fontenille, D. Autochthonous

Chikungunya Transmission and Extreme Climate Events in Southern France. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **9,** e0003854 (2015).

16. Gould, E. A., Gallian, P., Lamballerie, X. De & Charrel, R. N. First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France : from bad dream to reality ! *EuroSurveillance* **16,** 1702--1704 (2010).

17. La Ruche, G. *et al.* First two autochrhonous Dengue Virus infections in Metropolitan France, September 2010. *EuroSurveillance* **15,** 1–5 (2010).

18. Marchand, E. *et al.* Autochtonous case of Dengue in France, October 2013. *Eurosurveillance* **18,** (2013).

19. Paty, M.-C., Six, C., Charlet, F. & Coignard, B. le nombre important de cas importés de chikungunya en France métropolitaine représente un défi pour la surveillance et l'intervention. *Bull. Epidemiol. juillet 2014* 404–408 (2014).

20. Gallopel, K. & Petr, C. Utilisation de la Peur dans les campagnes de Prévention : Résultats et Discussions autour des Comportements Tabagiques de Jeunes Français. *Cancer* 1–28

21. Debré, P. La lutte contre Ebola exige une meilleure communication entre Nord et Sud. *Le Monde* 3 (2014).

22. Funk, S., Gilad, E., Watkins, C. & Jansen, V. A. A. The spread of awareness and its impact on epidemic outbreaks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **106,** 6872–6877 (2009).

23. Bhattacharyya, S. & Bauch, C. T. 'Wait and see' vaccinating behaviour during a pandemic: a game theoretic analysis. *Vaccine* **29,** 5519–25 (2011).

24. Wells, C. R. & Bauch, C. T. The impact of personal experiences with infection and vaccination on behaviour-incidence dynamics of seasonal influenza. *Epidemics* **4,** 139–51 (2012).

25. Bauch, C. T. C., Galvani, A. P. & Earn, D. J. D. Group interest versus self-interest in smallpox vaccination policy. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **100,** 10564–10567 (2003).

26. Bauch, C. T. & Earn, D. J. D. Vaccination and the theory of games. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **101,** 13391–4 (2004).

27. Oger, C. & Ollivier-Yaniv, C. Conjurer le désordre discursif. Les procédés de « lissage » dans la fabrication du discours institutionnel. *Mots. Les langages du Polit.* 63–77 (2006). doi:10.4000/mots.675

28. Gallopel-morvan, K., Béguinot, E. & Martinet, Y. Le placement des produits du tabac dans les films. *Press. Sci. Po | « Les Trib. la santé » 2* 81–87 (2006). doi:10.3917/seve.011.87

29. Courbet, D. Réception des campagnes de communicatrion de santé publique et efficacité ds messages générant de la peur. *Communication* **22,** 1–18 (2004).

30. Bernard, F. & Joule, R.-V. Lien, sens et action : vers une communication engageante. *Commun. Organ.* **24,** 8 (2004).

31. Marchioli, A. Marketing social et efficacité des campagnes de prévention de santé publique : apports et implications des récents modèles de la communication persuasive. *Mark. Manag.* **6,** 17 (2006).

32. Martinie, M. A. & Joule, R. V. Changement d'attitude et fausse attribution: Effet de la centration sur le comportement de soumission. *Annee Psychol.* **104,** 517–535 (2004).

33. Prosser, J. & Loxley, A. Introduction methods visual. (2008).

34. Alcock, S. & Zealand, N. Application Flow Control in YouTube Video Streams. **41,** 25–30 (2011).

35. Capstick, A. & Ludwin, K. Place memory and dementia : Findings from participatory fi lm-making in long-term social care. *Health Place* **34,** 157–163 (2015).

36. Scott. *Multivariate Density Estimation Theory, Practice, and Visualization*. (2015).

37. Pilcher, K., Martin, W. & Williams, V. Issues of collaboration , representation , meaning and emotions : utilising participant-led visual diaries to capture the everyday lives of people in mid to later life. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* **5579,** 0 (2016).

38. Ipsos Antilles. Etude d 'évaluation des retombées des actions de prévention contre le Chikungunya en Guadeloupe. 50 (2014).

39. Salathé, M. *et al.* Digital epidemiology. *PLoS Comput. Biol.* **8,** 1–5 (2012).

40. Ginsberg, J. *et al.* Detecting influenza epidemics using search engine query data. *Nature* **457,** 1012–1014 (2009).

41. Salathé, M., Freifeld, C., Mekaru, S., Tomasulo, A. & Brownstein, J. Influenza A (H7N9) and the importance of digital epidemiology. *N Engl J Med* **369,** 401–404 (2013).

42. Brownsetin, J. S., Freifeld, C. C. & Madoff, L. C. Digital Disease detection - Harnessing the Web for public health surveillance. *N. Engl. J. Med.* **360,** 2153–2157 (2009).

43. Giustini, D. Social media trends for health librarians : a primer on using social media for clinical disease surveillance. *UBC Biomed. Branch Libr.* **33,** 92–94 (2012).

44. Funk, S., Salathé, M. & Jansen, V. A. A. Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases : a review. *J R Soc Interface* **7,** 1247–1256 (2010).

45. Bhattacharyya, S., Bauch, C. T. & Breban, R. Mathematical Biosciences Role of word-of-mouth for programs of voluntary vaccination : A game-theoretic approach. *Math. Biosci.* **269,** 130–134 (2015).

46. Mieulet, E. & Claeys, C. The implementation and reception of policies for preventing dengue fever epidemics: a comparative study of Martinique and French Guyana. *Heal. Risk Soc.* **16,** 581–599 (2014).

47. Bardes, J. *et al.* La mobilisation sociale contre Aedes albopictus Inventaire des méthodes , outils et synthèse des expériences. *PLoS One* (2016).

48. Mieulet, E. & Claeys, C. (In) acceptabilités environnementales et / ou sanitaires : dilemmes autour de la démoustication du littoral méditerranéen français. *VertigO - la Rev. électronique en Sci. l ' Environ.* **16,** 0–21 (2016).

49. Cecilia Claeys, Robles, C., Bertaudiere-Montes, V. & Florence Fouque. Socio-ecological factors contributing to the exposure of human populations fever , chikungunya and zika viruses : a comparison between mainland France and the French Antilles. *Environ. Risque Sante* **15,** 318–325 (2016).

50. Silvia Pochettino. Ebola, un problème de communication. *DevReporter Network.* 2 (2014).

51. Jourdan, F., Paty, M.-C., Perrin, Y. & Fontenille, D. Aedes albopictus et le risque arbovirus en France métropolitaine : la nécessité d'une surveillance intégrée. *Bull. Epidemiol.* (2013).

52. Fontenille, D. *et al. Quelles sont les pratiques et les modalités d ' évaluation de la LAV ?* (2009).

Figure 1: Conceptual diagram of intrinsic and extrinsic factors influencing human behavior regarding epidemics activity.

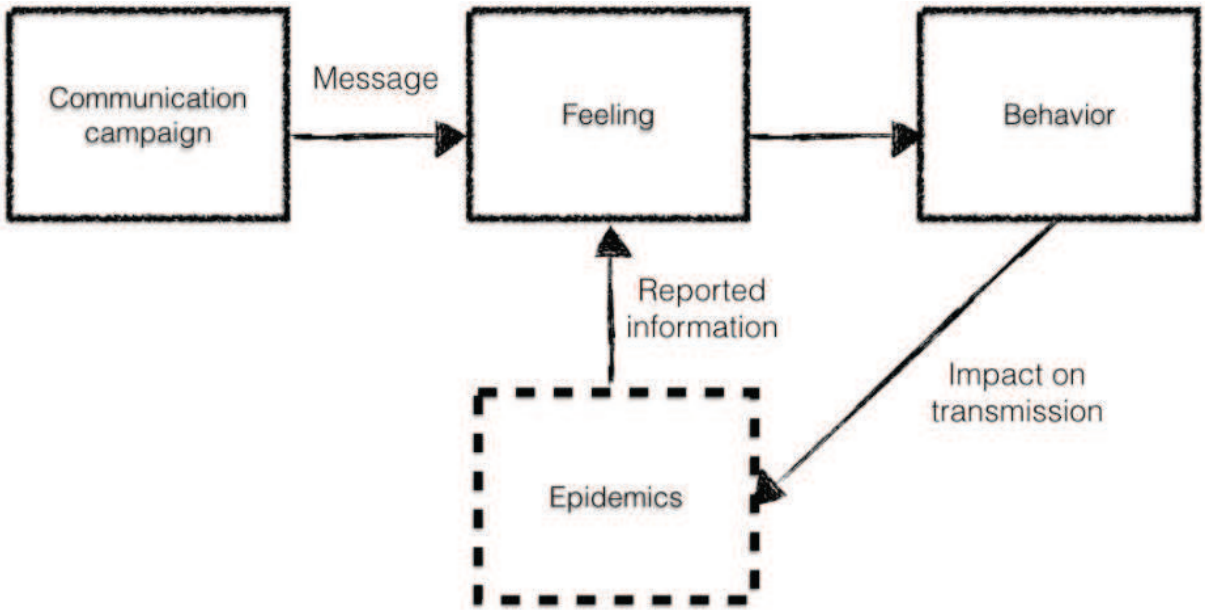


Figure 2: Summary of the case studies detailed in the main text.

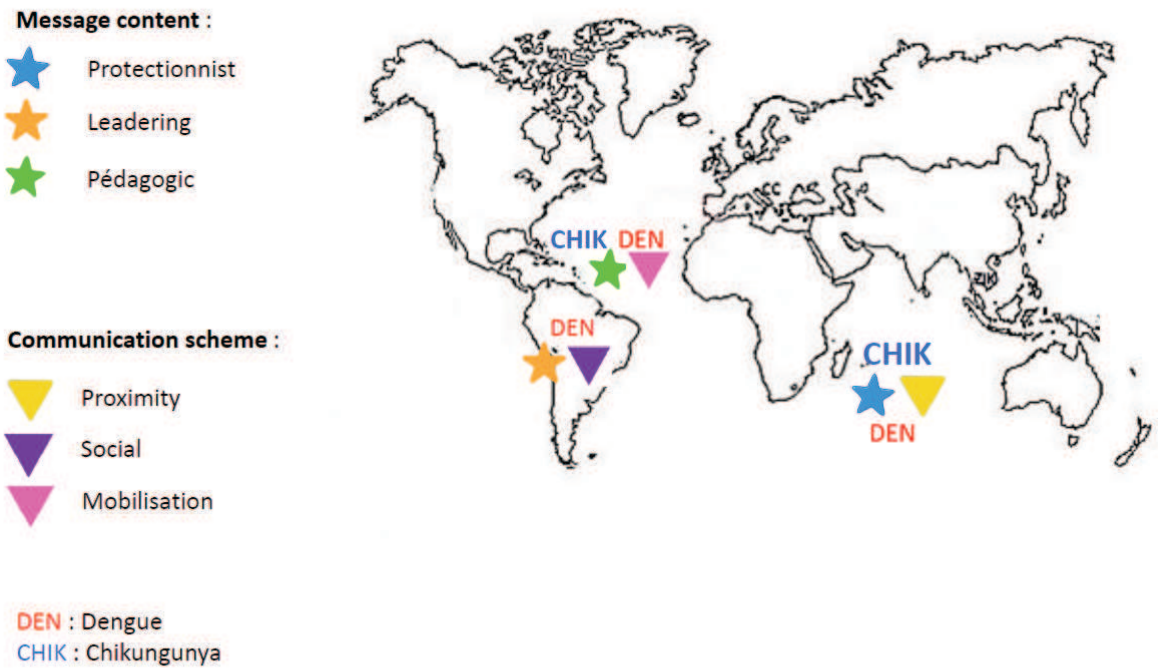


Figure 3: Examples of communication strategies used during the Chikungunya outbreak in Martinique island. (A) General communication against *Aedes aegypti* mosquito (B) Communication for the special event Dechiktaj (C) Communication for a recurrent vector control event during the day of all saints (D) Specific communication against the rumors circulating about Chikungunya virus.



Objectifs et démarches de cette thèse

L'objectif général de cette thèse est d'améliorer et optimiser les stratégies de communication dans le but de les rendre plus percutantes auprès des populations.

En 1960, la théorie de Jacobson (Sendoya Mejía 1981) nous enseigne que le message perçu est différent du message reçu, autrement dit quand on formule une recommandation sous forme de questions ou quand on oblige les gens à réfléchir on observe une différence de changement de comportement. Ces différences sont toutefois difficiles à évaluer car un certain nombre d'éléments contextuels entrent en compte. Ces éléments contextuels représentent de potentiels biais qui peuvent dépendre aussi bien de l'intervieweur, de l'interviewé ou encore du moment de la journée.

La première partie (chapitre 1) de ma thèse va se concentrer autour de la question de la compréhension du message. D'une part, comment la formalisation des entretiens directs ou semi-directs grâce à des questions ouvertes et fermées agit sur le comportement de l'individu. Ainsi, l'objectif de départ est de trouver la forme d'expression qui aura le plus d'efficacité sur le comportement d'une personne. D'autre part, quel est le ressenti de la population conjugué avec la mise en perspective de la réalité du terrain (Figure 6).

Ensuite, une seconde partie (chapitre 2) se consacre à l'évaluation des impacts comportementaux grâce à l'approche dite de digital epidemiology (Salathé et al. 2012). Il s'agit d'étudier des facteurs influant sur la santé et les maladies des populations en analysant les données numériques (big data) dans le but d'améliorer la santé publique. Au travers de ce moyen, nous essaierons de quantifier la robustesse de cette approche en la comparant aux sondages classiques. La digital epidemiology, doit-elle compléter ou supplanter complètement les sondages. Cette étude sera rapportée à une analyse comparative réalisée avec le baromètre de la santé, sur la même période et sur les mêmes thématiques (Figure 6).

Enfin, dans une troisième partie (chapitre 3) j'effectue une exploration plus approfondie des sentiments sur les réseaux sociaux. Dans un premier temps pour évaluer les sentiments émis sur twitter au cours d'une épidémie et dans un second temps pour évaluer les relations entre les stratégies de communication mises en place par les autorités et les sentiments qui en découlent sur twitter. Autrement dit, comment est reçu le message envoyé à la cible (Figure 6).

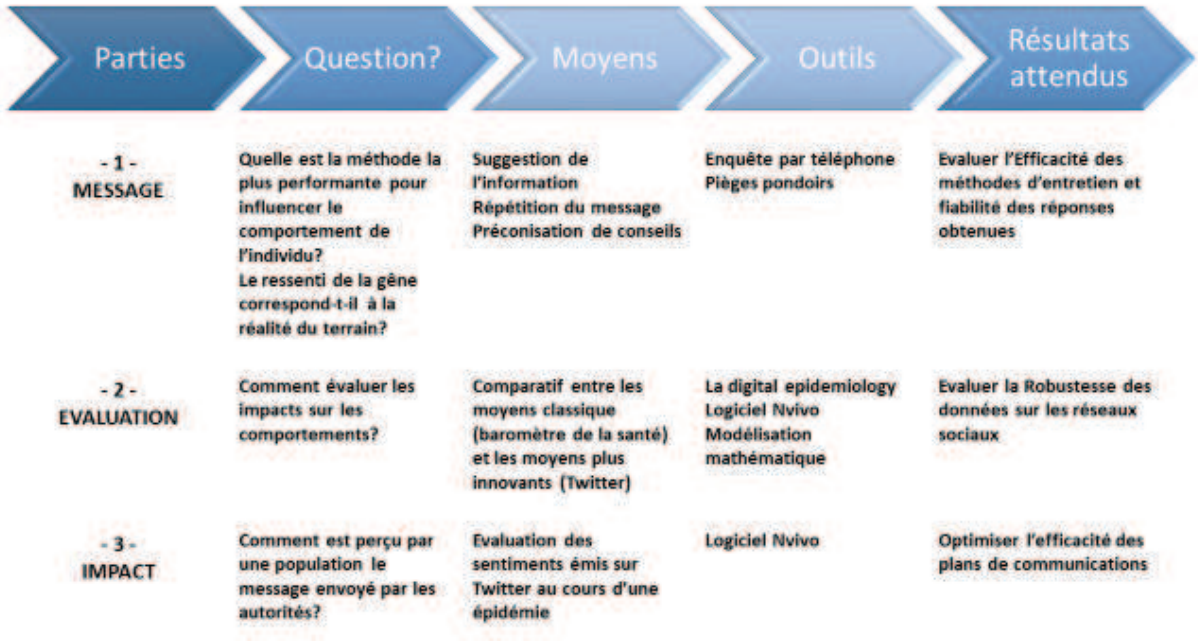


Figure 6 : Plan général de la thèse

Enfin, dans une ultime partie « Discussion générale et perspectives » je fais une synthèse et une analyse critique de l'ensemble des éléments apportés dans ce travail afin de mettre en perspective les résultats nouveaux qui auront été générés.

Partie 1 : Impact du message et du canal des stratégies d'information sur le comportement des populations

Il existe différentes stratégies de communication en santé publique. Après avoir énoncé les différentes théories dans l'introduction, nous avons pu observer que l'implémentation sur le terrain de la mobilisation sociale peut prendre des formes diverses. En effet, il est possible de travailler sur toutes les variables de la communication (par exemple : le canal, le récepteur….) afin d'agir différemment en fonction du résultat souhaité. Au cours de ce mémoire, nous définissons la mobilisation sociale comme un processus utilisant la communication pour rallier à l'action un grand nombre d'individus, notamment de la société civile, afin de réaliser un but social commun à travers les efforts et les contributions de tous (Fontenille et al. 2009).

Pour réaliser ce travail de terrain, l'enquête par questionnaire est perçue comme la technique traditionnelle des enquêtes scientifiques en sciences sociales qui permet d'évaluer les stratégies de mobilisation implémentées (Parisot I 2012), notamment grâce à la possibilité d'exploiter statistiquement les données récoltées. L'intérêt premier de l'enquête par questionnaire est de recueillir une grande quantité d'informations, auprès d'un nombre important d'individus – la représentativité de l'échantillon autorisant d'en déduire à l'ensemble de la population d'étude les résultats obtenus auprès des enquêtés de l'échantillon. L'objectif est donc de mesurer la fréquence de caractéristiques (situations, comportements, opinions ou attitudes…) dans une population donnée, ainsi que les relations entre ces caractéristiques.

Néanmoins, les statistiques ne garantissent pas la qualité d'une recherche si les enquêtes utilisées ont été mal recueillies et/ou mal construites. Le mode d'enquête peut aussi influencer la perception du questionné. Interrogées au téléphone, les personnes donnent-elles les mêmes réponses que quand elles sont interrogées en face-à-face ? L'enquête « Changement organisationnel et informatisation » de 2006 constitue une étude intéressante pour aborder cette question, puisque 14 % des 14 000 répondants à cette enquête ont été interrogés en face-à-face faute d'avoir pu être contactés par téléphone. A cet égard, l'analyse statistique livre en effet plusieurs enseignements intéressants (Algava 2015) :

- les répondants en face-à-face sont plus souvent des femmes, des ouvriers, des personnes en mauvaise santé et peu diplômées, et ont plus souvent des parents nés à l'étranger. Ce sont des personnes volontaires, qui ont choisi de participer à l'étude ;

- les enquêteurs ont plus souvent été amenés à conduire l'enquête en face-à-face que les enquêtrices ;

- à caractéristiques observables identiques des enquêtés et des enquêteurs, les entretiens en face-à-face aboutissent à une description plus critique de leurs conditions de travail ;

- cet écart entre les réponses au téléphone et celles en face-à-face s'élargit à mesure qu'on approche de la fin du questionnaire, comme si la confiance qui s'établit entre l'enquêté et l'enquêteur amenait à une plus grande sincérité du premier au fil de l'entretien. Cela suggère que les personnes se livrent plus, que les réactions sont différentes ;

- cet écart entre téléphone et face-à-face concerne essentiellement les hommes qui, par exemple, hésitent moins à se plaindre d'être mal payés ou mal reconnus dans leur travail en face-à-face. De l'autre côté, les femmes semblent livrer leur point de vue aussi spontanément au téléphone qu'en présence d'un enquêteur.

Ces constats doivent être nuancés car des différences non perçues (ex : culture, traditions, habitudes) peuvent exister entre les personnes interrogées par téléphone et en face-à-face, et de telles différences pourraient contribuer à expliquer les écarts ici constatés. Il semble néanmoins que la comparabilité des résultats d'une enquête à l'autre nécessite une certaine similitude des modes de collecte.

Il conviendra donc, au vu de cette étude, qu'étant données les différences d'attitudes des répondants face à la démarche de l'interlocuteur, on peut se demander s'il est plus efficace de pousser l'individu à réfléchir ou s'il faut lui imposer des réponses.

Influencé par la cybernétique, par la théorie des groupes et par celle des types logiques, Gregory Bateson, un anthropologue, psychologue et épistémologue américain, s'est beaucoup intéressé à la communication (humaine et animale), ainsi qu'aux fondements de la connaissance des phénomènes humains (ex : schizophrénie, fantasme). Il est l'un des fondateurs de l'école de Palo Alto (Wittezaele 2008), un courant de pensée et de recherche qui, à partir du début des années 1950, est notamment à l'origine de la thérapie familiale c'est-à-dire la prise en charge de plusieurs membres d'une famille ; et de la thérapie brève, une approche psychologique du patient sur un temps très court (1 à 2 séances). Gregory Bateson a beaucoup travaillé sur la différence entre ce que les gens pensent et leurs actions réelles (Bateson 1981).

D'après Alex Mucchielli (Mucchielli 1995), on s'aperçoit que cette idée (le perçu et l'entendu) regroupe l'ensemble des questions que l'on peut se poser sur le passage en deux modèles : le structuro-expressif et le systémique relationnel. Le paradigme structuro-expressif stipule que la répétition est définie comme un pouvoir de la parole, lié à un état du récepteur. Dans ce

contexte, la suggestion est l'acte par lequel une idée est introduite dans le cerveau et acceptée par celui-ci. En revanche, le modèle systémique relationnel se définit comme les relations entre les individus qui constituent notre moi. Les recherches sur la communication de suggestion se sont beaucoup attachées à définir cet « état de suggestibilité » qui prédisposait certains individus à mieux intégrer les ordres et les indications qu'on leur donnait.

Ainsi, nous ne savons pas si la suggestion est une approche plus efficace que la répétition. De plus, soulignons que nous ne savons pas si ces deux techniques d'observation et d'étude sont perçues de la même façon. Enfin, la crédibilité de l'enquêté est remise en question par son ressenti, qui est « l'impression liée à la manière dont on perçoit quelque chose ou une situation, qui peut biaiser sa perception » (Allonier, Dourgnon, and Rochereau 2008). C'est sur cette interaction entre le mode de diffusion du message de prévention et le biais lié au ressenti des personnes interrogées que nous nous focaliserons au sein de ce premier chapitre. Les aspects vécus et histoire de la population ne peuvent bien entendu pas être négligés dans les analyses.

Axe 1 : La suggestion ou la répétition : quelle est la meilleure stratégie pour influer sur le comportement des populations ?

Convaincre les populations exposées de se protéger contre les piqûres de moustiques est l'un des principaux piliers de la réduction du fardeau des arbovirus. De ce point de vue, la littérature actuelle en sciences sociales et comportementales suggère qu'aider les populations locales à adopter un comportement de protection de la santé par l'appropriation des directives (approche «réflexive») devrait être plus efficace que de répéter fréquemment les recommandations (approche «injonctive»). Pour tester cette hypothèse, une enquête interventionnelle a été menée de janvier à décembre 2017 dans le sud de la France, où la menace des arbovirus n'a été que récemment introduite avec l'invasion du moustique tigre asiatique *Aedes albopictus*, et sur l'île de la Martinique où le moustique *Aedes aegypti* est responsable d'épidémies récurrentes de dengue depuis 1977 et de la transmission plus récente du virus chikungunya. Trois groupes homogènes de ménages ont été choisis et assignés au hasard à l'un des groupes de traitement suivants: (i) appels téléphoniques reçus pour répéter les messages de prévention (approche «injonctive»), (ii) appels téléphoniques reçus pour aider à adapter les directives et à adopter un comportement protecteur (approche «réflexive») et (iii) un groupe de contrôle sans appel téléphonique. Nous avons constaté que l'approche « réflexive» avait un faible impact sur l'abondance des œufs de moustiques dans les pièges sentinelles situés dans les zones de test,

alors que l'approche « injonctive» réduisait de manière significative la densité des œufs de moustiques dans le sud de la France, mais pas à La Martinique. Nous discutons ensuite de l'origine de ces différences, en particulier en ce qui concerne les différents antécédents épidémiologiques / entomologiques du sud de la France et de la Martinique.

Article soumis dans Plos Neglected and Tropical Deseases : “Communication strategies in vector control : is it better to suggest rather than to repeat?”

Communication strategies in vector control: is it better to suggest rather than to repeat?

Beatrice Gaillard[1,2], Frédéric Simard[1], Christophe Paupy[1], Pierre Jay-Robert[2], Denis Dabadie de Lurbe[3], Manuel Etienne[3], Anne Baudin[4], Laurent Dormont[2], Jocelyn Raude[5]

4. MIVEGEC, IRD-CNRS-Univ. Montpellier, France
2. CEFE CNRS-IRD-Univ. Montpellier-UM3
3. CEDRE de la Martinique
4. EID Mediterranée
5. UVE: Aix-Marseille Univ – IRD 190 – Inserm 1207 – IHU Méditerranée Infection), Marseille, France

Abstract

Convincing exposed populations to get protected against mosquito bites is one of the most important pillars to decrease arboviruses burden. To this extent, current social and behavioral science literature suggests that helping local populations to adopt health protective behavior through guidelines appropriation (i.e., the "reflexive" approach) should be more effective than repeating guidelines frequently (i.e., the "injunctive" approach). To test this hypothesis, an interventional survey was conducted from January to December 2017 in the south of France where arboviruses threat has been only recently introduced with the invasion of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus*, and on La Martinique island where epidemics of Dengue involving *Aedes aegypti* as a vector occur recurrently since 1977. Three homogeneous groups of households were chosen and randomly assigned to one of the

following treatment groups: (i) received phone calls to repeat prevention messages ("injunctive" approach), (ii) received phone calls to help adapt guidelines and adopt adaptive behavior ("reflexive" approach) and (iii) control group with no phone call. We found that the "reflexive approach" had a weak impact on abundance of mosquito eggs in sentinel ovitraps located within the test areas, whereas the "injunctive approach" significantly reduced mosquito eggs density in south of France, but not in La Martinique. We then discuss the origin of such differences, especially with respect to different epidemiological/entomological history in the south of France and La Martinique.

