

L'alerte aux crues rapides en France: Compréhension et évaluation d'un processus en mutation

Johnny Douvinet

▶ **To cite this version:**

Johnny Douvinet. L'alerte aux crues rapides en France: Compréhension et évaluation d'un processus en mutation. Géographie. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2018. ⟨tel-02502482⟩

HAL Id: tel-02502482

https://hal.science/tel-02502482v1

Submitted on 9 Mar 2020

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

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



HAL Authorization

Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
Département de géographie, UFR-ip Sciences Humaines et Sociales
ECOLE DOCTORALE ED537 – Culture et patrimoines
Unité Mixte de Recherche (UMR) ESPACE 7300 CNRS

Habilitation à Diriger des Recherches (HDR)

Soutenue publiquement à Avignon le 23 novembre 2018, et présentée par

Johnny Douvinet

Alerter la population face aux crues rapides en France : compréhension et évaluation d'un processus en mutation

Volume 1 – Volume scientifique inédit



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

MEMBRES du JURY

ARNAUD-FASSETTA Gilles	Professeur des Universités UMR PRODIG, Univ. Paris 7 Diderot *(Rapporteur externe)*
DELAHAYE Daniel	Professeur des Universités, UMR LETG CNRS, Univ. Caen Normandie *(Examinateur)*
JOSSELIN Didier	Directeur de Recherches, UMR ESPACE CNRS, Univ. Avignon (*Rapporteur interne*)
KERZAZI Karim	Chef du bureau Alerte / Sensibilisation / Education des publics (DGSCGC) *(invité)*
LLASAT-BOTIJA Maria Carmen	Professeur, Université de Barcelone, Espagne (*Rapporteure externe*)
REGHEZZA-ZITT Magali	Maître de Conférences HDR, UMR LGP, ENS (*Examinatrice*)
SERRA LLOBET Anna	Directrice de l'Institut des Sciences internationales, Univ. Berkeley, USA (*invité*)
VINET Freddy	Professeur des Universités, UMR IRD GRED, Univ. Montpellier III *(Garant)*

A

Katily
Clélia et Soline

Sommaire du Volume 1

Justification de la structure de ce volume 3
Avant-propos 5
Remerciements 13
Liste des principaux sigles et acronymes 17

Éléments de contexte et motivations 19

Partie I.
Un processus « complexe » à évaluer à différentes échelles 29

Introduction de la partie I 30
Chapitre 1. Alerter la population : une décision soumise à de nombreuses contraintes 31
Chapitre 2. Les crues rapides : des aléas aux seuils de fonctionnement incertains 49
Chapitre 3. Une politique préventive contre-productive 67
Synthèse et perspectives de recherche 87

Partie II.
Des outils d'alerte pluriels et non coordonnés en France 91

Introduction de la partie II 92
Chapitre 4. L'alerte institutionnelle : des dispositifs en phase de modernisation 93
Chapitre 5. Les applications smartphones : des solutions à promouvoir 111
Chapitre 6. Les réseaux sociaux numériques : des médias à ne plus ignorer 127
Synthèse et perspectives de recherche 145

Partie III.
Penser l'alerte différemment 149

Introduction de la partie III 150
Chapitre 7. Regarder ailleurs pour impulser une dynamique de changement 151
Chapitre 8. Rationaliser l'offre pour en optimiser les effets 175
Chapitre 9. Alerter tout le monde : un objectif impossible 195
Synthèse et perspectives de recherche 211

Conclusion générale 215

Références bibliographiques 223
Liste des figures et des tableaux par chapitres 245
Table des matières 249

Justification de la structure de ce volume 1

Ce **Volume 1**, désigné sous le titre « *Volume scientifique inédit* », correspond à une réflexion distanciée sur mes recherches, qui permet l'énonciation d'un projet mettant en perspective les travaux que je mène depuis une dizaine d'années sur les crues rapides et les problèmes de temporalité auquel le processus d'alerte doit faire face. Il s'agit non seulement de montrer comment ces travaux s'insèrent dans le domaine de la géographie et comment ils apportent un regard différent par rapport à d'autres sciences, mais aussi de justifier certains choix opérés depuis mon recrutement à Avignon en 2009, en tant que Maître de Conférences. Les autres informations plus factuelles, renvoyant aux autres facettes de notre métier d'enseignant-chercheur, sont compilées dans le **Volume 2.**

L'avant-propos synthétise les bifurcations opérées au cours de ma carrière et les évolutions qui sont survenues depuis l'obtention de mon doctorat (2008), jusqu'à aujourd'hui (2018). C'est aussi une façon, pour moi, d'éclairer le lecteur sur le choix de la thématique de ce volume scientifique inédit.

L'introduction générale (**Éléments de contexte et motivations**) est l'occasion de préciser le sens que nous allons donner à l'alerte, et de positionner mes recherches face aux enjeux sociétaux, opérationnels et scientifiques, qui gravitent autour du risque induit par les crues rapides, aléas violents et dommageables en France. Il s'agit aussi de présenter les éléments de problématique, et d'expliciter les choix méthodologiques et les objectifs dans ce volume.

La **partie I** propose de montrer que l'alerte aux crues rapides est un processus « complexe », avec des degrés de complexité à évaluer à différents niveaux d'observation. Différentes contraintes, comme le primat politique sur la prise de décision, les incertitudes sur les seuils de rupture et sur les seuils de fonctionnement des crues rapides, ou les défaillances des politiques préventives menées en dehors de la crise, empêchent les autorités d'avoir une décision facile à mettre en œuvre, en particulier dans un temps restreint, et ces facteurs de blocage semblent incompatibles avec la binarité de l'alerte.

La **partie II** propose d'évaluer l'efficacité des outils d'alerte existants en France, en soulignant les avantages et les limites de l'offre actuelle. Cette partie renvoie à des problèmes méthodologiques (comment évaluer et comment dépasser des indicateurs globaux peu lisibles ?) et une grille d'analyse intégrant de nouveaux indicateurs, prenant en compte la portée spatiale du signal d'alerte, sa rapidité de diffusion, sa capacité à toucher de manière indifférenciée toutes les catégories de population, sa compréhension de la part des populations, est testée et expérimentée. La compatibilité de la prise de décision, qui répond à une logique binaire du *« tout ou rien »,* est questionnée par rapport à la cinétique des crues rapides, et plusieurs pistes d'améliorations à moyen terme sont proposées.

La **partie III** propose d'élargir le spectre d'analyse, en regardant ce qui se fait ailleurs (face à d'autres aléas ou dans d'autres pays) et en expérimentant des approches différentes (rationalisation de l'offre et ajustement aux besoins des populations). Il s'agit de voir si on peut alerter les populations autrement et penser différemment, pour mieux adapter les moyens aux « territoires d'alerte », et si on peut optimiser l'offre actuelle. Cette partie amène à identifier un certain nombre de principes (comme une meilleur coordination entre les outils, en dépassant une vision isotropique, une plus grande équité entre les populations, etc.), sur lesquels pourrait s'appuyer la refonte du processus dans sa globalité.

La **conclusion générale** amène le débat sur l'importance des choix politiques et économiques qui conditionnent l'offre en matière d'alerte, et sur le poids des ancrages culturels qui prévalent sur les comportements attendus de la part des autorités et des individus concernés. Dans un monde où les dangers se diversifient de plus en plus, où l'infobésité est une réalité quotidienne et où les innovations technologiques tendent à devenir plus sociales, un défi majeur s'impose pour les sociétés de demain : « Comment et par quel canal voulons-nous être alertés ? »

Avant-propos

H.D.R. : 3 lettres qui me donnent l'occasion de réfléchir à ma pratique et qui sonnent comme un **jalon supplémentaire** dans la carrière d'un enseignant-chercheur. Mais ce n'est pas un exercice facile à finaliser, car, contrairement à la thèse, nous ne pouvons pas y consacrer tout notre temps, et moi aussi, j'ai dû faire face à des lignes insatisfaisantes et à des changements de plan incessants.

* * *

Je voudrais rappeler dès à présent quelques éléments liés à ma carrière professionnelle pour expliquer le sujet de ce volume 1. Mes 14 années de carrière (si l'on y inclut les recherches doctorales) ont fait l'objet de **diverses bifurcations**, opérées depuis ma formation initiale en géographie physique et environnementale au laboratoire GEOPHEN (Université Caen Normandie), entre 2004 et 2008, et suite à mon arrivée au laboratoire ESPACE (Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse) en 2009.

Mes recherches se sont initialement structurées autour des **risques hydro-climatiques**, et en particulier sur les risques générés par des crues rapides dans le nord de la France, sous l'angle de l'analyse spatiale et la théorie des systèmes complexes, pour mettre en évidence les jeux d'échelle et le poids des interactions entre différentes variables environnementales. J'ai hérité de ma formation au sein du laboratoire GEOPHEN une certaine culture de la maîtrise méthodologique, notamment sur les outils de simulation, en lien avec les expérimentations empiriques. Depuis mon arrivée au laboratoire ESPACE (2009), j'ai travaillé différemment ou sur de nouvelles thématiques, ce qui s'explique par **1)** un rattachement aux axes identitaires de l'établissement (en particulier l'axe « *Culture, patrimoine et sociétés numériques »*), **2)** de plus faibles moyens matériels à ma disposition (équipements, outils de mesure), **3)** des collaborations pluridisciplinaires, que ce soit vers les sciences « dures » (hydrologie, hydrogéologie, informatique) ou les sciences humaines et sociales (psychologie, sciences politiques).

Mes recherches sont restées fidèles à une géographie appliquée et opérationnelle, mais elles se sont orientées vers de nouveaux horizons, en particulier vers les innovations technologiques et sociales (applications smartphones et réseaux sociaux numériques). Si mes travaux me semblaient hétéroclites à première vue, ils ont finalement des points communs, et mon itinéraire peut se regrouper autour de trois axes : la simulation comme outils d'expérimentations, la réglementation comme support d'analyse des risques, et les outils numériques comme catalyseurs d'innovations.

* * *

Le premier axe de rattachement de mes travaux est lié à ma formation initiale et à ma première immersion dans le monde de la recherche. Mon mémoire de maîtrise (2003) mené sous la co-direction de J.-M. Cador et L. Lespez à l'Université Caen Normandie, a eu pour objectif de réaliser un diagnostic hydro-morphologique sur un cours d'eau à dynamique lente, l'amont du bassin versant de la Seulles (120 km^2). Ce mémoire m'a permis de concilier les observations de terrain aux outils de numérisation, d'autant plus qu'un stage de 2 mois mené au sein du bureau d'études (*Alise Environnement*) m'aura vite conforté dans ce choix : ma mission était de réaliser un diagnostic de l'état des cours d'eau, sur un linéaire de 5 km par jour, mais je n'ai pas participé à l'analyse des résultats obtenus sur le terrain… Cette année fut l'occasion de manipuler mes premiers logiciels géomatiques (*ArcView 3.1*. à l'époque) et les liens entre plusieurs indicateurs (nature du fond du lit, de la ripisylve, dégradation des berges et forme des incisions) ont confirmé le rôle des dynamiques hydro-géomorphologiques à une échelle fine (sur des tronçons de 100 mètres) et à une plus large échelle (affluent d'ordres 2 et 3). Si les traitements réalisés ont manqué de rigueur et de précisions, le suivi des cours d'eau à dynamique lente est depuis devenu un sujet de recherche structurant au sein du laboratoire GEOPHEN, et dont on a longtemps considéré le manque d'intérêt. De cette immersion dans la recherche, il me reste le goût des mesures hydro-géomorphologiques et des investigations de terrain, qui va se poursuivre en DEA et qui reste encore aujourd'hui présent dans mes approches, puisque j'ai participé (autant de fois que possible) à divers retours d'expérience organisés après la survenue de crues rapides dramatiques dans le sud-est de la France (Draguignan en 2010, Lamalou-les-Bains en 2014, Cannes en 2015).

