
Alerter ou ne pas alerter ?

Une intégration de connaissances sur les comportements des populations dans les systèmes d'alerte

Maude Arru, Elsa Negre, Camille Rosenthal-Sabroux

Université Paris-Dauphine,
PSL Research University CNRS UMR 7243, LAMSADE
75016 Paris, France

[maude.arru ; elsa.negre ; camille.rosenthal-sabroux]@dauphine.fr

RÉSUMÉ. La majorité des crises, écologiques, humanitaires, économiques ou encore sociales, sont précédées de différents signaux annonciateurs qui permettent de déclencher des alertes. Ces alertes aident à prévenir ou limiter des dommages humains et matériels si elles sont délivrées à temps et si elles fournissent suffisamment d'information pour aider les intervenants et la population concernée à se préparer de manière adéquate à la crise à venir. Aujourd'hui, il existe de nombreux systèmes basés sur les TIC qui captent les signaux annonciateurs des crises et en limitent les effets. Les systèmes d'alerte en font partie, ils ont prouvé leur efficacité, mais comme pour tout système impliquant les populations, une part d'imprévisible demeure. Dans cet article, nous proposons une méthode d'analyse de données dont l'objectif est d'apporter des éléments de réponse aux décideurs présents dans des cellules de crise à la question d'alerter ou non les populations dans une zone géographique donnée. Cette méthode repose sur une sélection des facteurs qui ont une influence sur les comportements des populations. Pour chacun de ces facteurs nous établissons une liste d'indicateurs pertinents qui pourront être utilisés par les systèmes d'alerte, dans la phase préliminaire d'une crise. Nous proposons, à partir de ces indicateurs, une mesure argumentée sur l'utilité d'alerter les populations basée sur une agrégation de ces facteurs, que les décideurs pourront consulter facilement.

ABSTRACT. Most of crisis, ecologic, humanitarian, economic or even social, arrive after different presaging signals that permit to trigger warnings. These warnings can help to prevent damages and harm if they are issued timely and provide information that help responders and population to adequately prepare for the disaster to come. Today, there are many systems based on Information and Communication Technologies that are designed to recognise annunciator signals of crisis to limit their consequences. Warning system are part of them, they have proved to be effective, but as for all systems including human beings, a part of unpredictable remains. In this article, we provide a method of data analysis that allows decision makers in crisis cells to have

answer elements to the question of alerting or not populations in a given geographical area. This method is based on a selection of factors that influence population behaviors, for which we establish a list of relevant indicators that can be informed in the preliminary phase of a crisis into warning systems. From these indicators, we propose an argued measure of the utility to alert populations based on an aggregation of these factors that decision-makers can easily consult.

MOTS-CLÉS : systèmes d'alerte, analyse de données, comportements, populations, connaissances.

KEYWORDS: warning systems, data analysis, behaviors, populations, knowledge.

DOI:10.3166/ISI.22.6.93-117 © 2017 Lavoisier

1. Introduction

L'insertion dans les systèmes informatiques d'éléments cognitifs et de comportements humains réalistes permettant de reproduire ou de prédire des événements ou des actions est un enjeu de taille pour les développeurs. Comprendre le comportement humain de façon à ce qu'il puisse être intégré dans des systèmes informatisés est encore un défi, nécessitant l'interconnexion d'éléments hétérogènes qui peuvent être physiologiques, psychologiques, sociaux ou environnementaux. Aujourd'hui, grâce aux progrès des technologies de l'information et de la communication (TIC), il devient de plus en plus rapide et efficace de traiter des données en temps réel, de dresser des cartes à partir de données géolocalisées ou de faire des prédictions sur des scénarios intégrant des données hétérogènes. Ces progrès sont utilisés dans les systèmes de gestion de crise, développés pour faire face à des catastrophes humanitaires, économiques, écologiques ou sociales par exemple. Ils leur ont permis de prendre en compte des informations de plus en plus complexes. En effet, les systèmes de gestion de crises intègrent des données de sources et de natures différentes pour prédire le plus finement possible et de façon anticipée l'apparition, le déroulement d'une crise et ses conséquences sur un territoire donné. Mais malgré toutes les connaissances et les techniques développées dans l'objectif de minimiser ou d'éviter les conséquences désastreuses que peuvent provoquer les crises, elles restent, par définition, régies par des phénomènes aléatoires dont toutes les composantes ne sont pas toujours prises en compte dans ces programmes de gestion de crise. La vulnérabilité des territoires, par exemple, est un aspect parfois négligé dans les systèmes, les dispositifs de coordination entre services également, ou encore le comportement probable des populations en danger.

Avant et pendant une crise, les personnes agissent souvent selon leurs propres schémas d'interprétation (Mileti, Sorensen, 1990), qui ne permettent pas toujours de réagir de façon appropriée aux situations de risque et qui peuvent induire des réactions dangereuses. Pour répondre à ces problèmes, les programmes de gestion de crise incluent, la plupart du temps, des systèmes d'alerte qui permettent de (i) connaître les risques et définir les indicateurs à surveiller pour anticiper une crise, (ii) surveiller ces indi-

cateurs afin de pouvoir (iii) déclencher des alertes et les diffuser le plus rapidement possible aux populations en situation de risque, et enfin (iv) éduquer et sensibiliser les populations à risque. Les TIC sont un élément clé dans ces systèmes d'alerte, ils permettent d'orienter les comportements des individus lorsqu'une crise est annoncée en leur fournissant des connaissances avant la crise, et en les orientant dans l'interprétation des signaux perçus pendant la crise. Plusieurs acteurs gravitent autour de ces systèmes d'alerte avec différents rôles. Les principaux acteurs sont les spécialistes de la gestion de crise et experts qui construisent et permettent d'alimenter le système d'alerte, les décideurs qui agissent pour la résolution de crise, les acteurs de terrain qui appliquent les décisions prises en cellule de crise et enfin les populations. Cet article ne s'intéresse qu'à la dernière catégorie d'acteurs, les populations, en proposant une analyse basée sur leurs comportements pendant une crise. La prise en compte des lois et phénomènes qui régissent les comportements en situation de crise nous semble un axe important de recherche et de réflexion sur l'amélioration de la diffusion des alertes, de la communication de crise et sur le développement de politiques d'éducation et de sensibilisation ciblées. En effet, de nombreuses recommandations préconisent d'orienter les systèmes d'alerte vers des aspects plus humains (*people-centred*) principalement à travers la participation des populations dans les processus de prise de décision (Basher, 2006). Il nous semble complémentaire à cette approche d'intégrer l'humain dans la connaissance du risque et dans la sensibilisation faite à travers la connaissance de ses comportements. Ainsi afin d'améliorer l'adaptation des systèmes d'alerte aux populations concernées, nous proposons dans cet article une méthode pour évaluer l'utilité d'alerter ou non les populations par rapport à leurs comportements probables. L'alerte aux populations peut permettre de faire face à une crise en protégeant les populations, mais elle peut également constituer une menace et avoir des effets néfastes plus importants que ceux de la crise. Le 13 novembre 2015, lors des attentats de Paris, le président de la République a décidé de ne pas évacuer le Stade de France par exemple, afin d'éviter des mouvements de foule avec de nouvelles conséquences dangereuses.

Dans un premier temps, nous définissons les concepts principaux liés à notre proposition, à partir d'un état de l'art. Nous proposons ensuite une sélection des facteurs qui ont une influence sur les populations et des indicateurs qui y sont rattachés en fonction de leur capacité à être renseignés pendant la phase préliminaire de réponse à une crise et en fonction de l'information qu'ils apportent sur le comportement probable des populations en réponse à l'alerte que le système d'alerte est en mesure de fournir. A partir de ces indicateurs nous définissons une méthode qui permet d'évaluer l'utilité d'alerter ou non les populations par rapport à leurs comportements probables. Nous concluons enfin avec quelques perspectives sur l'application de ces travaux dans des systèmes existants.

2. Définitions et état de l'art

Les réactions des populations ont un impact majeur sur la résolution d'une crise. Un des enjeux des systèmes d'alerte précoce est de prendre en compte les réactions naturelles des personnes concernées par la crise pour les faire évoluer en amont de la crise, les anticiper, et les corriger si nécessaire pendant et après la crise. Nous présentons dans cette partie des éléments de définition sur les systèmes d'alerte, les comportements des populations en situation de crise et les systèmes d'information et de connaissance (SICO).