Introduction

Every year, seven hundred thousand people throughout the world are killed by a mosquito-borne disease (Murray 2011). While these threats were previously mostly confined within the inter-tropical area(Roche et al. 2018), they recently expanded to areas poorly prepared to control this kind of pathogen (Zeller 2009). In absence of vaccins protecting against much of these vector-borne pathogens and the preliminary stage of innovative tools such as *Wolbachia*-infected or otherwise transgenic mosquitoes (van den Berg et al. 2012), public health strategies also rely on public relations through social participation (Bardes et al. 2016).

Indeed, accumulation of messages is the intuitive basis of models in communication(Schiavo 2008). However, whether repeating prevention instructions (defined here as " injunctive approach") is more efficient than helping people to correctly formulate these instructions in a context-specific manner (defined here as "reflexive approach") still is a moot point in public health literature (Watzlawick et al. 1972) (Bowman et al. 2016). The socio-epidemiological context can interfere with whose perception of each strategy (B. Seytre 2003, Bernard and Joule 2004, Abramides et al. 2011).

To test the interaction between epidemiological/entomological history and intervention messages, we applied each kind of communication strategy in two different groups through phone calls (combined with a control group) in South of France, where the recent implantation

of *Aedes albopictus* in 2006 raised the concern of arboviruses emergence (Roche et al. 2015), and La Martinique island, which has a long history of recurrent Dengue outbreaks involving *Aedes aegypti* as viruses vector. We compared their impact on mosquito abundance based on eggs counts in ovitraps located within the tested areas.

Methods

Field sites:

The same study protocol was implemented in two localities in La Martinique island (Fort de France 14°36'57.833"N 61°3'31.609"W and Le Lorrain 14°49'36.793"N 61°3'15.469"W) and in south of France (Jacou 43°39'39.146"N 3°54'41.231"E and La Grande Motte 43°33'38.534"N 4°5'9.859"E). These localities were selected because they are part of the localities monitored routinely by vector control services and are homogeneous in their socio-economic status (average income tax (INSEE 2019) per household is 2,745 euros in Fort de France and 2,994 euros in Le Lorrain, 3,314 euros in Jacou and 4,521 euros in La Grande Motte). In each of the localities, three groups were formed: the first group received the injunctive treatment, the second group received the reflexive treatment while the third group served as a control and did not receive any phone call. The groups were formed to ensure that each household is less than 150m away from the installed ovitraps and more than 150m away from households from other groups in order to avoid contamination between groups.

Each household was first visited by a mosquito control agent within the frame of routine interventions aiming at providing initial mosquito prevention guidelines and recommendations around four areas : “outside the house ", "inside the house", "family life" and "mosquito life” (Institut de Veille Sanitaire 2018). The agent also collected informed consent for further participation in the study. The cohorts included a total of 188 households in Martinique (injunctive group, N=23 in Fort de France and N=23 in Le Lorrain ; Reflexive group, N=42 in Fort de France and N=40 in Le Lorrain; control group, N=29 in Fort de France and N=31 in Le Lorrain) and

350 households in south of France (injunctive group, N=75 in La Grande-Motte and N=73 in Jacou; Reflexive group, N=70 households in La Grande-Motte and N=66 in Jacou; control group, N=30 in La Grande Motte and N=36 in Jacou). Each household was contacted twice by phone by the same operator in the middle and at the end of the most favorable mosquito season in each site (August and October 2017 in the south of France and December 2017 and March 2018 in La Martinique, Figure 1). It is worth mentioning that breeding sites can differ between these regions, where mosquito habitats are mostly flower pots and small containers in south of France while water tanks are frequently present in La Martinique.

Phone calls:

The first group of households received the "injunctive approach", which consists of four general prevention messages that were repeated during the phone call (these messages were chosen because they reflect the range of protection methods available for the public, see supplementary materials S1). Each phone call lasted about 1 minute. The second group received the "reflexive approach", with each interview lasting about 2 to 3 minutes. The questions asked to these households were chosen because they covered the four areas of the recommendations provided during the first visit (Institut de Veille Sanitaire 2018) (Supplementary materials S2). The third group of households received no phone call and was used as a control.

As part of their surveillance duties, the "Entente Inter-départementale de Démoustication" (EID) and the "Centre de Démoustication de la Martinique" (CEDRE) have notified interviewed individuals that their personal data will be recorded, which has been authorized by the French national Committee on data privacy (Comite National Informatique et Libertés, CNIL).

Entomological surveys:

The impact of the different communication strategies was assessed by monitoring *Aedes* eggs abundance in 5-10 standard ovitraps placed within each group of households, so that each

household is at a maximum distance of 150 meters from one ovitrap. Ovitraps were visited biweekly by the EID and the CEDRE field teams. They were treated with a larvicide to prevent larval development. *Aedes* mosquito eggs were morphologically identified and counted in each trap and for each session.

Statistical analyses:

We assumed that our analysis scale is the household unit, and the measured impact of the communication strategy on mosquito abundance is approximated by the number of eggs within the closest ovitrap. We did not focus on clustering effects since we aimed to compare explicitly the efficiency of these strategies in two different regions. First, we performed an ANOVA to quantify the difference among the different groups, independently within the two areas of our study. Then, for each territory with significant difference among groups, we used two-sided t-test to identify directionality and period where average egg numbers were different between each group. We applied a Bonferroni correction to consider multiple comparisons. All analyses were performed with the R software (R Core Team 2017).

Results

A total of 12 sampling sessions were conducted in south of France and La Martinique to collect and count *Aedes* eggs in ovitraps (Table 1). ANOVA revealed a significant effect of treatment on the number of mosquito eggs collected in ovitraps in the south of France ($F(2,41)=3.163$, p-value=0.042), but not in La Martinique ($F(2,12)=1.826$, p-value=0.161). Then, t-tests performed between each group at each collecting session (with their distribution shown in boxplots in Figure 2) in south of France indicated that the " injunctive approach" had a negative impact on the number of eggs from June to October, compared to the number of eggs at the same time and in the same locality for the reflexive and control groups, whereas there was very few significant difference between " reflexive approach" and control group (Table 1).

Discussion

In this study, we showed that an "injunctive approach" (*i.e.*, repeating predefined prevention messages) for mosquito prevention resulted in a reduction of the number of eggs found in the ovitraps in the south of France, where the invasion of *Ae. albopictus* is recent. Conversely, we observed a much weaker impact with "reflexive approach" in south of France, and none of these communication strategies show any impact in La Martinique.

Other studies have shown partially contrasted results, with no observed impact of prevention advices repetition on the perception of a new arboviral epidemic in French Guyana [13]. Multiple explanations can be invoked for such difference, like the specificity of the sanitary threat, the singularity of the territories studied or the communication campaigns that have been applied. More comparative studies are needed to identify the reasons of such differences, which could be numerous and interacting between them.

Difference observed between territories could be explained by the epidemiological/entomological context. Indeed, in south of France, the population has discovered recently the inconvenience caused by mosquito presence and therefore is not used to control measures. On the opposite, *Ae. aegypti* and *Aedes*-borne virus transmission have occurred for decades in La Martinique. Therefore, there is a strong "mosquito culture" and psychosocial habits and attitudes. We are faced with a logic of territory (in local practices and beliefs): habituation versus novelty (Fritzell et al. 2018). Indeed, a previous study carried out in Guadeloupe (sharing a comparable entomo-epidemiological context with La Martinique) indicated there was no association between the level of knowledge on the risk factors related to mosquito bites and Chikungunya infections and the self-reported engagement in health protective behaviors (Ipsos Antilles 2014). Although the continuous presence of mosquitoes reduces the potential public health impact of communication effort, this habituation effect may be inhibited or attenuated in case of an outbreak. However, in mainland France, the relative novelty of mosquito-borne disease risks could make such a prevention strategy more effective to promote behavioral change among inhabitants (Bernard and Joule 2004).

This study has some limitations that deserve deeper discussion. First of all, differences in local mosquito densities, biting behavior, allergic response to mosquito bites potentially exist between *Ae. albopictus* and *Ae. aegypti* (Peng et al. 1998) (and therefore between metropolitan France and La Martinique), which can interfere with the perception of both mosquito nuisance and engagement to preventive actions. While studying these two contexts allowed identifying differences, more studies replicating our protocol would be needed to confirm that such difference is not due to these different mosquito species. Also, the methodology we used to monitor dynamics of *Aedes,* while easily applicable (Reiter P,Nathan M, Michael B 2001) , is known to skew estimates of mosquito densities. Indeed, ovitraps can overestimate densities when the number of suitable oviposition sites decreases notably after a breeding site management (ovitraps can act as refuge by concentrating eggs from remaining females) and underestimate them when a great number of oviposition sites are available (dilution effect)(Focks 2004) (J.P. Hervé 2003). While used for logistic constraints (it was not possible to track adult densities (BG or catch on humans) or larval breeding sites for financial constraints), this kind of trap nevertheless allows us to have an idea on an ecological impact on *albopictus* population (Bravata et al. 2002) across our different kind of interventions even if it did not result in a variation of the epidemiological risk. Future studies will have to focus on other measures of mosquito exposure, such as anti-saliva antibodies detection (Cornelie et al. 2007).

Finally, the advices and questions we used in this study were standard, but not all of them specifically target mosquito abundance reduction. Furthermore, our messages were not focusing on location (inside/outside household) neither on day time, despite this could influence the perception of mosquito threat(Winch et al. 1994). Specifically, the questions asked for the injunctive approach focus only on protective measures against mosquito bites, while our messages for the reflexive approach do not specify the kind of mosquito habitats targeted. Nevertheless, these questions may remind all the different recommendations given during the first visit, and especially the ones targeting mosquito abundance. While these limitations highlight that our treatments may have different impacts on other human behaviors, making impossible to translate the differences observed into an accurate epidemiological risk (Raude et al. 2012), it also underlines that changes in human behavior that can yield to a reduction in

abundance of mosquito eggs were not specifically targeted, suggesting that a more targeted study can have better impacts.

To conclude, it is important to say that social participation may be a necessary lever to optimize and reinforce communication strategies and increase their effectiveness. This lever also allows better adaptation to the epidemiological context. The appreciation of the social ties and social dynamics in a neighborhood would rather be a prerequisite for the implementation of communication actions. However, social participation must be continuous during campaigns. Regarding the current context of arboviruses emergence and the increasing lack of chemical insecticides opportunities, such question should be investigated urgently, especially because this phenomenon of accumulation of information could reduce its efficiency and therefore pose a threat for the reduction of emerging vector-borne pathogens (Bonizzoni et al. 2013, Fritzell et al. 2018).

References

Abramides, G. C., D. Roiz, R. Guitart, S. Quintana, I. Guerrero, and N. Giménez. 2011. Effectiveness of a multiple intervention strategy for the control of the tiger mosquito (Aedes albopictus) in Spain. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 105:281–288.

B. Seytre. 2003. Une stratégie de communication et de sensibilisation adaptée.

Bardes, J., A. Baudin, B. Cadiou, D. Chanaud, U. M. R. Lped, H. Fradet, J. Gely, A. R. S. Basse-normandie, S. Merle, J. Raude, O. Reilhes, A. R. S. Oc, L. A. V La, D. Rey, E. I. D. Rh, A. R. S. Oc, L. A. V La, N. Vernazza-licht, U. M. R. Espace, D. Bley, U. M. R. Espace, G. Heuze, A. R. S. Corse, V. Robert, U. M. R. Mivegec, and Y. Perrin. 2016. La mobilisation sociale contre Aedes albopictus Inventaire des méthodes , outils et synthèse des expériences. PLoS One.

van den Berg, H., M. Zaim, R. S. Yadav, A. Soares, B. Ameneshewa, A. Mnzava, J. Hii, A. P. Dash, and M. Ejov. 2012. Global trends in the use of insecticides to control vector-borne diseases. Environmental Health Perspectives 120:577–582.

Bernard, F., and R.-V. Joule. 2004. Lien, sens et action : vers une communication engageante. Communication et organisation 24:8.

Bonizzoni, M., G. Gasperi, X. Chen, and A. a James. 2013. The invasive mosquito species Aedes albopictus: current knowledge and future perspectives. Trends in parasitology 29:460–8.

Bowman, L. R., S. Donegan, and P. J. McCall. 2016. Is Dengue Vector Control Deficient in Effectiveness or Evidence?: Systematic Review and Meta-analysis. PLoS Neglected Tropical Diseases 10.

Bravata, D. M., K. M. Mcdonald, W. M. Smith, C. Rydzak, and H. Szeto. 2002. Review Systematic Review : Surveillance Systems for Early Detection of Bioterrorism-Related Diseases. Annals of Internal Medicine 140:910 à 924.

Cornelie, S., F. Remoue, S. Doucoure, T. Ndiaye, F. Sauvage, D. Boulanger, and F. Simondon. 2007. An insight into immunogenic salivary proteins of Anopheles gambiae in African children. Malaria Journal 7:1–7.

Focks, D. A. 2004. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. UNICEF/UNDP/WORLD BANK/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR).

Fritzell, C., J. Raude, M. Kazanji, and C. Flamand. 2018. Emerging trends of Zika apprehension in an epidemic setting. PLoS Neglected Tropical Diseases:1–14.

INSEE. 2019. Insee - Institut national de la statistique et des études économiques.

Institut de Veille Sanitaire. 2018. Recommandations sanitaires pour les voyageurs. Bulletin épidémiologique hebdomadaire 16–17:261–311.

Ipsos Antilles. 2014. Etude d ’évaluation des retombées des actions de prévention contre le Chikungunya en Guadeloupe.

J.P. Hervé. 2003. Méthodes d’évaluation des densités de populations d’Aedes aegypti.

Murray, A. 2011. New estimates of malaria deaths : concern and opportunity. The Lancet

379:385.

Peng, Z., H. Li, and F. E. R. Simons. 1998. Immunoblot analysis of salivary allergens in 10 mosquito species with worldwide distribution and the human IgE responses to these allergens. Pages 498–505 Journal Allergy Clinique immunology.

R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Page R Foundation for Statistical Computing.

Raude, J., K. Chinfatt, P. Huang, C. O. Betansedi, K. Katumba, N. Vernazza, and D. Bley. 2012. Public perceptions and behaviours related to the risk of infection with Aedes mosquito-borne diseases: a cross-sectional study in Southeastern France. BMJ open 2:e002094-.

Reiter, P., and M. B. Nathan. 2001. Guideline for assessing the efficacy of insecticidal space sprays for control of the Dengue Vector. Aedes aegypti.

Roche, B., H. Broutin, and F. Simard. 2018. Ecology and Evolution of Infectious Diseases.

Roche, B., L. Léger, G. L'Ambert, G. Lacour, R. Foussadier, G. Besnard, H. Barré-Cardi, F. Simard, and D. Fontenille. 2015. The spread of Aedes albopictus in Metropolitan France: contribution of environmental drivers and human activities and predictions for a near future. PLoS One.

Schiavo, R. 2008. Health Communication: From Theory to Practice. Page Jossey Bass a wiley brand.

Watzlawick, P., J. H. Beavin, and D. D. Jackson. 1972. Une logique de la communication.

Winch, P. J., L. S. Lloyd, L. Hoemeke, and E. Leontsini. 1994. Vector control at the household level: an analysis of its impact on women. Acta Tropica 56:327–339.

Zeller, H. 2009. Les arboviroses tropicales et leurs enjeux pour l ' Europe : rôle du centre européen pour la prévention et le contrôle des maladies (ECDC). Pages 336–338 Tropical Medecine.

Figures

Figure 1: Typical seasonal abundance of mosquito in the two study areas in south of France (blue) and La Martinique (red). Arrows indicate months at which phone calls were performed.

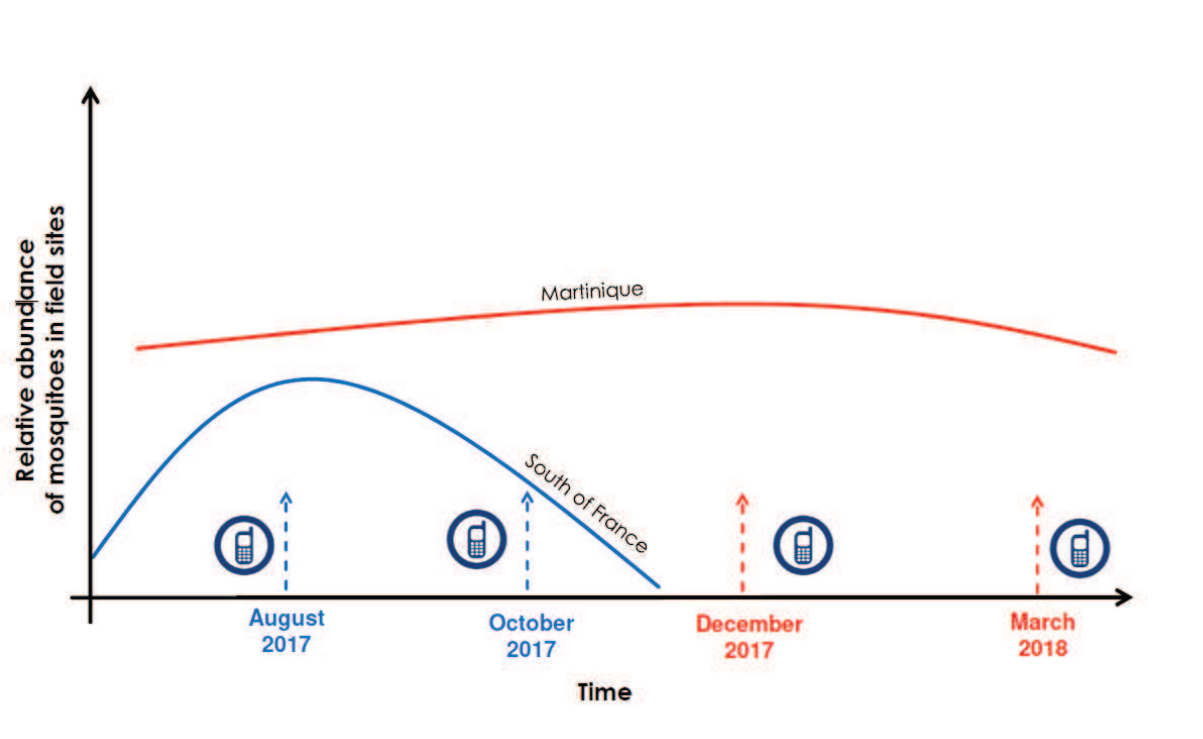


Figure 2: Distribution of egg numbers (log-scale) through the different sampling sessions (see table 1 for dates) and across different groups (colors) in south of France.

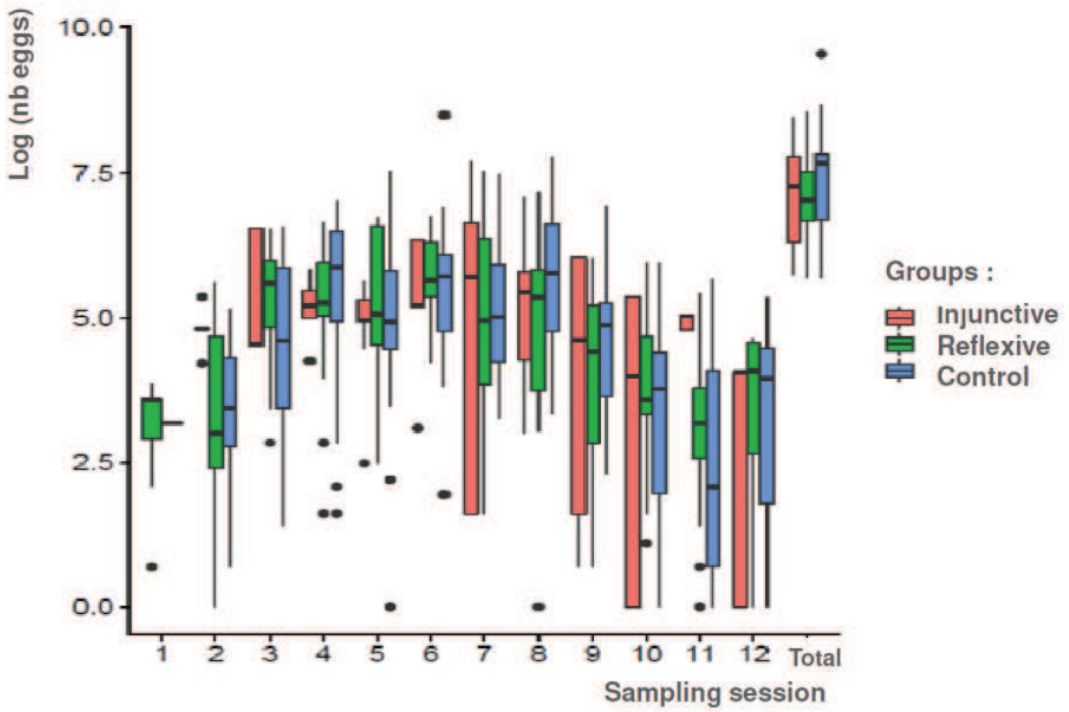


Table 1: T statistic and p.values (between brackets) of the mean comparison of mosquito eggs abundance between each treatment collected in south of France. Bold numbers indicate significant difference at a 5% threshold with a Bonferoni correction.

	Reflexive vs Control	Reflexive vs Injunctive	Injunctive vs Control
May 12th	2.76 (2.91e-2)	5.63 (4.45e-07)	1.79 (0.083)
May 24th	2.66 (0.0086)	6.55 (8.05e-10)	-11.94 (6.24e-20)
June 8th	1.68 (0.093)	3.04 (2.79e-3)	2.04 (0.042)
June 22nd	-4.66 (5.62e-06)	2.23 (0.028)	8.56 (2.55e-15)
July 5th	0.4 (0.68)	3.44 (9.97e-4)	-4.73 (3.79e-06)
July 21st	-0.43 (0.66)	2.56 (0.011)	2.04 (0.042)
August 3rd	2.15 (0.034)	-1.89 (0.06)	-3.95 (1.71e-4)
August 17th	-5.99 (6.27e-09)	-2.87 (4.89e-3)	1.58 (0.11)
August 31st	-2.11 (0.035)	-1.25 (0.24)	0.42 (0.67)
September 14th	1.12 (0.26)	0.499 (0.61)	-0.43 (0.66)
September 28th	0.77 (0.48)	-3.35 (1.19e-3)	-3.99 (1.99e-4)
October 12th	-1.43 (0.15)	5.16 (7.52e-07)	7.05 (1.47e-11)

Supplementary materials

S1. Recommendations provided during the injunctive phone calls:

1. Turning on air conditioning helps to get protected from mosquito bites
2. Use repellents to get protected against mosquito bites
3. Use long clothes helps avoid mosquito bites
4. Using a fan helps keeping mosquitoes away

S2. Questions used for the reflexive strategy:

Category "Inside the house"

1. What do you think is the best way to protect yourself from mosquitoes inside the house?
2. In the proposed list, what control method do you use? mosquito insecticide sprays, electrical outlets, air conditioning / fan?

Category “Outside the house "

3. What do you do when you plan a dinner outside?
4. In the following list, what solutions are you using? I use streamers, I put geraniums on my windows, I use mosquito sprays, I wear long clothes?

Category "Family life"

5. What are you doing to protect your family from mosquitoes?
6. What solution did you take to deal with mosquito problems to protect your family? Mosquito spray, Close windows at night, Put on long clothes, Put on air conditioning?

Category "Mosquito life”

7. What do you think is the first thing to do after a rain?
8. What do you do when the mosquito season comes? I empty the cups of my flower pots, I clean my garden furniture, I buy a set of means of protection against mosquitoes for my family?
9. What can you tell me about mosquitoes and their bites?
10. In the following list, which statements do you think is true? All mosquitoes bite, mosquitoes are attracted by light, only certain mosquitoes can transmit diseases?

Axe 2 : Quel niveau de crédibilité peut-on apporter à la perception des populations ?

L'exposition perçue aux moustiques joue un rôle fondamental dans l'adoption d'une gamme de comportements de protection visant à prévenir et à contrôler les maladies transmises par les moustiques. Cependant, la littérature actuelle ignore en grande partie dans quelle mesure l'exposition perçue reflète l'exposition réelle des individus. De plus, la perception de nuisance peut dépendre de l'environnement naturel dans lequel vivent les populations humaines, et notamment de son contexte épidémiologique. Dans cette étude, l'hypothèse selon laquelle l'exposition perçue est dictée par l'abondance des moustiques a été testée dans deux zones géographiques différentes. Nous avons comparé une série de mesures de la nuisance perçue - collectées à l'aide de questionnaires - avec le nombre d'œufs d'*Aedes* observés dans des pièges pondoirs situés dans deux localités du sud de la France, récemment colonisé par le moustique tigre, et de l'île de la Martinique, territoire tropical français ayant une longue expérience des épidémies de maladies transmises par les moustiques. De manière inattendue, seule la nuisance due au bruit des moustiques était corrélée à l'activité des pièges dans le sud de la France. Toutes les autres mesures d'exposition perçue par les ménages enquêtés, à la fois dans le sud de la France et en Martinique, n'étaient pas corrélées avec le nombre d'œufs dans les pièges pondoirs. Ces résultats suggèrent l'existence d'effets d'accoutumance susceptibles de perturber l'engagement dans des comportements adaptatifs face au changement des conditions entomologiques.

Article publié dans American Journal of Tropical and Hygiene : “Is perceived exposure to mosquito associated with actual exposure? Results from studies in high risk and low risk geographic areas.”