L'année du DEA (2004) revêt, elle aussi, un caractère particulier, à double titre. Le sujet choisi au départ portait sur le diagnostic hydro-géomorphologique, pour venir en appui à la cartographie des zones inondables. Ce sujet intéressait la DREAL Basse-Normandie mais le sujet se limitait rapidement à des traitements purement géomatiques. En février 2004, D. Delahaye, arrivé en tant que Professeur des Universités depuis septembre 2003, m'a proposé de travailler sur les crues rapides se manifestant en Seine-Maritime, et de poursuivre dans l'esprit de ses travaux de modélisation qui constituaient une des pistes de recherches de son HDR, soutenue en 2002. En parallèle, D. Delahaye avait déposé une demande de financement pour une *Action Concertée Incitative (ACI)* "Systèmes Complexes en SHS", dont nous avons eu des nouvelles positives fin août 2004, ce qui a permis de financer mes recherches doctorales. L'idée du projet était de mesurer le poids des interactions entre les composantes humaines (utilisation du sol, localisation du bâti, organisation spatiale des routes) et environnementales (pluie, morphologie du bassin, occupation du sol), et de quantifier le rôle des échelles spatiales et temporelles qui anime la dynamique de la réponse hydrologique. Ce sujet me semblait d'autant plus intéressant qu'une crue rapide était survenue dans les environs de Trouville (Calvados) le 1er juin 2003. De cette deuxième immersion dans le monde de la recherche, il me reste le goût pour les simulations en lien avec les observations *in situ* : les « va-et-vient » incessants entre le réel et le virtuel s'autoalimentant et ils contribuent ensemble à faire avancer la réflexion, pas à pas.

Les recherches doctorales conduites entre 2004 et 2008 ont ensuite donné un très net élan à la place accordée aux simulations et aux **outils d'expérimentations spatiales** qui se révèlent être de formidables outils d'investigation (Delahaye, 2002). Même si les indices morphométriques classiques tentent de chercher des lois universelles (compacité, homothétie ou distribution aléatoire des biefs), les simulations vont au contraire nous aider à traquer les « anomalies » morphologiques explicatives d'un comportement hydrologique atypique et ce, en tout point de l'espace. Cet objectif a été atteint en faisant appel à la théorie des systèmes complexes et en utilisant un automate conçu par P. Langlois et D. Delahaye : *RuiCells©*. En faisant interagir les effets liés à la forme d'un bassin (surface, réseau) avec les effets de pente (volume), et en passant d'un niveau local (cellulaire) à un niveau plus agrégé (bassin), la construction spatiale de la réponse hydrologique est plus facile à appréhender. Et plus que la taille des bassins, ce sont les connexions entre les surfaces et les réseaux, et la distance des sous-bassins par rapport à l'exutoire qui conditionnent l'efficacité de la réponse hydrologique (Douvinet *et al.*, 2008 ; Delahaye *et al.,* 2010 ; Douvinet *et al.,* 2013).

Les travaux de thèse ont par ailleurs montré que les interactions entre la taille du bassin, son efficacité morphologique et les volumes produits sont largement modulées par d'autres paramètres, en particulier l'intensité des pluies, la distribution des surfaces ruisselantes, l'implantation du réseau routier ou la présence de surfaces infiltrantes dans les fonds de talwegs. En intégrant une à une les variables dans la simulation, nous avons pu quantifier les effets des interactions entre composantes, et même identifié des seuils de déclenchement et de prédisposition à partir desquels les phénomènes pouvaient émerger. Nous avons aussi pallié l'absence de données au sein de bassins de petite taille, souvent non jaugées, puis testé des jeux de paramètres différents (coefficients de ruissellement, refus d'infiltration) sans passer par des protocoles d'expérimentation, plus coûteux et fastidieux à mettre en place, et dont les résultats sont difficilement transposables à d'autres sites.

Le recours à la simulation est donc un premier axe fort des travaux que je mène depuis 2004. Ces outils d'expérimentation permettent de détecter l'émergence de processus spatiaux complexes, dont la dynamique est le résultat des interactions entre plusieurs composantes environnementales et qui opèrent entre différents niveaux d'observation (allant du processus localisé jusqu'à une échelle plus large). Ces outils permettent également de comprendre la complexité des phénomènes étudiés, le ruissellement de surface étant « complexe » à cause de facteurs internes (diversité des processus en jeu) et externes (intensité des pluies, rôle des états de surface, érodabilité du sol) qui ne cessent d'interagir dans le temps et dans l'espace. Ces outils offrent par ailleurs l'avantage de mettre en place des laboratoires virtuels sans passer par des protocoles d'observations plus lourd et coûteux, et de faire un lien entre des observations empiriques et des hypothèses de fonctionnement. Ces modèles simplifiés sont imparfaits, mais l'utilisateur maîtrise les données d'entrée et de sortie et il ne travaille

pas avec des modèles de type « boîte noire ». Même si ces outils ont certains inconvénients (règles déterministes, résultats sensibles aux conditions initiales et à la résolution des données injectées), ils ont néanmoins contribué à inscrire l'analyse spatiale dans le domaine de la géographie physique et environnementale à partir des années 1990, et ils sont adéquats pour le suivi de processus rapides, éphémères et spatialisés. Leur potentiel est loin d'être épuisé, et nous avons depuis 2009 donné une coloration plus opérationnelle à toutes ces expérimentations.

* * *

Le deuxième axe de rattachement de mes travaux (analyser les impacts de la réglementation sur les risques en France) s'est également dégagé durant mes recherches doctorales. Au départ, nous avons voulu utiliser les reconnaissances en état de « catastrophe naturelle » pour localiser les crues rapides survenues sur la période 1982-2005 dans le nord du Bassin parisien. L'idée était de travailler directement sur la sinistralité puisque les reconnaissances sont liées à des phénomènes directement dommageables pour les sociétés (Pigeon, 2002). Cependant, l'exploitation de la base CatNat (appelée GASPAR) s'est révélé insatisfaisante car le manque de scientificité des critères retenus, les aspects politiques de la prise de décision, l'absence de prise en compte du coût des sinistres et une catégorie finalement « fourre-tout » (« inondations et coulées de boue ») réduisent fortement les possibilités de traitement. Nous avons alors été amenés à faire une analyse « critique » de telles données, durant la thèse (Douvinet, 2006, 2009) mais aussi après (Douvinet et Vinet, 2012b).

L'analyse des risques sous l'angle des réglementations s'est poursuivie depuis mon arrivée en 2009 à Avignon. En regardant la mise en place (ou non) de documents soumis à obligation pour de nombreuses communes, tels que le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI), le Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs (DICRIM) ou le Plan Communal de Sauvegarde (PCS), l'objectif était de mieux comprendre l'origine et la nature des décalages qui semblaient exister entre l'injonction réglementaire définie à l'échelle nationale, et les réalités terrain. Ces travaux m'ont conduit à travailler avec des géographes d'autres universités (S. Defossez, F. Vinet Montpellier III ; C. Lutoff, Grenoble, P. Texier, Lyon III), avec des aménageurs (S. Rode, Perpignan ; M. Gralepois et S. Servain, Tours), des juristes (A.-S. Denolle, Caen), et de nombreux acteurs de secours (B. Anselle, SDIS Isère, C. Gérard et B. Lorenzo, SDIS Vaucluse, J.C. Biscai, A. Demontis, Entente Valabre).

L'application de ces injonctions nous semble finalement délicate car les enjeux économiques et sociaux prévalent de manière bien plus importante. Les assouplissements ou les ajustements en sont le résultat, et même s'ils sont régulièrement mis en avant lors des catastrophes, les postures ne changent pas pour autant, notamment par les politiques. De telles dérives vont perdurer, quelle que soit l'ampleur des conséquences attendues du changement climatique. De son côté, l'État prend trop de décisions dans l'urgence et au « coup par coup », et il publie des rapports vite oubliés et parfois non lus, sans proposer une vision prospective à très long terme. Quant aux individus, ils constituent une réalité sociale minorée (Gisclard, 2017) : si les documents d'information ou de sensibilisation sont nombreux, peu d'études sont menées sur leur réelle appropriation et sur leur utilisation en temps de crise. Les humains sont perçus comme des êtres rationnels, capables d'agir en toute sérénité durant une crise, et on les incrimine pour leurs comportements « inadaptés » (à quoi d'ailleurs ?) et pour leur capacité déconcertante à faire des erreurs, ce qui revient toutefois à négliger les biais cognitifs qui prennent le pas sur toute autre réaction au cours d'un événement grave (Wilson, 2014 ; Weiss *et al.,* 2017). Ce constat n'est pas partagé par tous, mais une chose est certaine : il est vain de multiplier les procédures et les documents pour les individus si on ne veut pas qu'ils soient au cœur du processus, et qu'ils soient responsables de leur propre sécurité (ce que rappelle pourtant la loi de Modernisation de la Sécurité Civile de 2004).

* * *

Le troisième axe de rattachement de mes travaux (les outils numériques comme catalyseurs d'innovations) est plus récent. Depuis mon recrutement à Avignon, j'ai eu l'occasion de monter divers projets et de travailler sur certaines solutions (applications smartphone, réseaux sociaux numériques,

réseaux opportunistes) et sur leurs usages, potentiels ou réels. Si cette orientation de recherche est plus liée à une opportunité contextuelle au départ (dépôt en 2010 d'un EQUIPEX porté par D. Josselin, et financement de 2 projets par la FR *Agorantic* en 2011 et 2012), elle s'est progressivement renforcée (thèse de Jules Kouadio sur les smartphones de 2012 et 2016, thèse de Béatrice Gisclard de 2014 à 2017 sur l'innovation sociale territorialisée ; thèse en cours commencée en 2017 par Esteban Bopp sur l'alerte multi-aléas à l'ère de *l'Internet des Objets*). Elle a aussi pris une place omniprésente car je pilote un projet européen (POIA) avec du fonds FEDER de 2017 à 2020 sur cette thématique. Je fais par ailleurs partie du groupe de travail *Médias et Risques* de l'AFPCN (*Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles*), et j'ai intégré un comité de pilotage des projets RDT sur ce même axe. Plusieurs disciplines connexes (informatique, psychologie environnementale, hydraulique) ont été mobilisées pour compléter mon approche géographique, et ma sensibilité à la pluridisciplinarité (initié dans l'ACI *Systèmes complexes en SHS*) a contribué à l'enrichissement des résultats obtenus.

Nos recherches se sont tout d'abord orientées vers les technologies smartphones, définies par *l'Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) comme étant des téléphones mobiles dotés de fonctions similaires à celles que l'on retrouve sur un ordinateur personnel, et qui sont capables d'interagir avec d'autres systèmes informatiques. Eu égard au nombre croissant d'utilisateurs (plus de 37 millions de Français en 2017, contre moins 11 millions en 2011) et des possibilités offertes (connectivité, applications personnalisées), ces solutions sont une piste intéressante à explorer, sur laquelle différents chercheurs, rattachés à différentes disciplines, se sont d'ailleurs penchés au cours des dix dernières années. À la suite de ces premières initiatives, une autre étude a été initiée pour savoir si on pouvait pallier la coupure ou la saturation des réseaux de communication *via* des solutions autonomes, en particulier en créant un réseau opportuniste (appelé DTN, ou *Delay Tolerant Network*). Cette solution offre l'avantage de constituer un réseau « pair à pair » entre les smartphones (Zhuang, 2013) sans avoir un nœud central. Nous avons aussi questionné les Réseaux Sociaux Numériques (RSN) car les smartphones facilitent l'accès au Web par ces plateformes, qui sont désormais les plus utilisées par les internautes : plus de 35 % des Français s'y connectent une fois par jour (Agence du numérique, 2017).