2.1. Systèmes d'alerte précoce

Les catastrophes naturelles sont une cause constante de souffrance humaine et de pertes économiques à travers le monde. Le changement climatique et l'urbanisation rapide ne font qu'aggraver le problème. Pour que les plans d'urgence définis en amont soient les plus efficaces possible, il est vital de disposer d'un système d'alerte précoce (*early-warning system*). Un tel système doit être capable de surveiller et de prévoir le comportement de l'environnement puis d'émettre des alertes assez tôt pour permettre aux populations de prendre les mesures qui s'imposent. Il est à noter qu'un système d'alerte précoce est spécifique à un type de catastrophe (dans différents domaines : l'environnement (Angermann *et al.*, 2010; DKKV, 2010), l'humanitaire (Buchanan-Smith, 2000; Bakker, 2011; IFRC, 2013)...) mais aussi à l'environnement pour lequel il a été mis en place (zone géographique, décisions politiques, etc.). Par conséquent, il n'existe pas deux systèmes identiques.

Un système d'alerte précoce complet et efficace comprend quatre éléments (United Nations, 2006). L'échec de l'un de ces éléments peut signifier l'échec de l'ensemble du système :

- Connaissance des risques : Connaissance préalable des risques encourus et planification du système de contrôle en termes de capteurs, mesures, échelles, seuils... (L'évaluation et la cartographie des risques aide à prioriser les besoins du système d'alerte précoce et à guider les préparatifs d'intervention et de prévention des catastrophes. Cette évaluation des risques peut être fondée sur l'expérience historique et humaine, sociale, économique, et les vulnérabilités environnementales).
- Services d'alertes : Maintenance technique et surveillance d'alertes.
- Diffusion des alertes : compréhensible pour les personnes à risques, les organisations et toutes les personnes qui doivent répondre à ces alertes. Les avertissements doivent atteindre leurs destinataires par le(s) meilleur(s) canal (canaux) de diffusion (adapté au destinataire) en choisissant la bonne information à diffuser (pour ne pas causer la panique mais faire en sorte que les personnes agissent).
- Capacité d'intervention - Connaissance et préparation à agir : Il est essentiel que les personnes à risque comprennent leurs risques, elles doivent respecter le service d'alerte et savoir comment réagir.

Un système d'alerte précoce peut être défini comme une chaîne de systèmes de communication d'information comprenant des capteurs, de la détection, de la décision et des sous-systèmes transitoires, dans cet ordre, qui travaillent en collaboration, pour prévenir et signaler des perturbations affectant négativement la stabilité du monde physique ; et qui donnent suffisamment de temps au système de réponse pour préparer les ressources et les mesures d'intervention (actions) pour minimiser l'impact sur la stabilité du monde physique (Waidyanatha, 2009). Ainsi, un système d'alerte précoce est un ensemble d'outils pour prédire des aléas (United Nations, 2006 ; Quansah *et al.*, 2010). Comprendre et réagir de manière adéquate aux signaux d'alertes précoces, avant que ceux-ci se manifestent et se transforment en besoins aigus est dans de nombreux cas plus efficace que de répondre seulement après que la catastrophe ait eu lieu (Swithern, 2014). Idéalement, les signaux d'alertes précoces devraient déclencher des actions appropriées pour prévenir la population des dommages. Les alertes et les décisions d'évacuer la population, de déployer des équipes de secours en cas de catastrophe dans une ville / région, ou de pré-positionner des marchandises, sont l'interface entre la préparation et la réponse. Plus tôt une alerte est lancée, plus il y a de temps pour déclencher ces actions. Cependant, les informations sur le danger sont souvent peu précises dans la phase préliminaire à une crise, elles deviennent de plus en plus précises seulement au fur et à mesure que le temps passe (de même, la menace devient de plus en plus concrète). C'est pourquoi il est important de capitaliser sur les connaissances des experts et des décideurs pour pouvoir anticiper au mieux les actions à mener. Avant de décider des actions à mener, les décideurs cherchent à obtenir l'information la plus précise possible sur l'évènement, les actions possibles et les ressources nécessaires. L'évènement doit être décomposé : quelles sont les sources de danger ? Quels sont les lieux et les cibles potentielles : population, environnement, biens matériels ? Quels sont les vecteurs d'impact entre les deux ? Quelles sont les micro-actions qu'il est possible de faire ? Quelles sont les ressources nécessaires et les ressources disponibles ?

A ces informations, nous proposons d'intégrer les caractéristiques de la population qui peuvent avoir un impact sur leurs réactions à l'alerte et à la crise elle-même. Pour cela nous définissons dans la partie suivante ce que nous entendons par comportement et quels sont les facteurs qui ont un impact sur les comportements des populations.

2.2. Population et comportements

Dans cet article, nous nous focalisons sur le comportement des populations en situation de crise.

2.2.1. Définition du comportement

Le comportement est un concept qui nécessite d'être précisé et bien défini, il peut être abordé de manières très différentes au sein même du monde scientifique. On parle de concept « nomade » qui peut prendre plusieurs sens selon les disciplines (Toniolo, 2009). En philosophie, par exemple, les définitions du comportement reposent surtout sur le lien entre les notions de conscience et d'expérience (Merleau-Ponty, 1942),

alors qu'en sciences cognitives il peut être abordé comme une suite logique d'actions (Skinner, 2008). Ce sont les travaux en sciences humaines qui sont les plus nombreux sur le sujet, notamment dans les domaines de l'éthologie et de la psychologie (Alcock, 1989; Cooper *et al.*, 2007). Nous reprenons ici la définition proposée par Sillamy (Sillamy, 1983) pour qui le comportement correspond aux « réactions d'un individu, considéré dans un milieu et dans une unité de temps donnée à une excitation ou un ensemble de stimulations ». Cette définition permet de situer clairement le comportement dans un espace spatio-temporel et de le décrire comme une réponse à un ensemble d'excitations ou stimulations. Dans ce papier, nous limitons l'étude des comportements aux réactions observables par une entité extérieure. Les comportements individuels en situation de crise ne correspondent pas aux comportements de la vie de tous les jours. Il est difficile de représenter ces comportements avec les informations obtenues après-crise car elles sont toujours statiques, ponctuelles et contextuelles, et elles permettent difficilement d'embrasser la diversité des réactions humaines qui peuvent se produire dans ces situations (Dauphiné, Provitolo, 2013). On peut néanmoins travailler à établir des tendances, des règles qui permettent de déterminer des facteurs qui orientent des comportements particuliers. Ces informations permettent néanmoins de citer quelques types de comportements fréquemment observés dans les situations de crise (Dauphiné, Provitolo, 2013) : évacuation, fuite; fuite panique; hébétude, sidération; immobilisme; confinement, mise à l'abri; lutte contre les effets du désastre; recherche des proches; assistance, secours d'urgence; comportement dit « antisocial »; curiosité; retour sur le lieu d'habitation, de travail. On distingue trois types de comportements : (i) réflexes, ou instinctifs qui permettent une action rapide par la lutte, la sidération ou la fuite, (ii) de panique, phénomènes de foule émergents via des mécanismes d'imitation ou de contagion et (iii) contrôlés qui sont des réactions raisonnées (Provitolo *et al.*, 2015). Il est important de prendre en compte un maximum d'éléments pour étudier les comportements en situation de crise, deux évènements qui semblent similaires peuvent amener des réactions très différentes. Entre le tsunami qui s'est produit à Fukushima, le 11 mars 2011, et celui survenu cinq ans après, le 22 novembre 2016, les réactions des autorités et des habitants ont évolué de manière très significative. En 2016, le Premier ministre a ordonné au gouvernement de donner au public une information précise et fiable sur les modalités d'évacuation et les appels à évacuer ont été bien plus nombreux, les réactions en règle générale ont été très influencées par l'expérience vécue cinq ans plus tôt. Les émotions comme la peur ou la surprise peuvent également avoir une forte influence sur les mouvements de foule, comme ce fût le cas après le match de football du 3 juin 2017 à Turin suite à une rumeur d'attaque à la bombe.

L'intégration d'informations relatives aux comportements humains dans un système, quel qu'il soit, n'est donc pas sans poser des problèmes d'interprétation et d'expertise. Par ailleurs, le comportement est un concept subjectif pour la majorité des personnes qui sont en interaction ou qui composent le système, et qui dépend fortement de leurs schémas d'interprétations. C'est pourquoi pour pouvoir intégrer à un système d'alerte les données et informations qui y sont relatives, il faut impérativement tenir compte des connaissances des personnes qui le composent. C'est ce que

propose le modèle du système information et de connaissances (SICO) (Arduin *et al.*, 2015).