Is perceived exposure to mosquito associated with actual exposure? Results from studies in high risk and low risk geographic areas

Béatrice Gaillard[1,2], Fréderic Simard[2], Laurent Dormont[1], Pierre-Jay Robert[1], Denis D'Abadie de Lurbe[3], Manuel Etienne[3], Anne Baudin[4], Jocelyn Raude[5]

1. CNRS/IRD/UM/UM3 CEFE
2. IRD/CNRS/UM 5290 MIVEGEC
3. CEDRE Martinique
4. EID Mediterranean
5. UVE : Aix-Marseille Univ-IRD 190-Inserm 1207-IHU Méditerrannée Infection, Marseille, France

Abstract

Perceived exposure to mosquito play a fundamental role in the adoption of a range of protective behaviors aiming to prevent and control mosquito-borne disease. However, it is largely unknown in the current literature to what extent perceived exposure is associated with actual exposure. Moreover, the perception of nuisance may depend on the natural environment in which human populations are living, and especially its epidemiological context. In this study, the hypothesis that the perceived exposure is driven by mosquito abundance was tested into two different geographic areas. We compared a range of perceived nuisance measures – collected through questionnaires– with eggs number measured within ovitraps located in South of France,

which has been recently colonized by an arbovirus vector, and La Martinique island, a tropical French territory which has a long history of outbreaks of mosquito-borne pathogens. Unexpectedly, only the nuisance due to mosquito noise was correlated to ovitrap activity in Southern France. All other perceived exposure measures, both in South of France and in Martinique, were not correlated with eggs number surrounding households investigated. These results suggest the existence of habituation effects that may disturb the engagement in adaptive behaviors in the face of change in the entomological conditions.

Introduction

Mosquito-borne pathogens are growing concerns worldwide[1]. However, given the loss of effectiveness of conventional methods based on chemical spreading due to the development of resistance, alternative methods of vector control, in particular those that promote behavior change in the public, are increasingly recognized as crucial in the prevention and control of these pathogens[2]. However, as health protective behaviors are known to be very sensitive to the perceived exposure to vector, it is extremely important to know whether it adequately reflects the actual exposure of human population to mosquitoes[3].

From an entomological point of view, abundance of adult mosquitoes (through BG-traps or CDC traps mainly), eggs abundance (through ovitraps) and composite indicators measuring area productivity (such as Breteau index) are commonly used. However, they are challenging to implement routinely on the field at large scales and requires a regular visit of trained staff[4]. To evaluate the perceived exposure to mosquito, a common option is to conduct interviews among household inhabitants to measure the perceived nuisance generated by mosquitoes. Nuisance is generally characterized by an embarrassment or a suffering experience, which can be gradually expressed by interviewed people. However, this perception can vary individually because this acoustic and kinesthetic perception tend to be highly subjective[5]. Moreover, this nuisance feeling can also be modulated by the local epidemiological context, and especially the habituation effect of human population to mosquito-borne pathogen outbreaks[6–8].

In this study, we aim to understand in which context different measures of mosquito nuisance can be used as a reliable indicator of mosquito density. To test this assumption, we compare eggs number count and phone interviews measuring different components of mosquito nuisance within different areas in South of France (treated versus non-treated by social mobilization strategies) where mosquito presence is recent, and La Martinique island, where many mosquito-borne pathogens are endemic. It was also assumed that the epidemiological context may mitigate the association between the perceived and actual exposure to mosquitoes, with people in Southern France being more sensitive to temporal variation in the actual exposure than people in La Martinique.

Methods

Context

Two localities in Martinique (Fort de France 14° 36' 57.833" N 61° 3' 31.609" W and Le Lorrain 14° 49' 36.793" N, 61° 3' 15.469" W) and in South of France (Jacou 43° 39' 39.146" N 3° 54' 41.231" E and La Grande Motte 43° 33' 38.534" N, 4° 5' 9.859" E) were selected due to their continuous entomological monitoring since years and received identical protocol for measure perceived mosquito exposure. It is worth pointing out that these localities are homogeneous in socio-economic terms (average income tax per household is 2,745 euros in Fort de France and 2,994 euros in Le Lorrain, 3,314 euros in Jacou and 4,521 euros in La Grande Motte). Within these territories, 188 households in Martinique (94 in Fort de France 94 in Le Lorrain) and 350 households in South of France (175 in La Grande-Motte and 175 in Jacou) have been considered. At the beginning of the study (in May 2017 in South of France and in January 2018 in La Martinique), each household has been visited by a mosquito control agent to collect the informed consent to be involved in the study, as well as providing basic knowledge about mosquito life cycle and how to be protected[9]. These two territories have received a social mobilization treatment, ensuring therefore an heterogeneity in terms of mosquito abundance at the household scale[10].

Phone calls contents:

At the end of the most favorable season for mosquito (December in South of France and June in La Martinique), each household that has been involved in the study received a phone call to measure the intensity of different components of the nuisance perceived. These feelings of nuisance was measured through a set of five questions using a 11-points Likert response scale: "How do you evaluate the inconvenience caused by: (1) mosquitoes outside the house?, (2) mosquito bites? (3) mosquito noise during at night? (4) the obligation to remove stagnant waters? (5) the presence of mosquitoes in general? "

Entomological surveys:

In parallel of the nuisance measured through phone interviews, ovitraps (measuring number of mosquito eggs) have been uniformly within each locality to cover a reasonable number of households. In total, 40 ovitraps have been used in the two localities situated in the south of France (Jacou and la Grande Motte) and 78 in the two localities of La Martinique (Le Lorrain and Fort de France). On average, each ovitrap covers 10 different households. These traps were collected every two weeks between May and September 2017 in the south of France and between January and April 2018 in La Martinique island.

Statistical analyses:

First, Cronbach's alpha coefficient was calculated to measure the consistency and reliability of the questions asked during the phone calls [11]. This coefficient is designed to measure the internal coherence and the reliability of the questions asked during a test through quantifying the correlation between answers to questions related to the same topic. (Cronbach's coefficient is considered "acceptable" between 0.7 and 0.9)[11]. Then, simple Pearson correlation coefficients were calculated between number of eggs recorded at every session, and the perception of exposure based on the five questions at the end of the season as well as with a composite index summarizing the answers to these questions (through adding the score of each question). We consider that our analysis scale is the household unit, and the corresponding number of eggs is the one quantified within the closest ovitrap. We applied a Bonferroni correction to consider multiple comparisons. All analyses were performed with the R software [12].

Results

First of all, the Cronbach alpha's coefficient has been quantified at 0.83 (with a sample size of 137 over 5 items) in La Martinique and 0.78 (with a sample size of 137 over 5 items) in South of France. Therefore, the answers produced by the different people interviewed are coherent and can be analyzed simultaneously. In La Martinique Island (table 1), the measure of perceived exposure was not found to be correlated with the number of eggs captured in surrounding ovitraps. In Southern France (table 2), only the self-reported noise produced by mosquito during the night in south of France was partially correlated with number of eggs during the months of July and August. No significant correlation with the composite index has been identified. Therefore, there is very poor association between entomological activity measured in ovitraps and nuisance indicators.

Discussion

In this study, we aim to test whether the perceived nuisance measured by telephone surveys reflects adequately more objective indicators based on entomological surveillance. We found that only nocturn noise is sometimes correlated with mosquito egg number in South of France, where mosquito implementation is recent, but no components of nuisance is associated with egg numbers recorded in La Martinique, where outbreaks of mosquito-borne pathogens can be frequent. Therefore, our study provides strong evidence that nuisance indicators do not reflect accurately the entomological activity, and consequently the epidemiological risk.

This lack of association between entomological activity and nuisance indicators shows a mismatch between the real activity and the one perceived by local population. An interesting possibility is that social pressure about the perception of mosquito presence at a regional or city scale, through informal discussion with personal relationships or local media coverage, could tend to homogenize the feeling about this health threat, independently of its local reality at a household scale. Nevertheless, such possibility can occur only when mosquito abundance has reached a sufficient threshold, in order to create such social pressure.

Regarding the small divergence between tropical and Mediterranean areas, a number of factors could explain this result. First, the ecological contexts are different[13]. Indeed, in La Martinique, seasonality in mosquito abundance is pretty low, which can generate a continuous presence of mosquitoes only exacerbated during the rainy season. On the opposite, in metropolitan France, seasonality of mosquito population dynamics is much stronger with a complete disappearance during winter. Such difference could exacerbate the feeling of nuisance because more concentrated through time. The second important difference is that mosquito species involved are not the same. *Aedes albopictus*, which is implemented in south of France, is known to be much more aggressive that *Aedes aegypti*, which is endemic in La Martinique[14]. Consequently, the perceived nuisance could be also different. The last possibility is a different epidemiological history in these two territories. We are confronted with a logic of territory: a possible habituation effect in Martinique's landscape *versus* a novelty that can be somewhat considered as a major threat to public health. In the south of France, the population has never experienced such an important bite pressure and has never been confronted with such an invasion of arthropods[15]. In La Martinique, people have always lived with mosquitoes, producing a mosquito culture and psychosocial addiction[14].

Finally, the only nuisance indicator (mosquito noise during night) associated with entomological activity suggests mosquito presence within households during the night, but also some kind of protection against mosquitoes (repellents or defensive behavior for instance). Indeed, other nuisance measures, such as bite feeling, are not significantly associated with eggs numbers. Therefore, people should not be frequently bitten since *Ae. Albopictus* is known for its aggressive behavior and painful bites[16].

This study has a certain number of limitations, in particular because ovitraps, which are certainly attractive, are not necessarily a good indicator of adult mosquito presence. Indeed, these traps can compete with natural breeding sites, introducing a bias in the normal mosquito activity[17]. Other measures

could have been investigated, especially by considering density of breeding sites in the houses visited, but it would have required a much more important logistic effort at each sampling session. Therefore, we have privileged to consider a larger number of households and localities.

To conclude, while the results of our study can probably only apply within our specific contexts, it nevertheless highlights that using nuisance feelings as an entomological survey appears to have a limited interest. If this study has to be repeated in different contexts and with different entomological measures, the difference observed between our two territories also call for considering carefully the specificity of the local context. Therefore, so far and without additional knowledge about this match between perceived and actual mosquito exposure, our study clearly calls for keeping classical entomological monitoring even if this means to consider a smaller amount of localities and/or sampling sessions.

Tables:

Table 1: P-values of pearson correlation between nuisance measure and number of eggs measured within the nearest ovitraps in Martinique. Bold values represents significant correlations with a threshold at 1.04^{e}-3 (after Bonferoni correction)

	Nuisance due to mosquitoes outside	Nuisance due to mosquito bites	Nuisance due to night noise	Nuisance due to the requirement to remove stagnant water	Nuisance due to mosquito presence	Composite index
January 1st	0.367	0.401	0.978	0.727	0.562	0.543
January 20th	0.945	0.592	0.520	0.380	0.818	0.784
February 1st	0.994	0.958	0.863	0.671	0.435	0.612
February 20th	0.784	0.867	0.906	0.577	0.462	0.853
March 1st	0.0942	0.259	0.536	0.742	0.122	0.676
March 20th	0.734	0.732	0.163	0.340	0.767	0.312
April 1st	0.630	0.837	0.799	0.512	0.610	0.578
Total	0.803	0.706	0.728	0.877	0.901	0.891

Table 2: P-values of Pearson correlation between nuisance measure and number of eggs measured within the nearest ovitraps in South of France. Bold values represents significant correlations with a threshold at 6.41^{e}-4 (after Bonferroni correction)

	Nuisance due to mosquitoes outside	Nuisance due to mosquito bites	Nuisance due to night noise	Nuisance due to the requirement to remove stagnant water	Nuisance due to mosquito presence	Composite index
May 12th	0.902	0.335	0.534	0.771	0.717	0.682
May 24th	0.011	0.789	0.490	0.912	0.041	0.034
June 8th	0.812	0.707	0.126	0.693	0.567	0.323
June 22nd	0.308	0.909	0.0497	0.469	0.904	0.481
July 5th	0.340	0.576	**4.08e-4**	0.489	0.626	0.617
July 21st	0.240	0.150	**1.89e-05**	0.247	0.089	0.092
August 3rd	0.767	0.454	0.001	0.289	0.109	0.641
August 17th	0.007	0.034	0.335	1.75e-3	0.062	0.020
August 31st	0.132	7.37^{e}-4	**2.30e-4**	0.020	0.049	0.039
September 14th	0.097	0.839	0.425	0.706	0.205	0.573
September 28th	0.017	0.389	0.790	0.838	0.035	0.836
October 12th	0.036	0.676	0.001	1.73^{e}-3	0.680	0.531
Total	0.238	0.315	**7.81e-06**	0.254	0.778	0.214

Literature

1. (ECDC), H. Z. Les arboviroses tropicales et leurs enjeux pour l ' Europe : rôle du centre européen pour la prévention et le contrôle des maladies (ECDC). *Trop. Med.* 2007–2009 (2009).
2. Bardes, J. *et al.* La mobilisation sociale contre Aedes albopictus Inventaire des méthodes , outils et synthèse des expériences. *PLoS One* (2016).
3. Gujral, I. B., Zielinski-gutierrez, E. C., Lebailly, A. & Nasci, R. Behavioral Risks for West Nile Virus. *Emerg Infect Dis* **13,** 419–425 (2007).
4. Fontenille, D. *et al. Quelles sont les pratiques et les modalités d ' évaluation de la LAV ?* (2009).
5. Courbet, D., Joule, R., Courbet, D., Joule, R. & Commu-, F. B. Communication persuasive et communication engageante pour la santé : Favoriser des comportements sains avec les médias , Internet et les serious games . To cite this version : HAL Id : sic _ 01015237. *Hal* (2014).
6. Vernazza-licht, N. Chikungunya à La Réunion : regard anthropologique sur la mobilisation sociale Dossier. (2016).
7. Desclaux, A. & Desgrees Du Lou, a. Les femmes africaines face à` l'épidémie de sida. *Popul. sociétés* 1–4 (2006).
8. Fritzell, C., Raude, J., Kazanji, M. & Flamand, C. Emerging trends of Zika apprehension in an epidemic setting. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 1–14 (2018).
9. Institut de Veille Sanitaire. Recommandations sanitaires pour les voyageurs. *Bull. épidémiologique Hebd.* **16–17,** 261–311 (2018).
10. Gaillard, B. *et al.* Communication strategies in vector control: is it better to suggest rather than to repeat? *Ecohealth*
11. Oviedo Celina, H. & Campo-Arias, a. Aproximación al uso Coeficiente Alfa de Cronbach. *Rev. Colomb. Psquiatría* **34,** 572–80 (2005).
12. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. *R Foundation for Statistical Computing* **1,** (2017).
13. Baglan, H., Lazzari, C. & Guerrieri, F. Learning in mosquito larvae (Aedes aegypti): Habituation to a visual danger signal. *J. Insect Physiol.* **98,** 160–166 (2017).
14. Schucht, G., Vernerey, M. & Mouchet, J. Situation d ' Aedes aegypti en Martinique et considération sur la stratégie de lutte. *Cah. l'ORSTOM* **XVII,** 213–219 (1979).
15. Claeys-Mekdade, C. & Nicolas, L. Le moustique fauteur de troubles. *Ethnol. française* (2009). doi:10.3917/ethn.091.0109
16. Delaunay, P., Jeannin, C., Schaffner, F. & Marty, P. Actualités 2008 sur la présence du moustique tigre Aedes albopictus en France métropolitaine. *Arch. pédiatrie* **16,** S66–S71 (2009).
17. Cornet, M., Valade, M. & Dieng, P. Note technique sur l'utilisation des pondoirs-pièges dans une zone rurale boisée non habitée. *Cah. ORSTOM, série Entomol. médicale Parasitol.* **12,** 217–219 (1974).

Conclusion

Il se dégage clairement que la stratégie par le conseil, c'est-à-dire la répétition, fonctionne mieux face à la suggestion. L'objectif est donc de faire prendre conscience à l'individu de la démarche et du comportement à adopter pour améliorer son bien-être. L'individu doit prendre du recul sur l'information pour la prendre en compte. En revanche, évoquer des solutions ou permettre aux personnes de formuler des propositions ne permet pas cette prise de conscience. Selon Freud, la conscience ne garde que ce qui la sert sans la gêner, sans l'humilier, sans la troubler (Freud 1933) . Si quelque chose l'ennuie, alors elle s'efforce de le chasser, et si quelque chose l'offusque alors elle l'affronte le jour où elle peut la dominer.

En revanche, on s'aperçoit que la fiabilité du témoignage de l'individu est biaisée par le phénomène d'habituation. En psychologie, ce phénomène est une sorte d'apprentissage. Du fait de la répétition, l'individu intègre une chose au fur et à mesure, alors que c'est un fait exceptionnel à l'origine pour lui. On le voit très bien dans cette étude sur les communes Martiniquaises car l'individu ne fait plus tellement attention à la présence du moustique alors que dans le sud de la France, le moustique est un véritable fléau qui nuit à la qualité de vie des habitants.

C'est pourquoi dans le chapitre suivant, nous allons essayer de quantifier la pertinence d'un nouveau moyen d'évaluation des campagnes de communication et d'information pour améliorer l'efficacité des stratégies mises en œuvre pour aider les populations.

Partie 2 : les réseaux sociaux, une innovation dans l'évaluation des stratégies de communication en santé

Les outils classiques de mesure d'efficacité de campagnes de communication sont des moyens utilisés depuis très longtemps et qui n'ont plus à démontrer leur pertinence. L'efficacité publicitaire (Bathelot 2018) mesure la capacité d'une campagne ou d'un message publicitaire à atteindre les objectifs de l'annonceur. Elle permet de valider l'investissement des campagnes de communication afin de pouvoir les ajuster si besoin à plus long terme. Les indicateurs d'efficacité publicitaire sont nombreux. La mémorisation, l'efficacité émotionnelle, l'impact sur la notoriété, l'intention ou la réalité d'achat, l'agrément vis-à-vis du message ou de la forme et le changement d'attitude ou de perception du contexte sont des éléments révélateurs de la qualité de performance. In fine, l'objectif est d'atteindre sa cible et de l'influencer dans ses choix. Tous ces indicateurs sont apparus grâce aux capacités de tracking (taux de clics, visites…) dans la communication digitale.

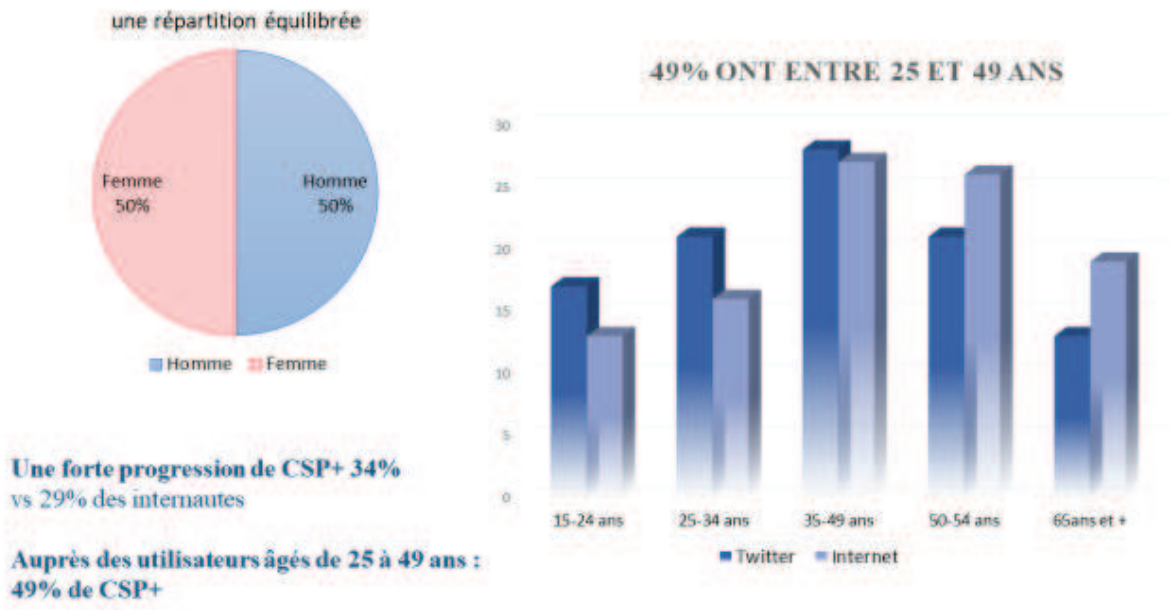


Figure 7 – Audience de Twitter en France – Médiamétrie 2018

Aujourd'hui, avec l'influence de l'internet et de ce qui en découle sur les réseaux sociaux, il parait important de caractériser comment ces nouveaux moyens, générant des masses de données énormes, peuvent participer à améliorer notre compréhension de l'impact de ces campagnes. Dans les études qui suivent, nous étudions l'exemple de Twitter, le réseau social de microbloggage qui permet à un utilisateur (Figure 7) d'envoyer gratuitement de brefs

messages, sur internet, par messagerie instantanée ou par SMS. Ces messages appelés posts sont limités à 280 caractères depuis 2017 (140 caractères auparavant), nécessitant d'aller directement à l'essentiel. Ils permettent de rebondir sur un sujet ou d'apporter des précisions grâce à une expérience personnelle. En 2017, Twitter comptait 313 millions d'utilisateurs actifs par mois avec 500 millions de tweets envoyés par jour, disponible en 40 langues, représentant une place importante dans le paysage digital du XXIème siècle.

En France comme ailleurs, la puissance et l'efficacité des réseaux sociaux ne sont plus à prouver. Massivement adoptés au plan personnel comme au plan professionnel, les médias sociaux ont brisé les intermédiaires et ont facilité la transmission d'information intergénérationnelle. Ce qui implique que les réseaux sociaux sont un immense océan de données assez peu exploitées encore, et qui peuvent être travaillées, analysées et traitées afin de mieux étudier les populations dans leurs comportements en santé. Il peut permettre d'anticiper des besoins mais aussi contrer des rumeurs, qui peuvent nuire à l'information. C'est un poste de garde de la communication.

Face à cette méthode innovante, mais encore peu testée, le baromètre de la santé est un outil incontournable pour l'Institution Santé Publique France (SPF) puisqu'il existe depuis 27 ans (http://inpes.santepubliquefrance.fr). Il a été créé en 1992 par le CFES (Comité français d'éducation pour la santé), avec le soutien de la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS), l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), la Direction de la recherche, de l'évaluation et des études statistiques du ministère de la Santé et des Solidarités (DREES) et de l'Observatoire français des drogues et des toxicomanies (OFDT). De 2002 à 2016, les baromètres de la santé ont été réalisés par l'INPES (Institut national de prévention et d'éducation pour la santé). Après la fusion de l'INPES et de l'Institut national de veille sanitaire (INVS), l'agence nationale de santé publique SPF continue cet exercice afin d'orienter les politiques de prévention et d'information de la population.

Il s'agit d'une des plus importantes enquêtes nationales abordant les comportements, opinions, perceptions en matière de santé, avec plus de vingt-cinq thématiques abordées depuis sa création en 1992. Ces enquêtes permettent de suivre les principaux comportements, attitudes et perceptions liés aux prises de risques pour l'état de santé de la population française : tabagisme, alcoolisation, consommation de drogues illicites, pratiques vaccinales, comportement sexuel, dépistage des cancers, pratique d'une activité physique, nutrition, qualité de vie, sommeil, accidents, douleur, consommation de soins, santé mentale, mais aussi les maladies

infectieuses… Ce dispositif d'enquêtes permet une surveillance conjointe de la perception des risques et des comportements de santé. En 2016, il a été ajouté à notre demande sept questions sur les thématiques de protection-prévention-peur face aux arboviroses.

Cette grande enquête statistique repose sur un sondage aléatoire à deux degrés (tirage d'un ménage puis d'un individu), réalisé à l'aide d'un système d'entretien par téléphone assistée par ordinateur. Les numéros de téléphone, fixes et mobiles, sont générés aléatoirement afin de pouvoir interroger les ménages et individus absents des annuaires téléphoniques. Par son protocole et la grande taille de son échantillon (15 000 personnes), l'objectif est de créer un panel représentatif de la population. De plus**,** sa répétition dans le temps et son caractère multithématique permet au baromètre de la santé d'offrir de précieuses données de cadrage pour l'observation des comportements de santé au cours du temps**.** Ces enquêtes permettent également de mettre au jour des inégalités sociales de santé, et constituent une base pour la réflexion autour des actions à engager, de la mise en place des campagnes de prévention et de promotion de la santé.

Ces enquêtes servent notamment à l'élaboration des campagnes de communication et à l'évaluation des politiques publiques. Elles permettent de mieux comprendre les attentes de la population et des professionnels et constituent donc le préalable indispensable à la définition et la mise en place d'actions de prévention et d'éducation pour la santé cohérentes, efficaces et mieux ciblées.

Dans l'étude qui suit, nous voulons tester si l'analyse du contenu des messages postés sur les réseaux sociaux peut être aussi fiable que des moyens plus classiques, comme les sondages à grande échelle, pour caractériser le comportement humain et ainsi l'impact d'une stratégie de communication sur le ressenti des populations. Pour cela, nous allons analyser les résultats du baromètre de la santé 2016 et les messages postés sur Twitter (Figure 8) sur la même période afin de quantifier la différence dans les sentiments exprimés et comprendre si ces différences pourraient nous induire en erreur sur le comportement humain, en particulier en cas d'épidémie.



Figure 8. Comparatif Twitter/Baromètre de la santé. Cette figure présente les paramètres clés des données que nous avons analysées dans ce cadre sur l'année 2017.

Les réseaux sociaux peuvent-ils compléter les outils classiques de mesure d'évaluation?