Ces technologies ont ouvert de nombreuses perspectives d'un point de vue technologique, et leurs apports en cas de catastrophes naturelles sont devenus évidents (Hun *et al.,* 2016). Toutefois, leur potentiel doit être évalué pour ne pas être surestimé, et il faut donc trouver des moyens pour en mesurer l'opérationnalité et l'utilité, que ce soit en temps réel (durant une alerte par exemple) ou dans le cycle de prévention (au quotidien). Ces innovations resteront caduques si elles ne se traduisent pas par une appropriation sociale, et divers exemples l'ont montré par le passé. Le premier smartphone (*Simon*©), développé en 1992 par *Nokia*®, a fait l'objet d'un véritable échec commercial, et il a fallu attendre 4 ans pour que ce marché se développe avec le *Communicator*, plus ergonomique et plus simple à utiliser. On peut également citer le *Newton* d'Apple, assistant personnel lancé en 1993 puis retiré sous les railleries en 1998, avant de réapparaître dans une version très améliorée sous le nom *d'Iphone* en 2007. Selon B. Dallas, sémioticien au sein de *l'Institut Acte*, 7 à 9 innovations sur 10 sont des échecs (ou « flops ») car elles n'ont pas rencontré leur « public ». B. Dallas préfère d'ailleurs parler d'essais à transformer pour connaître le succès, et rappelle que l'on condamne trop durement l'échec en France, ce qui rend les ingénieurs frileux à la moindre prise de risque…

* * *

Ces trois axes de recherche regroupent la plupart des travaux que je mène depuis 2004, et ils traduisent la diversité des méthodes et des questionnements (qui restent néanmoins géographiques), une ouverture à l'interdisciplinarité (aux bénéfices déjà éprouvés durant mes travaux de thèse), une interface continue entre la recherche-action et l'opérationnalité des dispositifs (existants ou à inventer), tout en étant centrés sur la thématique des crues rapides. Si j'avais l'impression que tous mes travaux allaient dans de multiples directions, la rédaction de cet avant-propos m'a toutefois permis de dégager, plus que des divergences, beaucoup de complémentarités et d'interactions entre eux.

Cette mise en contexte m'a aussi conforté dans le thème de ce volume 1, qui a principalement pour objectif de comprendre et de mesurer l'efficacité d'un processus (l'alerte) face à l'indétermination

spatio-temporelle d'aléas spécifiques (les crues rapides). A l'heure où j'écris ces quelques lignes, les événements survenus en France depuis janvier 2018, notamment le passage de la tempête *Eléanor* (4 janvier), les cumuls records de neige (jusqu'à 7 m), les mesures d'évacuation préventive appliquées dans plusieurs massifs alpins (8 janvier à Val d'Isère, 24 janvier à Chamonix), ou les crues dans le bassin de la Seine (à partir du 23 janvier), qui surviennent deux ans à peine après celles de début juin 2016, me confortent aussi dans un certain nombre d'interrogations : Pourquoi parler d'alerte (orange, rouge) pour informer la population face à des aléas hydro-climatiques, alors que les moyens d'alerte ne sont utilisés qu'en cas de danger réel et qu'il s'agit au contraire de bulletins de mise en vigilance ? Comment expliquer que des individus décèdent encore en 2018 en France alors que de très nombreux efforts ont été faits pour expliquer la conduite à avoir face à de tels phénomènes ? Pourquoi accuser de façon récurrente le changement climatique, alors que les risques sont des produits sociaux ? Par ailleurs, comment expliquer que certaines vidéos, montrant des voitures circulant en bordure de littoral face à des vagues de trois mètres, ou des personnes faisant du kayak durant une inondation, fassent le « buzz », alors que ces actes traduisent une appréciation erronée de la dangerosité de la situation ?

Un incident vécu personnellement en 2017 m'a aussi beaucoup questionné (**exemple 1**).

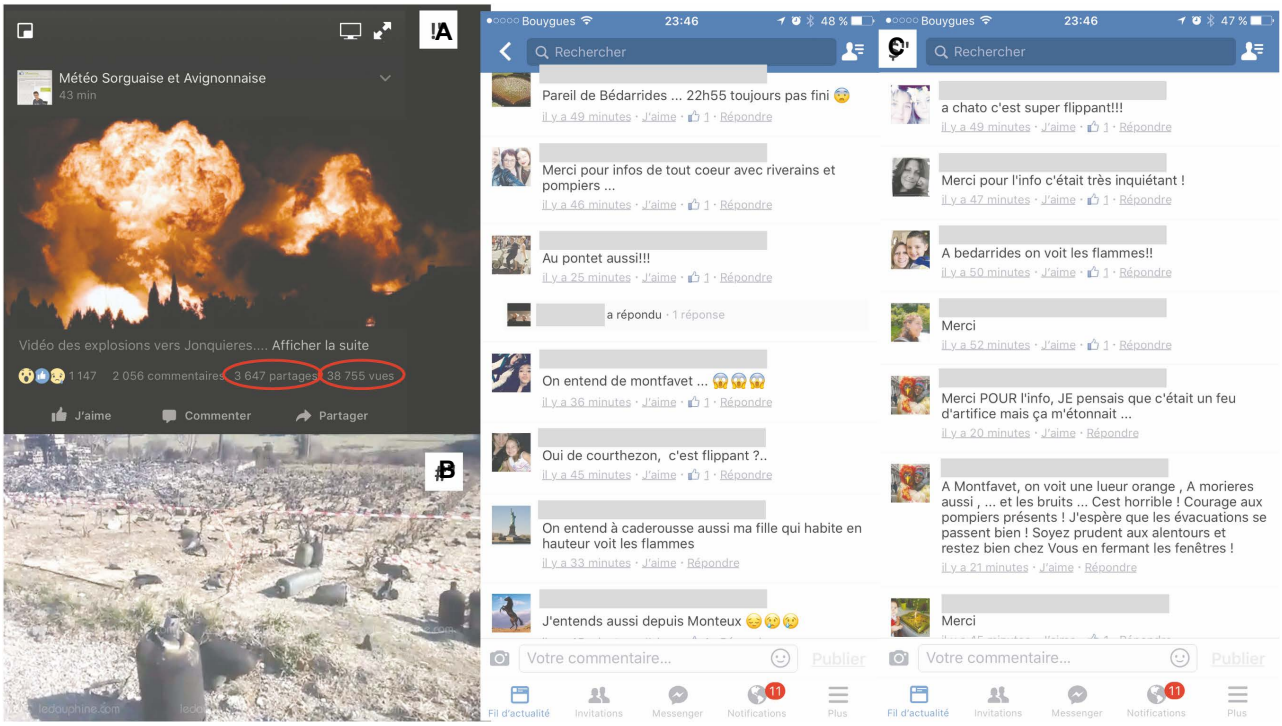


Figure 1. A) Photo extraite de la vidéo en ligne consultée à 23h21 ; B) Photo prise sur le site le lundi 20 février 2017 à 9h, après ouverture du périmètre de sécurité ; C) Messages relayés sur *Facebook*© le soir de l'incident

EXEMPLE 1. Le soir du vendredi 17 février 2017, vers 22h30, j'entends depuis ma maison (située à Sauveterre, dans le Gard) des explosions et je pense au départ à un feu d'artifices. Mais les bruits sont assez assourdissants et les murs de ma maison « tremblent ». Mes deux filles sont même réveillées, en pleurs, et je leur dis (en me persuadant moi-même du mieux possible) que tout va bien. Vers 23h, ma femme rentre d'une de ses rares soirées « entre copines », et elle voit ma tête « déconfite ». Elle me demande ce qui se passe mais je n'ai guère d'explications à lui fournir. Je lui montre simplement les lumières orangées que nous discernons dans le ciel, au loin, derrière le Rhône. Je décide ensuite (vers 23h10) de regarder les chaînes télévisées, mais rien ne semble anormal. De son côté, ma femme cherche d'éventuelles informations sur *Facebook* et à 23h21, elle me montre une vidéo relayée par le compte *Météo-Sorguaise* (un compte que nous suivons pour la qualité des informations associés aux prévisions climatiques). Nous comprenons alors ce qui se passe : des bonbonnes de gaz explosent sur un site d'entrepôt à Jonquières (**figure 1**), pourtant situé à plus de 25km à vol d'oiseau de notre maison… Nous montrons la vidéo à nos filles qui arrivent à se rendormir, et je retourne sur *Facebook* pour suivre le fil des commentaires : beaucoup de personnes font part de leur ressenti, confirment entendre ces explosions à des dizaines de kilomètres aux alentours, ont une pensée pour les secours en pleine intervention ou proposent même

d'apporter leur aide. A 23h52, soit environ 30 minutes après son dépôt, la vidéo a été regardée plus de 38 000 fois et partagée plus de 3 600 fois ! Les médias nationaux évoquent de leur côté l'explosion à partir de 00h30, dans le fil des actualités en flux RSS. Aucun message ne sera en revanche diffusé par les autorités. Le hasard des calendriers fait que j'ai rendez-vous au SIDPC du département du Vaucluse le lundi suivant (20 février) pour préparer un exercice cadre associé à l'activation du Plan Particulier d'Intervention (PPI) à la CAPL de Sorgues. Mon interlocuteur me confirme que le Sous-Préfet de Carpentras n'a pas jugé nécessaire d'activer les sirènes ni d'informer la population, la situation ayant été circonscrite sur place à 23h30…

D'autres faits observés au début de l'année 2018, à une échelle mondiale, m'ont aussi motivé dans la rédaction de ce volume 1 :

1) le 12 janvier 2018, la presse annonce que les sirènes communales (570) et les sirènes SEVESO (281) ne seront plus entretenues en Belgique, suite à un décret royal pris en décembre 2017. L'alerte sera désormais déployés par appel vocal, SMS ou e-mail, et ces moyens seront intégrés dans une plateforme unique, nommée *Be-Alert©,* qui couvre en juin 2018 et qui a été développée suite aux attentats de juillet 2015 à Bruxelles ;

2) le 14 janvier 2018, les habitants de l'archipel d'Hawaï ont reçu un message d'alerte sur leur téléphone (*via* le système déployé par *Amber*®) pour les prévenir de l'arrivée imminente d'un missile balistique à 8h, heures locales, avec la mention *« Ce n'est pas un exercice ».* Si les rapports qui ont suivi ont imputé l'envoi d'un tel message à une *« personne qui a appuyé sur le mauvais bouton* », il est surtout inquiétant de savoir que les autorités ont mis plus de 42 minutes pour démentir une telle information, d'autant plus que pendant ce laps de temps, certains habitants ont paniqué (quelques étudiants de l'université à Manoa), tandis que d'autres ont cherché, désespérément, à rejoindre des zones de mises à l'abri (inconnues ou inexistantes) ;

3) le 22 janvier 2018, un séisme de magnitude 7,6 a été enregistré au large de la côte sud du Canada et face à la survenue probable d'un tsunami, les sirènes ont été déclenchées, notamment à Kodiac (Colombie-Britannique). Les médias ont aussi relaté les consignes de sécurité toute la journée, et aucun blessé n'a été recensé. Si le tsunami n'a finalement pas été observé sur les côtes, que dire des consignes préventives qui ont toutefois été partiellement appliquées ?

Au final, tous ces exemples démontrent la nécessité d'associer la prévention et l'alerte, et que l'information à la population est une étape vitale. **Mais un dilemme se pose rapidement** : à partir de quand déclenche t'on l'alerte, et est-ce qu'il faut informer la population, même pour des événements maîtrisés par la sécurité civile, alors que le danger sur leur intégrité physique est bien réel ?

Remerciements

Expression personnelle d'interactions multiples, ce manuscrit (comme une thèse) n'est pas le résultat d'une seule démarche individuelle. Bien au contraire ! Aussi, qu'il me soit permis, en quelques mots, d'exprimer ma profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui m'ont apporté, de près ou de loin, soutiens et conseils tout au long de ce travail.