2.3. *Système d'information et SICO*

Le SICO peut être compris comme l'interaction d'un système d'information (SI) constituant le système technique, d'un environnement donné et d'un système de connaissance pour permettre de répondre à un enjeu donné. Un système d'alerte peut être donc considéré comme un SICO : il se situe dans un environnement particulier qui présente un risque plus ou moins important de crise, il comprend un système technique qui permet de générer des alertes, et il est composé de personnes porteuses de connaissances à travers différents acteurs qui le composent, décideurs, experts, acteurs de terrain et populations.

Le concept de SI recouvre deux notions : d'une part, la réalité de l'organisation qui se transforme, entreprend, communique et enregistre les informations ; et, d'autre part, le système d'information numérique (SIN), objet artificiel conçu par l'homme, tenant compte des potentialités des TIC, pour l'aider à acquérir, traiter, stocker, transmettre et restituer les informations qui lui permettent d'exercer ses activités au sein de l'organisation. Ainsi, le rôle essentiel du SIN est de fournir des informations pertinentes à chaque centre de décision, quel que soit son niveau hiérarchique, afin qu'il puisse contrôler, décider et entreprendre. Dans ce sens, il sert de support incontournable aux processus d'aide à la décision et aux processus de fonctionnement et de production de l'organisation, tout en interagissant avec ces mêmes processus. Le SIN est également un outil de coordination. On remarque alors qu'il joue un rôle important à la fois à un niveau individuel pour informer, c'est-à-dire fournir des représentations pour résoudre des problèmes dans un processus d'aide à la décision, et à un niveau collectif pour diffuser des représentations partagées dans l'organisation. D'après Le Moigne (Le Moigne, 1973), le système d'information se présente comme le système de couplage entre le système opérant et le système de pilotage. Le système opérant est le système où s'effectuent des transformations physiques ou intellectuelles, et le système de pilotage est le système où les décisions sont prises, en matière d'objectifs et de moyens disponibles. « Le système d'information d'une organisation est constitué de l'ensemble des moyens et procédures de recherche, saisie, classement, mémorisation, traitement, diffusion des informations et a pour objectif de restituer, aux différents membres de l'organisation, les informations, sous une forme directement utilisable, au moment opportun, afin de faciliter le bon fonctionnement opérationnel et la prise de décision aux différents niveaux » (Reix, 1980). Il est important, ici, de retenir que l'information traitée doit aider à prendre des décisions, et parfois à coordonner des actions. Le SI doit répondre à des exigences de rapidité de temps de réponse, de pertinence, d'accessibilité, de précision, de coût et de fiabilité des éléments de sortie. Les différents niveaux de commande impliquent des échanges d'information : des problèmes de coordination peuvent donc se manifester. Il a été recensé deux types de coordination : « Une coordination verticale pour éviter les incohérences et les conflits et une coordination horizontale pour poursuivre un objectif global malgré la division

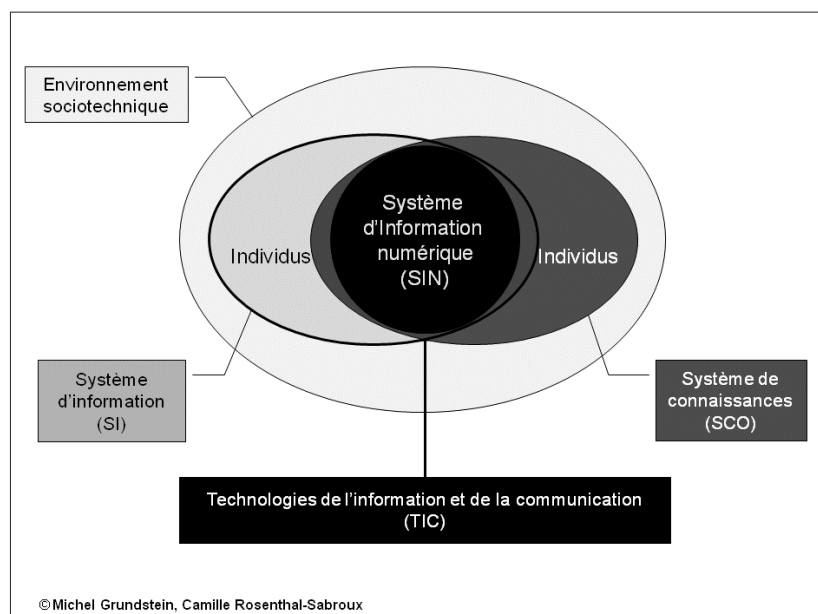


Figure 1. Le SICO

du travail. Cette coordination peut se faire soit par ajustement mutuel (échange direct d'information) soit par supervision directe » (Reix, 1980). Le SI, dans ce qui précède, n'est pas forcément informatisé. La numérisation d'une organisation a conduit, dans la littérature, à distinguer le SI organisationnel et le SI numérique. Les difficultés rencontrées lors de la conception de SI numériques se trouvent justement dans la séparation de ces deux systèmes. Le SI numérique se trouve dans le SI organisationnel et il existe des interactions fortes de l'un par rapport à l'autre. Aujourd'hui, compte tenu de la prépondérance du numérique dans les organisations, il est important, plus que jamais de mettre au cœur de notre réflexion, l'humain. Nous soutenons l'idée que la connaissance est propre aux individus et à leurs interactions sociales. Compte tenu du fait que le SI d'une organisation est l'ensemble organisé de ressources : matériels, logiciels, personnel, données, procédures, permettant d'acquérir, traiter, stocker, communiquer des informations (sous forme de données, textes, images, sons, etc.). Nous pensons que le SI est également un système de connaissance, dans la mesure où les individus sont porteurs de connaissances. Dans ce travail, nous prenons comme référence le concept de système d'information et de connaissance de l'organisation (SICO) qui est consubstantiel au concept de système d'information. Le SICO est un ensemble qui repose sur un tissu socio-technique (individus en interaction : entre eux, avec des machines, et avec le système lui-même). Il comprend (figure 1) :

- un système d'information (SI), constitué d'individus qui sont des processeurs d'informations auxquelles ils attribuent un sens dans un contexte donné. Ces informations peuvent être transmises, mémorisées, traitées et diffusées par eux-mêmes ou par le système d'information numérique (SIN), qui est alors un « partenaire » pour l'homme (Rosenthal-Sabroux, 1996) ;

- un système de connaissance (SCO), constitué à la fois de connaissances tacites incarnées par les individus et de connaissances explicitées qui ont été formalisées et codifiées sur toute forme de support (documents, vidéos, photos, etc.). Dans ce travail, quand nous parlons de connaissances, nous parlons de ces deux types de connaissances. Les connaissances explicitées ainsi codifiées sont susceptibles d'être transmises, mémorisées, traitées, et diffusées par le SIN. Elles sont, dans ce cadre, assimilables à des informations, nous les désignons par l'expression « informations source de connaissance pour quelqu'un » ;

- un système d'information numérique (SIN), artefact conçu à partir des technologies de l'information et de la communication, et du numérique.

Le SICO est donc un modèle générique. Nous nous appuyons dans la partie suivante sur ce modèle pour proposer l'intégration de nouvelles connaissances liés aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte. Nous pensons en effet qu'il est primordial de faire reposer cette intégration sur les différents acteurs du système, dans la mesure où les connaissances que nous souhaitons intégrer reposent sur des notions complexes, devant être clairement objectivées.

3. Une méthode pour intégrer des connaissances dans les systèmes d'alerte

De nombreux facteurs peuvent influencer la décision d'alerter ou non les populations sur la menace d'une crise à venir. On peut citer le niveau de risque, les dispositifs d'alerte ou les moyens matériels et humains que l'on peut déployer sur la zone, mais aussi des facteurs plus difficiles à anticiper comme le facteur comportemental des populations : la façon dont les populations vont réagir à l'alerte peut avoir un impact positif ou négatif sur les conséquences de la crise. La décision d'alerter elle-même peut avoir une influence sur des enjeux de taille, notamment l'enjeu économique avec la mise en arrêt de l'activité le temps de l'alerte, et l'enjeu politique : alerter peut avoir des incidences sur la perception de populations de leur niveau de sécurité ou de la capacité des autorités à les protéger.

La décision d'alerter ou non les populations est généralement prise par un collectif de décideurs présents en cellule de crise, elle se base sur des éléments d'informations qui ont été recueillis sur la nature de la crise (potentielle ou certaine), sur ses impacts potentiels, et une appréciation humaine en fonction de l'expérience des personnes présentes. Elle est donc basée sur des éléments à la fois objectifs et subjectifs, or il a été démontré que les décisions prises par les décideurs que ce soit en phase préliminaire à la crise (phase de latence), en période de réponse ou en phase de post-crise sont soumis à des biais cognitifs qui peuvent les influencer dans un sens contraire à la rationalité et à l'efficacité de la réponse aux différents enjeux de ces trois phases (Comes, 2016 ;

Johnson, Levin, 2009). C'est donc pour proposer une aide aux décideurs dans leur analyse de la situation que nous proposons un indicateur qui permettra de mesurer en partie l'utilité d'alerter les populations, selon les comportements qui risquent d'être observés en réaction à l'alerte.