On sait que le comportement humain est un élément fondamental et souvent négligé de la transmission des agents pathogènes, en particulier lors d'épidémies. Pour quantifier son rôle et ses fluctuations, l'analyse du contenu des messages sur les réseaux sociaux populaires (l'approche dite de l'épidémiologie numérique) est une innovation très prometteuse. Cependant, une telle méthode pourrait être biaisée et générer des erreurs de prévision car la population d'utilisateurs n'est pas représentative de l'ensemble de la population, ce qui nuit à sa mise en œuvre. Sur la base d'une possibilité d'épidémie d'arbovirus en France métropolitaine, nous comparons la fréquence des trois sentiments principaux impliqués dans le contact homme / moustique, qui a été identifié dans plus de 160 000 messages sur le réseau social Twitter avec les mêmes sentiments exprimés à travers un sondage d'opinion à grande échelle impliquant 15 000 personnes au cours de la même période. Nous avons constaté que les estimations de ces sentiments pour différentes classes d'âge dans les sondages d'opinion pourraient être très différentes, les estimations reposant sur des données de Twitter. Néanmoins, nous montrons que l'inclusion de ces différentes fréquences de sentiments et de l'ampleur de leur impact sur la transmission de l'agent pathogène au sein de modèles mathématiques génère une dynamique d'épidémie assez similaire. Plus spécifiquement, nous montrons que le modèle utilisant Twitter

et le modèle utilisant les données de sondages d'opinion correspondent pour la chronologie des pics épidémiques, ainsi que pour l'abondance des infections à ces pics, pour un impact modéré de la peur et du désagrément sur la transmission des agents pathogènes, et ne se distinguent pas par le sentiment de contrôle.

Cette étude fournit la première preuve que l'utilisation des données Twitter est presque aussi précise que les sondages d'opinion à grande échelle, soulignant que, même si l'estimation du comportement humain est différente, les données Twitter pourraient être utilisées pour prévoir la dynamique des épidémies, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités pour le suivi et l' évaluation en temps réel du comportement lié à la santé humaine.

Article soumis dans PNAS : « Inferring human behavior though digital networks provides accurate behavioral estimations for outbreak forecasting of arboviruses.”

Inferring human behavior through digital networks provides accurate behavioral estimations for outbreak forecasting of arboviruses

Beatrice Gaillard[1,2], Arnaud Gautier[3], Frédéric Simard[2], Pierre Jay Robert[1], Laurent Dormont[1], Marcel Salathé[4*] and Benjamin Roche[2,5*]

1. CNRS/IRD/UM/UM3 CEFE
2. IRD/CNRS/UM 5290 MIVEGEC
3. Santé Publique France
4. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
5. IRD/Sorbonne Université UMMISCO

* Equal contribution

Abstract

Human behavior is known to be a fundamental, and often neglected, component of pathogen transmission, especially during outbreaks. To quantify its role and fluctuations, analyzing message contents on popular social networks (the so-called digital epidemiology approach) is a very promising innovation. However, such method could be biased and generate forecasting errors since the population of users is not representative of the whole population, hampering its implementation. Based on a possibility of arbovirus outbreaks in metropolitan France, we compare the frequency of the three main feelings involved in human/mosquito contact identified over 160,000 messages on the digital social network Twitter with the same feelings expressed through a large-scale opinion polls involving 15,000 people during the same period. We found that estimations of these feelings for different age classes in opinion-poll could be

highly different with estimations relying on twitter data. Nevertheless, we show that including these different feelings frequencies, and different magnitude of their impact on pathogen transmission, within mathematical models generate quite similar outbreak dynamics. More specifically, we show that model using Twitter or opinion polls data generate undistinguishable distributions for the timing of epidemic peaks, as well as for the abundance of infectious at these peaks for moderate impact of fear and nuisance feeling on pathogen transmission, and not distinguishable for the control feeling. Then, this study provides the first evidence that using twitter data is almost as accurate as large-scale opinion polls, highlighting that, even if the human behavior estimation are different, Twitter data could be used in forecast outbreaks dynamics, opening new opportunities for real-time assessment of human health-related behavior.

Introduction

Today, human behavior is recognized as an important component of pathogen transmission[1–3], which could rely on burying process for Ebola virus[4], vaccine-refusal for childhood disease[5], water storage[2] or disease perception[3] for vector-borne diseases among many other examples. However, this aspect is generally neglected, especially for outbreak response. However, when involved in mathematical models of pathogen transmission, it has been shown that human behavior can dramatically change the dynamics of an outbreak[6].

Measuring health-related feelings is extremely challenging, hampering its implementation with forecasting mathematical models[7]. To do so, public health agencies generally rely on large-scale opinion polls, especially Knowledge-Attitudes-Practices studies[8–10]. Such sociological studies have proven their abilities to understand risky behaviors against endemic diseases as well as such behaviors *a posteriori* following an outbreak[11]. However, such surveys are expensive and extremely complicated to set up, especially during outbreak situations.

To overcome this issue, using digital social networks is a very promising alternative tool[12]. Relying on textual analysis of messages exchanged on digital social network, such approach can be used to monitor disease activity[13] or estimate human behavior regarding a given threat[14]. The enormous amount of immediately available data opens intriguing opportunities to monitor almost in real-time how the population reacts to disease activity.

However, it is well known that digital networks are biased, with a disproportionate number of young male users compared to the real population[15]. Therefore, the relevance of such approach to provide accurate and real-time indicators of population behavior is not yet demonstrated, despite the huge benefits of such proof would provide for both public health management authorities and sociological studies.

In this study, we tackle this lack by considering the context of possible arbovirus outbreaks in Metropolitan France, an area where this risk is increasing continuously following the invasion of *Aedes albopictus* 10 years ago[16]. We compare the frequency of three feelings involved in contact between human and mosquito populations (fear, nuisance, looking for control measure) expressed over more than 160,000 tweets with a large-scale representative opinion poll including 15,000 individuals. Then, we integrate these two ways of inferring behavior of host population within mathematical models to test if the expected dynamics of arbovirus outbreak is significantly different if relying on Twitter data rather than opinion-polls. We show that the different outbreak dynamics generate are similar in many situations, and identify that a mismatch in forecasting is more likely if feelings expression are very heterogeneous across age classes. Then, we discuss about the opportunities that these results open for public health management.

Materials and Methods

Feelings considered

In this study, we focus on the risk of arbovirus outbreak in metropolitan France. To characterize behavior of humans facing this threat, we have considered three different feelings that should be intuitively linked to pathogen transmission intensity, both positively or negatively, as well as expressed reasonably often to be quantified both on Twitter messages and large-scale opinion polls. Because the presence of the mosquito is pretty recent in this area (*Aedes albopictus* invasion has started in 2006), local populations did not get enough time to be used and the nuisance feeling perceived by local population is therefore pretty high and possibly linked with mosquito abundance. Accordingly, fear of arboviruses should be frequently expressed, moreover with repeated local arbovirus outbreaks in this area[17,18]. Finally, the search for control methods is expected to be also linked to the fear of arbovirus and the local abundance of mosquitoes. Each of these three feelings (hereafter called 'Nuisance', 'Fear' and 'Control' feelings respectively) could be linked to the will to protect themselves, influencing negatively transmission intensity, as well as to a perception of high mosquito presence, reflecting another more specific risky behavior that expose the individual to mosquito bites.

Twitter analysis

All messages on the Twitter platform including the word mosquito in French ("moustique") from the year 2016 have been downloaded through repeated requests through the Twitter API. Then, tweets have been classified in a semi-automatic way with NVivo software. All words included in tweets with more than 4 letters and that is included in at least 100 tweets have been identified. Then, for each of these words, a natural classification to one of the three feelings has been done by two independent people. For each word with a disagreement, a consensus has been discussed and, if not successful, two other scenarios have been considered with each of the possibility. Finally, we compute the minimal and maximal frequencies for each feeling across the three different scenarios. It is worth pointing out that a

given Twitter message can be classified more than once if it includes different words associated with different feelings.

Large-scale opinion poll

Our large-scale opinion polls, named "Health barometer" (and hereafter called "Barometer") aims to provide a representative snapshot of the French population every year about the perception of the different possible sanitary threats. For this study, 20 questions on vector-borne pathogens covering the three feelings considered (see Supplementary materials) have been included in order to allow a comparison with our Twitter analysis. In this poll, 15,000 people have been interviewed during the 2016 summer. The interviewed people have been selected to represent the French population through the quota method. For each question, different level of answers, representing the intensity of the feeling, were proposed (e.g., not afraid, slightly afraid, afraid or extremely afraid). To quantify the variability of the expression of each feeling within each age class, we consider three different thresholds of answer intensities to classify the answer as a feeling expressed or not. Then, we compute the minimal and maximal frequency of each feeling across these three different scenarios for each age class.

Mathematical model

We design a simple mathematical model that include the influence of human behavior from each of the possible data sources. The deterministic form of this model is as follows (simulation has been made stochastically through the Direct Gillespie method[19]):

$$\frac{dS_i}{dt} = -\beta S_i \sum I$$

$$\frac{dI_i}{dt} = \beta S_i \sum I - \sigma I_i$$

$$\frac{dR_i}{dt} = \sigma I_i$$

Relying on a classic SIR framework, the whole population is divided into different age classes, represented by the index *i*, and different infectious status. Starting being Susceptible (S), individuals become infectious (I) through a density-dependent transmission rate β_i, and then recovered (R) through σ rate. Because we simulate short period of time (only 6 months, representing the amplification phase of an outbreak), we do not consider human demography neither explicitly the mosquito population dynamics. Transmission rate is impacted by human behavior as follows:

$$\beta_i = \beta_0(1 + \sum \gamma_{ij}\delta_{ij})$$

Where β_0 is the basal transmission rate, *j* is the feeling considered (j='Nuisance', 'Fear' or 'Control'), γ its contribution to age class *i* and δ its frequency within the considered population (as inferred by our data sources).

Simulation and analysis

We simulate separately different impact of each feeling on transmission rate, with a magnitude γ_{ij} ranging from -0.3 to 0.3, across two situations where each source of data is considered separately. Therefore, our model including Twitter data involves a homogenous population with only one age class (*i=1*), and the feeling frequency estimated through Twitter. Conversely, our model including Barometer data consider 9 different age classes, and the frequency of each feeling measured by this poll. In this case, the age distribution of the French population (coming from the national statistical institute https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/france/structure-population/pyramide-ages/) have been included to reflect the real potential contribution of each age class.

We run 50 replicates for each model (with an unique combination of one feeling, one magnitude and one data source) whith basic parameters values (β_0 and σ) have been chosen to

generate a system with a basic reproductive ratio of 2.5 (similar to what is expected for arbovirus outbreak in this area[20]). Then, we record the distribution of the abundance of infectious individuals at the outbreak peak, as well as its timing, and we compare the average between simulations considered each data sources through a student T-test and a Bonferroni correction.

Results

On October 18th 2018, 163,384 messages on the digital platform Twitter (tweets) with the word "moustique" (mosquito in French) were recorded. Across these tweets, 82 relevant words for tweets classification have been identified (supplementary materials). 37 were intuitively linked with the feeling "Nuisance", 24 with the feeling "Control" and 21 with the feeling "Fear". Among them, 42 words may have an ambiguous meaning with another feeling and 32 with a third one. Figure 1 shows how the tweets including these words have been classified, which allows inferring a confidence interval on the frequency of each of the three feelings considered. In total, 255,001 classifications have been made over all the tweets.

Estimation of each feeling frequency through Twitter shows important differences with those quantified on the different age classes through the Barometer poll (Figure 2). While the frequency of "Control" feeling is quite homogeneous across age classes, its average is significantly different from the one estimated on Twitter (p-value<$1e^{-4}$). Conversely, frequencies of feeling "Fear" and "Nuisance" are quite heterogeneous across age classes, while its average is only significantly different for the feeling "Fear" (p-value=0.008 and p-value=0.048 respectively). Therefore, only the feeling "Nuisance" shows a similar average frequency between the Barometer poll and Twitter classification.

Despite that, the forecasted epidemiological outcomes of an outbreak relying on the Barometer poll or Twitter data are quite similar (Figure 3). No significant difference for the

expected time of the epidemics peak is observed for any of the three feelings, whatever is the magnitude of their impact on transmission rate. Regarding the abundance of infectious individual at the epidemic peak, considering the feeling "Nuisance" provides a similar outcome only if this feeling has a moderate and positive impact on transmission rate. Meanwhile, including the frequency of the feeling "Fear" generates a significant difference of abundance of infectious between our models only if it has a strong and negative impact on pathogen transmission. Finally, no significant difference is observed if the feeling "Control" is included within our models, whatever its magnitude on disease propagation.

Discussion

Based on a possible application for forecasting arbovirus outbreak in Metropolitan France, we have shown that inferring human behavior through analysis of Twitter messages can provide a very useful proxy for forecasting this kind of outbreak in most of the situations. While feelings measured through Twitter and the Barometer poll differ significantly through the age pyramid, the outbreak dynamics predicted by classic mathematical models remain very similar across a large range of situations, with the exception of the feeling "Nuisance".

We show that the differences of feelings frequencies between estimation from Twitter and opinion-polls are actually more important that their expected epidemiological outcomes when involved within mathematical models. The first explanation is that considering the real age pyramid tend to decrease the importance of these differences through allocating to each age class a contribution proportional to its representability within the whole population, which can buffer the impact of the differences observed in feelings frequency. Second, it appears that the feeling "Control" gives the best match between theoretical expectations relying on different data sources because there are much less heterogeneities across age classes even if its average frequency is quite different. This result can open intriguing opportunities because it highlights that exploitable feelings measured on Twitter are the ones with lowest heterogeneity. Therefore,

it is now possible to identify these feelings that are the most relevant for outbreak forecasting with existing opinion-polls and simple analysis of Twitter messages.

From an epidemiological perspective, the good match between our models relying on different data sources when considering the "Control" feeling echoes to a previous study that has already linked this feeling with arbovirus transmission intensity during an outbreak[14], supporting the fact that such feeling could be well linked to a change in human behavior. Moreover, this first study took place in a tropical area while our study is in temperate one, suggesting that this approach of inferring human behavior could be similarly relevant across different environment, broadening the scope of its potential use.

As any studies, several choices we made deserves more explanation. First, the choice of these three feelings can be questioned. As explained previously, crossing these three feelings should cover the different links that their expression can have on transmission intensity as well as to be frequent enough to be quantified. While other feelings may have been considered, the goal of this study was to show the relevance of estimating these feelings for outbreak forecasting. Therefore, the critical point was to estimate frequencies of contrasted feelings in order to compare outbreak dynamics with opinion-poll and Twitter data, and not to identify which feeling is the most relevant for this goal. To do so, more comparative studies involving different feelings should be performed. Also, we could have used more complicated model to investigate the epidemiological consequences of the different methods for feeling inference. However, within our context of arbovirus outbreak in metropolitan France, considering more complexity will not affect dramatically the initial outbreak dynamics (over the first 6 months), and so neither our results. Therefore, while further work is needed to turn this approach into a translational decision-making tool, our results showing that heterogeneity in feelings expression drive its relevance for outbreak forecasting should be relatively general and allows to move one large step forward into this direction.

Tracking in real-time changes in human behavior and anticipating their epidemiological consequences will be a crucial lever for outbreak control in a very near future. To this extent, the amount of data provided by digital social network is an extraordinary opportunity to quantify this very complex component of pathogen transmission, despite their imperfections. For the first time, this study shows that such imperfections should not jeopardize the relevance of this tool for outbreak forecasting and identify what is missing to identify precisely the most important feeling to track, paving the way for its translation as an operational tool.

Acknowledgements: BG and BR are funded by a grant from Public Health France.

Figures

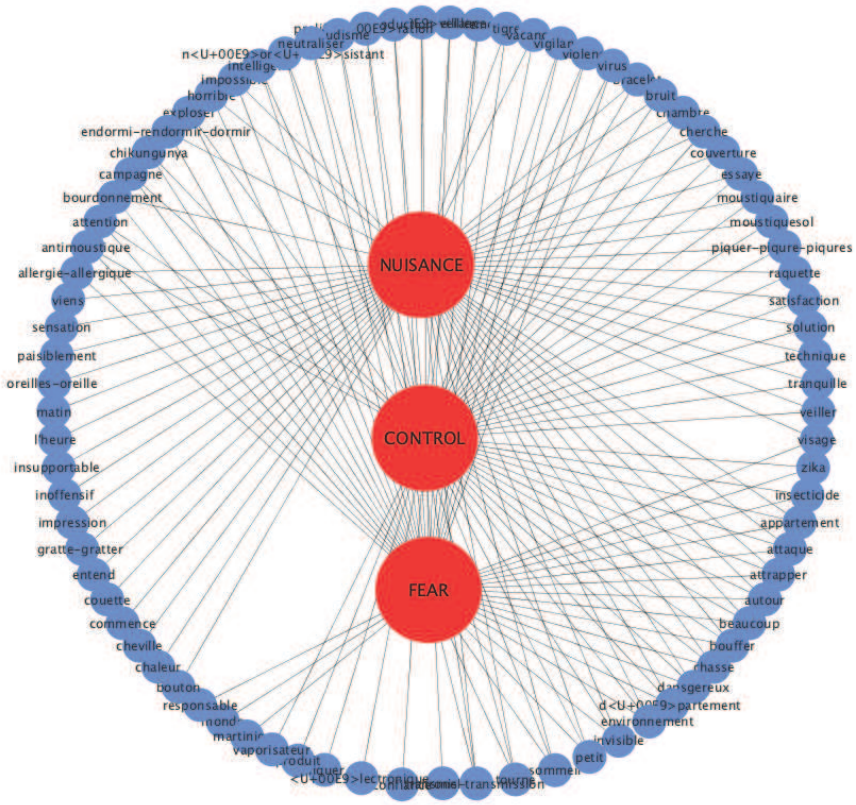


Figure 1: Relationship between the three feelings investigated and the most common words identified on Twitter messages.

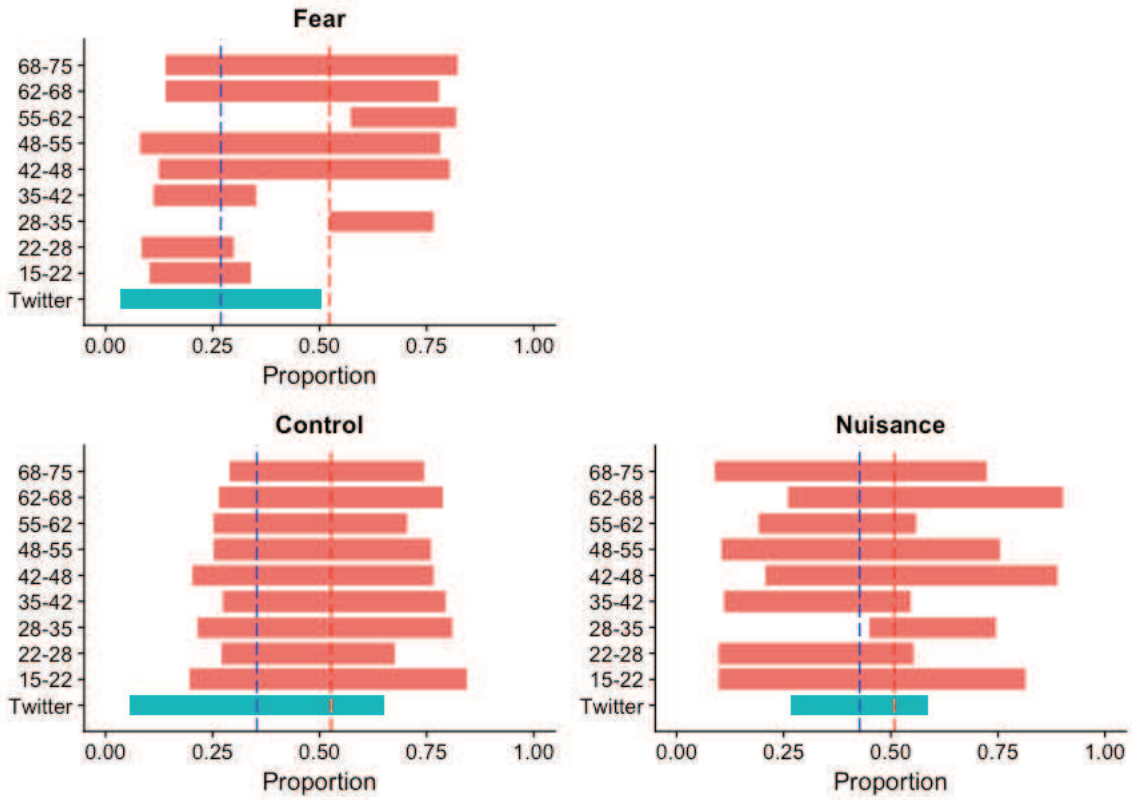


Figure 2: Comparison between feeling frequencies estimated on large-scale opinion poll and with twitter messages. The green bars represent the variability in feeling expression estimated on Twitter and the red bars represent the variability in feeling expression estimated for each class through large-scale opinion poll. See main text for details on variability quantification.

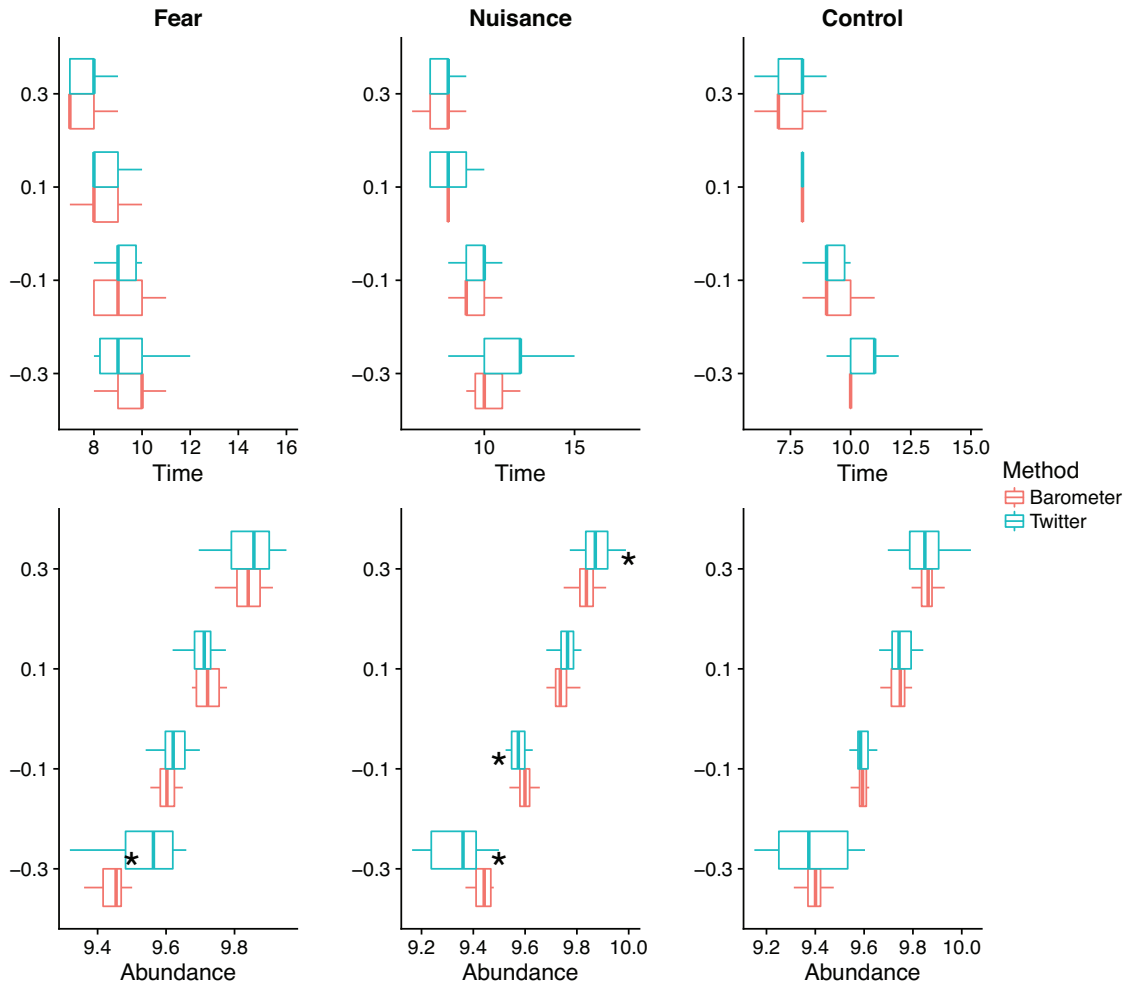


Figure 3: Comparison of model outcomes when considering one age class and feelings data coming from Twitter and multiple age class and feelings data coming from large-scale opinion poll. Stars indicate significant different differences. First row: distribution of the time at epidemic peak. Second row: distribution of the abundance of infectious individuals. Model parameters are provided in the main text.

Literature

1. Elsinga, J. *et al.* Health seeking behavior and treatment intentions of dengue and fever: A household survey of children and adults in Venezuela. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **93,** 52 (2015).
2. Padmanabha, H., Soto, E., Mosquera, M., Lord, C. C. & Lounibos, L. P. Ecological links between water storage behaviors and aedes aegypti production: Implications for dengue vector control in variable climates. *Ecohealth* **7,** 78–90 (2010).
3. Setbon, M. & Raude, J. Perceptions and preventive behavior against dengue fever in Martinique. *Med. Mal. Infect.* **38,** S78–S81 (2008).
4. Heymann, D. L. Ebola: burying the bodies. *The Lancet* **386,** 1729–1730 (2015).
5. Saint-victor, D. S. & Omer, S. B. Vaccine refusal and the endgame : walking the last mile first. *Phil Trans R Soc L. B* **368,** 20120148 (2013).
6. Funk, S., Salathé, M. & Jansen, V. A. A. Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases : a review. *J R Soc Interface* **7,** 1247–1256 (2010).
7. Funk, S. *et al.* Nine challenges in incorporating the dynamics of behaviour in infectious diseases models. *Epidemics* 1–5 (2014). doi:10.1016/j.epidem.2014.09.005
8. Mazińska, B., Struzycka, I. & Hryniewicz, W. Surveys of public knowledge and attitudes with regard to antibiotics in Poland: Did the European Antibiotic Awareness Day campaigns change attitudes? *PLoS ONE* **12,** (2017).
9. Tanaka, Y., Kunii, O., Hatano, T. & Wakai, S. Knowledge, attitude, and practice (KAP) of HIV prevention and HIV infection risks among Congolese refugees in Tanzania. *Heal. Place* **14,** 434–452 (2008).
10. Sayavong, C., Chompikul, J., Wongsawass, S. & Rattanapan, C. Knowledge, attitudes and preventive behaviors related to dengue vector breeding control measures among adults in communities of Vientiane, capital of the Lao PDR. *J Infect Public Heal.* **8,** 466–473 (2015).
11. Coreil, M. J., Bryant, C. A., Henderson, J. N., Forthofer, M. . & Quinn, G. P. *Social and Behavioral Foundations of Public Health. Social and Behavioral Foundations of Public Health* (2001). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
12. Salathé, M. *et al.* Digital Epidemiology. *PLoS Comput. Biol.* **8,** e1002616 (2012).
13. Salathé, M., Freifeld, C. C. C., Mekaru, S. R. S., Tomasulo, A. F. A. & Brownstein, J. J. S. Influenza A (H7N9) and the importance of digital epidemiology. *N Engl J Med* **369,** 401–404 (2013).
14. Roche, B. *et al.* An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique. *Sci. Rep.* **7,** 1–8 (2017).
15. Sloan, L. Who Tweets in the United Kingdom? Profiling the Twitter Population Using the British Social Attitudes Survey 2015. *Soc. Media + Soc.* **3,** 205630511769898 (2017).