Dès à présent, je tiens à remercier toutes les personnes avec qui j'ai pu échangé en 2017 sur la thématique de cette H.D.R. Ce sujet n'est pas nouveau, bien au contraire, mais qu'il est nécessaire de faire évoluer les outils actuels et qu'il est important de contribuer à les faire évoluer ! Ces quelques mots s'adressent tout particulièrement à certains collègues (E. Bonnet, E. Cossart, S. Costa, C. Genre-Grandpierre, D. Grancher, M. Madelin, E. Daudé, I. Ruin) et à divers acteurs opérationnels impliqués dans la gestion de crise (G. Martin, A. Palletti, A. Grangeat, A. Lacroix, A. Gaucherand). Ensemble, vous avez réussi à me convaincre de me lancer dans la rédaction de ce volume. D'autres personnes m'ont orienté vers des thématiques et des disciplines nouvelles depuis mon arrivée à Avignon en 2009 et ils ont contribué à enrichir « nos » réflexions. Ce possessif renvoie à la 1ère personne du pluriel car je ne voudrais pas m'attribuer, à moi seul, la primeur de ces idées. Ceux qui me connaissent savent d'ailleurs à quel point j'attache une grande importance à l'esprit collaboratif et participatif…

Je voudrais également exprimer ma profonde gratitude à F. Vinet, Professeur des Universités à Montpellier III, qui a très vite accepté de m'accompagner dans cette aventure et de se porter garant de cette H.D.R., et qui m'a beaucoup conseillé dans la structure de ce volume inédit. Les discussions que nous avons eues, par téléphone puis à l'occasion de plusieurs réunions à Montpellier, m'ont forcé à enrichir mes idées et en explorer de nouvelles, même si, parfois, j'ai eu l'impression de me relancer dans des travaux dignes d'une thèse. Ton regard extérieur et tes connaissances dans le domaine des risques m'honorent, vraiment, avec toute ma sincérité. Je voudrais aussi remercier mon directeur de thèse, D. Delahaye (tu le resteras *ad vitam aeternam*), Professeur des Universités à l'université Caen Normandie, pour les discussions menées à la fin de la rédaction de ce volume 1, et pour m'avoir formé durant mes travaux doctoraux à ce milieu si particulier qu'est la recherche. Tu m'as beaucoup appris, et j'avoue que tu auras toujours une place particulière dans mon esprit. Une page se tourne pour toi, car je suis le premier de tes thésards à soutenir une H.D.R., mais d'autres suivront puisque tu as formé de nombreux Maître de Conférences !

Je remercie ensuite les autres membres qui composent ce jury d'H.D.R. et qui ont également accepté d'évaluer ce travail. Je pense tout d'abord à G. Arnaud-Fassetta, Professeur des Universités à l'université Paris Diderot, à D. Josselin, Directeur de Recherches au CNRS et directeur de l'UMR ESPACE, et à M. Llasat-Botija, Professeure à l'université de Barcelone (Espagne). Vous avez accepté de jouer le rôle des rapporteurs, et je vous en remercie vivement, d'autant que vous traduisez les trois domaines dans lesquels je souhaite inscrire mes travaux. Je voudrais ensuite remercier M. Reghezza-Zitt, Maître de Conférences HDR à l'ENS, qui aura sans doute des questions sur la résilience (thème non directement abordé mais qui trouve des achoppements évidents dans les retours d'expérience), et sur les incertitudes, qui sont entendues dans ce volume au sens du langage courant (elles renvoient à ce que l'on ne sait pas) et qui conduisent à l'incapacité à déclencher l'alerte, mais aussi sur la façon dont les acteurs opérationnels pourraient être amenés à changer leurs postures à court terme. Je tiens aussi à remercier A. Serra-Llobet, Directrice de l'Institut des Sciences internationales à l'université de Berkeley (États-Unis), avec qui nous avons été fortuitement en contact depuis 2017 (merci à toi, Matt Kondolf, et indirectement à H. Piégay et J.P. Malet…). Nos travaux portent de manière commune sur la traduction spatiale des politiques de prévention des risques, et j'espère que les quelques mois que je viendrais passer à Berkeley en 2019 seront riches en comparaison et en discussions ! Je voudrais finir cette liste en adressant ma gratitude à K. Kerzazi, Chef du Bureau de l'Alerte, la Sensibilisation et à l'Education des Publics (BASEP), rattaché à la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion de Crise (DGSCGC) au sein du Ministère de l'Intérieur en France. Merci pour votre présence, pour nos échanges sur les limites et les apports du projet SAIP à venir, et pour votre confiance dans la mise à disposition des données sur les sirènes du réseau RNA. Ces données ont été exploitées et regardées avec un angle géographique, et leur localisation a ont rarement été rendue publique jusqu'à présent. J'ai tardivement « joué avec les données », mais que les perspectives sont belles !

Je voudrais ensuite remercier mes collègues universitaires avignonnais, en commençant par L. Grasland pour ta confiance et ton esprit « paternaliste » qui te caractérise si bien. Je vais tout de suite inclure dans cette boucle nos deux docteurs, J. Kouadio et B. Gisclard, qui ont su nous écouter et nous surprendre, en apportant des briques fondamentales à nos réflexions, en particulier sur les attentes des utilisateurs face aux applications smartphones et sur le potentiel de l'innovation sociale, qui doit être territorialisée. Loïc, tu as surtout eu la bonne idée de me dire un jour, dans un couloir, que l'alerte était un sujet déjà très largement étudié en géographie et par d'autres disciplines. Tu n'as pas tort, Loïc, mais cela m'a surtout donné l'envie de te démontrer qu'il restait, bien au contraire, plein de choses à écrire ou surtout à améliorer. Si tu lis ce manuscrit, Loïc, j'espère que tu y trouveras de très nombreuses réponses et convictions personnelles… ☺. Je souhaite par ailleurs remercier C. Genre-Grandpierre, pour tes avis tranchants et pour ton aide dans l'utilisation des méthodes d'optimisation spatiale et dans les travaux menés sur les DICRIM ; A. Richaud, pour ton écoute et ton dévouement au nom de l'UFR ip-SHS ; L. Casanova-Enault, M. Redjimi et G. Boulay pour votre dynamisme et votre implication dans la vie collective du laboratoire et du département ; Ph. Ellerkamp, pour tes conseils et ton écoute bienveillante ; M. Coulon, pour les pauses café et surtout pour l'aide que tu m'as apporté lors de certains traitements géomatiques ; D. Serre, avec qui nous avons une thèse en cours (merci à E. Bopp de me suivre dans cette aventure qui vise à questionner l'alerte multi-aléas et *l'internet des objets*) ; N. Brachet et A. Bouffel, car je sollicite souvent pour des urgences et/ou des questions d'ordre administrative sans prendre le temps de prioriser mes demandes…J'ai aussi une pensée pour tous les doctorants en train de finir leur thèse, pour d'autres collègues de l'université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (R. El Azouzi, G. Marrel, C. Marchand-Lagier, E. Triquet), rencontrés au conseil de l'UFR ip-SHS, à la CACR, à la FR Agorantic ou dans d'autres instances, tout en associant certains collègues de l'UMR ESPACE (notamment K. Emsellem, avec qui nous allons animer un axe de l'UMR ESPACE, A. Schleyer-Lindenmann, D. Fox, C. Voiron ou D. Moreno), avec qui nous discutons régulièrement de nos résultats de recherche, et avec qui c'est un plaisir de pouvoir échanger.

Très logiquement, je vais ensuite remercier les étudiants inscrits en géographie à l'Université d'Avignon. Les projets que nous (incluant les étudiants de Licence 2 et 3) avons menés ou les sujets sur lesquels vous (étudiants de Licence Professionnelle et de Master 1 ou 2) avez travaillé ont alimenté mes réflexions (**Volume 2**). Des questions simples ou parfois naïves (pour vous) m'ont toujours aidé à clarifier mon propos et à préciser certains points ou certaines démarches. Vous avez été forces de proposition à de nombreux moments (en n'allant peut-être pas toujours aussi loin que je le souhaitais et le souhaiterais), et vous avez œuvré de façon collective à valider certains protocoles exploratoires. Que ces quelques lignes puissent trouver un écho favorable dans vos esprits.

Depuis 2014, j'ai aussi la chance d'être au contact « d'étudiants » qui ont quasiment pour plus de la moitié une grande expérience professionnelle dans le domaine de la sécurité et de la prévention du risque incendie (35% de la promotion de la Licence Professionnelle que je pilote sont des sapeurs-pompiers professionnels). Vous m'avez montré des façons différentes de travailler dans vos domaines respectifs, et m'avez appris à gagner en opérationnalité et en clarté. Les projets tuteurés et les rendus ont porté sur des thématiques d'actualité (à l'image par exemple de la réalisation en 2018 d'une étude portant sur la sécurisation de la future ligne de tramway attendue en 2022 pour le premier tracé autour d'Avignon, ou de la scénarisation d'actes terroristes pouvant survenir à l'université d'Avignon présenté aux services centraux et qui a accompagné la mise en place d'une cellule de crise), et ces projets sont devenus de plus en plus ambitieux au fil des années. En 2019, l'un des projets portera sur le problème du recrutement des Sapeur-Pompiers Volontaires (SPV), dont le nombre est symboliquement passé sous la barre des 200000 individus en France, situation critique car les SPV représentent plus de 80% des effectifs actuels des SDIS. Après plusieurs mois de réflexions et de consultations, un rapport de la Mission volontariat sapeurs-pompiers (appuyée par le député R. Matras) a été remis le mercredi 23 mai 2018 au ministre de l'Intérieur G. Collomb. Des solutions ambitieuses pour favoriser le recrutement des SPV, leur fidélisation et la reconnaissance de leur engagement citoyen, y sont préconisées pour repasser au plus vite ce seuil de 200.000 SPV, mais pour autant, l'idée de ce projet tuteuré sera de savoir dans quelle mesure les préconisations sont concrètement applicables, et de voir comment les mettre en œuvre au sein d'un SDIS, dans l'idée de fournir un nouveau rapport au député R. Matras…

Cette recherche s'est par ailleurs achevée grâce à la collaboration avec de nombreux acteurs socio-économiques, qui m'ont apporté des compléments d'informations précieux, et je tiens là-aussi à les remercier avec une sincère reconnaissance. Sans respecter les hiérarchies et les fonctions, je vais commencer par remercier M.-H.Farnaud (directrice du SIDPC du Vaucluse) et A. Gaucherand (son successeur depuis 2014), avec qui nous collaborons depuis 2010 et avec qui nous avons, à de maintes reprises, des réunions ou des projets à l'échelle du département du Vaucluse. Vous m'avez fait confiance et m'avez autorisé à assister à des exercices de gestion de crise au sein de la préfecture, et je vous en suis très reconnaissant. Je voudrais également remercier G. Martin (ATRISC®), pour les très riches discussions et le plaisir que nous avons à discuter ensemble, et pour tes idées qui trouvent toujours un écho positif dans notre équipe (comme l'idée des « Speedating du risque » initiés en juillet 2018). J'en profite aussi pour remercier B. Ramacker et A. Lacroix (membres de la cellule de crise en Belgique), A. Grangeat (GEDICOM®) et A. Bony-Dandrieux (Professeure à l'Ecole des Mines d'Alès), B. Janet (responsable du pôle Prévision du SCHAPI), G. Palletti et L. Blay (VISOV), et G. Musquet (à l'origine de l'association HAND, *Hackers Against Natural Disasters*), pour les partages d'expériences fournies sur la gestion de crise dans d'autres domaines que celui des crues rapides. Je tiens aussi à remercier A. Chalhus (directeur de cabinet du préfet du Vaucluse de 2014 à 2017), qui a appuyé mes demandes auprès de la BASEP, le député C. Haut et le journaliste M. Mouraud pour leur confiance dans le tournage du film sur les inondations de l'Ouvèze survenues en 1992.

Il convient d'ajouter à cette liste toutes les personnes avec qui j'ai échangé sur la thématique de l'alerte au cours de ces dernières années, et les collègues avec qui nous avons répondu (parfois sans succès) auprès de différents organismes de financement. Je tiens ici à remercier P. Javelle et C. Fouchier (IRSTEA Aix-en-Provence), O. Payrastre (IFFSTAR Nantes), D. Moncoulon (CCR), C. Lutoff et I. Ruin (LTHE, Grenoble), F. Vinet (pour les quatre chapitres d'ouvrage publiés chez ISTE), V. Marc et A.-L. Cognard-Planck (EMMAH Avignon), G. Nord, I. Braud et J. Le Coz (IRSTEA Lyon), E. Beck (PACTE Grenoble), P. Texier (EVS Lyon III), J.-P. De Oliveira (GRESEC Grenoble). J'oublie sans doute beaucoup d'autres personnes, car j'ai eu la chance de participer à de nombreux comités et à diverses instances depuis 2009, donc pardon d'avance pour cet impair !