3.1. Les facteurs de comportement

Tout d'abord, nous proposons de définir ici les différents indicateurs qui nous permettront d'intégrer des connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte. Ces indicateurs ont pour objectif, à travers leur analyse, d'éclairer sur les décisions pouvant concerner les populations.

Pour cela, nous avons définis 20 facteurs qui ont une influence sur les comportements, et qui sont composés d'un ou de plusieurs d'indicateurs. Nous choisissons ici de reprendre la formalisation du comportement de Kurt Lewin (1936) qui définit un comportement C en fonction d'une personne P et de son environnement E : $C = f(P, E)$. Les 20 facteurs du comportement que nous présentons ci-après ont été identifiés à partir de recherches dans la littérature comme ayant une influence sur les réactions humaines en situation de crise. Nous les avons regroupés en deux catégories, conformément à la formalisation de Lewin, avec les facteurs relatifs aux individus et les facteurs relatifs aux paramètres de l'environnement. Nous distinguons ces deux catégories par les objets auxquels ils se rapportent, individuels et environnementaux, et par le type de sources d'information qui permettront de les caractériser. Ils sont présentés ici avec une liste d'indicateurs associée à chacun d'entre eux (Arru *et al.*, 2017b). Ces différents facteurs sont présentés ici séparément les uns des autres, mais il est important de noter le fort caractère de dépendance entre certains indicateurs qui les composent et entre les facteurs eux-mêmes. A titre d'exemple, le facteur que nous nommons « responsabilité » est totalement dépendant des facteurs liés à l'entourage d'une personne et à son activité.

Facteurs liés à l'individu

1. Etat civil : les caractéristiques individuelles ont une influence statistique évidente dans les réactions que les individus peuvent avoir face à une situation donnée. Nous retiendrons les indicateurs suivants comme éléments principaux, qu'on retrouve communément dans les études sociologiques¹ : l'âge (F1a), le sexe (F1b), la nationalité (F1c), le lieu de résidence (F1d), le niveau d'étude (F1e), le métier (F1f).

2. Personnalité : nous nous sommes inspirés d'une reprise du modèle de personnalité FFM (Zoumpoulaki *et al.*, 2010) pour définir nos cinq composants de la personnalité : les désirs (F2a), les principes moraux (F2b), la sociabilité (F2c), les croyances, qu'elles soient religieuses ou non (F2d) et la capacité à décider (F2e), auxquels nous avons ajouté la réactivité mimétique (F2f). La réaction mimétique en situation de crise est un phénomène très étudié dans la littérature financière. Le mimétisme peut être dé-

1. <https://www.insee.fr/>

fini comme un ensemble de comportements individuels présentant des corrélations (Jondeau, 2001), ce qui permet de distinguer mimétisme rationnel, quand un individu agit avec mimétisme par manque d'information, et mimétisme irrationnel, lorsque l'information est connue de l'individu mais qu'elle n'est pas prise en compte dans ses actes.

3. Motivation à évacuer / à défendre : évacuer la zone de danger (F3a) et se défendre en luttant contre le danger (F3b) sont deux grandes réactions attendues en situation de crise. Ces réactions dépendent de plusieurs autres facteurs dont l'évaluation du risque, la zone géographique mais aussi des ressources que la personne peut avoir à protéger, la survie de sa famille ou sa récolte par exemple (Adam, Gaudou, 2016).

4. Responsabilité : en cas de crise dans une organisation, on attend naturellement un contrôle et une prise en charge de la situation par les meneurs, les personnes responsables d'un groupe de par leur statut ou de par leurs compétences (Wooten, James, 2008). Dans une situation où une alerte incendie est donnée, dans un établissement scolaire par exemple, un professeur pourra avoir une réaction tout-à-fait différente selon qu'il est seul dans son bureau ou s'il est en salle de cours en train d'enseigner à un groupe d'élèves. Autant il pourra évaluer le danger insuffisant et ne pas réagir en poursuivant ses activités s'il est seul dans son bureau autant il lui semblera essentiel à faire évacuer ses élèves dans de bonnes conditions s'il est en cours. Il est responsable de ses élèves et doit également être un exemple pour eux. Prenons un exemple plus proche du quotidien, celui d'un adulte qui souhaite traverser la route sur un passage piéton lorsque le feu piéton est rouge. Il y a une probabilité beaucoup plus forte que cet adulte traverse s'il est seul que s'il est accompagné d'un ou plusieurs enfants, ou si un ou plusieurs enfants se trouvent dans son entourage. Le niveau de responsabilité d'une personne (F4) permet de mesurer ce facteur.

5. Emotions : le modèle OCC (Van Dyke Parunak *et al.*, 2006) évoqué précédemment propose une classification en dix grandes émotions : joie, espoir, fierté, admiration, content pour, tristesse, peur, honte, reproche, désolé pour. Il existe d'autres classifications, qu'on retrouve notamment dans les travaux sur la détection d'émotions dans les réseaux sociaux, avec par exemple les catégories de plaisir, apaisement, amour, surprise, déplaisir, dérangement, mépris, tristesse, peur, colère, ennui et surprise négative (Hamon *et al.*, 2015). Dans notre choix de représentation nous classifions plus simplement les émotions dans les six catégories universelles qui peuvent se lire sur les visages (Ekman, Friesen, 1971) : joie (F5a), tristesse (F5b), colère (F5c), dégoût (F5d), peur (F5e), surprise (F5f).

6. Expérience et capacités : le vécu d'une personne peut avoir une grande influence sur ses réactions, selon son expérience d'une autre crise dans le passé (F6a), ses capacités objectives (physiques et intellectuelles) à évacuer et à se défendre (F6b) et ses capacités subjectives à évacuer et à se défendre (F6c). Les capacités subjectives évoluent selon les réussites ou les échecs à évacuer et à se défendre dans des situations similaires et dans la situation en cours (les capacités subjectives à se défendre par exemple diminuent au fur et à mesure d'un échec à stopper la progression d'un incendie) (Adam, Gaudou, 2016).

7. Connaissances explicitées : les connaissances explicitées dont disposent les personnes peuvent jouer un rôle primordial dans certaines situations, notamment dans l'évaluation du risque, et sauver de nombreuses vies (Maude *et al.*, 2016). Ces connaissances peuvent être répertoriées en trois grandes catégories : les connaissances communes, partagées par l'ensemble d'une population à une échelle régionale ou nationale (F7a), les connaissances acquises lors de formations de préparation au risque (F7b), les connaissances fournies par l'accès à des documents relatifs au danger (F7c) et par l'accès à des outils de partage des connaissances (F7d).

8. Evaluation du risque : la perception subjective du risque peut concorder avec le risque objectif; ou pas (Streufert, Taylor, 1971). Nous considérons que l'évaluation du risque est composée à la fois d'une partie objective (F8a) qui dépendra beaucoup des signaux perceptibles de la crise (cf. partie suivante, facteur lié à l'environnement) et d'une partie subjective (F8b) qui, elle, dépendra principalement de la personnalité de l'individu, des émotions ressenties et de ses connaissances.

9. Perception du système d'alerte : nous définissons la perception comme le processus de collecte, d'organisation et d'interprétation de stimuli qui peuvent être des informations ou des connaissances provenant de différentes sources. L'indicateur correspondant à ce facteur (F9) peut être mesuré à travers des réponses à un questionnaire (Arru *et al.*, 2016).

10. Activités : certaines composantes des activités humaines peuvent être déterminées automatiquement à partir de vidéos (Niebles *et al.*, 2008). Nous différencions ici les types d'activités qu'une personne réalise au moment où une crise survient ou est annoncée selon leurs degrés d'interaction (F10a), de concentration (F10b) et de mouvement (F10c). Par exemple, le degré d'interaction d'une personne qui est en train de discuter avec des amis autour d'un café est forte, et ses degrés de concentration et de mouvement plutôt faibles. Au contraire, si elle circule seule dans sa voiture en temps de pluie, son degré d'interaction sera faible et ses degrés de concentration et de mouvement beaucoup plus forts.