16. Roche, B. *et al.* The spread of Aedes albopictus in Metropolitan France: contribution of environmental drivers and human activities and predictions for a near future. *PLoS One* **10,** e0125600 (2015).

17. Delisle, E. *et al.* Chikungunya outbreak in Montpellier, France, september to october 2014. *Eurosurveillance* **20,** (2015).

18. Succo, T. *et al.* Autochthonous dengue outbreak in Nîmes, South of France, July to September 2015. *Eurosurveillance* **21,** 1–7 (2016).

19. Keeling, M. J., Rohani, P. & Humans, I. N. *Modeling Infectious Diseases*. (Princeton University Press, Princeton, 2008).

20. Sochacki, T. *et al.* Chikungunya imported cases within a newly colonized area by Aedes albopictus: Mathematical assessment of the best public health strategy. *Eurosurveillance* 1–9 (2016). doi:10.2807/1560-7917.ES.2016.21.18.30221

Supplementary materials

Section S1. Words identified with Nvivo

allergie-allergique	insupportable	violence
antimoustique	intelligent	virus
appartement	invisible	visage
attaque	l'heure	Zika
attention	Martinique	
attraper	matin	
autour	monde	
beaucoup	moustiquaire	
bouffer	moustiquesol	
bourdonnement	néorésistant	
bouton	neutraliser	
bracelet	niquer	
bruit	oreilles-oreille	
campagne	paisiblement	
chaleur	paludisme	
chambre	petit	
chasse	piquer-piqure-piqures	
cherche	produit	
cheville	prolifération	
chikungunya	raquette	
citronnelle	reproduction	
commence	responsable	
confiance	réveiller	
couette	satisfaction	
couverture	sensation	
dangereux	solution	
département	sommeil	
électronique	surveillance	

endormi-rendormir-dormir	technique	
entend	tellement	
environnement	tigre	
essaye	tourne	
exploser	tranquille	
gratte-gratter	transmis-transmission	
horrible	vacances	
impossible	vaporisateur	
impression	veiller	
inoffensif	viens	
insecticide	vigilance	

Section S2. Questions used within the "Barometer of Health"

Concernant la présence de moustiques chez vous et autour de chez vous, hors période hivernale, diriez-vous que vous êtes?

Answer : pas du tout gêné, peu gêné, Assez gêné, très gêné

A quelle fréquence utilisez-vous les lotions, sprays et crèmes répulsives?

Answer : Jamais, rarement, de temps en temps, souvent

A quelle fréquence utilisez-vous les diffuseurs insecticides, serpentins, pièges à moustiques?

Answer : Jamais, rarement, de temps en temps, souvent

A quelle fréquence utilisez-vous les moustiquaires autour du lit ou aux fenêtres?

Answer : Jamais, rarement, de temps en temps, souvent

A quelle fréquence utilisez-vous le port des vêtements amples?

Answer : Jamais, rarement, de temps en temps, souvent

A quelle fréquence utilisez-vous la climatisation ou le ventilateur?

Answer : Jamais, rarement, de temps en temps, souvent

Trouvez-vous qu'il est efficace d'éliminer ou de couvrir les eaux stagnantes pour lutter contre la prolifération des moustiques chez vous et autour de chez vous?

Answer : pas du tout, Plutôt pas, plutôt, très

Pensez-vous que le Chikungunya peut être transmis ou non par les piqures de moustiques auxquels vous êtes exposés chez vous et autour de chez vous?

Answer : oui, non

Pensez-vous que le Paludisme peut être transmis ou non par les piqures de moustiques auxquels vous êtes exposés chez vous et autour de chez vous?

Answer : oui, non

Pensez-vous que la Dengue peut être transmis ou non par les piqures de moustiques auxquels vous êtes exposés chez vous et autour de chez vous?

Answer : oui, non

Concernant le Chikungunya, diriez-vous que c'est une maladie

Aswsers : Pas grave ; peu grave, assez grave, Très grave,

Concernant la Dengue, diriez-vous que c'est une maladie

Aswsers : Pas grave ; peu grave, assez grave, Très grave,

L'idée d'attraper une maladie transmise par les moustiques vous inquiète-t-elle?

Answer : pas du tout, Plutôt pas, plutôt, très

Conclusion

Notre étude démontre qu'une approche innovante, telle que l'utilisation des réseaux sociaux, présente beaucoup d'avantages dans un objectif d'évaluation puisqu'elle produit les mêmes prédictions que si les données du baromètre de la santé avaient été utilisées. Même si ce dernier a démontré son efficacité, un sondage à une telle échelle reste lourd à mettre en place et long à analyser. Il ne faut pas oublier que le gain de temps et la diminution du coût sont de fait des arguments importants en période d'épidémie ce qui privilégie le réseau social qui est impactant et fiable.

Ainsi, on peut dire que les réseaux sociaux sont un observatoire de la qualité du travail de mobilisation sociale. C'est un lieu qui permet d'avoir en main une vitrine des sentiments des populations et par conséquent de leurs comportements, de leurs attitudes et de leurs agissements, ainsi que sur la dynamique épidémique.

Ce poste d'observation permet ainsi d'être pertinent, réactif et percutant à la fois. Il permet d'agir au plus près du terrain et promeut ainsi les leçons apprises et les bonnes actions récoltées sur les réseaux sociaux au travers des échanges. C'est pourquoi, cette étude ouvre une voie à l'évaluation de ces campagnes en temps réel avec une masse de donnée en libre accès que l'on peut traiter gratuitement. C'est ce qui sera réalisé dans le dernier chapitre.

Partie 3 : Utilisation des réseaux sociaux pour la quantification de la transmission d'arboviroses et pour la caractérisation de l'impact des stratégies de communication

On a pu voir dans la partie 2, que les réseaux sociaux pouvaient compléter les outils classiques d'analyse de la dynamique de transmission des arboviroses. Notre étude a démontré toute l'utilité et la fiabilité des réseaux sociaux, associées à un nombre d'avantages non négligeables, tels que le coût ou la rapidité. Les réseaux sociaux, dans le cas présent Twitter, sont une base de données à très grande échelle qui est un excellent observatoire de la santé de la population. Ainsi, alors que les sondages à grande échelle comportent des échantillons importants qui génèrent de la lourdeur dans leur manipulation, ce moyen innovant permet d'avoir une estimation robuste et instantanée de l'intensité de la transmission d'une maladie et des sentiments que cela génère dans la population, et permet d'évaluer l'impact des stratégies de communication sur celle-ci.

Les deux études ci-après, l'une publiée dans Scientific Reports, et l'autre soumise dans Eco Health, ont deux objectifs. La première a pour vocation de constater comment les sentiments émis sur Twitter au travers des posts publiés par la population martiniquaise sont le miroir des fluctuations de l'épidémie et que les sentiments qui sont entrainés démontrent ces variations durant l'épidémie de chikungunya apparue en 2014. La seconde étude a pour objectif d'évaluer l'impact des campagnes de communication en santé publique au travers des messages postés sur Twitter durant l'épidémie d'arbovirose. Par conséquent, cela va permettre d'analyser l'évolution de l'image perçue par la cible, face aux actions menées par les autorités martiniquaises.

Axe 1 : Evolution des sentiments émis sur twitter durant de l'épidémie de chikungunya en Martinique

Comprendre la dynamique spatio-temporelle des infections endémiques est d'une importance cruciale pour permettre la conception de stratégies de santé publique plus efficaces et plus durables. Cependant, très peu d'études dans ce domaine ont porté sur les infections émergentes, générant un manque de connaissances qui entrave la planification de la réponse épidémiologique. Ici, nous analysons le cas d'une épidémie de chikungunya survenue en Martinique en 2014. En utilisant les estimations de séries chronologiques à partir d'un réseau des praticiens sentinelles couvrant l'île entière, nous analysons d'abord la dynamique spatio-temporelle et montrons que la plus grande ville de l'île a été l'épicentre de cette épidémie. Nous montrons en outre que l'épidémie se propage à partir de là par deux ondes de propagation différentes se déplaçant vers le nord et vers le sud, probablement par des individus se déplaçant le long du réseau routier. Nous développons ensuite un modèle mathématique pour explorer les moteurs de la dynamique temporelle de ce virus transmis par les moustiques. Enfin, nous montrons que le comportement humain, déduit d'une analyse textuelle des messages publiés sur le réseau social Twitter, est nécessaire pour expliquer la dynamique épidémiologique au fil du temps. Globalement, nos résultats suggèrent que le comportement humain a été un élément clé de la propagation de l'épidémie, et nous affirmons que de tels résultats peuvent conduire à des stratégies de santé publique plus efficaces et mieux ciblées, visant spécifiquement le processus de propagation.

Article publié dans Scientifics Reports: “An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 chikungunya outbreak in Martinique”.

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique

Received: 24 November 2016
Accepted: 7 June 2017
Published online: 20 July 2017

Benjamin Roche[1], Béatrice Gaillard[2], Lucas Léger[2], Renélise Pélagie-Moutenda[3], Thomas Sochacki[1,4], Bernard Cazelles[1,4], Martine Ledrans[5], Alain Blateau[5], Didier Fontenille[2], Manuel Etienne[3], Frédéric Simard[2], Marcel Salathé[6] & André Yébakima[3]

Understanding the spatio-temporal dynamics of endemic infections is of critical importance for a deeper understanding of pathogen transmission, and for the design of more efficient public health strategies. However, very few studies in this domain have focused on emerging infections, generating a gap of knowledge that hampers epidemiological response planning. Here, we analyze the case of a Chikungunya outbreak that occurred in Martinique in 2014. Using time series estimates from a network of sentinel practitioners covering the entire island, we first analyze the spatio-temporal dynamics and show that the largest city has served as the epicenter of this epidemic. We further show that the epidemic spread from there through two different propagation waves moving northwards and southwards, probably by individuals moving along the road network. We then develop a mathematical model to explore the drivers of the temporal dynamics of this mosquito-borne virus. Finally, we show that human behavior, inferred by a textual analysis of messages published on the social network Twitter, is required to explain the epidemiological dynamics over time. Overall, our results suggest that human behavior has been a key component of the outbreak propagation, and we argue that such results can lead to more efficient public health strategies specifically targeting the propagation process.

It is well known that for most infectious diseases, transmission intensity fluctuates through space and time[1]. Understanding the spatio-temporal dynamics of infectious diseases provides considerable insights into our understanding of their epidemiology[1–4] and can help design better strategies for their control[5,6]. The transmission dynamics of numerous endemic pathogens, ranging from childhood diseases[3] to vector-borne diseases[7], have been studied in many different countries[8,9]. As a result, several factors have been identified that drive the temporal dynamics of pathogen transmission[10], such as the abundance of vector population for vector-borne diseases[11], or abiotic factors, which can drive the dynamics of environmentally-transmitted agents like cholera[12]. They also include host behavior, such as the switch between school and holiday periods that shapes seasonality of childhood diseases[13], or more complex social mechanisms, involving belief-based or prevalence-based feelings[14].

Local transmission can also be influenced by movements of infectious individuals between cities, especially in small localities and islands[15]. This leads to a spatial structure of pathogen spread which has been extensively documented for many communicable diseases[1,2,7]. A pattern of travelling waves from large cities to rural areas has been highlighted for childhood diseases in the UK[3] or Senegal[16], as well as for vector-borne diseases such as dengue fever in Thailand[7,17].

[1]UMI IRD/UPMC 209 UMMISCO, Paris, France. [2]MIVEGEC, Université de Montpellier, IRD, CNRS, Montpellier, France. [3]Centre de Démoustication/Lutte antivectorielle CTM/ARS, Martinique, France. [4]UMR 8197 CNRS/INSERM/ENS IBENS, Paris, France. [5]CIRE Antilles-Guyanes, Fort de France, Martinique, France. [6]School of Life Sciences and School of Computer and Communication Sciences - École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL, Lausanne, Switzerland. Correspondence and requests for materials should be addressed to B.R. (email: benjamin.roche@ird.fr)

Although these temporal and spatio-temporal patterns have been documented for many endemic diseases, studies on emerging infections remain rare, creating a large information gap (but see ref. 18 for a recent example). This gap is detrimental to public health because an understanding of the initial stages of propagation is highly relevant for the overall disease epidemiology since it removes the perturbations produced by the appearance of an herd immunity on transmission intensity. Observations during the early stages of an epidemic allow public health authorities to adapt their strategies quickly[19] and to efficiently organize a control response in the face of such highly unpredictable events. An efficient early response is particularly crucial in the case of emerging infections where most of the population is assumed to be susceptible due to the absence of pre-existing immunity.

The recurrence of these emerging events are currently threatening much of the progress made by public health campaigns during the past decades[20,21], making a solid understanding of early-stage epidemic dynamics a clear research priority. To this extent, the temporal and spatio-temporal dynamics of Chikungunya outbreak in Martinique Island represents a unique semi-natural experimental case study. Introduced in December 2013 in Caribbean Islands[22] and in Martinique[23], the Chikungunya virus, transmitted by the mosquito *Aedes aegypti* in this area, has spread throughout the whole island, resulting in more than 72,500 infections and 51 deaths[24] in a population of 400,000 inhabitants. Since the island has a relatively small land area (1,040 km^2), introductions mainly happen through the largest cities where the harbor and airport are located, allowing us to study the fundamental drivers of the spatio-temporal propagation without the scrambling effect of multiple immigration routes.

We aimed to identify the main drivers of the temporal and spatio-temporal dynamics of the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique. We first analyzed the similarity between epidemiological time series recorded within each locality to quantify the propagation through space and time. Focusing on the period preceding a large spatial propagation throughout the island, we then fitted a mathematical model to quantify the contribution of three potential drivers, namely (i) seasonal mosquito abundance (inferred from entomological surveys of infested breeding sites), (ii) awareness of the epidemic in the local human population, and (iii) the interest for protection against the disease (the latter two both inferred from a textual analysis of messages recorded on the social network Twitter) on the temporal dynamics of the outbreak. Based on the identified importance of human behavior during this outbreak, we argue that more research should focus on quantitative assessment of human behavior in the context of emerging infections, and that this component should be considered very seriously in epidemiological response planning in the face of unexpected disease outbreaks.

Materials and Methods

Epidemiological Data. Our epidemiological data includes the number of new suspected Chikungunya cases within each locality for each week during the first nine months of the outbreak (from December 2013 to August 2014). Here, we use the number of suspected cases rather than the number of confirmed cases because biological confirmation has not been made routinely after the first 5 months owing to logistic complexity, and thus does not reflect the disease activity over the whole period. Time series of suspected cases is frequently used to estimate epidemiological parameters, especially for infectious diseases with low symptom specificity like influenza viruses[25]. These incidence time series have been estimated based on a network of sentinel practitioners that covers all the localities on the island with at least one medical doctor, resulting in 28 localities considered (6 localities do not have a MD). Each week, the total number of suspected cases collected by sentinel practitioners is extrapolated to the whole island using the ratio between the number of sentinel practitioners that have declared a number of Chikungunya cases (even if it is an absence) over the total number of practitioners in Martinique[26]. These time series have been smoothened through Fast-Fourrier Transform (FFT algorithm as implemented in package "stats" in R software)[27,28] where only the dominant frequencies have been kept in order to remove high frequency noise. Population level censuses have been provided by the CIRE Antilles-Guyane (http://invs.santepubliquefrance.fr/Regions-et-territoires/Localisation-et-contacts/Martinique/Cire-Antilles).

Entomological data. Mosquito abundance is expected to play a significant role in pathogen transmission rate. Taking advantage of long term surveys that have been conducted in Martinique during the past 15 years, we modeled statistically the abundance of mosquitoes through time, assuming that this abundance is linked to the proportion of infested houses visited during routine surveillance, and to the probability of mosquito presence. More precisely, we quantified the contribution of the different weather and land-use data available through Generalized Linear Mixed models[29] in order to explain the probability of mosquito presence. This step allowed us to derive a robust estimate of the population dynamics of *Aedes aegypti* through time (see details in Supplementary Materials S1).

Human behavior data. Insecticides are expected to have a limited efficiency according to the high level of mosquito resistance observed in Martinique (more than 80% of mosquitoes show resistance of organophosphate and pyrethroid insecticides through *kdr* mutation within sampled populations)[30]. Therefore, we assumed that the role of human behavior, i.e. through larval source reduction (e.g. removal of stagnant water) and/or individual protection (use of repellents, bed nets, etc.), on pathogen transmission would not have been significantly impacted by these public health interventions. We also assumed that human behavior could be estimated by the amount of relevant messages posted by local residents on the online social network Twitter talking about the outbreak. We quantified the awareness of the epidemic through the number of messages posted on Twitter during the first 9 months of the outbreak that contained the word "*Chick**" and "*Chik**" (to accommodate potential misspellings of *Chikungunya*). In order to account solely for feelings from people who were located in Martinique during the outbreak, we considered only messages by Twitter users who declared to be based in Martinique. Then, we quantified the protection behavior through the presence of a feeling of protection need expressed in the tweets, which represented a subset of the overall awareness. We textually analyzed the content of each of the 423 tweets

messages recorded during this period (including re-tweets) to identify 73 tweets messages with the presence of this feeling (still including re-tweets). Messages classification is detailed in Supplementary Materials (Section S2).

Spatio-temporal analysis. The spatio-temporal dynamic was first visually assessed by plotting the scaled incidence rate for each locality through time. This visual exploration allowed assessing that the spatio-temporal dynamics could be structured as two separate waves, which we have then tested statistically. Following previous works on the metapopulation of infectious diseases that have identified similar patterns of travelling waves[17,31], the similarity between time series was expected to decrease as the geographic distance between them increased[31]. To test the existence of such pattern, we have first quantified the similarity between time series of each locality through (i) the Euclidean distance at each time step of the whole time series and (ii) the differences in the timing of the epidemic peak (the week when the locality has reached its maximal incidence rate). Second, we have quantified the geographic distance between localities as the road length between the centrum of these localities (road network data are available at http://download.geofabrik.de/europe/france/). Finally, we tested for an association between the time series similarity among each pair of locality and their geographic distance.

Temporal analysis. To quantify the contribution of each of the potential drivers of temporal dynamics throughout the whole island, we used a mathematical model framed within the SEIR framework[32]:

$$\frac{dS}{dt} = \mu N - \beta(t)SI - \mu S \tag{1}$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta(t)SI - \epsilon I - \mu E \tag{2}$$

$$\frac{dI}{dt} = \epsilon I - \sigma I - \mu I \tag{3}$$

$$\frac{dR}{dt} = \sigma I - \mu R \tag{4}$$

where S represented susceptible individuals that are not infected. These individuals could become exposed (E) at rate $\beta(t)$. After a latency period of average duration $1/\varepsilon$ (asssumed here to be 3 days per individual)[33], exposed individuals became infectious (I) and then can infect susceptible mosquitoes, when mosquitoes could contract the virus from an infectious human, which could subsequently infect other susceptible humans. Finally, infectious individuals recovered at rate σ (assumed to be 4 days per individual)[33] and are then permanently immunized against the disease (R). Birth and death rates were identical (μ) in order to keep population size constant. Since we focused on an emerging event over a short period of time, we assumed that human demography did not play a significant role in the epidemic dynamics. We included the contribution of the three potential temporal drivers through a forced transmission rate fluctuating through time:

$$\beta(t) = x_0(x_1a(t))(1 + x_2p(t + \tau))(1 + x_3q(t + \tau)) \tag{5}$$

where x_0 was the average transmission rate through time, $(x_1a(t))$ represented the impact of mosquito population dynamics on transmission rate (x_1 is a constant and $a(t)$ is the estimated mosquito abundance at time t), $(1+x_2p(t))$ represented the influence of protection applied by human population, as measured by the textual analysis of tweets (x_2 is a constant and $p(t)$ represents the normalized activity on social network expressing a need for protection) and $(1+x_3q(t))$ represented the influence of activity – and therefore of the epidemic awareness - as measured on Twitter (x_3 is a constant and $q(t)$ represents the normalized overall activity on Twitter discussing the Chikungunya outbreak). The parameter τ represented the lag between the impact quantified on Twitter and its consequences for transmission. We have assumed that the behavior measured on Twitter could be a real-time indicator ($\tau=0$), a delayed indicator ($\tau=1$) when individuals talk on Twitter after having applied the protection, or an anticipated indicator ($\tau=-1$) when the Twitter activity reflects the behavior change one month before its impact on mosquito population. The $\beta(t)$ function is constrained positive. We then looked for the best estimation of x_1, x_2 and x_3 that allowed the mathematical model to reproduce the epidemiological dynamics observed. Technically, we maximized the likelihood of the model predictions knowing the data by assuming a Gaussian distribution of the model errors through the Nelder-Mead algorithm implemented within the *optim* package in R[28] (Supplementary Materials S3). Finally, we used a monthly time scale to consider enough tweets to infer human behavior. Therefore, we aggregated all the exploratory variables to this time scale. For each month, we have aggregated each week of epidemiological data (number of cases during weeks that were overlapping across two months have been redistributed to each month according to the respective number of days within each month) and used the mean of vector presence probability during the considered month as a proxy for mosquito abundance.

Ethics. No individually identifiable medical data has been used in this study.

Results

The first cases have been declared near to Fort-De-France, the largest city on the Island[34]. The visual analysis of the spatio-temporal dynamics has shown two travelling waves from this city, northwards and southwards (Fig. 1). Interestingly, in the north of the island, the association between local epidemiological dynamics and geographic distance likely relied on the timing of epidemic peak ($r=0.6454$, p-value $=0.0094$) rather than on

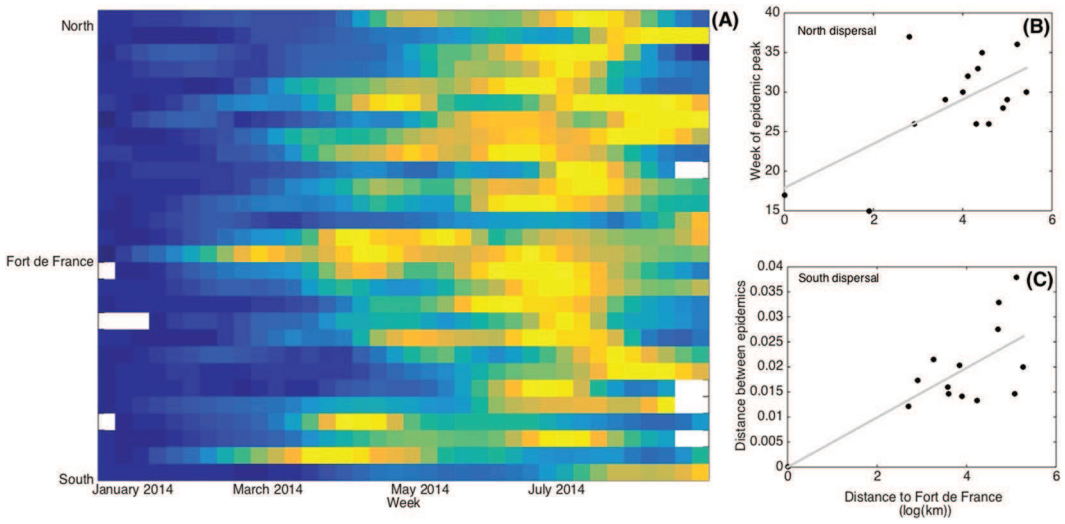


Figure 1. Summary of the spatio-temporal dynamics of the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique and its two spatial waves. (**A**) Colors represent the local scaled incidence rate (ranking from 0 in dark blue to 1 in hot yellow) for each locality (rows), ranked from the extreme south to the extreme north of the island according to its position from Fort-De-France, and each week (column). White color represent lack of data. Two waves appear from Fort-De-France, northwards and southwards. Geographic distance (log of km) between different localities through road (x-axis) and (**B**) the week of the epidemic peak ($r = 0.6454$, p-value $= 0.0094$) and (**C**) the Euclidean distance between the whole time series ($r = 0.72$, p-value $= 0.0037$).