Je voudrais par ailleurs avoir une pensée particulière pour les habitants interrogés lors des nombreux questionnaires administrés avec les étudiants depuis 2013 : même si les questions ont en partie évolué au fil des années, nous avons désormais près de 2 750 questionnaires à traiter, avec 56 questions différentes, ce qui devra faire l'objet d'un temps de réflexion et de traitement plus approfondi à l'avenir. Au nom de l'université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, merci d'avoir répondu à toutes nos questions, même si vos réponses confortent certaines de nos idées, comme la faible appropriation des consignes de sécurité ou le manque de connaissance des outils d'alerte existants.

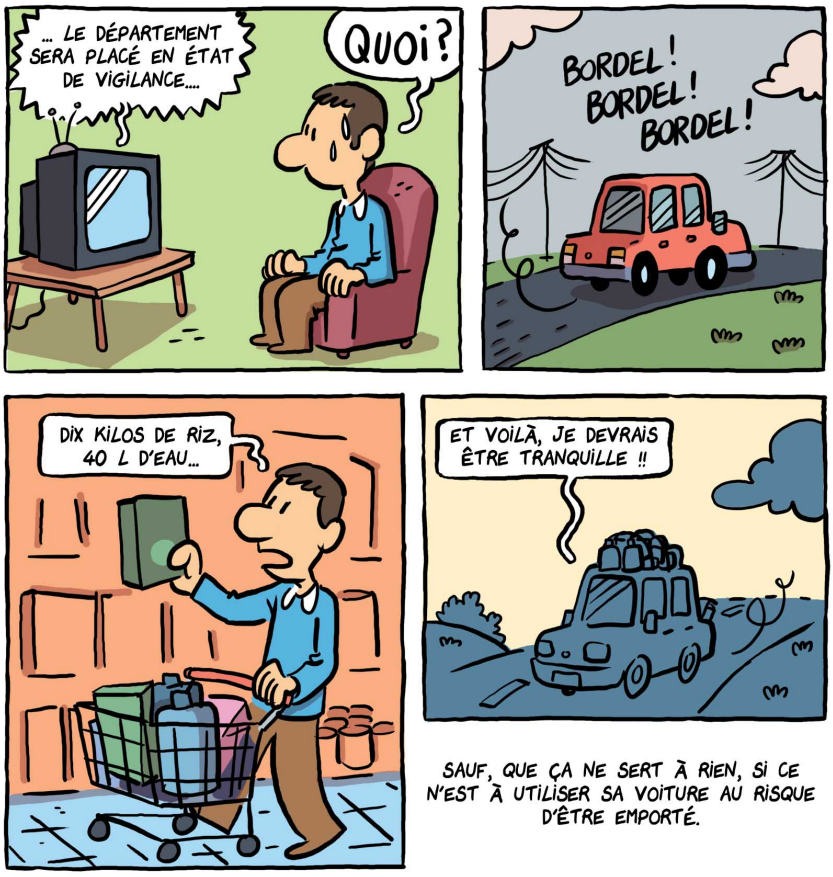
Je voudrais ensuite exprimer mes remerciements à des personnes qui indirectement, ont elles aussi, joué un grand rôle dans la finalisation matérielle de cette H.D.R. Je pense en particulier à Aude et Barbara (merci pour vos relectures !), à nos amis parents d'élèves (pour leur soutien), à nos amis d'enfance, aux membres de nos familles ou aux amis que j'ai gardé depuis mon arrivée à l'université au début des années 2000. Je ne les nomme pas directement, mais vous saurez vous reconnaître, sans aucun doute. Sachez que vous beaucoup m'aidé, notamment durant cet été 2018.

Enfin, je tiens à exprimer mes plus profonds remerciements à ma famille. Merci à toi ma chérie, d'avoir supporté mes (trop !) nombreuses soirées studieuses et de m'avoir soutenu au quotidien. Je t'ai beaucoup sollicité (pour ne pas dire embêter avec mes problèmes de titre en particulier) et j'en te serais à tout jamais reconnaissant ! Tes encouragements et ta présence ont permis de créer les conditions bénéfiques à la finalisation de ce travail très chronophage. Je dédie pour finir cette H.D.R. à nos deux magnifiques filles, Clélia et Soline, qui grandissent vite et qui, je l'espère, auront peut-être le courage de lire ce manuscrit, un jour. C'est promis, cette fois, l'H.D.R. est finie !

Liste des principaux sigles et acronymes

AAA	Automates d'Appel d'Alerte
AZI	Atlas des Zones Inondables
BASEP	Bureau d'Alerte, de Sensibilisation et d'Éducation des Populations
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales
CIZI	Cartes Informatives des Zones Inondables
COD	Centre Opérationnel Départemental
CODIS	Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours
COGIC	Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises
COS	Commandant des Opérations de Secours
COZ	Centre Opérationnel Zonal
CAP	*Common Alerting Protocol*
CTA	Centre de Traitement des Appels
DICRIM	Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DGSCGC	Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion de Crise
DOS	Directeur des Opérations de Secours (Directeur des Opérations pour les SIDPC)
EAIP	Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles
EMIZ(DS)	État-Major Interministériel de Zone (Défense et Sécurité)
EPRI	Évaluation Préliminaire du Risque Inondation
GASPAR	Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels
GOC	Gestion Opérationnelle et Commandement
INPT	Infrastructure Nationale Partageable des Transmissions
MSGU	Médias Sociaux en Gestion d'Urgence
ORSEC	Organisation de la Réponse de la Sécurité Civile
PAPI	Programme d'Action et de Prévention des Inondations
PC	Poste de Commandement
PCC	Poste de Commandement Communal
PCM	Poste de Commandement Mobile
PCS	Plan Communal de Sauvegarde
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
RAC	Responsable des Actions Communales
RCSC	Réserve Communale de Sécurité Civile
RGPD	Recensement Général pour la Protection des Données
RETEX	Retour d'Expérience (ou REX pour les accidents industriels)
RNA	Réseau National d'Alerte
SAIP	Système d'Alerte et d'Information à la population
SCHAPI	Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
SDAL	Services D'alerte Locaux
SDACR	Schéma Départemental d'Analyse et de Couverture des Risques
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SIDPC	Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles
SIG	Système d'Informations Géographiques
SLGRI	Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation
SMEM	*Social Media In Emergency Management*
SMS	Short Message System
SPC	Service de Prévision des Crues
TIM	Transmission d'Information à la Mairie
TRI	Territoire à Risque d'Inondation important
VISOV	Volontaires Internationaux en Soutien Opérationnel Virtuel
VOST	*Virtual Operations Support Group*

Éléments de contexte et motivations



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

La diffusion d'une alerte à la population en cas d'inondation est un objet de recherche singulier, qui a fait l'objet de nombreux travaux (*e.g* Carré, 2006 ; Vinet, 2007 ; Dedieu, 2009 ; Créton-Cazanave, 2010 ; Garcia, 2012 ; Beccerra *et al.,* 2013 ; Pappenberger *et al*., 2015 ; Boudou, 2015 ; Daupras *et al.*, 2015 ; Kouadio, 2016 ; Morturaux, 2017). Les scientifiques, les autorités et les acteurs de secours s'accordent sur le fait de dire que le signal diffusé aux individus et leur réception de l'information sont des éléments déterminants pour éviter tout comportement « inadéquat » (ex : congestion sur le trafic routier, effet de curiosité pour aller savoir ce qui se passe dans les zones impactées, mise en danger personnelle…) et pour préparer les acteurs à la gestion de crise. Or, les prérogatives des autorités ne sont plus celles des publics visés. Pour les services de l'État, l'alerte doit être engagée uniquement lorsque la situation est ingérable ou quand les moyens dont ils disposent sont dépassés par rapport au danger en cours. Tous les événements d'inondations ne sont donc pas des crises, mais ce sont les phénomènes majeurs qui captent l'attention des pouvoirs publics dans la préparation à la gestion de crise (Vinet, 2017). Pour un individu, le signal d'alerte doit en revanche être suffisamment explicite pour savoir ce qu'il doit faire. Alerter suppose en même temps que les informations collectées soient suffisantes, fiabilisées et cohérentes, ce qui constitue un véritable défi face aux crues rapides, car ces aléas se manifestent en quelques heures (voire en quelques minutes) et dans des bassins versants qui ne pas toujours identifiés comme sensibles en amont (Ruin *et al.,* 2013 ; Vincendon *et al.,* 2016).

L'alerte : un point de rupture entre la prévention et l'action

L'alerte correspond à un double **point de rupture** :

1) Elle met fin au cycle de la prévention, qui vise à sensibiliser le public avant la survenue d'un événement et à préparer les acteurs locaux à la gestion de crise, et elle initie surtout le temps de l'action, qui doit se traduire par la mise en place de mesures réflexes ayant pour but de réduire au plus vite les dommages, qui ne font alors que commencer. Cette définition renvoie à l'origine même du mot alerte, venant de l'italien « All'erta ! », signifiant *« être aux créneaux »* ou *« être sur ses gardes ».* Cela suppose que le danger ait été reconnu comme proche par celui qui pousse ce « cri » ; il faut alors que le « cri » soit entendu pour que les conséquences en soient tirées par ceux qui sont censés agir (Valleron *et al.,* 1994).

2) L'alerte induit également une rupture entre des savoirs dits « profanes » (l'inondation est un phénomène intelligible, visible, prévisible et circonscrit spatialement pour les populations ; Vinet, 2017) et des savoirs dits « experts » : les crues rapides sont des aléas complexes, qui impliquent différents processus relayés dans le temps et dans l'espace ; leur prévisibilité est encore très incertaine, même pour les scientifiques (Léone et Vinet, 2011).

Une telle définition est toutefois loin de faire consensus entre tous les acteurs, ce qui induit de nombreuses confusions (Dedieu, 2009), à l'image des alertes sanitaires ou météorologiques (qui sont plus des bulletins appelant à la vigilance). Au sens de la sécurité civile, l'alerte renvoie à la diffusion, par les autorités et en phase d'urgence, d'un signal destiné à informer des individus, des institutions et/ou des entreprises, d'un danger susceptible de porter atteinte à leur intégrité physique (DGSCGC, 2013). Étant donné la gravité des situations qu'elle annonce et les responsabilités qu'elle induit, les services de l'État et ses représentants à l'échelle locale (maires et préfets) sont les seules autorités habilitées pour administrer, contrôler et diffuser l'alerte vers la population en France. Le signal d'alerte s'accompagne d'un message, qui appelle à des réactions opportunes de la part des autorités (pour assurer la sécurité des biens et des personnes), mais aussi de la part des individus qui sont censés (de façon instantanée) avoir des réflexes de sauvegarde (se mettre hors d'eau, couper l'électricité et le gaz, appeler ses parents et ses proches sans pour autant saturer les lignes téléphoniques, ou ne pas aller chercher ses enfants à l'école lors d'inondations par exemple). L'alerte est doublée d'une demande d'intervention et d'assistance médicale : les services mobilisés doivent mettre en place des actions coordonnées et mettre à disposition des autorités toutes les ressources disponibles, car ils ont une obligation de moyens. L'alerte naît finalement sur fond de veille, de surveillance, de vigilance et/ou d'avertissement, et elle suppose l'activation d'une mémoire, qui vient répondre à *« un phénomène en train de se produire ou à son éventualité »* (Kouadio, 2016), ou à l'imminence *« d'une catastrophe ou à l'évaluation d'un risque mal connu ou sous-estimé »* (Chateauraynaud et Torny, 1999).