11. Signaux physiologiques : plusieurs travaux étudient les liens qui peuvent être faits entre les signaux physiologiques d'un individu et ses réactions émotionnelles et psychologiques (Cacioppo, Tassinary, 1990). Les quatre indicateurs physiologiques que nous retenons peuvent être mesurés à l'aide de capteurs, nous retenons le rythme cardiaque (F11a), la tension, (F11b), le niveau de transpiration (F11c) et le niveau de contraction musculaire (F11d) qui peuvent être mesurés lors de simulations ou d'exercices grâce à des tensiomètres ou des montres intelligentes par exemple.

Facteurs liés à l'environnement

12. Caractéristiques de la zone géographique : les premiers éléments pris en considération dans les études sur la vulnérabilité des personnes dans les situations de crise sont les caractéristiques des zones géographiques concernées (Tina *et al.*, 2015). Ils comprennent notamment l'étendue de la zone (F12a), la densité de la population (F12b), le niveau de pauvreté (F12c), le statut économique (F12d), le niveau d'urbanisme (F12e), la pyramide des âges (F12f) ou encore les caractéristiques culturelles :

culture de l'individualité ou de la collectivité (F12g), confiance dans le gouvernement (F12h).

13. Capacité d'interaction et de mobilité : sur la capacité d'interaction nous prenons en compte à la fois les interactions physiques qui dépendent de la fréquentation de la zone (F13a) et à la fois les interactions virtuelles qui dépendent principalement du nombre de smartphones par habitant (F13b). La capacité de mobilité est représentée par l'accès aux transports (F13c).

14. Signaux perceptibles de la crise : dans un processus de décision et d'action mis en place pour évacuer une zone en cas d'incendie par exemple, la première étape sera d'identifier le risque, en se basant sur des signaux perceptibles (Kinateder *et al.*, 2015). La perception directe de fumée, ou de flammes à proximité d'un individu ont un impact considérable sur sa décision d'évacuer ou non un bâtiment. Les indicateurs de ces signaux dépendent directement du type de crise concernée. Nous définissons trois indicateurs pour ce facteur, les signaux visuels (F14a), les signaux sonores (F14b) et les signaux olfactifs (F14c).

15. Caractéristiques de la période pendant laquelle survient la crise : les comportements des personnes seront différents selon que la crise les surprend de jour ou de nuit (F15a) et selon le nombre d'heures qui les séparent du pic de la crise (F15b) (Provitolo *et al.*, 2015).

16. Phase temporelle de la crise : nous nous intéressons dans cet article aux comportements des personnes avant la crise (F16a), à son commencement (F16b) jusqu'à son pic (F16c) et sa phase descendante (F16d) ainsi que dans l'après crise (F16e) qui correspond à une phase de retour à des comportements habituels (Provitolo *et al.*, 2015).

17. Alertes / Informations transmises : nous avons choisi de caractériser les alertes et informations transmises selon leur quantité (F17a) qui ne doit être ni trop faible ni trop importante, leur qualité (F17b) évaluée selon les informations et recommandations fournies, et selon le nombre de canaux de diffusion utilisé (F17c) (DGSCGC, 2013).

18. Caractéristiques de l'entourage : un des premiers réflexes en situation de crise est de rechercher des amis, d'échanger avec des proches (Dupuy, 2003). Nous retenons comme caractéristiques de l'entourage la densité des personnes à proximité de l'individu (F18a), la présence de représentants de l'autorité, policiers... (F18b), le niveau de sécurité de la zone (F18c) et la présence de relations proches (F18d).

19. Comportement des personnes les plus proches : les études sur la contagion sociale tendent à démontrer que l'influence des personnes les plus proches géographiquement ont une influence plus importante que l'entourage global sur les actions des individus (Goldstone, Janssen, 2005). Des modèles de seuil sont utilisés pour illustrer ce phénomène. Dans ces modèles, chaque agent possède un seuil de contagion qui lorsqu'il est franchi, l'amène à exercer la même activité que celle qu'exercent ses voisins. Le niveau de contagion d'un agent varie en fonction du nombre de ses voisins qui exercent une activité similaire (Granovetter, 1978 ; Solomon *et al.*, 2000). Les indicateurs que nous choisissons pour caractériser ce facteur sont les deux comportements

dominants dans l'entourage proche F19a et F19b, qui dominent par leurs niveaux de contagion. Ils peuvent correspondre par exemple à l'absence de réaction et la panique, ou bien la sidération et le retour sur le lieu d'habitation.

20. Comportement global de l'entourage : il s'agit du comportement dominant global (F20) qui est adopté par la population dans un périmètre étendu (Dupuy, 2003).

Finalement, il est à noter que, bien que la littérature fasse une distinction entre « Systèmes d'alerte » et « Systèmes d'alerte précoce », de notre point de vue, la prise en compte des populations dans de tels systèmes infère que les systèmes d'alerte deviennent des systèmes d'alerte précoce.

3.2. *Intégration des facteurs du comportements dans le SICO d'un système d'alerte*

Dans (Arru *et al.*, 2017a), nous avons considéré que le SICO proposé pour les contextes d'entreprise peut être adapté aux systèmes d'alerte précoce qui comprennent les individus et un système d'information numérique. Ainsi, la figure 2 illustre notre vision d'un système d'alerte orienté vers l'information et la connaissance. D'après leurs connaissances, les décideurs et les experts définissent des indicateurs de risque et de vulnérabilité avec des seuils qui sont inclus dans un système d'information numérique. Dans notre proposition, nous ajoutons aux indicateurs déjà existants dans les systèmes d'alerte, des indicateurs correspondant aux différents facteurs du comportements identifiés ci-dessus. Les données correspondantes peuvent être considérées comme statiques, mais actualisées et stockées dans des bases de données dans la phase de construction du système d'alerte, avec définition de la fréquence des mises à jour, ou bien surveillées en temps réel. A partir des différentes bases ainsi constituées, les données peuvent être manipulées et agrégées en informations qui seront transmises aux décideurs et aux populations à travers l'émission d'alertes et les informations associées. Ces informations sont interprétées par les décideurs et les populations en fonction de leurs schémas d'interprétation. Il est ainsi mis en exergue tout l'intérêt du SICO et sa valeur ajoutée dans la prise en compte des connaissances et leur interprétation (Arduin *et al.*, 2015).

Ainsi un système d'alerte repose sur des connaissances explicitées, indirectement utilisées par les décideurs en phase préliminaire ou en phase de réponse à la crise, la phase préliminaire correspondant à la période pendant laquelle la crise est latente et où les premiers signaux d'alerte apparaissent. Les différents indicateurs et mesures utilisés dans le SIN permettent de synthétiser l'information pour alerter les décideurs mais ne donnent pas d'indication sur la réponse à apporter concernant les populations, et notamment sur l'alerte aux populations.

Pour améliorer ces systèmes, nous considérons que la prise en compte de la connaissance (explicitées et tacites) des experts et des décideurs concernant les populations est indispensable. Ainsi, dans la constitution des bases de données du SIN dans lequel les connaissances sont explicitées, ces connaissances doivent être représentées