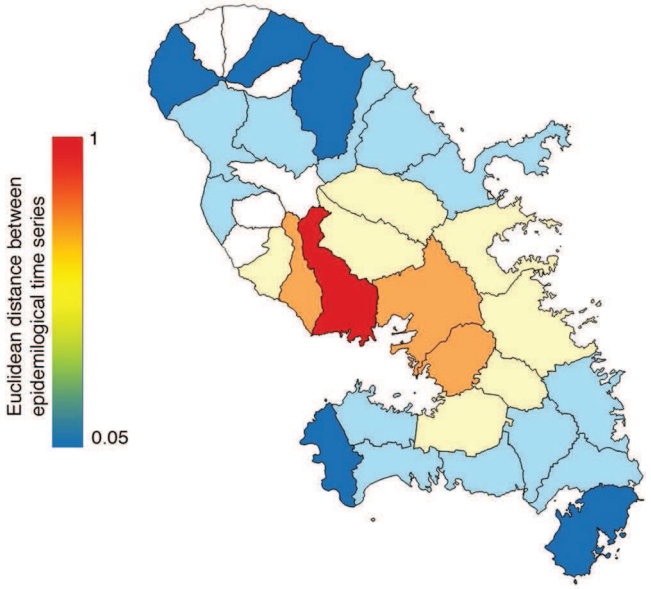


Figure 2. Invasion sequence of the Chikungunya outbreak based on similarity of epidemiological dynamics between each locality and Fort-de-France (similarity has been quantified through Euclidean distance between time series, see main text for more details). Colors follow a gradient from red (considered as epicenter of the epidemics, Fort-de-France, with therefore a correlation of 1) to dark blue (last localities to have been affected, with a correlation close to 0), representing this similarity (localities in white have no epidemiological data). The map has been generated with R software[28].

the whole series ($r = 0.49$, p-value $= 0.061$), while in the south of the island, it likely relied on the whole times series ($r = 0.72$, p-value $= 0.0037$) rather than on the epidemic peak ($r = 0.39$, p-value $= 0.16$). Based on these correlations, we used the correlation coefficients to characterize the invasion sequence of the virus throughout the island (Fig. 2).

In order to focus on a time period when pathogen dispersal was limited, we limited the analysis of the island temporal dynamics to the time period before it began spreading to remote areas within the island, *i.e.* from December 2013 to May 2014. We estimated parameters x_1, x_2 and x_3 for all possible combinations of transmission drivers (mosquito abundance, awareness of the epidemic, and the need for protection) and an anticipated

Parameters included in transmission rate	Twitter as an anticipated indicator ($\tau = -1$)	Twitter as a real-time indicator ($\tau = 0$)	Twitter as a delayed indicator ($\tau = 1$)
None	9088	9088	9088
Mosquito abundance (MA)	6980	6980	6980
Expressed protection need (EPN)	3897	7546	5191
Epidemics awareness (EA)	7797	8240	6878
MA and EPN	2402	4058	3161
MA and EA	7242	8518	5484
EPN and EA	7218	7529	3685
MA, EPN and EA	4389	7639	2675

Table 1. Results of model estimation. We show here the squared root of the Mean-Squared Error instead of AIC in order to show the difference between the observed and predicted number of cases. The best model includes the variation in mosquito abundance and the expressed need for protection represented by the proportion of tweets talking about protection against the mosquito in the set of all tweets and retweets that included the word *Chikungunya* (only Twitter accounts declared in Martinique have been considered). The lag period (τ) is expressed in month. AIC values are included in Supplementary Materials.

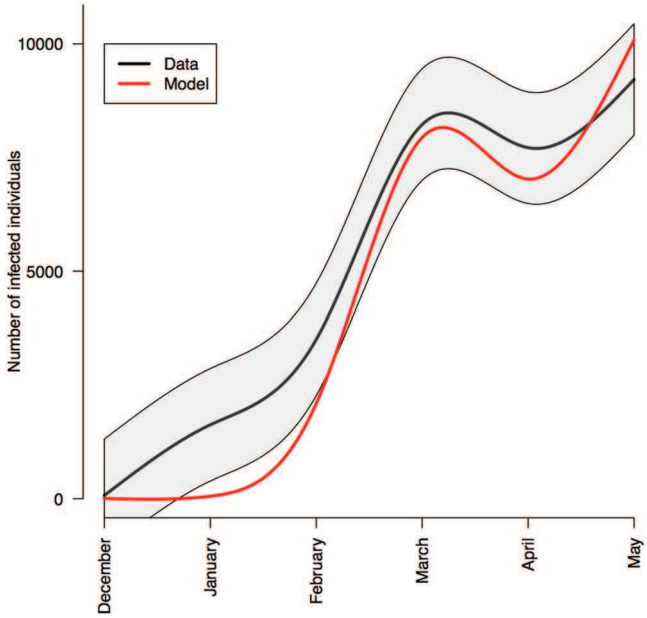


Figure 3. Match between estimated monthly epidemiological data (black, shaded grey area shows the confidence interval based on a Gaussian distribution) and the most parsimonious mathematical model including mosquito abundance and expressed need for protection on Twitter (red line). Estimated transmission parameters are $x_0 = 3.76\ 10{-}4$, $x_1 = 0.295$, $x_2 = 0.644$ and $\tau = -1$. See Table 1 for model selection details.

($\tau = -1$), real-time ($\tau = 0$) or delayed ($\tau = 1$) indicator of human behavior impact on transmission (all the lags are expressed in month). Comparisons between the Mean-Squared Error (using Akaike Information Criterion gives identical results, Supplementary Materials) of each of these models shown that the model including both mosquito abundance and the expressed need for protection, with an anticipated notification on Twitter, explained the best the temporal dynamics observed (Table 1). Moreover, the model predicted around 28,000 new cases over the six-month period, an estimate in line with the slightly more than 30,000 suspected cases recorded by epidemiological data, highlighting the accuracy of this mathematical model despite its simplicity (Fig. 3).

Discussion

In this paper, we aimed to identify the main drivers of the Chikungunya outbreak that occurred in Martinique in 2014. We have demonstrated that the temporal dynamics of virus transmission is jointly determined by mosquito abundance as well as by human behavior as inferred from the feelings expressed on the online social network Twitter. We have also shown that the spatio-temporal dynamics of the outbreak follows a travelling wave pattern in two different directions (northwards and southwards).

While mosquito abundance is an expected explanation for the temporal dynamics of the outbreak, the importance of human behavior on the initial stages of an outbreak are less often taken into account, let alone quantified. To the best of our knowledge, this is first time that human behavior has been quantified through social media for a vector-borne disease outbreak, even if social media has been recently used to quantify transmission dynamics of Zika virus[35]. It is consistent with the increasing amount of evidence regarding the role of human behavior in pathogen transmission[14,36]. Moreover, our analysis suggests that the influence of human behavior is not constant through time, suggesting that communication campaigns have different impacts according to the timing of the operation. This calls for a coordinated outbreak response from public health authorities, municipalities and other partners involved in source reduction, communication campaigns and use of chemical insecticide.

The spatio-temporal spread of the outbreak was shown to follow a two-waves pattern originating from the capital (Fort-De-France), which was the epicenter of the outbreak. Nevertheless, the north and south waves proceeded differently. In the north, where the road network is less dense, only the epidemic peak is associated with distance from Fort-De-France, suggesting that human movement acts as a seed for local epidemics. Conversely, the southward traveling wave, where the road network is more dense, is associated with similarity between the entire time series rather than the epidemics peak. We suggested that the more connected road infrastructure allows for increased movement of infectious individuals that will increase the inter-dependence of pathogen dynamics between localities. While this hypothesis is difficult to demonstrate, we conducted a complementary theoretical approach (Supplementary Materials S4) showing that this explanation could be plausible. The suggestions that the topology of connections between human populations affects the spatial diffusion dynamics of diseases epidemics is in line with results from theoretical studies on the role of network structures on infectious disease spread[37], especially with vector-borne diseases[38,39].

As for any study focusing on epidemiological data, we have made several assumptions that deserve discussion. First, our epidemiological data relies on a sentinel network, and this non-exhaustivity could bring some uncertainty to the validity of our assumptions. Nonetheless, almost 20% of the medical doctors working on the island serve as sentinel doctors, as compared with the 1% of sentinel doctors in metropolitan France[40], providing support for the relevance and quality of the data we used in our model. Second, we have assumed that these epidemiological data contained the localities where individuals had been infected, although it instead contained the localities where the offices of sentinel doctors are located. Nevertheless, this bias is generally assumed for the study of spatio-temporal dynamics of pathogens and is not expected to play a large role on such analysis[1,9]. Finally, the low specificity of the Chikungunya symptoms, combined with an unknown number of infected individuals who did not enter the surveillance system for different reasons, can potentially lead to an underestimation of the real incidence. While some cases during the first month of the outbreak may have not been sampled because the Chikungunya virus has never been observed in this area before, which could also explain why our model does not perform well at the beginning of the outbreak, the magnitude of the epidemics (almost 20% of the whole population have been infected) allows us to think that a very intensive sampling effort has been done when the outbreak has been clearly identified. Therefore, this might have a possible quantitative impact on our results but it should not qualitatively change our conclusions.

In this study, we have chosen to use Generalized Linear Models to obtain an average seasonal structure of mosquito population dynamics at the island scale (See Supplementary Materials for more details). Therefore, we did not use the precise mosquito population dynamics of 2014. We made this choice because available entomological data contains a variety of mosquito breeding sites, which are not all the same every year. Therefore, the temporal dynamics over a given season is not accessible because the dynamics estimated is strongly dependent of which breeding sites have been sampled during the considered year. Instead, once compiled over the years, the number and variety of breeding sites was clearly enough to derive a correct average of mosquito seasonal structure through Generalized Linear Models. Moreover, Martinique Island did not record any extreme climatic event that would have serve as seasonal pulse to bring forward or delay the usual mosquito population dynamics. We are therefore confident that the seasonal structure of mosquito population dynamics we have estimated is a reasonable approximation for the year 2014.

The use of feelings expressed on social networks, even if extremely interesting, can potentially introduce a bias since social networks are used only by a small – but rapidly growing - subset of the population[41]. In Martinique during the sampling period, the source of the tweets used in this study is likely to have come from a non-representative population sample, even if more than 74% of the Martinique population has an internet access and social network access is presumably important, as suggested by the 170,000 Facebook subscribers recorded on the island[42]. There are however no good quantitative data to suggest that epidemic awareness and the felt need for protection are very different in different population groups. Previously, the use of such digital epidemiology methods[43,44] has been shown to reflect quite correctly the epidemiological dynamics of such emerging pathogens[43], suggesting that this surrogate can be integrated into mechanistic models involving human host behavior[14]. A careful comparison of this approach against large-scale surveys, if representing the standard approach to infer human sentiments, is lacking right now and should be tackled quickly regarding the potential enormous benefits of having such real-time estimates of human behavior.

Other kinds of analysis could have been also possible. For instance, the spatio-temporal analysis could have been done using statistical model considering time lags[45]. Nevertheless, while this method would allow to quantify precisely the extent of the spatial waves, using such sophisticated technique would be clearly out of the scope of this study which aims identifying the role of human behavior in outbreak propagation. It is worth acknowledging that other hypotheses, not necessarily mutually exclusive, are also possible for this two-waves pattern, such as different socio-economic activities in the two parts of the island that may affect human movements, or several external introductions at different places that may have accelerate pathogen spreading in the South of the island.

Human behavior is increasingly recognized as an important factor for pathogen spreading. The recent example of Ebola outbreaks in Western Africa has seen many dramatic examples of this, underlining how epidemiological

response strategies need to consider this component in order to be maximally efficient[46]. While the role of human behavior has long been suggested as a driver for emerging infections[47], the emergence of online social networks, now widely used throughout the world, opens new opportunities to assess it quantitatively[48]. Our finding that the most parsimonious model for temporal dynamics includes Twitter activity as an anticipated indicator of its impact highlights that analysis of Twitter messages could potentially offer to public health authorities a tool to measure or even predict fluctuations in protective behavior seen in the population. Such quantification, when combined with individuals' movements and other biotic and abiotic factors known to influence pathogen transmission, can contribute to optimize the efficiency of public health strategies[49] designed to mitigate the spread of emergent pathogens.

When these results are gathered together, they suggest a strong role of human behavior in the epidemiology of this outbreak. Indeed, our analysis on Twitter is used to be a proxy of human behavior against mosquitoes potentially infected. Similarly, spatial propagation that follows road networks is also suggestive that human movement is driving this dispersion. We therefore believe that our analysis is bringing a quantitative assessment of human behavior in the epidemiology of this outbreak, despite that a clear causal link between human behavior and pathogen transmission is almost impossible to establish, especially for outbreak with this kind of magnitude.

References

1. Grenfell, B. T., Bjornstad, O. N. & Kappey, J. Travelling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature* **414**, 716–723 (2001).
2. Choisy, M. & Rohani, P. Changing spatial epidemiology of pertussis in continental USA. *Proc. Biol. Sci.* **279**, 4574–81 (2012).
3. Rohani, P., Earn, D. J. & Grenfell, B. T. Opposite patterns of synchrony in sympatric disease metapopulations. *Science (80-)* **286**, 968–971 (1999).
4. Grenfell, B. T. & Bolker, B. M. Cities and villages: infection hierarchies in a measles metapopulation. *Ecol Lett.* **1**, 63–70 (1998).
5. Agur, Z., Cojocaru, L., Mazor, G., Anderson, R. M. & Danon, Y. L. Pulse mass measles vaccination across age cohorts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **90**, 11698–702 (1993).
6. Rowthorn, R. E., Laxminarayan, R. & Gilligan, C. A. Optimal control of epidemics in metapopulations. *J. R. Soc. Interface* **6**, 1135–44 (2009).
7. Cummings, D. A. T. *et al*. Travelling waves in the occurrence of dengue haemorrhagic fever in Thailand. *Nature* **427**, 344–347 (2004).
8. Broutin, H., Elguero, E., Simondon, F. & Guégan, J.-F. Spatial dynamics of pertussis in a small region of Senegal. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **271**, 2091–2098 (2004).
9. Ferrari, M. J. *et al*. The dynamics of measles in sub-Saharan Africa. *Nature* **451**, 679–84 (2008).
10. Altizer, S. *et al*. Seasonnality and the dynamics of infectious diseases. *Ecol. Lett.* **9**, 467–84 (2006).
11. Hoshen, M. B. & Morse, A. P. A weather-driven model of malaria transmission. *Malar. J.* **3**, 32 (2004).
12. de Magny, G. C. *et al*. Environmental signatures associated with cholera epidemics. *Proc Natl Acad Sci USA* **105**, 17676–17681 (2008).
13. Conlan, A. J. K. & Grenfell, B. T. Seasonality and the persistence and invasion of measles. *Proc Biol Sci* **274**, 1133–1141 (2007).
14. Funk, S., Salathé, M. & Jansen, V. A. A. Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases: a review. *J R Soc Interface* **7**, 1247–1256 (2010).
15. Bartlett, M. S. Measles periodicity and community size. *J. R. Stat. Soc. A* **120**, 48–70 (1957).
16. Broutin, H., Simondon, F. & Guégan, J.-F. Whooping cough metapopulation dynamics in tropical conditions: disease persistence and impact of vaccination. *Proc. Biol. Sci.* **271**(Suppl), S302–5 (2004).
17. Cuong, H. *et al*. Spatiotemporal Dynamics of Dengue. *Emerg Infect Dis* **19**, 945–953 (2013).
18. Gaudart, J. *et al*. Spatio-temporal dynamics of cholera during the first year of the epidemic in Haiti. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **7**, e2145 (2013).
19. Shea, K., Tildesley, M. J., Runge, M. C., Fonnesbeck, C. J. & Ferrari, M. J. Adaptive Management and the Value of Information: Learning Via Intervention in Epidemiology. *PLoS Biol.* **12**, e1001970 (2014).
20. Cohen, M. L. Changing patterns of infectious disease. *Nature* **406**, 762–768 (2000).
21. Jones, K. E. *et al*. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* **451**, 990–994 (2008).
22. Cauchemez, S. *et al*. Local and regional spread of chikungunya fever in the Americas. *Eurosurveillance* **19**, 20854 (2014).
23. Leparc-Goffart, I., Nougairede, A., Cassadou, S., Prat, C. & de Lamballerie, X. Chikungunya in the Americas. *Lancet* **383**, 514 (2014).
24. InVS Cire-Antilles-Guyane. *Le chikungunya dans les Antilles* (2015).
25. van Noort, S. P. *et al*. Ten-year performance of Influenzanet: ILI time series, risks, vaccine effects, and care-seeking behaviour. *Epidemics* **13**, 28–36 (2015).
26. Blateau, A. *et al*. Le réseau de médecins sentinelles de Martinique en 2011. *BVS* **5**, 5–7 (2011).
27. Cooley, J. W. & Tukey, J. W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. Comp* **19**, 297–301 (1965).
28. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. http://www.R-project.org/ (2013)
29. Bolker, B. M. *Ecological Models and Data in R*. (Princeton University Press, 2007).
30. Marcombe, S. *et al*. Reduced Efficacy of Pyrethroid Space Sprays for Dengue Control in an Area of Martinique with Pyrethroid Resistance. *Am J Trop. Med Hyg* **80**, 745–751 (2009).
31. Keeling, M. J., Bjornstad, O. N. & Grenfell, B. T. In *Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations*. 415–446 (Eds: Hanski, I. & Gaggiotti, O.E.) Elsevier (2004).
32. Keeling, M. J. & Rohani, P. *Modeling Infectious Diseases*. (Princeton University Press, Princeton, 2008).
33. Robinson, M. *et al*. A Model for a Chikungunya Outbreak in a Rural Cambodian Setting: Implications for Disease Control in Uninfected Areas. *PLoS Negl Trop Dis* **8**, e3120 (2014).
34. Bortel, W. V. *et al*. Chikungunya outbreak in the Caribbean region, December 2013 to March 2014, and the significance for Europe. *Eurosurveillance* **19**, 20759 (2014).
35. Majumder, M. S. *et al*. Utilizing Nontraditional Data Sources for Near Real-Time Estimation of Transmission Dynamics During the 2015-2016 Colombian Zika Virus Disease Outbreak. *J. Med. Internet Res.* **18**, 105 (2016).
36. Hollingsworth, T. D. *et al*. Seven challenges for modelling indirect transmission: vector-borne diseases, macroparasites and neglected tropical diseases. *Epidemics* 3–7, doi:10.1016/j.epidem.2014.08.007 (2014).
37. Colizza, V., Barrat, A., Barthelemy, M. & Vespignani, A. Prediction and predictability of global epidemics: the role of the airline transportation network. *Biocomplexity* **20**, doi:10.1073/pnas.0510525103 (2005).
38. Reiner, R. C. R. *et al*. A systematic review of mathematical models of mosquito-borne pathogen transmission: 1970–2010. *J R Soc Interface* **10**, 20120921 (2013).
39. Smitha, D. L. *et al*. Recasting the theory of mosquito-borne pathogen transmission dynamics and control. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* **108**, 185–197 (2014).

40. Flahault, A. *et al*. Virtual surveillance of communicable diseases: a 20-year experience in France. *Stat. Methods Med. Res.* **15**, 413–421 (2006).
41. Pew research center. *Social Networking Fact Sheet*. (2015).
42. Internet access statistics in Martinique. (http://www.internetworldstats.com/carib.htm#mq).
43. Salathé, M., Freifeld, C., Mekaru, S., Tomasulo, A. & Brownstein, J. Influenza A (H7N9) and the importance of digital epidemiology. *N Engl J Med* **369**, 401–404 (2013).
44. Salathé, M. *et al*. Digital Epidemiology. *PLoS Comput. Biol.* **8**, e1002616 (2012).
45. Vazquez-Prokopec, G. M., Kitron, U., Montgomery, B., Horne, P. & Ritchie, S. A. Quantifying the spatial dimension of dengue virus epidemic spread within a tropical urban environment. *PLoS Negl. Trop. Dis* **4**, 1–14 (2010).
46. Drake, J. M. *et al*. Ebola Cases and Health System Demand in Liberia. *PLoS Biol* **13**, e1002056 (2015).
47. Morse, S. S. Factors in the emergence of infectious diseases. *Emerg Infect Dis* **1**, 7–15 (1995).
48. Smieszek, T. & Salathe, M. A low-cost method to assess the epidemiological importance of individuals in controlling infectious disease outbreaks. *BMC Med.* **11**, 35 (2013).
49. Roche, B. *et al*. The niche reduction approach: an opportunity for optimal control of infectious diseases in low-income countries? *BMC Public Health* **14**, 753 (2014).

Acknowledgements

We thank the "Agence Nationale de Recherche sur le Sida et les hépatites virales" (ANRS), the "Institut de Microbiologie et Maladies Infectieuses" (IMMI) for financial support. This paper is a contribution of the CNRS PEPS Project BEHAVIOR granted to B.R.

Author Contributions

B.R., B.G. and A.Y. have designed the study. B.G., R.M., M.L., A.B., M.E. have provided data. B.R., T.S., B.C., D.F., L.L., M.S., F.S. have analyzed the data. All the authors have significantly participated to the writing of the manuscript.

Additional Information

Supplementary information accompanies this paper at doi:10.1038/s41598-017-05957-y

Competing Interests: The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's note: Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

© The Author(s) 2017

Axe 2 : Relations entre les stratégies de communication et les sentiments émis sur les posts publiés sur twitter ?

Pendant longtemps, les arbovirus ont été principalement contrôlés avec différents outils manufacturés, tels que des vaccins ou des insecticides. Néanmoins, face à la faible disponibilité des vaccins contre ces virus et à la préoccupation croissante de la résistance aux insecticides, des interventions basées sur la mobilisation sociale sont de plus en plus déployées sur le terrain. Cependant, il est difficile de mesurer leurs effets sur le comportement humain. Dans cette étude, nous évaluons l'impact des informations diffusées par les six campagnes les plus importantes déployées lors de l'épidémie de chikungunya en 2014 en Martinique le comportement de la population au travers des réactions qu'elles ont suscitées sur le réseau social Twitter. Nous avons constaté que les campagnes les plus opérationnelles, qui suggèrent une action préventive spécifique à un moment donné, ont un meilleur impact sur les sentiments exprimés par les populations locales et éventuellement sur le comportement réel de ces populations. Cette étude montre que certains effets des campagnes de mobilisation sociale peuvent être mesurés sur des réseaux sociaux numériques, ouvrant la voie à une quantification en temps réel du comportement humain lors d'épidémies.

Article soumis dans Eco Health: « Raison et sentiments: Evaluation of the impact of health communication campaigns on attitudes related to mosquito-borne diseases though digital network analysis.

Raisons et sentiments

: Evaluation of the impact of health communication campaigns on attitudes related to mosquito-borne diseases through digital networks analysis

Beatrice Gaillard[1,2], Frédéric Simard[2], Etienne Manuel[3], Laurent Dormont[1], Pierre Jay-Robert[1], Jocelyn Raude[4]

1. CNRS/IRD/UM/UM3 CEFE
2. IRD/CNRS/UM 5290 MIVEGEC
3. CEDRE Martinique
4. UVE : Aix-Marseille Univ-IRD 190-Inserm 1207-IHU Méditerranée Infection, Marseille, France

Abstract

For a long time, arboviruses have been mainly controlled with different manufactured tools, such as vaccine or insecticides. Nevertheless, regarding the poor availability of vaccines against these viruses and the growing concern of insecticide resistance, interventions based on social mobilization are increasingly deployed on the field. However, measuring their effects on human behavior is challenging. In this study, we analyze how the information released by the most important six campaigns during the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique have impacted the feelings, as be captured on the social network Twitter, and therefore population behavior. In particular, we found that the most operational campaigns, which suggest a specific preventive action at a given moment, have a better impact on the feelings expressed by local populations and possibly on actual the behavior of local populations. This study shows that some effects of the social mobilization campaigns may be measured on digital social networks, opening the way for a real-time quantification of the human behavior during outbreaks.

Introduction

Arboviruses are the cause of a growing concern for population health worldwide (Lambrechts, Scott, & Gubler, 2010; Shragai, Tesla, Murdock, & Harrington, 2017). For a long time , arbovirus control methods have mostly relied on vaccine development (Vasudevan, 2011) or vector control (Moore, Mordue Luntz, & Logan, 2012). However, the complexity of developing vaccines against these complex viruses and the increasing frequency of insecticide resistance hamper an effective control over the affected areas.

According to the World Health Organization, an active participation of the individuals and groups to vector control effort is a key element of a successful policy (Parks et al., 2004) . Moreover, social mobilization is recognized as one of the main pillars in the risk management related to the vector proliferation throughout the world by OMS (Who, 2017).

The exercise is complex since communication strategy campaigns aim to have a significant impact on people's attitudes and behaviors in order to reduce the virus transmission dynamic among humans. However, such communication can also have detrimental effect if the behavior is changed (i.e. making a counter sense in changing behavior) (Jansen, Funk, & Salathe, 2010). This is an effect of Pool, as formalized by Gustave Coriolis (Coriolis, 1835), since we act on one entity (the individual) to obtain a result on another entity (virus propagation) through the message..

It is therefore crucial to measure the impact of social mobilization campaigns on population behavior. However, this task is a real scientific challenge. To this extent, using digital social networks could be a very promising avenue. Indeed, it has been demonstrated that concerns expressed on platform such as twitter can follow epidemics curve of an outbreak (Salathé, Freifeld, Mekaru, Tomasulo, & Brownstein, 2013) or infer local population behavior against an outbreak (Benjamin Roche et al., 2017). Nevertheless, this tool has never been used to

understand how populations' feelings may have changed according to a social mobilization campaign.

In this study, we used the case of the Chikungunya outbreak in Martinique island in 2014, which represents an unique opportunity since more than 80% of mosquitoes in Martinique exhibit resistance to organophosphates and pyrethroids by kdr mutation within sampled populations, highlighting that effectiveness of insecticides is therefore very limited (Marcombe et al., 2009). The overall objective of this study is twofold. First, we propose to characterize population feelings about the epidemic through a content analysis of messages posted on Twitter, especially their tone (e.g. humorous) as well as the language style used. Second, we aim to understand how the communication strategies implemented by the local health authorities may have altered these feelings to quantify the effectiveness of the interventions and, ultimately, to improve the relevance and efficiency of the actions undertaken by public health authorities in matter of social mobilization. It was assumed here that the "applied" campaigns, i.e., those suggesting concrete things to do, have enhanced the public understanding of the social and behavioral challenges raised by the epidemics and has significantly changed their feelings, as well as on the outbreak dynamics. Conversely, more informative, written and pictorially funny strategies, are hypothesize to have a weak influence on the population feelings. Finally, we assessed whether evaluation through digital social networks could be helpful to tailor more effective social mobilization campaigns.