Associée (et pourtant différente), la vigilance est un concept qui est utilisé en France depuis les événements catastrophiques de l'année 1999 (inondations de l'Aude, tempêtes *Lothar* et *Martin).* L'idée de départ était de diffuser une information conjointe aux autorités et aux citoyens, en suivant quatre niveaux de gravité (vert, jaune, orange, rouge), de façon à inciter tout un chacun à prendre des précautions avant l'apparition du phénomène (AFPCN-IDMR, 2012). Elle a d'abord été instaurée à travers la vigilance météorologique (dès 2001), avant de devenir une vigilance hydrométéorologique à partir de 2006 (Kharroubi, 2013) suite au « syndrome » de Nîmes : le 17 novembre 2005 la vigilance météorologique était rétrogradée de rouge à orange (baisse des intensités des pluies) alors que les cours d'eau commençaient à peine à réagir (à cause du temps de transfert). Le suivi hydrologique est assuré par Météo France et par le SCHAPI, qui, en 2018, surveillent 22 300 km de linéaire de cours d'eau (soit 1 / 6 des tronçons > à 1 m de largeur sur l'ensemble du territoire national). La vigilance est établie à une échelle départementale (plus englobante) car les intensités des pluies sont difficiles à prévoir à échelle fine (Braud *et al.,* 2014). La vigilance a démontré ses bénéfices lors d'événements de grande ampleur durant la première décennie du XXI^{e} siècle (lors des crues des Gardons en 2002, du Rhône en 2003, lors de la tempête *Joachim* en 2007), mais elle a aussi montré certaines limites, notamment lors de crues soudaines catastrophiques (à Nivelle en 2007, à Sainte-Maxime en 2008, à Draguignan en 2010, à Cannes en 2015) : plusieurs dizaines de victimes ont été recensées, malgré la diffusion de bulletins météorologiques en amont. La vigilance orange ne semble pas non plus très coercitive : contrairement à la vigilance rouge, puisque c'est durant cette période que surviennent la majorité des décès recensés lors d'inondation en France (Vinet, 2010 ; Boissier, 2013).

Au final, l'alerte et la vigilance renvoient à des temporalités, à des responsabilités et à des prises de décision différentes en France. Une telle segmentation renvoie au mode de fonctionnement en « silos » de chaque ministère, qui semble vouloir conserver ses propres intérêts. Ainsi, le signal d'alerte revêt d'une décision politique et il ressort du Ministère de l'Intérieur et de ses représentants ; c'est une procédure qui inclue une phase de réception (remontée d'informations) et de traitement (analyse de la situation), puis de diffusion vers la population dans une logique descendante appelée « top-down ». L'activation du signal est binaire : on le déclenche ou non sans aucune autre alternative, en suivant le principe du « tout ou rien ». Par opposition, la vigilance renvoie à une caractérisation du phénomène et de sa magnitude. Elle ressort du Ministère de l'Environnement et des services associés, pour inciter la population à avoir les réactions attendues en amont de l'événement. Elle a un but essentiellement informatif et permet une montée en charge progressive des moyens d'expertise et de protection. Elle est produite par anticipation (de 6h à 24h avant) et est donc modifiable, voire ré-ajustable (**tableau 1**). Quand la survenue d'une inondation devient probable, la vigilance se transforme en avertissement (de 1 h à 6 h avant), en prévision immédiate ou en pré-alerte, mais ces termes renvoient à chaque fois à une caractérisation de l'aléa (**exemple 1**).

	Vigilance	Alerte
Etymologie	« Veiller avec soin et attention »	« Etre sur ses gardes » ou « Etre aux créneaux »
Objectifs	Caractérisation scientifique de l'intensité de l'aléa à venir	Diffusion d'un signal vers la population pour avertir d'un danger imminent
Autorités compétentes	Ministère de l'Environnement (MEEM) et Météo France	Ministère de l'Intérieur et représentants (préfet, maire)
Temporalité	6h à 24h avant le danger	Immédiate (danger avéré)
Sources d'incertitude	Prévisions des modèles Précision des données d'entrée	Evaluation de la situation Ampleur des dommages en cours
Nature de la décision	Scientifique	Politique
Echelle de diffusion	National et départemental (depuis 2001, voire 2005, en France)	Locale (échelle communale depuis 1952 pour le réseau national d'alerte)
Marges de manœuvre sur le message envoyé	Réévaluation possible selon l'évolution du phénomène ou de la situation	Impossible (on déclenche le signal d'alerte ou non, sans aucune autre alternative possible)

Tableau 1. Distinctions entre l'alerte de la vigilance en France (d'après Douvinet et Janet, 2017)

EXEMPLE 1. La confusion entre ces deux termes peut aboutir à des situations contradictoires, voire générer des conflits naissant pour des raisons politiques. Le 3 octobre 2015, Météo France a diffusé, vers 11h, un bulletin de vigilance météorologique plaçant le département des Alpes-Maritimes en vigilance orange pour le risque « orages » à compter de 14h, le même jour. La vigilance a été relayée à 12h44 à la Préfecture via l'outil VIAPPEL (automate d'appel permettant de diffuser près de 100 000 appels en 1h), puis à tous les maires du département. Un communiqué de presse a été envoyé à 13h22 pour inviter les médias à relayer l'événement. Si les messages ont bien été réceptionnés par la quasi-totalité des maires, c'est leur utilisation qui reste floue et incertaine. Certaines communes, disposant de dispositifs de pré-alerte (activés via leur *Plan Communal de Sauvegarde*) se sont organisées à partir de 15h, notamment avec des astreintes renforcées du personnel des services techniques (acteurs mobilisés sur le terrain) et des informations complémentaires sur les consignes à adopter pour la population. Mais d'autres communes n'ont pas anticipé l'événement (probable...), et elles ont été tellement surprises par les inondations qu'elles n'ont jamais activé leurs relais d'alerte vers la population. Sur une commune, le dispositif n'a par exemple pas été déclenché alors que les premiers dommages ont été recensés à partir de 21h45. La sirène communale était hors-service à partir de 22h30 (coupure d'électricité), mais le délai de transmission de l'alerte était pourtant suffisant (45 minutes). Notons que dès le lendemain, des élus ont choisi de critiquer Météo France sur la qualité des prévisions : selon eux, Météo France aurait dû « déclencher l'alerte rouge », alors que cette procédure aurait dû être déclenchée par ces mêmes élus….

Ces différences sont d'ailleurs spécifiques à la France. A l'échelle mondiale, certains services peuvent à la fois annoncer une vigilance et activer l'alerte. En Belgique, par exemple, *l'Institut Royal Météorologique (IRM)* administre et gère un système qui permet de détecter les coups de foudre au sol (aléa), et il informe en parallèle les citoyens par SMS si un risque est détecté dans un rayon de 8 km, puis envoie un message de fin d'alerte quand aucun éclair n'est détecté dans un rayon de 15 km sur une période de 45 minutes (alerte). Du point de vue sémantique, les différences faites en France sont peu lisibles à l'échelle internationale : le terme *"severe warning"* (indiquant un danger réel) est le plus proche de la définition de l'alerte entendue au sens de la sécurité civile, et les termes *"nowcasting"* (prévision de 1h à 6h) et *"forecasting"* (de 6h à 24h) renvoient plus à la vigilance (IFRC, 2008). Tous les auteurs regroupent ensuite l'ensemble des outils de prévision, d'avertissement, de communication et d'alerte sous les termes *"alert"* (Morss *et al.,* 2016) et *"early warning"* (Teisberg et Weiher, 2009 ; Rogers et Tsirkunov, 2010 ; Bouwer *et al.,* 2014 ; Pappenberger *et al*., 2015 ; Cools *et al.,* 2016 ; Coombs*,* 2016). Plusieurs instances internationales se réfèrent d'ailleurs à cette « alerte précoce » : on la trouve dans la *Stratégie internationale pour la prévention des catastrophes,* mise en œuvre dans le Cadre d'Action de Hyogo (UNISDR, 2005) et qui a été adoptée par 168 pays lors de la conférence de Kobé (2005). Ce dernier terme se définit comme *« l'ensemble des capacités nécessaires pour produire en temps opportun et utile des bulletins d'alerte permettant à un individu, des communautés et des organisations, menacées par un danger, de se préparer et d'agir de façon appropriée en temps utile pour réduire le risque de dommage ou de perte* » (ACPFN-IDMR, 2007).

L'alerte a donc une signification particulière en France. Tout au long de ce volume, elle sera entendue au sens de la sécurité civile, même si ce choix est sans aucun doute restrictif (Padioleau, 2003). Les subtilités de langage présentées ici amènent dès à présent à considérer des effets positifs (dissocier le rôle et les missions de chacun), et d'autres plus préjudiciables (créer de la confusion chez les habitants). Ces différences ont inévitablement des conséquences sur les modes d'action induits, à titre individuel, collectif ou institutionnel, constat sur lequel je reviendrai dans la conclusion générale.

Pourquoi faut-il améliorer la diffusion de l'alerte à la population ?

Enjeux sociétaux

D'un point de vue sociétal, l'amélioration des méthodes d'alerte des populations est devenue une nécessité absolue, voire une priorité nationale dans plusieurs pays. En France, cette demande se justifie rapidement par l'hétérogénéité des aléas et des risques auxquels sont exposés les habitants. Sans en dresser une liste exhaustive, on oppose souvent les risques d'origine naturelle (tempête de neige, tremblement de terre, cyclone, ouragan, glissement de terrain, inondation, etc.), technologique (fuite de gaz, nuage toxique, explosion, rupture de barrage, etc.), sanitaire (pandémie, pollution de

l'air, etc.), sans oublier les menaces cyber (atteinte à l'image, espionnage, sabotage, cybercriminalité) ou liées aux actes terroristes (IRSN, 2017). Les risques sociaux, économiques, professionnels, sont aussi à prendre en compte dans une vision plus large. La mobilité des populations, les changements de vie (enclavement, vieillissement) ou les préoccupations quotidiennes (travailler, manger, subvenir à ses besoins) amènent pourtant à occulter tous ces risques et leur fréquence (Carré, 2006) et à une absence de préparation à leur apparition (Pottier *et al.,* 2004). Les différents ministères tentent d'en rappeler régulièrement l'existence, à travers différentes campagnes de sensibilisation, à l'image des slogans pour convier à adopter les « gestes qui sauvent » ou pour « adopter les bons comportements en cas de pluies méditerranéennes », relancés par le Ministère de l'Environnement depuis 2016.

Les autorités (maires, préfets, ministre de l'Intérieur) sont les seules à être habilitées à diffuser une alerte à la population en France, dans une logique descendante, mais le processus de validation et la temporalité de la diffusion sont de plus en plus mal compris par la population, ce qui favorise l'émergence de dispositifs plus informels ou « hors cadre » (applications smartphone, réseaux sociaux numériques, initiatives citoyennes comme les « voisins vigilants » ou les réseaux « sentinelles »). Cela accentue aussi la confiance accordée à d'autres interlocuteurs, pas toujours légitimes (Douvinet *et al.,* 2018). Les moyens de communication classiques semblent également dépassés car ils ne répondent plus aux demandes des habitants qui souhaitent être informés au plus vite sur la gravité d'une situation à laquelle ils sont exposés, ou qui veulent avoir des nouvelles de proches touchés. La confusion qui peut régner du côté des populations doit ainsi être étudiée à plusieurs niveaux :

1) avec la circulation de l'information en continu sur différents canaux de communication, des personnes non concernées par le risque peuvent relayer des messages inadéquats ;

2) La multiplication de sources d'information, qui ne sont toutes tenues de suivre les codes officiels ou qui communiquent sur des niveaux d'information différents, perturbent la diffusion du message qui jusqu'alors, allait dans un sens descendant (de l'État vers la population) ;

3) Les médias ne sont pas tous spécialisés dans l'information hydrologique ni au courant de la complexité institutionnelle de la gestion de crise, ce qui introduit des erreurs dans la diffusion de certains messages et dans la compréhension d'un danger en cours ;

4) Le traitement de l'alerte est un processus social, qui engage la crédibilité et la légitimité de la source de l'alerte, mais aussi la mémoire du risque et l'inscription sociale du destinataire (Fitzpatrick et Mileti, 1994 ; Créton-Cazanave, 2010). Or, le manque de prise en considération des biais cognitifs conduit à négliger la réception individuelle de l'information. Des consignes ciblées selon les contextes sont donc nécessaires, plus que des consignes généralistes.