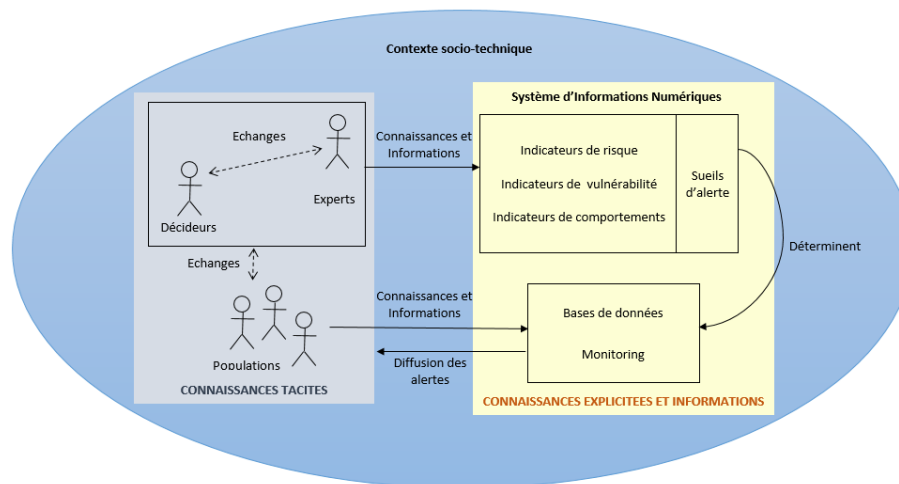


Figure 2. Le système d'alerte précoce vu comme un SICO

et synthétisées de façon à tenir compte des populations de façon pertinente pour les décideurs. Prenons l'exemple d'un système qui permet de détecter des signaux faibles d'une inondation dans le département du Var, en France, et auquel on souhaite ajouter de nouvelles données qui permettent de caractériser les populations concernées. Il va de soit que cette intégration ne doit pas compromettre le fonctionnement du système existant. Nous envisageons donc dans un premier temps, au moins du point de vue applicatif, de ne pas intégrer ces données aux bases déjà existantes telles que celles des services de Météo ou de surveillance des cours d'eau. Les experts et décideurs doivent pouvoir garder la maîtrise des données et algorithmes qu'ils insèrent dans le système, or les différents services constitués d'experts sont souvent très indépendants les uns des autres, avec des connaissances très hétérogènes. Il nous semble donc important de définir une interface dédiée pour que ces connaissances soient intégrées et puissent être utilisées par les décideurs de manière pertinente. Si un expert a évalué que, sur une zone bien délimitée, la population varoise a globalement une perception très faible du risque inondation, et qu'elle est très peu dense sur cette zone, il est plausible que le système propose de ne pas alerter cette population. Or, si l'expert n'est pas informé qu'une importante zone résidentielle va être construite dans les deux ans à venir sur cette zone, le système deviendra inadapté. Enfin, les connaissances tacites du décideur jouent également un rôle primordial dans le fonctionnement du système, la confiance que le décideur a dans les informations fournies par le système, de même que l'interprétation qu'il en fait peuvent influencer considérablement les décisions prises.

3.3. Méthodologie

3.4. Sources de données

La récupération des données est un enjeu important dans la gestion de crise. Les indicateurs proposés pour chaque facteur du comportement sont de nature très hétérogène, et différentes sources de données sont nécessaires pour identifier les informations correspondantes :

- les réseaux sociaux, par des techniques de fouille de textes, d’images, peuvent apporter de nombreuses indications sur les émotions des individus par exemple, leur personnalité, ou sur les signaux perceptibles de la crise ;
- les études sociologiques permettent de recueillir de nombreuses informations statiques sur l’État civil, l’expérience et les capacités des personnes, sur leur évaluation du risque ou leur perception des systèmes d’alerte ;
- les études de vulnérabilité peuvent indiquer certaines caractéristiques de la zone géographique concernée. A ces études pourraient être intégrées des cartes sur les différentes activités potentielles de la population sur des zones sensibles en fonction des différents moments de la journée ;
- Internet, par la fouille d’évènements ou des applications dédiées, peut faire remonter de l’information sur les capacités d’interaction et de mobilité des populations, les alertes et informations transmises, ou sur l’État civil des populations ;
- les capteurs, que sont nos smartphones ou les vidéos de surveillance dans les milieux urbains par exemple, sont porteurs de nombreuses informations sur les caractéristiques de l’entourage ou sur les émotions des personnes.

Pour chaque information récupérée à travers une de ces sources de données, deux propriétés doivent être spécifiées pour préciser son traitement, le niveau de granularité et la confiance que l’on peut accorder aux données correspondantes.

3.5. Sélection des facteurs et indicateurs

A partir des facteurs et des indicateurs proposés précédemment qui ont une influence sur les comportements des populations en situation de crise, nous sélectionnons ces facteurs et indicateurs en fonction de leur disponibilité et de leur pertinence par rapport à la crise en question, pour définir une mesure du niveau d’adéquation au comportement attendu des populations.

Dans la méthode que nous proposons, les paramètres peuvent être renseignés selon deux temporalités différentes : (i) les indicateurs qui peuvent être renseignés et mis à jours bien en amont de la crise, lors de la mise en place et des révisions des systèmes d’alerte et (ii) les indicateurs qui sont renseignés en temps réel, une fois la cellule de crise mise en place et quand la question d’alerter ou non les populations se pose. Il est évident que la plupart des facteurs liés à l’individu pourront être intégrés surtout en

Indicateurs	Commentaires
âge (F1a)	utilité possible à un niveau localisé
sexe (F1b)	utilité possible à un niveau localisé
niveau d'étude (F1e)	utilité possible à un niveau localisé
réactivité mimétique (F2f)	utilité possible à un niveau localisé
degré d'interaction (F10a)	utilité possible à un niveau localisé
pyramide des âges (F12f)	utilité à un niveau international
culture de l'individualité / collectivité (F12g)	utilité à un niveau international

Figure 3. Liste des indicateurs pertinents seulement sur des zones particulières

amont de la crise, par une analyse sociologique des populations ; alors que les facteurs liés à l'environnement pourront être intégrés soit en amont de la crise, grâce à une étude de vulnérabilité, soit pendant la phase préliminaire de la crise, selon leur propre temporalité.

3.5.1. Pertinence des indicateurs

D'une manière théorique, tous les indicateurs qui permettent d'avoir de l'information sur les facteurs de comportement des populations peuvent être jugés comme pertinents pour participer à la mesure sur l'utilité d'alerter les populations.

Nous différencions par le critère de pertinence les indicateurs qui ont un impact dans tout type de crise, quelle que soit la zone géographique concernée, et les facteurs qui ne peuvent avoir un intérêt que dans des zones ciblées (figure 3). Dans une zone qui ne concerne qu'une école ou une maison de retraite par exemple, l'indicateur de l'âge doit être pris en compte car il a une grande importance dans la façon dont on diffuse l'alerte et prépare les secours.

3.5.2. Disponibilité des indicateurs

Nous travaillons selon une démarche constructiviste, qui permet d'enrichir les données et les informations sur les indicateurs au fil du temps, celui de l'évolution d'un système d'alerte et celui du déroulement d'une crise. Ainsi, et selon la zone géographique concernée, certains indicateurs peuvent ne pas être renseignés.

3.6. Mesure sur l'utilité d'alerter les populations

3.6.1. Formalisation de la mesure

Nous montrons ici comment agréger les données correspondant aux indicateurs pour lesquels des données ont été fournies en fonction de la crise concernée dans un jugement unique et global interprété comme l'utilité d'alerter ou non les populations. La méthode consiste dans un premier temps à transformer les valeurs obtenues pour

Indicateurs	Postulats
niveau d'urbanisme (F12e)	plus le niveau d'urbanisme est important plus il faut alerter
signaux visuels (F14a)	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
signaux sonores (F14b)	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
signaux olfactifs (F14c)	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
moment du jour (F15a)	quand les gens sont en pause ou chez eux il faut alerter

Figure 4. Liste des indicateurs et les postulats associés

chacun des indicateurs en valeurs quantitatives. Chacune des valeurs doit être transposée sur une échelle de 1 à 5, la valeur 1 correspondant à la valeur initiale de l'indicateur qui a l'impact le plus positif sur l'adéquation aux comportements attendus, et la valeur 5 correspondant à la valeur initiale de l'indicateur qui a l'impact le plus négatif sur l'adéquation aux comportements attendus. Par exemple, pour les signaux olfactifs, nuls deviennent 1, faiblement perceptibles deviennent 2 moyennement perceptibles deviennent 4 et fortement perceptibles deviennent 5. Nous mesurons l'adéquation par rapport aux comportements attendus selon des postulats qui doivent être définis par des experts. Dans cet article nous avons déterminé 15 postulats simples liés aux indicateurs que nous utilisons par la suite, plusieurs exemples sont présentés figure 4. Les indicateurs peuvent être agrégés dans ces postulats pour permettre une analyse plus fine des situations. Il serait par exemple intéressant d'agréger les signaux visuels avec le moment du jour, dans le sens où la nuit ces signaux peuvent ne pas être perçus.

Dans ce papier, nous proposons pour fonction d'agrégation des données une médiane, qui peut être facilement comprise par les décideurs. La mesure de l'utilité *util* correspond donc au terme de rang $\frac{n}{2}$ où n correspond au nombre d'indicateurs pris en compte dans le calcul de la mesure.

Nous choisissons les intervalles suivants pour interpréter le résultat obtenu :

- [1; 2] : l'alerte ne doit pas être donnée pour les raisons suivantes (liste des indicateurs avec un score inférieur à 3).
- [3; 3] : l'alerte peut être donnée pour les raisons suivantes (liste des indicateurs avec un score supérieur à 3); ou ne pas être donnée pour les raisons suivantes (liste des indicateurs avec un score inférieur à 3).
- [4; 5] : l'alerte doit être donnée pour les raisons suivantes (liste des indicateurs avec un score supérieur à 3).

3.6.2. Exemple avec application de la mesure d'utilité

Nous avons choisi d'expérimenter la mesure d'utilité proposée sur un cas théorique d'inondation. Pour ce cas d'application, nous proposons de travailler sur l'exemple d'une inondation à cinétique lente, dont les conséquences pour la population concernée pourraient commencer à survenir aux alentours de 20h.