Methods

Social mobilization campaigns.

During this outbreak, six major communication campaigns have been conducted by the public health authorities on the island, including the Regional Agency of Health, Mosquito Control Service, and Local Government). The various campaigns implemented by the Mosquito Control Service of Fort de France (CEDRE) are the followings: the campaign "Dengue, Chik: same

fight" has started in January (Figure 1A). This campaign aimed to decrease the rising worry of the population, and to relativize the effects of Chikungunya by comparing this disease to Dengue fever, a well-known disease on the island. The objective of this campaign was to shape the perception of the health threat by the population with an humorous tone (framing?) that may be able to play down the problem.

In March, another campaign was held at the occasion of the World Health Day in order to prepare for the event planed on April 7th, 2014. This campaign (Figure 1B), through its catchphrase "You have a guest ...", shows the importance of collective awareness, i.e., that everyone's behavior affects the risk on the community; and the fact that everyone has (the duty/responsability?) to change their behavior. This idea is repeated in the headline "Everyone is responsible for mosquitoes".

In May, a campaign has been conducted for the Mother's Day (Figure 1C). Through a “sentimental” approach depicting a smiling young girl offering flowers, this optimistic message plays on the emotion of the target with showing that mothers will be happier without mosquitoes. The signature "Mother's Day Without Mosquitoes" aims to encourage/incite individuals buying flowers not to forget adding sand in the vases or changing water 2 to 3 times per week to prevent mosquitoes breeding.

In June has been planned in the agenda a specific day focusing on vector control. Named "Mosquito Control Day" (Figure 1D), this communication campaign inform that our observation does not match exactly with reality. Thus, on this poster, the aquatic plant, that is flowering and looks refreshing, generate a serious health threat about which each individual should be concerned.

At the beginning of July, a campaign entitled "Stop rumors" was conducted to tackle with some rumors spread throughout the island (Figure 1E). All the rumors circulating within the

population (Kapferrer, 2010) (J. Nodin, 2014) have been identified to demonstrate the reality of the situation and thus denounce the fakes news spread.

Finally, on August 8th, the "Operation Déchiktaj" has occurred (Figure 1F), which has mobilized about 80% of the inhabitants (B Roche et al., 2017). This poster, highlighting all the protection means that all individuals have access easily (removing buckets and tires, mosquito nets, sprays ...), shows that all individuals need to be involved in the vector control effort.

It is worth noting that other punctual campaigns have been conducted during the whole outbreak, but we only consider in this study the largest campaigns that have been conducted during the first nine months of this epidemic.

Capturing human behavior.

We assumed that human behavior can be inferred to some extent from the feelings expressed in response to the public health messages, and through texts posted on Twitter during the epidemic.

Digital networks are very present in the daily lives of the 400,000 Martiniquais, with more than 160,000 active local user accounts on all social networks, which makes a 40% mostly among the youngest.

During the Chikungunya epidemic period in Martinique, from December 2013 to August 2014, we identified 473 tweets with the keyword *#chick martinique* and *#chikungunya martinique* (from individual users?). Only tweets from residents in Martinique have been taken into account in the analysis. These messages have been categorized according to the different feelings that emerge after substantive analysis of the messages through the Nvivo software (Maxwell, 2013). According to the most frequent keywords that have been identified during this analysis, we have chosen to focus on five major themes (themes that come up most often in the analysis of massages) : death, protection, rumors, fear and communication campaigns.

Results

Figure 2 shows the outbreak dynamics, along three peaks, with the variations of the different feelings over time. It was observed that the maximal activity on twitter was in February, when the search for the information and the protection was high before a large decrease after the launch of the 1st campaign entitled "Dengue/Chik: same fight ». Since this feeling (protection) is linked to transmission rate (Benjamin Roche et al., 2017), this campaign could have therefore had a negative effect on protective behaviors because an amalgamation has been made for the population. Indeed, the population has assimilated the effects of Chikungunya in perspective of their habituation to Dengue fever. Therefore, the population may have understood that the Dengue epidemic could mean the end of the Chikungunya outbreak, producing *de facto* a counterproductive effect on the communication effort to promote protective behaviors among the population (February/March 2014) (CIRE Antilles-Guyane, 2015).

For the World Health Day, we observe a dramatic increase of feelings of fear/worry associated with the protection issues. This highlights that this informative campaign has produced an anxiety within the population.

In May (with regard to the campaign Mother's Day), all categories of feelings dropped off completely on twitter which means that one feeling did not emerge about another, and that the themes. However, the information given is accurate and aims for a personal accompaniment during a popular day. This may suggest that the released information was accurate and suitable for the need for public information.

When the Anti-Vector Day has been organized in June, we observed an increase in the fear of death in messages posted on twitter. This may be explained by the fact that door-to-door operation may have increase the awareness of the disease proximity and therefore the recognition that an infection could be lethal.

The word “rumor-s” appeared in July on the digital network, and its occurrence was increasing at the time during the campaign "Stop rumors". This suggests that the rumors were previously

only present in a certain category of people, who are less numerous on digital networks, but more receptive to customs and traditional culture. This could be considered as an example of a “Barbara Streisand effect” (Canton, 2005), when rumors start to spread only when we try to fight them and thus creating a backfire.

Finally, the general mobilization of the island on August 8th, through the "Dechiktaj" campaign, was not found to be associated to a significant increase of the number of messages posted on the Twitter platform. This trend may be attributed to epidemiological or environmental factor, as there was at this time a corresponding decrease in number of cases in the population (Raude, 2019).

Discussion and Conclusion

In this study, we investigated whether and how the data collected through Twitter can help us to characterize the effect of different public communication campaigns on the feelings related to the health threat expressed by the affected population. The temporal variations could be due to the difference in message contents, as well as to interactions with other factors such as Dengue epidemics.

The day of the vector control, which was organized through proximity events, may have excessively given rise the idea of the death and a certain fatalism in the population. This can be explained by the fact that face-to-face meetings tend to better affect the conscious and the unconscious process involved in individual decision-making (Rosier, 2002). Indeed, there is no media intermediary or individual reading, which can lead to misinterpretation and misinformation. The individual is alone in front of the pedagogue, which allows him to reformulate the information and ask questions to complete his general culture and satisfy his curiosity. On the social networks, the individual is also alone with his own interrogations, the advantage of the epidigitalisation resides in the quantity of users and the speed of access to the information.

The campaigns "Stop the rumors" and "Operation Déchiktaj" had the largest impact on population feelings. These are clear campaigns that affect the operational aspect of the vector control. They are very concrete, which imposes a realism as well as an obligation of results. To a lower extent, the operation of the "Mother's day", that also focus on a simple operational aspect that combines simple gestures and immediate results, had also a significant result.

In general, it can be concluded that the more informative and humorous the message, the less effective it is to trigger reactions from the population. On the other hand, a message focusing on the operational aspect and the seriousness is more followed ; and thus generates more comments on social networks.

In the case of Martinique, favoring the formal tone and imperative statements while preserving the dual Creole / French translation seems to have been effective in changing feelings on social networks.

.

These results echo to other public health messages, such as on anti-smoking campaigns for example (Marchioli, 2006). The implied and serious warnings improve the effectiveness of the messages reception, while conversely shocking pictures result in discussion, reflection but not a real behavioral change to face the problem. We can talk here about the strategy of fear appeal. The goal is to create a negative emotion in order to increase the motivation of the individual (Gallopel & Petr, n.d.), a strategy to motivate people to take a particular action.

Such results have been obtained thanks to the support of Twitter data analysis, which is becoming an increasingly relevant way to measure some human behavior in epidemic setting (B Roche et al., 2017) and therefore the effect of communication campaigns on the public. Regarding the cost of preparation, creation, printing and implementation of such campaign,

evaluating their potent impact on human behaviors could in a near future dramatically increase their relevance and effectiveness.

Of course, other criteria must be considered since each epidemic is different as well as each of the populations categories facing the problems they may encounter. The impact of each campaign on the feelings measured on Twitter make sense from a sociological point of view. This state of affairs is very encouraging.

Nevertheless, it would also be interesting to carry out this same study in other comparable contexts, such as during the Chikungunya outbreak on the island of Reunion in 2010, in order to compare the interactions between these campaigns and other population attitudes and local cultures.

In conclusion, it seems that Twitter could be a good observatory, which has many benefits for health events (B Roche et al., 2017), which could allow in the future a more targeted approach for social mobilization. Therefore, it is important to emphasize that this type of approach is particularly interesting for monitoring in real time the impact of communication campaigns, in order to adjust them if necessary. Today, thanks to this digital epidemiology approach, we are one step ahead of reaching flexible and more efficient communication plans, which is an extraordinary opportunity regarding the increasing concern of arboviruses outbreaks throughout the World.

REFERENCES

Canton, D. (2005). Streisand effect. *London Free Press*.

CIRE Antilles-Guyane. (2015). Bilan des épidémies de dengue aux Antilles-Guyane de 2012 à 2014. *Bvs*.

Coriolis, G. (1835). Théorie mathématique des effets du jeu de billard. *Bibliothèque Nationale de France*. Retrieved from http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=sq4lqvowEcUC&oi=fnd&pg=PA51&dq=Théorie+Mathémathique+des+Effets+du+Jeu+de+Billard&ots=xKG0THg7Z8&sig=MwHZ7TdqaGkvZHQuLxkVfjSbpS0

Gallopel, K., & Petr, C. (n.d.). Utilisation de la Peur dans les campagnes de Prévention : Résultats et Discussions autour des Comportements Tabagiques de Jeunes Français. *Cancer*, 1–28.

J. Nodin. (2014). Chikungunya _ Les autorités s'alarment des rumeurs ! - Martinique la 1ère. *Martinique 1ere*.

Jansen, V. A. A., Funk, S., & Salathe, M. (2010). Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases : a review, 1–10.

Kapferrer, J. N. (2010). *Rumeurs, le plus vieux média du monde*.

Lambrechts, L., Scott, T. W., & Gubler, D. J. (2010). Consequences of the expanding global distribution of Aedes albopictus for dengue virus transmission. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, *83*(5), 6–7.

Marchioli, A. (2006). Marketing social et efficacité des campagnes de prévention de santé publique : apports et implications des récents modèles de la communication persuasive. *Market Management*, *6*(1), 17. https://doi.org/10.3917/mama.031.0017

Marcombe, S., Carron, A., Darriet, F., Manuel, E., Agnew, P., Tolosa, M., … Corbel, V. (2009). Reduced efficacy of pyrethroid space sprays for dengue control In an area of Martinique with pyrethroid resistance. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, *80*(5), 745–751. https://doi.org/80/5/745 [pii]

Maxwell, J. A. (2013). *Qualitative Research Design_ An Interactive Approach* -.

Moore, S. J., Mordue Luntz, A. J., & Logan, J. G. (2012). Insect Bite Prevention. *Infectious Disease Clinics of North America*, *26*(3), 655–673. https://doi.org/10.1016/j.idc.2012.07.002

Parks, W. J., Lloyd, L. S., Nathan, M. B., Hosein, E., Odugleh, A., Clark, G. G., … Renganathan, E. (2004). International Experiences in Social Mobilization and Communication for Dengue Prevention and Control Case studies. *Dengue Bulletin*, *28*, 1–7.

Raude, J. (2019). Understanding health behavior changes in response to outbreaks: findings from a longitudinal study of a large epidemic of mosquito-borne disease. *Science Sociale et Medicine*.

Roche, B, Gaillard, B., Léger, L., Moutenda, R., Sochacki, T., Cazelles, B., … Yébakima, A. (2017). How human behavior drives the propagation of an emerging infection: the case of Chikungunya outbreak in Martinique island. *Scientific Reports*.

Roche, Benjamin, Gaillard, B., Léger, L., Pélagie-moutenda, R., Sochacki, T., Cazelles, B., … Yébakima, A. (2017). An ecological and digital epidemiology analysis on the role of human behavior on the 2014 Chikungunya outbreak in Martinique. *Scientific Reports*, (June), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-017-05957-y

Rosier, L. (2002). La presse et les modalités du discours rapporté : l ' effet d ' hyperréalisme du discours direct surmarqué. *L'Information Grammaticale*, 27–32.

Salathé, M., Freifeld, C., Mekaru, S., Tomasulo, A., & Brownstein, J. (2013). Influenza A (H7N9) and the importance of digital epidemiology. *N Engl J Med*, *369*, 401–404.

Shragai, T., Tesla, B., Murdock, C., & Harrington, L. C. (2017). Zika and chikungunya: Mosquito-borne viruses in a changing world. *Annals of the New York Academy of Sciences*. https://doi.org/10.1111/nyas.13306

Vasudevan, S. (2011). The status of antiviral development for dengue. *International Journal of Infectious Diseases*, *15*, S5. https://doi.org/10.1016/S1201-9712(11)60022-2

Who. (2017). *Action mondiale pour lutter contre les vecteurs 2017-2030*.

Figures :



Figure 1A : Advertising campaign in January 2014 in Martinique Island



Figure 1B : Advertising campaign in march 2014 in Martinique Island



Figure 1C : Advertising campaign in may 2014 in Martinique Island



Figure 1D : Advertising campaign in june 2014 in Martinique Island



Figure 1E : Advertising campaign in july 2014 in Martinique Island



Figure 1F : Advertising campaign in july 2014 in Martinique Island

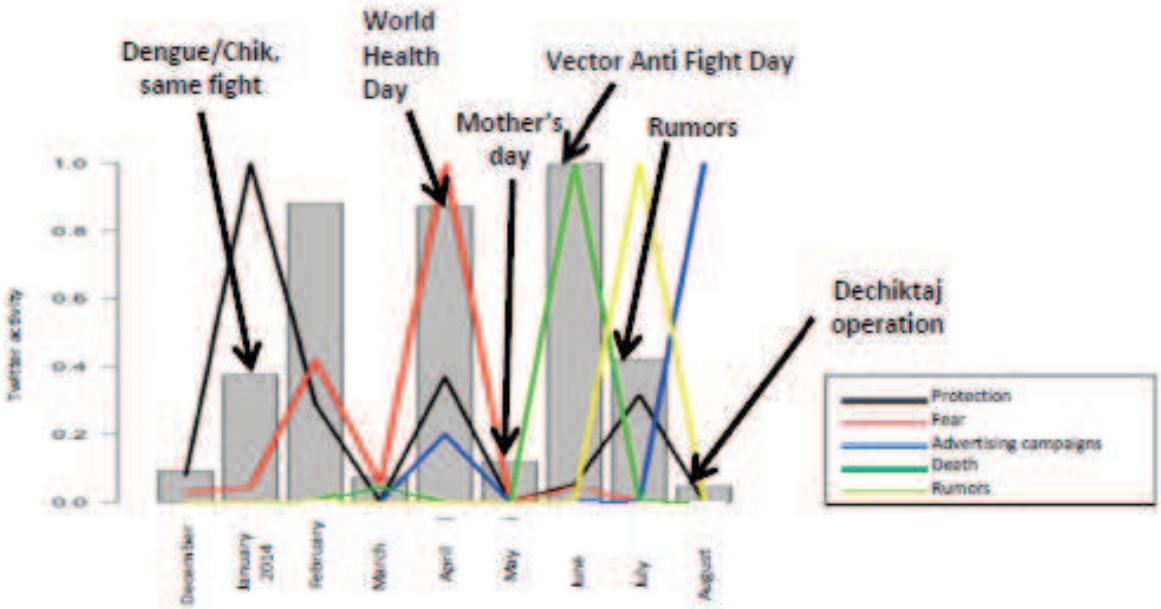


Figure 2 : Advertising campaigns against mosquitoes during the first 9 months of the Chikungunya epidemic in Martinique and evolution of the feelings of the messages on tweeter.

Conclusion

La première étude a permis de démontrer que le réseau social peut mesurer des sentiments ressentis par la population qui peuvent inférer le comportement humain et ainsi, mieux expliquer les facteurs façonnant la dynamique de l'épidémie. Ce résultat ouvre la voie à une utilisation des données de réseaux sociaux en temps réel pour réaliser des prédictions de la propagation d'une épidémie, et ainsi améliorer la réponse apportée sur le terrain.

Mais si les réseaux sociaux peuvent inférer le comportement humain modulant la transmission d'une arbovirose, nous avons également validé dans la seconde étude que l'impact des campagnes de communication en santé publique sont visibles et lisibles sur les réseaux sociaux (Figure 9). Nous pouvons donc en conclure que certaines sont plus efficaces que d'autres. En effet, on a pu observer que les campagnes avec un ton plus formel et les campagnes les plus déclaratives ont un meilleur impact sur la cible concernée. Ainsi, on se rend compte que les annonces qui vont directement au but, qui ont un aspect plus dirigiste, ont une meilleure efficacité dans l'inconscient des individus et, par conséquent, une meilleure emprise sur les comportements des populations. Ces deux études mettent en évidence que les réseaux sociaux sont un bel observatoire instantané de la santé des populations et que l'utilisation de ces données en épidémiologie peut permettre de mieux comprendre la dynamique de transmission d'une MTV en condition d'épidémie, là où il est primordial d'être réactif.

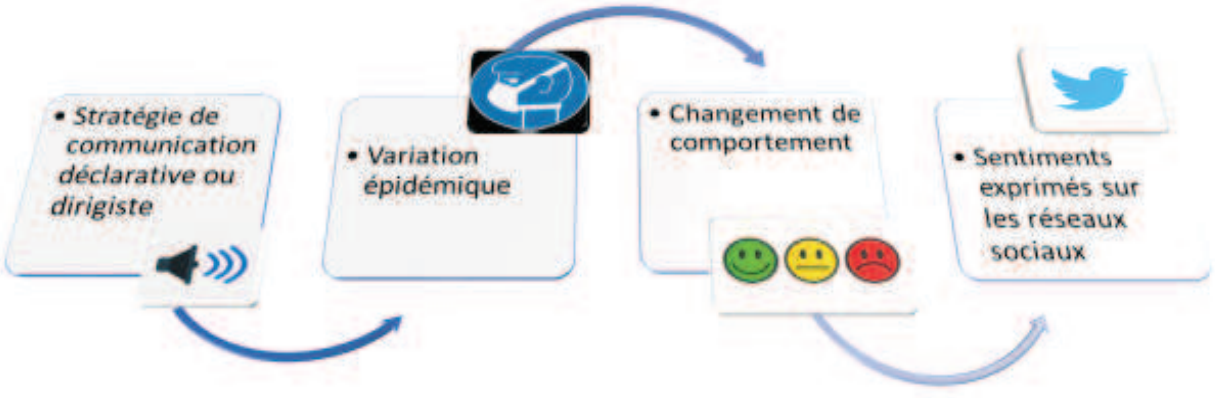


Figure 9. Processus du changement de comportement des populations. Une variation de l'épidémie est visible ce qui peut se traduire par un changement de comportement de la population. Cette variation se ressent au travers des sentiments exprimés par les socionautes sur twitter mais uniquement lors de mise en place de plans de communication où le message est plus déclaratif ou dirigiste.

On peut estimer que d'une part les réseaux sociaux sont une source nouvelles de données qu'on peut utiliser pour mieux comprendre la dynamique des épidémies et d'autre part les réseaux sociaux sont un outil par lequel on peut toucher les populations, les faire réagir et éventuellement agir pour contrôler les épidémies grâce à la notion d'instantanéité qui est la plus grande force du réseau social.

Partie 4 - Discussion générale et perspectives

Discussion générale

La mobilisation sociale en santé publique est un processus utilisant la communication, qui a pour but de rallier à l'action un grand nombre de personnes de la société civile afin de réaliser un but sanitaire commun à travers les efforts et les contributions de tous (Fontenille et al. 2009).

L'objectif est donc d'agir en commun, en même temps, à un moment où il existe un besoin collectif qui est l'affaire de tous. Cette mobilisation peut se limiter à une communauté mais peut s'appliquer sur une population. Elle peut prendre différentes formes notamment au travers d'opérations ponctuelles (ex : la journée de l'eau), mais aussi d'opérations plus inscrites dans le temps (ex : campagne de vaccination). La mobilisation sociale a pour vocation d'influencer le changement de comportement d'une cible à court terme et de faire adopter de nouvelles attitudes sur le long terme dans l'unique intention d'agir sur un évènement sanitaire.

Il a été démontré dans la première partie de notre travail que le message donné au public doit se présenter sous la forme injonctive pour en maximiser l'impact. La formule injonctive permet de prodiguer un conseil, ce qui amène à entrer dans la sphère pédagogique tout en imposant de manière conciliante une obligation. En outre, elle présente de meilleurs résultats que la forme réflexive. On l'a vu dans l'article de revue présenté en introduction, « Behavioural change in public health communication campaigns : perspectives for emerging vector-borne disease » soumis dans le journal OMS bulletin, que la forme pédagogique a été adoptée de manière générale à la Réunion en 2005 lors de l'épidémie de chikungunya, en Guyane en 2006 lors de l'épidémie de dengue et plus récemment en Martinique en 2017 pour l'épidémie de chikungunya qui a suivi celle de dengue. Dans un tout autre domaine, on observe aussi que dans les méthodes de formation aux langues étrangères (Galatanu, Olga, VanRaemdonck 2010), ce procédé augmente la performance de l'impact sur les actes du récepteur. Cette méthode est perçue comme un «outil d'enseignement» et une «stratégie d'apprentissage». Dans un ouvrage intitulé « Campagnes de communication en santé et éducation à la santé » de 2005 (Lamoureux 2005), il est souligné que la forme injonctive sera toujours mieux suivie qu'un message présenté de manière différente (réflexive, obligatoire…).

Par conséquent, nous sommes face à l'expectative de ce qui pourrait être réalisé. A savoir, l'interaction avec le contexte environnemental, la prise en compte de l'histoire épidémique, travailler en fonction de l'anthropologie de la population ou encore combiner les différents types de messages entre eux. En effet, à contexte et à histoire épidémique différents, la

sociologie des individus devra être appréhendée de façon variable, et le prisme de travail devra s'adapter.

De manière générale, le point noir des plans de communication est l'évaluation de la performance coût/bénéfice des campagnes aussi bien au niveau entomologique, épidémiologique mais aussi de la perception du message auprès du public ciblé ; ce qui amène à réfléchir à de nouveaux moyens d'appréciation. Un critère qui émerge de plus en plus à l'heure actuelle, est l'utilisation du net avec notamment tous les indicateurs des utilisateurs d'un moteur de recherche tel que Google (taux de clics, fréquence des mots recherchés) ; mais aussi des réseaux sociaux tels que Twitter ou Facebook.

Ainsi, la deuxième partie de cette thèse valide la fiabilité des réseaux sociaux, un outil de mesure qui nous montre sa spécificité (instantanéité), sa puissance (big datas) et sa performance (en complément des sondages plus classiques). Il permet donc de devenir ainsi un outil de mesure d'évaluation des campagnes, puisqu'il permet de calculer l'appropriation d'une cible à un message de communication. Dans ce contexte, Twitter est une plateforme d'idées où les utilisateurs, appelés aussi twittos ou socionautes, ont la possibilité d'amplifier les médias traditionnels. Twitter s'adapte à l'écosystème de la santé. Aujourd'hui, ce réseau est devenu incontournable et permet de faire de l'évaluation. Chaque seconde environ 5 900 tweets sont expédiés sur le site de micro-blogging, ce qui représente 504 millions de tweets par jour ou 184 milliards par an (chiffres au 08.08.2019) (www.planetoscope.com 2019). Cette masse d'information vient alimenter ainsi le flot de big data publiée par l'humanité chaque jour sur internet.

Twitter apporte des informations différentes et complémentaires par rapport aux sondages à grande échelle. En effet, sa principale caractéristique : l'instantanéité, apporte de la spontanéité et de la sincérité dans les opinions publiées par les socionautes. Ainsi, il est intéressant de comprendre et de s'apercevoir qu'une information peut être lue de manière différente en fonction du contexte de vie d'une personne. Face au baromètre de la santé, un marronnier de très grande échelle, Twitter est un moyen robuste qui peut remplacer sinon compléter aisément des techniques plus anciennes telles que les sondages.

Enfin, on a pu constater que l'impact des campagnes au travers des sentiments exprimés sur les réseaux sociaux était mesurable. Nous avons aussi illustré l'idée que l'on peut quantifier les sentiments émis par des socionautes sur Twitter face à une crise sanitaire, et en suivre

l'évolution au cours d'un processus épidémique. Ce qui nous permet d'ajuster de la meilleure manière les campagnes lancées par les autorités sanitaires.

L'ensemble des études que nous avons effectuées valide l'utilité de ce nouveau moyen de communication qui prospère dans l'évaluation du comportement humain. L'économie comportementale nous apprend que les émotions peuvent affecter profondément le comportement individuel et la prise de décision. Cela s'applique à la société puisqu'il a été démontré que l'humeur affecte la prise de décision collective. Par extension, l'humeur du public est prédictive d'indicateurs économiques. Il a d'ailleurs été prouvé que les mesures des états d'humeur collectifs dérivées de flux Twitter à grande échelle sont corrélées à la valeur de la moyenne industrielle de Dow Jones (DJIA) au fil du temps (Bollen, Huina, and Zeng 2011). Ainsi, l'importance de suivre une campagne en temps réel au travers des réseaux sociaux permet de pouvoir améliorer son efficacité. Le suivi de ces campagnes peut s'effectuer grâce à divers éléments tels que le trafic, le taux d'interactions, les ventes de produits (tels que les insecticides ou les huiles essentielles par exemple), et surtout la rétention de l'internaute. La rétention étant la fidélisation des socionautes sur la thématique autrement dit sa préoccupation. Tous ces critères sont des indicateurs pertinents.