En parallèle, même si les moyens d'alerte existants sont efficaces d'un point de vue technique (la diffusion d'une alerte par sms ou ciblant une zone précise, en utilisant les antennes relais, est une solution qui existe depuis la fin des années 1980), ces solutions ne touchent qu'une faible part de la population, et bon nombre d'individus n'y prêtent guère attention en dehors de la crise. Trop rares sont aussi les solutions qui font mention d'une évaluation de leur efficacité. Il est finalement évident que la communication sur un seul outil n'est pas satisfaisante. La réactivité et les stratégies d'action adoptées par la population vont également dépendre des actions de sensibilisation menées en amont, et des messages d'informations qui accompagnent la diffusion du signal d'alerte (**exemple 2**). A ce titre, la tenue d'exercices d'entrainement, en cohérence avec des niveaux de communication adaptés (et liés à des scénarios de communication), est une piste qui devient de plus en plus plébiscitée (Inspection Générale de l'Environnement, 2015 ; Gisclard *et al.,* 2017 ; Daudé et Rigal, 2018).

EXEMPLE 2. Le 21 janvier 2013, dans l'usine *Lubrizol* à Rouen (France), un incident dû à la décomposition de produits finis s'est produit, et des mercaptans (des gaz utilisés dans la fabrication de fluides de transport, qui sont extrêmement malodorants) se sont échappés, créant la panique auprès de la population aux alentours, faute d'information claire émanant des services de l'État. Les émissions gazeuses ont été senties jusque dans la région parisienne et au sud de l'Angleterre, causant d'importants désagréments à la population, provoquant la saturation des standards des services d'urgence, et déclenchant une importante pression médiatique au niveau national. Du point de vue scientifique, la fuite n'a jamais présenté de risque sanitaire grave, mais faute de communication, le doute s'est insinué sur l'occultation d'une « vérité autre » du point de vue de l'individu. S'il a pointé le défaut de communication de l'exploitant, le rapport d'expertise a souligné la difficulté pour l'État de se saisir du bon niveau de communication (Inspection Générale de l'Environnement, 2015).

Enjeux stratégiques et opérationnels

L'alerte fait également l'objet d'une grande attention de la part des acteurs opérationnels, qui doivent répondre à plusieurs missions. Les autorités (préfets, maires) sont responsables de la sécurité sur leur territoire (eu égard à leur pouvoir de police administrative qui prévaut en France depuis les lois du 16 et 24 août 1790) et doivent informer au plus vite les individus potentiellement concernés par un événement. De leur côté, les acteurs de la sécurité civile (police, gendarmerie, sapeurs-pompiers) sont garants du maintien de l'ordre public, mais ils doivent apprécier l'urgence par rapport aux moyens dont ils disposent (avec un impératif d'agir), et face à la gravité des conséquences. Ils doivent surtout s'assurer que leurs actions sont activées au juste besoin et quand elles sont nécessaires. Dès lors, ils ont désormais besoin d'avoir des outils simples, rapides, ergonomiques et pragmatiques, pour faciliter leurs prises de décision et les rendre moins chronophages, et gagner en interopérabilité. Ils veulent aussi disposer de systèmes efficaces et robustes pour gagner en opérationnalité, et avoir des outils évolutifs, économiques, modulaires et partagés pour gagner en fonctionnalité.

Face à des crues rapides, violentes, aux effets locaux imprévus et ayant une faible période de retour, ces besoins peuvent toutefois ne pas être satisfaits. Les opérationnels peuvent être rapidement démunis et « naviguer à vue » pour optimiser leurs interventions : lors des inondations du 15 juin 2010 dans la région de Draguignan, les sapeurs-pompiers ont réalisé plus de 2 300 interventions en 6 h sans la moindre communication, et *« seuls quelques sms passaient de temps en temps ».*

Ces acteurs peuvent aussi volontairement ignorer les vigilances ou les messages d'alerte, à cause de la familiarité du phénomène (Vaughan, 2001), ou de sa répétitivité sur une période courte. C'est le concept de risque « scélérat », en référence aux travaux de D. Goffman (1973), qui a décrit comment des entreprises dissimulaient des informations pour ne pas donner l'alarme et ne pas faire chuter les cours en bourse. Les autorités peuvent aussi recevoir des informations partielles, voire être submergées de messages, alors qu'une réaction doit être engagée au plus vite pour annuler les premiers impacts. C'est la notion de « signal faible », qui se définit comme étant une information de faible intensité qui peut être annonciatrice d'une tendance ou d'un événement bien plus important (Ansoff, 1975). Il est pourtant illusoire de s'attendre à ce que ces signes avant-coureurs soient compris de tous (Blanco, 2008), d'autant que ces derniers restent souvent mal interprétés (Dedieu, 2009).

Enjeux scientifiques

Du côté scientifique, l'amélioration des méthodes d'alerte des populations est aussi un objet de recherche sur lequel bon nombre de disciplines se sont focalisées. Il est inutile de vouloir dissocier ces travaux en les rattachant à une discipline plus qu'à une autre, tant il convient de s'éloigner d'une « pensée disjonctive » (Latour, 2005). Toutefois, il est intéressant d'identifier leurs points communs.

D'un côté, plusieurs chercheurs tentent de mieux identifier les facteurs de déclenchement et les variables de contrôle qui jouent un rôle sur l'émergence des crues rapides. Certains travaux ont, à ce titre, développé des méthodes probabilistes et stochastiques (Naulin *et al,* 2013), pour améliorer la prévision immédiate des précipitations ou pour estimer des périodes de retour « critiques » au-delà desquelles des crues rapides sont des phénomènes probables (Estupina-Borell *et al.,* 2006 ; Norbiato *et al.,* 2009 ; Javelle *et al.,* 2014, 2017). D'autres travaux ont démontré que les relations entre les précipitations et les crues rapides sont non linéaires (Gaume *et al.,* 2009 ; Braud *et al.,* 2014 ; Saint-Aubin *et al.,* 2016 ; Demargne *et al.,* 2018), et ils ont permis d'évaluer toutes les sources d'incertitude qui affectent la modélisation hydrologique (Morin *et al.,* 2006). D'autres études ont aussi évalué, de façon plus englobante, le risque induit par ces aléas, en étudiant le risque de coupure de routes (Naulin *et al.,* 2013 ; Vincendon *et al.,* 2016), les conditions de mortalité (Jonkman et Kelman, 2005 ; Vinet *et al.*, 2017), les facteurs sociaux (Ruin et al, 2013 ; Creutin *et al.,* 2013 ; Debionne *et al.,* 2016 ; Lutoff *et al.,* 2016), ou les facteurs de perception qui conditionnent l'analyse de la situation en cours (Weiss *et al.,* 2011 ; Gisclard, 2017). Les retours d'expérience deviennent foisonnants dans ce domaine (e.g.

Marchi *et al.,* 2010 ; Llasat *et al.,* 2014 ; Versini *et al.,* 2010 ; Bronstert *et al*., 2018), et les chercheurs intègrent même de plus en plus les utilisateurs finaux (i.e *end-users*) pour déployer des « chaînes de prévisions » partagées. Les compagnies d'assurance (ANR PICS), les développeurs (H2020 ICREAS), les prévisionnistes (AMPHORE, ANR FLASH, ANR AMAC…) sont aussi fortement sollicités, de même que les médias sociaux (ANR MAJIC, ANR TIREX, H2020 STARGATE…).

Plusieurs dispositifs ont également été créés pour attirer l'attention sur la survenue probable de crues rapides dans les prochaines heures, et ainsi aider les autorités et les gestionnaires à mieux analyser la dangerosité de la situation en cours. Un système de vigilance est actuellement en cours de déploiement sur environ 4 000 bassins de moins de 100 km^2 (*VigicruesFlash*) à l'échelle nationale, après avoir été testé dans le sud de la France pendant près de 10 ans. Les réponses des bassins sont anticipées en se basant sur l'intensité des pluies prévues, puis comparées à des pluies de référence issues de la base SHYREG (Lavabre *et al*., 2003) et modélisées à l'aide du modèle AIGA (*Adaptation d'Information Géographique pour l'Alerte*). Les niveaux d'avertissement permettent de quantifier les périodes de retour des réponses hydrologiques probables (Saint-Martin *et al.,* 2016). En l'état, seuls les maires reçoivent cette information de manière simplifiée (risque d'inondation fort ou très fort) et les périodes de retour (2 ans, 10 ans, 50 ans) ne sont plus fournies pour éviter d'être en porte-à-faux avec la logique assurantielle CatNat. De son côté, le dispositif APIC (*Avertissement aux Pluies Intenses à l'échelle Communale*) permet, depuis 2011, d'avoir connaissance de l'intensité des pluies observées à des échelles locales et en temps réel. Un message d'avertissement est envoyé par SMS, mail et/ou par message vocal à cinq personnes sur chaque commune si les seuils de dépassement dépassent les périodes de retour de 10, 50 ou 100 ans. Toutefois, il faut que la commune ait souscrit à ce dispositif pour disposer d'une telle donnée, et que la qualité de la mesure radar soit satisfaisante pour pouvoir engager les mesures appropriées. Certaines communes avaient d'ailleurs engagé d'autres démarches pour se doter de leurs propres systèmes d'avertissement quelques années auparavant. C'est le cas par exemple à Nîmes (Raymond *et al.,* 2007), qui a initié dès 2004 le projet ESPADA (*Evaluation et Suivi des Précipitations en Agglomération pour Devancer l'Alerte*) ou sur le bassin versant amont du Tarn suite à la crue rapide de 2008 par exemple.

En parallèle, d'autres recherches ont été menées sur l'efficacité des moyens d'alerte en cas d'inondation (sans se focaliser spécifiquement sur les crues rapides). Certaines ont bien montré les insuffisances des outils institutionnels, d'un point de vue technique (Vinet, 2007 ; Boudou, 2015) mais aussi social (Dedieu, 2009 ; Créton-Cazanave, 2010 ; Beccerra *et al.,* 2013 ; Llasat *et al.,* 2013). D'autres ont investi des modes de communication plus contemporains, comme les réseaux sociaux numériques (Coleman, 2009 ; Bird *et al.,* 2012 ; Cavalière *et al.,* 2015 ; Choy *et al.,* 2016 ; Hung *et al.,* 2016) ou les applications smartphones (Palen et Liu*,* 2007 ; Chatzimilioudis *et al.,* 2011 ; Barr *et al.,* 2015 ; Smith *et al.,* 2015 ; Kouadio, 2016). Dans tous les cas, l'efficacité de l'alerte a été étudiée au regard de sa faculté à parvenir jusqu'aux personnes impactées, et à être comprise par les individus situés dans les zones de danger. La caractérisation du danger, l'émission de l'alerte aux populations exposées et le délai entre l'alerte et l'arrivée du danger, conditionnent fortement la mortalité en cas d'inondation (Ruin et Lutoff, 2007 ; Jonkman et Penning-Roswell, 2008 ; CEPRI, 2011, 2017). Certains chercheurs ont par ailleurs souligné que l'appropriation des consignes de sécurité joue un rôle clé dans la mise en œuvre de comportements pré-organisés (Weiss *et al.,* 2011). En tant que « stimulus » univoque, le signal d'alerte ne doit alors pas être discutable et aucune place ne doit être laissée à des doutes, ni même à l'évaluation de la situation, car en cas d'hésitation, c'est l'inaction qui prédomine !

Éléments de problématique et origine des questionnements

Ces éléments de contexte amènent à formuler deux premières questions :
1) Face à une crue rapide caractérisée par une évolution spatio-temporelle, à partir de quel moment et à partir de quels seuils les autorités doivent-elles alerter les populations ?
2) A quelle échelle spatiale (celle de la commune, d'un bassin à risque, ou au niveau national par exemple) doit-on enclencher ce processus, pour optimiser les effets attendus ?