Indicateurs	Acquisition
nationalité (F1c)	questionnaire court en phase préliminaire
connaissances explicitées communes (F7a)	perception du système d'alerte (F9)
connaissances explicitées acquises (F7b)	perception du système d'alerte (F9)
perception du SA (F9)	étude en amont
degré d'interaction (F10a)	activité économique (F12d) et moment du jour (F15a)
degré de concentration (F10b)	activité économique (F12d) et moment du jour (F15a)
degré de mouvement (F10c)	activité économique (F12d) et moment du jour (F15a)
étendue de la zone (F12a)	questionnaire court en phase préliminaire
densité de la population (F12b)	questionnaire court en phase préliminaire
activité économique (F12d)	questionnaire court en phase préliminaire
niveau d'urbanisme (F12e)	questionnaire court en phase préliminaire
signaux visuels (F14a)	questionnaire court en phase préliminaire
signaux sonores (F14b)	questionnaire court en phase préliminaire
signaux olfactifs (F14c)	questionnaire court en phase préliminaire
moment du jour (F15a)	questionnaire court en phase préliminaire

Figure 5. Liste des indicateurs pertinents

L'inondation devrait s'étendre sur 1 km autour du point central, sur une zone principalement résidentielle, avec un niveau d'urbanisme important, et dont seulement des indicateurs visuels devraient être faiblement perceptibles avec la montée des eaux, les signaux sonores étant inexistant car nous supposons qu'il ne pleut pas sur la zone concernée par l'inondation. La densité de la population sur la zone est plutôt forte et une étude a été menée sur la perception du système d'alerte quelques mois avant l'inondation qui a révélé un niveau critique de la perception (très faible). La population sur la zone est principalement de nationalité française. Enfin, le degré d'interaction, le degré de concentration et le degré de mouvement peuvent être déduits du fait que sur une zone principalement résidentielle vers 20h les activités sont relativement familiales, nécessitant une faible concentration, un faible niveau de mouvement et un degré d'interaction plutôt fort.

La figure 5 présente les 15 indicateurs que nous avons retenus pour expérimenter notre mesure, accompagnés du mode d'acquisition possible pour fournir l'information est précisé pour chaque indicateur. Ces 15 indicateurs permettent d'apporter de l'information sur les facteurs suivants : état civil, connaissances explicitées, perception du système d'alerte, actions en cours, caractéristiques de la zone géographique, signaux perceptibles de la crise et caractéristiques de la période.

A chacun de ces indicateurs correspond une liste de valeurs possibles :

- nationalité (F1c) : majoritairement française, mixité, principalement étrangère ;
- connaissances communes (F7a) : nulles, faibles, moyennes, bonnes, très bonnes ;
- connaissances acquises (F7b) : nulles, faibles, moyennes, bonnes, très bonnes ;
- perception du système d'alerte (F9) : 1, 2, 3, 4, 5 ;
- degré d'interaction (F10a) : nul, faible, moyen, fort, très fort ;

Indicateurs	Valeurs	Rang	Niveau	Score	Postulats
nationalité (F1c)	majoritairement française	3	3	5	plus la population est étrangère plus il faut alerter
connaissances communes (F7a)	très faible	1	5	1	plus les connaissances communes sont fortes plus il faut alerter
connaissances acquises (F7b)	très faible	1	5	1	plus les connaissances acquises sont fortes plus il faut alerter
perception du SA (F9)	très faible	1	5	1	plus les la perception du SA est forte plus il faut alerter
degré d'interaction (F10a)	fort	4	5	4	plus le degré d'interaction est fort plus il faut alerter
degré de concentration (F10b)	faible	4	5	4	plus le degré de concentration est fort moins il faut alerter
degré de mouvement (F10c)	faible	4	5	4	plus le degré de mouvement est fort plus il faut alerter
étendue de la zone (F12a)	entre 500m et 2km	2	3	3	plus la zone est étendue moins il faut alerter
densité de la population (F12b)	forte	3	4	4	plus la zone est dense plus il faut alerter
activité économique (F12d)	zone résidentielle	4	4	5	dans une zone résidentielle à 20h il faut alerter
niveau d'urbanisme (F12e)	fort	3	4	4	plus le niveau d'urbanisme est important plus il faut alerter
signaux visuels (F14a)	faibles	2	4	2	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
signaux sonores (F14b)	nuls	1	4	1	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
signaux olfactifs (F14c)	nuls	1	4	1	plus les signaux sont forts plus il faut alerter
moment du jour (F15a)	entre 18h et 23h	5	6	5	quand les gens sont en pause ou chez eux il faut alerter

Figure 6. Liste des indicateurs et les scores associés à leurs valeurs

- degré de concentration (F10b) : nul, faible, moyen, fort, très fort ;
- degré de mouvement (F10c) : nul, faible, moyen, fort, très fort ;
- étendue de la zone (F12a) : moins de 500 mètres autour du point central, entre 500 mètres et 2 km, plus de 2 km ;
- densité de la population (F12b) : faible, moyenne, forte, très forte ;
- activité économique (F12d) : zone commerciale, zone industrielle, zone résidentielle, zone agricole ;
- niveau d'urbanisme (F12e) : faible, moyen, important, très important ;
- signaux visuels (F14a) : nuls, faiblement perceptibles, moyennement perceptibles, fortement perceptibles ;
- signaux sonores (F14b) : nuls, faiblement perceptibles, moyennement perceptibles, fortement perceptibles ;
- signaux olfactifs (F14c) : nuls, faiblement perceptibles, moyennement perceptibles, fortement perceptibles ;
- moment du jour (F15a) : entre 6h et 9h, entre 9h et 12h, entre 12h et 14h, entre 14h et 18h, entre 18h et 23h, entre 23h et 6h ;

Pour pouvoir agréger les données, nous les transformons ici en valeurs quantitatives, sur des échelles de 1 à 5, les scores, comme décrit précédemment. Les valeurs dans cet exemple sont présentées figure 6, où le rang correspond au niveau de la valeur de l'indicateur selon la liste des indicateurs qualitatifs présentés section 3.2.1, le niveau correspondant au nombre de valeurs existantes sur l'échelle qualitative et le score correspondant au rang ramené sur une échelle de 1 à 5 selon le postulat correspondant à l'indicateur.

Après agrégation des résultats de l'exemple du cas d'inondation selon la formule proposée, où l'utilité *util* correspond au terme de rang $\frac{n}{2}$, nous obtenons un score final de 4. Le terme de rang égal ou supérieur à 7,5 étant 4, comme le montre la figure 7.

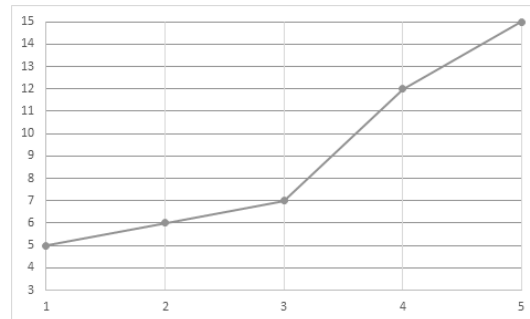


Figure 7. Fréquence cumulée des valeurs des différents indicateurs utilisés

La réponse apportée par notre proposition de mesure serait donc la suivante :

« L'alerte peut être donnée pour les raisons suivantes :

- nationalité majoritairement française,
- degré d'interaction fort,
- degré de concentration faible,
- degré de mouvement faible,
- densité forte de la population,
- zone résidentielle,
- niveau d'urbanisme fort,
- moment situé entre 18h et 23h ;

ou ne pas être donnée pour les raisons suivantes :

- très faibles connaissances communes,
- très faibles connaissances acquises,
- très faible perception du système d'alerte,
- signaux sonores nuls
- signaux olfactifs nuls ».

4. Conclusion et perspectives

Les systèmes d'alerte sont très fortement liés aux connaissances explicitées et tacites et aux actions des individus qui les constituent. Les réactions des populations notamment peuvent avoir une grande importance dans l'efficacité de l'alerte et les effets peuvent s'en faire ressentir à long terme. C'est pourquoi nous avons proposé dans cet article une mesure, illustrée de manière encore très théorique, qui permet de

proposer une aide à la décision d’alerter ou non les populations en situation de crise. Cette mesure pourrait selon nous être intégrée dans des systèmes d’alerte précoce pour participer à l’élaboration de la réponse à un risque connu sur un territoire déterminé. La méthode proposée nécessite la mobilisation d’un expert chargé du maintien de la base de données et la réalisation d’études sur les populations du territoire concerné par le système d’alerte, ainsi que l’appropriation des résultats d’expertise dans des décisions pour lesquelles les enjeux peuvent être considérables et impacter fortement un territoire donné.