Il est donc nécessaire d'analyser l'ensemble des données émises par Twitter, de travailler sur l'opinion publique et d'adapter les informations à la compréhension et à la réaction de chacun afin de mieux cibler les messages et les informations. Cet outil a une dimension de prospective puisqu'il permet de prédire et de voir naître les épidémies et par conséquent de prévenir les interrogations, les attentes et les craintes des populations. Tous ces sentiments sont déclinés au travers des posts et des retweets publiés. Ceci est donc une preuve de l'utilité de ces outils et permet d'ouvrir une importante perspective sur la faisabilité de l'utilisation des données à des fins sanitaires. Néanmoins, on voit bien à l'heure actuelle que ces données peuvent être utilisées à bon ou à mauvais escient. Ce dernier phénomène est observable notamment avec l'explosion des fakes news, comme ce fut déjà le cas avec le vaccin de la rougeole dès les années 2000. Afin de lutter efficacement contre la désinformation et rétablir les vérités fondamentales, dans le domaine de la vaccination, SPF dût recruter un community manager. Par ailleurs, les réseaux sociaux mettent en place des outils pour éviter la propagation des fake news.

Perspectives générales

Au cours de ce travail de doctorat, nous avons mis en avant tout d'abord que la quantité de personnes utilisant les réseaux sociaux pouvait être comparable à celle des personnes ayant répondu aux questionnaires du baromètre de la santé. Le public ne sera pas toujours équivalent, même s'il est possible d'avoir accès au profil des utilisateurs. Ainsi, la question de la qualité du panel peut être ainsi remise en question mais la différence significative est que sur Twitter, et les réseaux sociaux en général, l'information peut s'infiltrer au niveau des familles. On l'a vu dans le comparatif effectué entre le baromètre de santé et Twitter, les choix de réponses des utilisateurs sont comparables aux réponses des socionautes. Il est vrai que le baromètre traite de beaucoup de questions de santé publique, qu'elles fassent l'actualité du moment ou pas. Twitter, lui, n'abordera que des éléments dont tout le monde parle sur le moment. Ces éléments peuvent être perçus comme un avantage ou comme un inconvénient en fonction de l'évaluation recherchée. Néanmoins, les réseaux sociaux pouvaient donc être utilisés pour inférer le comportement humain, et donc la transmission ainsi que l'impact des stratégies de communication. En période inter-épidémique, l'intérêt des réseaux sociaux est peut-être plus secondaire donc le réseau devient un complément aux outils classiques.

Une autre utilité : Mesurer l'influence des utilisateurs sur Twitter afin d'identifier des relais plus efficaces (Cha et al. 2016)

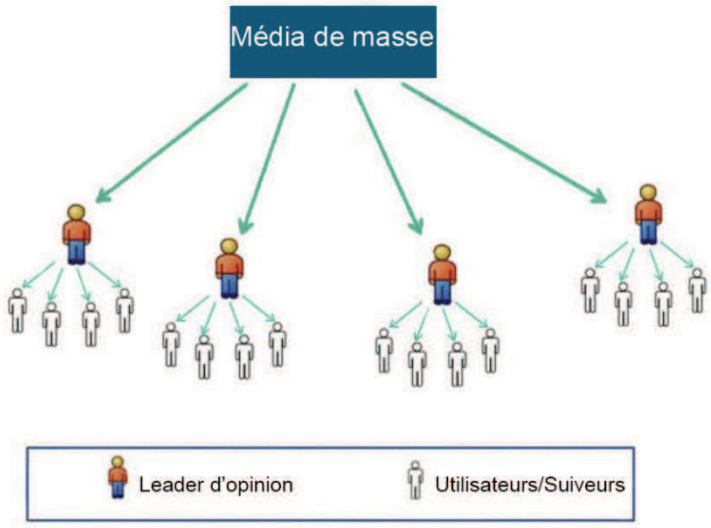


Figure 10. Multiplicité des socionautes ou comment se diffuse une information

321 millions : c'est le chiffre colossal d'utilisateurs de Twitter dans le monde par mois. Cette quantité de personnes, qui sont toutes des relais d'opinions, peut ouvrir des champs incroyables en terme de santé publique (Figure 9). On peut penser que ces différents utilisateurs sont une forte valeur ajoutée pour anticiper et relever un défi qui est l'affaire de tous : la santé publique. Twitter est ainsi un baromètre innovant. L'utilisation des médias sociaux dans la recherche scientifique est devenue un domaine en

pleine croissance ces dernières années, alors que l'adoption des médias sociaux pour la communication publique elle-même s'est poursuivie à un rythme soutenu. Alors que les plates-formes de médias sociaux offrent des possibilités d'accès aux données via leurs interfaces de programmation d'applications, il devient de plus en plus important de réfléchir à ce que représentent exactement ces données et d'établir des moyens de quantifier le rôle des médias sociaux pour la société (Bruns and Stieglitz 2014).

Micro-blogging le plus populaire, Twitter a des vertus pédagogiques, politiques et commerciales. S'appuyant sur les théories de la construction sociale de la technologie, une étude réalisée entre 2006 et 2009 démontre que l'utilisation de l'outil Web ressemble fortement à la réaction du public aux technologies de communication antérieures (le télégraphe, la radio et Internet) (Arceneaux and Weiss 2010). Twitter est un réseau social et un mass média d'information (Kwak et al. 2010).

On peut se poser la question de la fiabilité de ces messages, lorsque l'on voit la multiplicité des fakes news qui jaillissent d'événements la plupart du temps anodins. Néanmoins, grâce aux recoupements qu'il est permis de faire, il est possible de vérifier la crédibilité et la véracité de l'information. On peut par exemple examiner l'historique d'un compte grâce au site foller.me. Il permet d'avoir un aperçu complet du compte en terme d'historique et d'activité. En effet, plus le compte a de posts, plus il est susceptible d'être authentique. Dans la charte de bonne conduite de Twitter, il est stipulé que les faux comptes appelés bots, sont régulièrement supprimés. Foller.me propose aussi les calculs de ratio abonnements/abonnés, ce qui permet d'identifier s'il s'agit d'une activité humaine ou d'un robot. L'heure des tweets peut donner aussi des indices. En effet, des tweets qui se produisent tous les jours à la même heure ou de manière très irrégulière doivent être suspects.

En tapant le nom d'utilisateur « @... » le compte peut faire l'objet d'une première analyse dans le réseau social lui-même. Par ailleurs, les noms comportant « réel » ou « vrai » doivent inspirer de la méfiance. Il existe une multitude de vérification manuelle ou via internet pour essayer de démêler la part du vrai et du faux dans les messages.

Les liens dirigés vers les médias sociaux peuvent représenter n'importe quels éléments de la vie (des amitiés intimes aux informations d'intérêt commun, voire une passion pour les dernières actualités dans le monde ou encore les brèves people). Tous ces liens dirigés ou redirigés conduisent les flux d'informations et révèlent donc l'influence d'un utilisateur sur les

autres : concept crucial en sociologie et marketing. Une étude comparative de trois mesures d'influence: le tweet, le retweet qui est utilisé pour relayer autour de nous un tweet considéré comme intéressant et les mentions qui elles, permettent d'identifier tous les tweets reçus depuis les comptes que l'on suit, peut apporter des éléments sur l'influence des messages. L'étude comparative ainsi faite, démontre premièrement que les utilisateurs populaires à fort degré d'indépendance n'ont pas forcément d'influence en termes de relance d'information ou de mention. De plus, les utilisateurs les plus influents peuvent avoir un effet significatif sur une variété de sujets. Enfin, l'influence n'est pas acquise spontanément ou accidentellement, mais grâce à des efforts concertés tels que la limitation des tweets à un seul sujet. Par conséquent, la mobilisation sociale doit se faire grâce au soutien des utilisateurs, et à la reprise des informations de tous les utilisateurs. L'influence opérée sur les socionautes ne fonctionnera que si une personne dédiée telle qu'un community manager relance les discussions et éventuellement désamorce les contre-vérités. La situation de SPF en 2016 le montre, lorsque l'institution embaucha un community manager pour inciter la population à la vaccination et contrer les opinions anti-vaccins (SPF 2016).

L'expertise profane

La santé n'a pas échappé aux réseaux sociaux (Broca and Koster 2011). En effet, la naissance de nombreux sites abritant des échanges sur des pathologies particulières, sites à visée plus ou moins commerciales, et plus ou moins fiables par déduction (ex : Doctissimo) le montre. Ce développement a permis d'accéder plus facilement à des connaissances qui jusque-là étaient détenues par une certaine élite du savoir (Pierron 2007), c'est ce que l'on appelle l'expertise profane. Ce concept donne la connaissance de sa maladie à un malade, et par ricochet, un certain recul sur le problème. La définition du mot communauté est très orientée puisqu'elle doit rompre l'isolement du patient et créer une rencontre avec les autres malades. C'est une instrumentalisation des relations sociales bien que celles-ci partent de la volonté individuelle.

Twitter France se définit comme la vitrine de ce qu'il se passe dans le monde et des sujets de conversation du moment. Le « THE PLACE TO BE » des réseaux sociaux, et par ailleurs qui est engagé dans la lutte contre les fake news. Il est un moyen qui permet de détecter les leviers auxquels les utilisateurs seront plus réceptifs.

Twitter est aussi un très bon prévisionniste des rumeurs. Toujours dans le sprint à l'information, la rumeur est un phénomène qui prend très rapidement une grande ampleur, utilisant tous les moyens de communications au final, formel ou informel. La rumeur part le plus souvent d'une

histoire réelle, mais elle peut être le fait de fausses informations, d'erreurs journalistiques ou de manœuvres de désinformation, dans le but de créer des non-événements et de faire parler. La majorité des rumeurs sont produites spontanément et n'ont pas forcément un objectif de complot mais elles relèvent d'un simple mensonge ou de « paroles en l'air » que plusieurs personnes se plaisent à amplifier. Il y a alors un sentiment d'importance et de pouvoir qui apparait chez ces individus. Cette maîtrise donne un certain statut social que ces personnes n'ont pas dans leur vie quotidienne. La rumeur naît souvent par manque d'informations auprès des publics. Ainsi, la rumeur propose un éclaircissement simplifié de certains problèmes de société, ce qui explique notamment son succès (Kapferrer 2010). Cependant, ces observations se réduisent la plupart du temps à la désignation d'un responsable (ou plutôt d'un bouc émissaire), avec une « raison » fausse mais que, du fait de préjugés, on a tendance à croire. On l'a vu par exemple lors de l'épidémie de chikungunya en Martinique, où dès le mois de juin 2013, on a constaté une accélération de propos twittés qui ont atteint leurs pics en juillet. Le service de démoustication de Fort de France, a d'ailleurs lancé une campagne anti-rumeurs relayée sur tous les médias locaux. Une folle rumeur s'est répandue pour « expliquer les causes de l'épidémie » : la rumeur faisait circuler que la propagation par avion d'un virus, provoquant une mort lente, avait pour objectif l'extermination de la population martiniquaise. La cause de cette rumeur était très certainement la nouveauté de cette maladie et ses symptômes atypiques, comme les douleurs chroniques. Cependant, les rumeurs peuvent faire partie de techniques d'influence dans le cadre de stratégies de diversion. Les réseaux sont un bon système d'alarme des rumeurs. L'exemple du Zika au Brésil en 2016 corrobore bien ce phénomène. Il avait été mis en cause un lot défectueux de vaccins contre la rubéole et après cela, un pédiatre argentin pointait du doigt la responsabilité des insecticides dans le cas des bébés qui naissaient avec une microcéphalie fœtale. La rumeur venant d'un professionnel de la santé était d'autant plus crédible.

Une grande complexité dans l'art et la manière

En conclusion, nous voyons que le champ de travail de l'utilisation du web en santé publique est encore balbutiant parce qu'il y a des interactions complexes entre le contenu des messages, la façon de le délivrer, l'instant dédié et les menaces et opportunités du contexte. La difficulté est d'autant plus importante sur la question d'évaluation car, on l'a vu, le ressenti d'une gêne peut être différente de la réalité. Néanmoins, les réseaux sociaux et plus généralement la webosphère est un outil qui peut accompagner dans cette démarche grâce à ses big datas et à l'immense potentiel qui s'y rapporte. La webosphère est un observatoire qui peut à la fois

prédire, anticiper, prévenir dans un premier temps puis protéger et influencer ensuite. Dans le domaine de la santé publique, le caractère prédictif est intéressant car il peut permettre de mieux se préparer à une crise sanitaire. Google flu trend, une application lancée en 2010 par Google qui permettait de prévenir les épisodes de grippe grâce aux recherches effectuées dans son moteur de recherche, illustre bien le possible.



Figure 10. Pays bloquant l'accès aux réseaux Twitter, Facebook et Youtube.

Enfin, il faut souligner que les l'influence des réseaux sociaux n'est mesurable que dans des pays qui autorisent leur utilisation (Figure 10) et qu'il est important de trier la sincérité des informations et donc le sérieux du socionaute. La barrière de la langue et le biais de la différence culturelle sont aussi des éléments textuels à prendre en compte.

Bibliographie

Ajzen, I., and M. Fishbein. 2004. “Questions Raised by a Reasoned Action Approach: Comment on Ogden (2003).” *Health Psychology* 23(4): 431–34.

Algava, E. 2015. “Les Yeux Dans Les Yeux.” *Document d’études direction de l’animation de la recherche, des études et des statistiques* 195.

Allonier, C., P. Dourgnon, and T. Rochereau. 2008. “L’enquête Santé Protection Sociale 2006, Un Panel Pour l’analyse Des Politiques de Santé, La Santé Publique et La Recherche En Économie de La Santé.” : 2006–9.

Arceneaux, N, and A Weiss. 2010. “Seems Stupid until You Try It : Press Coverage of Twitter , 2006 – 9.” *New media and Society*.

ARS. 2019. “Epidémie Niveau 4 _ Chiffres et Zones Concernées.” *https://www.ocean-indien.ars.sante.fr/epidemie-niveau-4-chiffres-et-zones-concernees*.

Bateson, G. 1981. *La Nouvelle Communication*.

Bathelot, B. 2018. “Définitions Marketing.” *https://www.definitions-marketing.com*.

Becker, G. S. 1994. Human capital: A theoreticaland empirical analysis with special reference to education (3rd edition) *Human Capital and the Rise and Fall of Families*.

Van den Berg, H. et al. 2012. “Global Trends in the Use of Insecticides to Control Vector-Borne Diseases.” *Environmental Health Perspectives* 120(4): 577–82.

Bollen, J, M Huina, and X Zeng. 2011. “Twitter Mood Predicts the Stock Market.” *Journal of Computational Science* 2(1): 1–8. http://dx.doi.org/10.1016/j.jocs.2010.12.007.

Bowman, L R, S Donegan, and P J McCall. 2016. “Is Dengue Vector Control Deficient in Effectiveness or Evidence?: Systematic Review and Meta-Analysis.” *PLoS Neglected Tropical Diseases* 10(3).

Broca, S., and R. Koster. 2011. “Les Réseaux Sociaux de Santé.” *Les Cahiers du numérique* 7.

Bruns, A., and S. Stieglitz. 2014. “Twitter Data : What Do They Represent ?” *Information technology* 56(5): 240–45.

Cha, M., H. Haddadi, F. Benevueto, and K. P. Gummadi. 2016. *Measuring User Influence in Twitter : The Million Follower Fallacy*.

CIRE Antille Guyane. 2014. “Surveillance Des Arboviroses.” *Le Point épidémio n° 02/2014* 2014: 6–9.

Devos, T. 2005. “Identité Sociale et Émotions Intergroupes.” *Presses universitaires de Liège Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*.

DGS. 2017. “Cas de Chikungunya.” *ARS PACA*.

Douglas, M. 2003. *Natural Symbols: Explorations Cosmology*. London: Barrie and Rockliff.

Dunn, F. 1979. “Le Role Du Comportement Humain Dans La Lutte Contre Les Maladies Parasitaires.” *Bulletin de l’organisation mondiale de la santé* 57(6): 887–902.

Duvallet, G., D. Fontenille, and V. Robert. 2018. IRD Editions *Entomologie Médicale et Vétérinaire*. ed. Quae Edition.

Elder, J., and L. S. Lloyd. 2007. Who *Achieving Behaviour Change For Dengue Control : Methods , Scaling-Up , And Sustainability*.

Fontenille, D. et al. 2009. “La Lutte Antivectorielle En France.” : 1176.

Freud, S. 1933. “Quelques Types de Caractère Dégagés Par La Psychanalyse.” In *Essais de Psychanalyse Appliquée*,.

Funk, S., E. Gilad, C. Watkins, and V. Jansen. 2009. “The Spread of Awareness and Its Impact on Epidemic Outbreaks.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(16): 6872–77.

Galatanu, Olga, VanRaemdonck, Dan. 2010. *Enseigner Les Structures Langagières*. ed. Editions scientifiques Internationales. P.I.E. Peter Lang.

Gilbert, D. 2006. *Handbook or Social Psychology*.

Gochman, D. 1971. “Quelques Étapes Vers Une Matrice Psychologique Pour Les Comportements de Santé.” *Revue canadienne des sciences du comportement* 3 (1): 88-.

Gochman, D. S. 1997. “Provider Determinants of Health Behavior.” *Handbook of Health Behavior Research II*: 397–417. http://link.springer.com/10.1007/978-1-4899-1760-7_21.

Heggenhougen, H. K., V. Hackethal, and P. Vivek. 2003. “The Behavioural and Social Aspects of Malaria and Its Control.” *www.Who.Int*: 214.

John C. Norcross, Marvin R. Goldfried. 2005. *Handbook of Psychotherapy Integration*. ed. Oxford University Press.

Josseran, L et al. 2006. “Chikungunya Disease Outbreak, Reunion Island.” *Emerg Infect Dis* 12(12): 1994–95.

Kapferrer, J.N. 2010. *Rumeurs, Le plus Vieux Média Du Monde.*

Kraemer, M. et al. 2015. “The Global Distribution of the Arbovirus Vectors Aedes Albopictus and Aedes Aegypti.” *eLife* 4: 1–18. http://elifesciences.org/lookup/doi/10.7554/eLife.08347.

Kwak, H, C Lee, H Park, and S Moon. 2010. “What Is Twitter , a Social Network or a News Media ? Categories and Subject Descriptors.” : 591–600.

Lambo, J. 2013. “Communication Pour Un Impact Comportemental (COMBI).” *Who*: 136.

Lamoureux, P. 2005. “Campagnes de Communication En Santé Publique et Éducation à La Santé.” *Presses de Science Po* 4: p.35 à 42.

Livet, P. 2012. “Normes Sociales, Normes Morales, et Modes de Reconnaissance.” *Les Sciences de l’éducation - Pour l’Ère nouvelle* 45: 51 à 66.

Meunier, J.-P. 1995. “Deux Modèles de La Communication Des Savoirs.” *Recherches en communication*. sites.uclouvain.be.

Mieulet, E., and C. Claeys. 2016. “(In) Acceptabilités Environnementales et / Ou Sanitaires : Dilemmes Autour de La Démoustication Du Littoral Méditerranéen Français.” *VertigO - la revue électronique en sciences de l ’ environnement* 16(partie 2): 0–21.

Ministère des Solidarités et de la Santé. 2019. “Cartes de Présence Du Moustique Tigre (Aedes Albopictus) En France Métropolitaine.” *www.solidarites-sante.gouv.fr*. https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/especes-nuisibles-et-parasites/article/cartes-de-presence-du-moustique-tigre-aedes-albopictus-en-france-metropolitaine.

Mucchielli, A. 1995. “La Communication de Suggestion et Les Situations d’influence.” : 119–29.

Parisot I. 2012. “L’enquête Par Questionnaire.” In *L’enquête Sociologique*, , 93–113.

Parreira, R, and C A Sousa. 2015. “Dengue Fever in Europe: Could There Be an Epidemic in the Future?” *Expert Review of Anti-Infective Therapy* 13(1): 29–40.

Pierron, J. P. 2007. “Une Nouvelle Figure Du Patient ? Les Transformations Contemporaines de La Relation de Soins.” *Sciences sociales et santé* 25.

Prisant, N. et al. 2016. “Zika Virus Genital Tract Shedding in Infected Women of Childbearing Age: Table 1.” *Clinical Infectious Diseases* 64(1): 107–9.

Rice, R. E., and C. K. Atkin. 2001. *Public Communication Campaigns*. ed. Ronald E. Rice and K. Atkin Charles. Sage Publishing, Inc.

Roiz, D. et al. 2018. “Integrated Aedes Management for the Control of Aedes-Borne Diseases.” *PLOS Neglected Tropical Diseases* 12(12): e0006845. http://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0006845.

Saint-Charles, J., and P. Mongeau. 1998. *L ’ Étude Des Réseaux Humains de Communication*. ed. horizons de pratiques et de Recherches. Presse de l’Université du Québec.

Salathé, Marcel et al. 2012. “Digital Epidemiology.” *PLoS Computational Biology* 8(7): 1–5.

Schiavo, R. 2008. 1 Jossey Bass a wiley brand *Health Communication: From Theory to Practice*. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2212339/.

Sendoya Mejía, L. 1981. “Jakobson Ou Le Structuralisme Phénoménologique.” *Acta Poética* 3(1): 17.

SPF. 2016. “Www.Sante-Publique-France.Com.”

Taylor, L H, S M Latham, and M E Woolhouse. 2001. “Risk Factors for Human Disease Emergence.” *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356(1411): 983–89.

Thogersen, J. 2008. “Social Norms and Cooperation in Real-Life Social Dilemmas.” *Journal Economic Psychology* 29: 458–72.

Valkonen, T. 1970. “Theory of Diffusion of Innovation.” *Sociologia ruralis*.

Verwoerd, D W. 2015. “Définition d’un Vecteur et d’une Maladie à Transmission Vectorielle.” *Revue Scientifique OIE* 34(1): 33–35.

Wang, H. et al. 2017. “Global , Regional , and National Life Expectancy , All-Cause

Mortality , and Cause-Specifi c Mortality for 249 Causes of Death , 1980 – 2015 : A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015." *the lancet* 388: 1459–.

Williams, H. A., and C. O. Jones. 2003. "A Critical Review of Behavioral Issues Related to Malaria Control in Sub-Saharan Africa:" *Social Science & Medicine* 59(3): 501–23.

Wittezaele, J.J. 2008. *La Double Contrainte L'influence Des Paradoxes de Bateson En Sciences Humaines*. De Boek.

"Www.Planetoscope.Com." 2019. *le 08.08.2019*: Statistiques-Nombre de tweets expédiés sur Twitter.

Glossaire

Antivectorielle : dans son acception la plus large, la lutte antivectorielle (LAV) comprend la lutte et la protection contre les arthropodes hématophages, vecteurs d'agents pathogènes pour l'homme et les vertébrés, et leur surveillance.

Arboviroses : maladie infectieuse provoquée par un arbovirus.

Arbovirus : virus qui se transmet par piqûre d'arthropodes.

Arthropode : invertébré au corps formé de segments articulés (embranchement des Arthropodes ex : les crustacés, les insectes, les arachnides…).

Astroturfing : fakes news

Bots : faux comptes twitter

Capacité vectorielle : ensemble des facteurs influençant l'aptitude du vecteur à transmettre des maladies, par exemple les facteurs environnementaux tels que les densités des populations du vecteur et de ses hôtes, ainsi que les facteurs climatiques tels que l'influence conjuguée de la température et de l'humidité.

Cognition : ensemble des processus mentaux qui se rapportent à la fonction de connaissance et mettent en jeu la mémoire, le langage, le raisonnement, l'apprentissage, l'intelligence, la résolution de problème, la prise de décision, la perception ou l'attention.

Compétence vectorielle : niveau d'efficacité d'un vecteur dans la transmission d'un agent pathogène

Cybernétique : étude des mécanismes d'information des systèmes complexes, explorés en vue d'être standardisés lors des conférences Macy et décrits en 1947 par Norbert Wiener dans ce but.

Epidémiologie numérique : ou Epidigitalogie : application de l'épidémiologie au cyber.

Epidémiologie : discipline scientifique qui étudie les problèmes de santé dans les populations humaines, leur fréquence, leur distribution dans le temps et dans l'espace, ainsi que les facteurs influant sur la santé et les maladies de populations.

Facteurs endogènes : facteurs provenant de l'intérieur de l'individu, de son Moi.

Facteurs exogènes : facteurs liés à l'environnement ou l'individu évolue.

Holisme méthodologique : mode de pensée qui permet d'expliquer des faits sociaux élémentaires par d'autres faits sociaux, ce qui permet aux individus de déterminer leurs comportements sociaux.

Inférer : conclure, induire.

Lutte biologique : méthode de lutte contre les nuisibles, les maladies ou les mauvaises herbes au moyen d'organismes vivants antagonistes, appelés agents de lutte biologique.

Lutte chimique : méthode de lutte au moyen d'insecticides.

Lutte mécanique : élimination des gîtes à moustiques et protection des piqûres de moustiques.

Maladie à transmission vectorielle : maladies infectieuses transmises par des vecteurs.

Marronnier : événement qui ressurgit de manière régulière.

Mass media : ensemble des techniques et supports de diffusion massive de l'information (presse, radio, télévision, cinéma, web).

Médiamétrie : baromètre official du numérique

Mention : liste des messages diffusés sur twitter.

Miccro-blogging : activité de création de contenus courts sur des réseaux sociaux de type Twitter. Le micro-blogging permet de diffuser rapidement et parfois à partir de SMS des contenus sous forme de brèves.

Normes sociales : ensemble des règles de conduite qu'il convient de suivre au sein d'un groupe social, d'une communauté ou d'une société.

Paludisme : maladie infectieuse tropicale, due à un parasite transmis par la piqûre de certains moustiques (anophèles) et qui cause des accès de fièvre.

Paradigme : représentation

Prévalence : nombre de cas d'une maladie dans une population à un moment donné, englobant aussi bien les cas nouveaux que les cas anciens

Retweet : fonction sur un compte twitter qui permet aux utilisateurs de partager rapidement un Tweet avec tous leurs abonnés. Il est possible de retweeter ses propres Tweets ou ceux des autres. Les utilisateurs tapent parfois « RT » au début d'un Tweet pour indiquer **qu**'ils republient le contenu de quelqu'un d'autre.

Twittos : ou socionautes : ensembles des utilisateurs de twitter.

Vecteurs : arthropodes hématophages qui assure une transmission active (mécanique ou biologique) d'un agent infectieux d'un vertébré vers un autre vertébré.

Virémie : présence de virus dans le sang.