La méthode présentée ici de manière expérimentale pour une première évaluation devra être validée par une analyse croisée entre experts du risque sur différents domaines. Il sera nécessaire dans de futurs travaux d’identifier les caractéristiques précises de l’alerte et de la réponse en fonction de la typologie des crises pour pouvoir sélectionner de manière appropriée les différents critères et facteurs ainsi que les moyens de les mesurer de façon adaptée. Il faudra veiller à travailler sur la récupération des données provenant de différentes sources dans un outil qui puisse être intégré en cellule de crise. Les postulats sur les valeurs des indicateurs doivent être validés et une pondération des différents indicateurs devra être définie. Nous envisageons également de réétudier la formule utilisée, au regard de ces différentes évolutions. Enfin, la méthode devra être validée et mise à l’épreuve du terrain, lors d’une inondation réelle ou d’un exercice organisé par une préfecture. A plus long terme, d’autres mesures complémentaires pourraient être proposées, par exemple sur l’aide à la détermination de zones pour lesquelles il y a besoin de sensibiliser des populations.

Bibliographie

- Adam C., Gaudou B. (2016). Modelling human behaviours in disasters from interviews: application to melbourne bushfires. In *Social simulation conference (ssc)*. Rome, Italy.
- Alcock J. (1989). *Animal behavior*. Sinauer Associates Sunderland.
- Angermann M., Guenther M., Wendlandt K. (2010). Communication architecture of an early warning system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, n° 11, p. 2215.
- Arduin P.-E., Grundstein M., Rosenthal-Sabroux C. (2015). *Système d’information et de connaissance*. ISTE Éditions.
- Arru M., Mayag B., Negre E. (2016). Early-warning system perception: a study on fire safety. In *13th international conference on information systems for crisis response and management*.
- Arru M., Negre E., Rosenthal-Sabroux C. (2017a). A representation of people behaviors in crisis situations. In *Kmiks: Knowledge management, information and knowledge systems*.
- Arru M., Negre E., Rosenthal-Sabroux C. (2017b). Towards a population behavior modeling in crisis situation. In, chap. coming, submitted to ISTE Editions.
- Bakker E. (2011). Early warning by ngos in conflict areas. *Math Noortmann and Bob Reinalda, editors, Bas Arts*, p. 263-277.

- Basher R. (2006). Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 364, n° 1845, p. 2167–2182.
- Buchanan-Smith M. (2000). Role of early warning systems in decision-making processes. *an Expert Group Meeting held September, ODI*, <http://www.odi.org.uk/resources/docs/4943.pdf>.
- Cacioppo J. T., Tassinary L. G. (1990). Inferring psychological significance from physiological signals. *American Psychologist*, vol. 45, n° 1, p. 16.
- Comes T. (2016). Cognitive biases in humanitarian sensemaking and decision-making lessons from field research. In *Cognitive methods in situation awareness and decision support (cogsima), 2016 ieee international multi-disciplinary conference on*, p. 56–62.
- Cooper J. O. H., Heward T. E., William L., Cooper J. O., Heron T. E., Heward W. L. (2007). *Applied behavior analysis* n° Sirsi) i9780131421134.
- Dauphiné A., Provitolo D. (2013). *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin.
- DGSCGC. (2013). *Guide orsec - alerte et information des populations*. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, Ministère de l'Intérieur.
- DKKV. (2010). *Emerging challenges for early warning systems in context of climate change and urbanization*. German Committee for Disaster Reduction (DKKV), Humanitarian & Development Network (HDN), Platform for the Promotion of Early Warning (UNISDR PPEW).
- Dupuy J.-P. (2003). *La panique*. Empêcheurs de penser en rond.
- Ekman P., Friesen W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, vol. 17, n° 2, p. 124.
- Goldstone R. L., Janssen M. A. (2005). Computational models of collective behavior. *Trends in cognitive sciences*, vol. 9, n° 9, p. 424–430.
- Granovetter M. (1978). Threshold models of collective behavior. *American journal of sociology*, p. 1420–1443.
- Hamon T., Fraisse A., Paroubek P., Zweigenbaum P., Grouin C. (2015). Analyse des émotions, sentiments et opinions exprimés dans les tweets: présentation et résultats de l'édition 2015 du défi fouille de texte (deft). *Actes de deft. Caen, France*.
- IFRC. (2013). *Community early warning systems : guiding principles*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- Johnson D., Levin S. (2009). The tragedy of cognition: psychological biases and environmental inaction. *Current science*, p. 1593–1603.
- Jondeau E. (2001). Le comportement mimétique sur les marchés de capitaux. *Bulletin de la Banque de France*, vol. 95.
- Kinateder M. T., Kuligowski E. D., Reneke P. A., Peacock R. D. (2015). Risk perception in fire evacuation behavior revisited: definitions, related concepts, and empirical evidence. *Fire Science Reviews*, vol. 4, n° 1, p. 1.
- Le Moigne J.-L. (1973). *Les systèmes d'information dans les organisations*. Presses universitaires de France.

- Maude A., Elsa N., Camille R., Michel G. (2016). Towards a responsible early-warning system: Knowledge implications in decision support design. In *Tenth IEEE international conference on research challenges in information science, RCIS june 1-3, 2016*, p. 1–12. Grenoble, France.
- Merleau-Ponty M. (1942). *La structure du comportement*. Presses Universitaires.
- Mileti D. S., Sorensen J. H. (1990). *Communication of emergency public warnings: A social science perspective and state-of-the-art assessment*. Rapport technique. Oak Ridge National Lab., TN (USA).
- Niebles J. C., Wang H., Fei-Fei L. (2008). Unsupervised learning of human action categories using spatial-temporal words. *International journal of computer vision*, vol. 79, n° 3, p. 299–318.
- Provitolo D., Dubos-Paillard E., Verdière N., Lanza V., Charrier R., Bertelle C. *et al.* (2015, Sep). Human behaviors in the face of disasters: from observing to conceptual and mathematical modeling. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*.
- Quansah J. E., Engel B., Rochon G. L. (2010). Early warning systems: a review. *Journal of Terrestrial Observation*, vol. 2, n° 2, p. 5.
- Reix R. (1980). *Informatique appliquée à la comptabilité et à la gestion*. Foucher.
- Rosenthal-Sabroux C. (1996). Contribution méthodologique à la conception de systèmes d'information coopératifs: prise en compte de la coopération homme/machine. *Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université Paris Dauphine, France*.
- Sillamy N. (1983). *Dictionnaire usuel de psychologie*. Bordas.
- Skinner B. F. (2008). *Science et comportement humain*. In Press.
- Solomon S., Weisbuch G., Arcangelis L. de, Jan N., Stauffer D. (2000). Social percolation models. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 277, n° 1, p. 239–247.
- Streufert S., Taylor E. A. (1971, August). *Objective risk levels and subjective risk perception*. Rapport technique n° 40. Purdue University and Group Psychology Programs, Office of Naval Research.
- Swithern S. (2014). *Global humanitarian assistance report 2014*. Rapport technique, Development Initiatives éd..
- Tina C., Brice M., Elsa N. (2015). Beyond early: Decision support for improved typhoon warning systems. In *12th proceedings of the international conference on information systems for crisis response and management, may 24-27, 2015*. Krystiansand, Norway.
- Toniolo A.-M. (2009). Le comportement: entre perception et action, un concept à réhabiliter. *L'Année psychologique*, vol. 109, n° 01, p. 155–193.
- United Nations. (2006). Global survey of early warning systems: An assessment of capacities, gaps and opportunities toward building a comprehensive global early warning system for all natural hazards. *Platform for the promotion of early warning (UNISDR—PPEW), UN: p*, vol. 46.
- Van Dyke Parunak H., Bisson R., Brueckner S., Matthews R., Sauter J. (2006). A model of emotions for situated agents. In *Proceedings of the fifth international joint conference on autonomous agents and multiagent systems*, p. 993–995.

- Waidyanatha N. (2009). Towards a typology of integrated functional early warning systems. *International Journal of Critical Infrastructures*, vol. 6, n° 1, p. 31–51.
- Wooten L. P., James E. H. (2008). Linking crisis management and leadership competencies: The role of human resource development. *Advances in Developing Human Resources*, vol. 10, n° 3, p. 352–379.
- Zoumpoulaki A., Avradinis N., Vosinakis S. (2010). A multi-agent simulation framework for emergency evacuations incorporating personality and emotions. In *Hellenic conference on artificial intelligence*, p. 423–428.