Afin de répondre à ces questions, il est nécessaire de mieux détecter les « seuils de rupture » des crues rapides, et d'identifier les facteurs qui facilitent ou perturbent la décision que doivent prendre les autorités. Une approche globale des risques naturels, dans une vision systémique et partagée par l'ensemble des acteurs impliqués, est dès lors requise. Les études qui cherchent à réduire les impacts des aléas sur la population (à défaut de pouvoir les éviter ou les éliminer) se rattachent au « cycle de la prévention » (Léone et Vinet, 2011). L'alerte s'inscrit dans une temporalité plus courte : celle de la crise. Elle plonge le gestionnaire dans une phase d'urgence, et doit aboutir à l'activation d'actions de protection, soit individuelle, soit collective (l'évacuation ou la fermeture d'établissements scolaires, le barrage des routes inondées, etc.). La phase d'urgence est ensuite relayée par un troisième cycle, celui de la reconstruction post-catastrophe, qui commence par la reconstruction développementale, qui peut s'étaler sur plusieurs décennies et qui constitue une fenêtre d'opportunité pour reconstruire en « plus durable et en plus résilient », selon les principes du BBB (*Build Back Better*). Quand la crise est terminée, un nouveau « cycle de prévention » se remet en place, puisque la prévention perdure au-delà des catastrophes. Et c'est justement parce que j'ai beaucoup travaillé dans le cycle de la prévention (**figure 1**) que j'ai progressivement voulu cristalliser mes recherches autour de l'alerte : si ce processus apparaît peu intelligible, c'est en partie parce que les dispositifs préventifs souffrent déjà, en dehors de la crise, de nombreux dysfonctionnements.

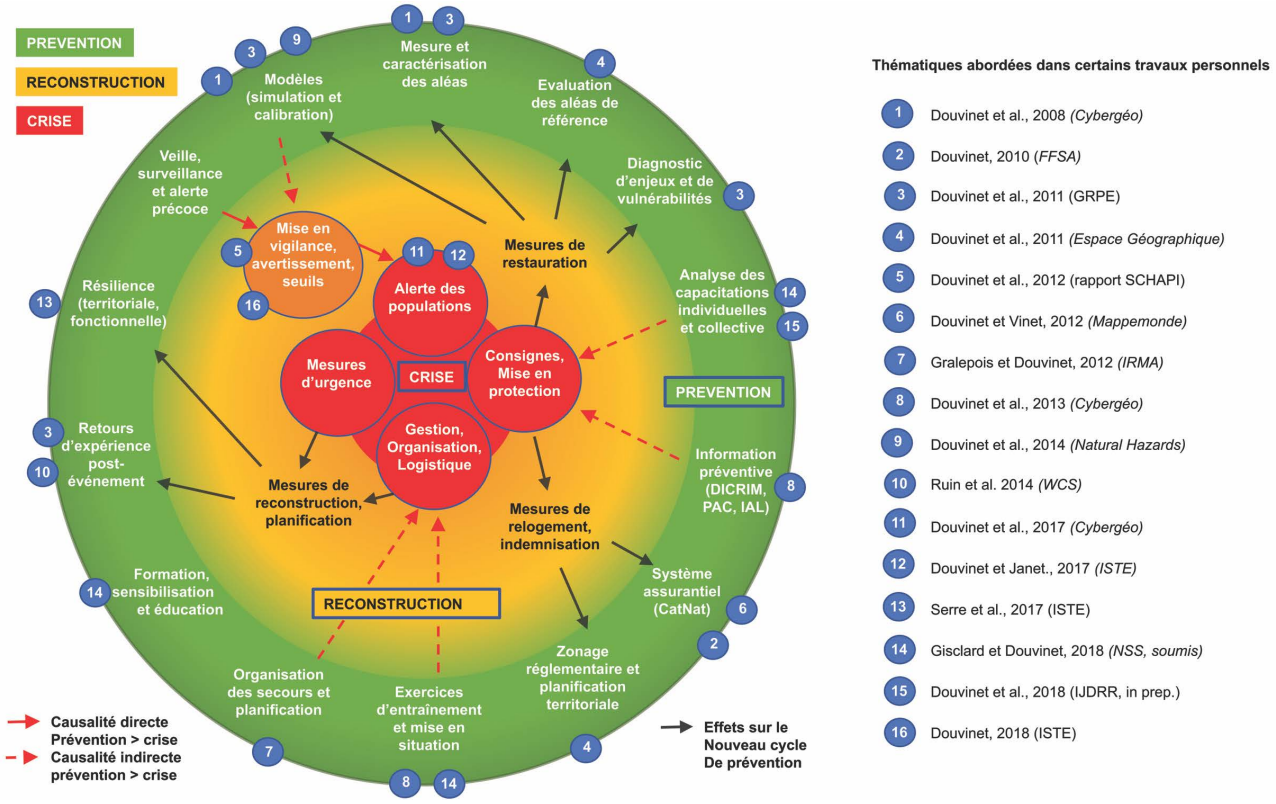


Figure 1. Position de mes travaux dans le domaine de la gestion globale des risques naturels (modifié d'après Léone et Vinet, 2011)

Il n'existe pas non plus de grille analytique permettant de mesurer l'efficacité des outils d'alerte mobilisés. Chaque outil présente des avantages et des inconvénients, qu'il convient de mieux évaluer, tant du point de vue technique et organisationnel que social. En l'état, une telle mesure reste floue et mal connue : les critères de cotation utilisés par le ministère (**figure 2**), ou ceux imposés par les textes de loi (décret n°2014-1253 du 27 octobre 2014, articles L. 1111-1 et L. 1111-2 du Code de la Défense), ne sont jamais connu du grand public. Rares sont aussi les études qui mesurent les changements de comportements avérés en cas d'alerte ou qui font état du nombre de personnes sauvées grâce à ces outils d'alerte. Évaluer l'efficacité d'un outil varie par ailleurs selon les auteurs et selon la manière dont on réalise la mesure (Eicher, 1983). L'efficacité institutionnelle revient ainsi à ne s'intéresser qu'à l'effet

du dispositif conçu par l'institution et à mesurer l'atteinte, partielle ou totale, des objectifs initiaux. Perçue comme étant un indicateur de réussite, cette efficacité interne peut alors être estimée à travers certaines variables, comme le nombre de personnes ayant téléchargé une application dédiée à l'alerte par rapport à la somme des personnes ayant un smartphone par exemple. Elle diffère de l'efficacité individuelle, qui suppose de mettre l'usager au centre du dispositif (Ben Abid-Zarrouk, 2012), ainsi que de l'efficacité externe, qui consiste à émettre un jugement *ex-post* sur l'impact de l'outil étudié et à mesurer les changements à long terme. L'efficacité se distingue également de l'efficience, qui est un indicateur de succès comparant les résultats obtenus par rapport aux moyens mis en œuvre dans une logique « coûts/bénéfices », et qui s'entend sur un pas de temps plus long. *In fine*, il semble nécessaire de prendre en compte ces différents éléments, pour tendre vers une mesure plus exhaustive de cette efficacité, et surtout pour dépasser les approches « solutionnistes » et technicistes préexistantes.

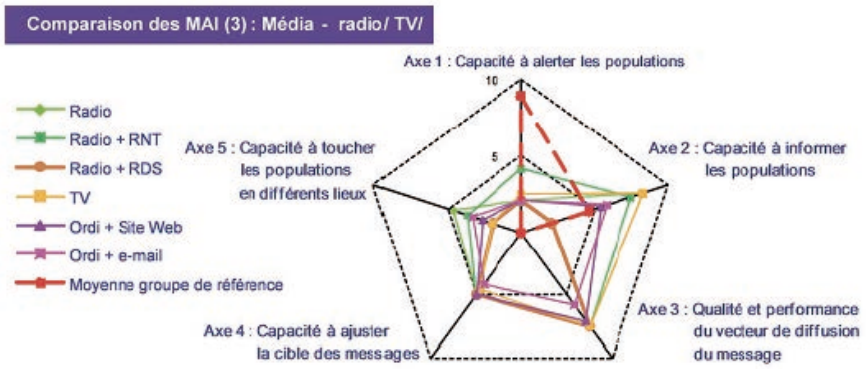


Figure 2. Efficacité des méthodes d'alerte et d'information (d'après le Guide ORSEC, 2013)

Un troisième constat est également source de nombreux questionnements géographiques : il n'existe pas, en France, de « système » unique, permettant de rendre l'offre coordonnée, multicanaux, multi-aléas et qui tient compte de la prévisibilité et des « espace-temps » des phénomènes, alors que de tels choix ont été opérés ailleurs (comme aux États-Unis ou en Belgique par exemple). Or, si on décide de choisir une telle solution, sur quels principes pourrait-on le créer ? L'équité spatiale ? La part de la population couverte ? Le délai d'alerte ? La diversité des territoires et des populations qui y vivent reste par ailleurs souvent minimisée, alors que les individus ont des pratiques et des références différentes, en termes d'aléas, de risques ou de perception. Divers travaux ont montré que les risques étaient produits par les sociétés elles-mêmes, qui « fabriquent » à la fois les aléas et s'y exposent, et qui présentent des formes de fragilités variables selon les espaces et/ou les époques (*e.g.* Gaillard *et al.*, 2010 ; Wisner *et al.,* 2012 ; Reghezza-Zitt, 2015). Parler de « territoires d'alerte » permettrait alors de réinscrire le risque dans le territoire, de le considérer comme un élément endogène, et de dépasser une simple lecture dichotomique qui revient souvent à opposer l'aléa (la source du danger) aux enjeux, avec des vulnérabilités et des degrés d'intégrité physique variés (November, 2010). Cependant, si le « territoire de l'alerte » pourrait désigner une matrice socio-spatiale dans lequel l'alerte serait diffusée, comment mettre en œuvre les moyens pour en démontrer l'existence, d'autant plus que la dynamique de certains aléas est parfois bien difficile à circonscrire dans l'espace et dans le temps ?

Pour finir, on cherchera à questionner les « seuils » qui pourraient être utilisés pour déclencher une « alerte aux crues rapides » pour la population, puisque ces aléas sont, par définition, soudains, violents et indéterminés dans l'espace et dans le temps. Depuis 2014, les institutions peuvent activer en France une « alerte à la pollution de l'air » lorsque la quantité d'ozone (> 360$\mu g/m^3$), de dioxyde de souffre (> 500$\mu g/m^3$) ou de dioxyde d''azote (> 400$\mu g/m^3$), est susceptible de concerner un nombre élevé d'individus (> 50 000 habitants) et qui vivent au sein du même département. On peut par ailleurs activer une « alerte pandémie grippale » si le nombre de cas hebdomadaires de syndromes dépasse plus de 25% d'un établissement, en se fondant « sur ce que l'on connaît du passé » en termes de bruit de fond et de saisonnalité de la pathologie. Mais rien n'est aujourd'hui proposé face aux crues rapides, et on essaiera d'atteindre un tel objectif (dans quelques années le cas échéant).

Structuration du mémoire et inflexions d'ordre méthodologique

Pour aborder ce besoin de compréhension et de mesure de l'efficacité de la diffusion de l'alerte à la population, ma réflexion et les méthodes mobilisées ont été structurées de la façon suivante :

1) Dans un premier temps, mes recherches ont d'abord consisté à décrire la complexité du processus d'alerte, avec une approche analytique m'amenant à opposer la binarité de la prise de décision à la gradualité des crues rapides, et à identifier un certain nombre de faiblesses. Si le processus d'alerte est un processus d'interprétation, force est de constater par exemple qu'il n'induit pas (ou peu) d'actions collectives en situation de crise. L'indétermination spatiale et temporelle des crues rapides, la pluralité des sources d'incertitude, la délicate validation des dépassements des seuils de fonctionnement, et l'absence de liens entre l'alerte et le cycle de la prévention, sont des postulats que j'ai voulu vérifier et mesurer, tout en faisant varier les contextes d'étude et les niveaux d'observation. Les données empiriques post-événementielles ont été remobilisées pour alimenter la discussion, et les méthodes utilisées s'inscrivent dans le domaine d'une géographie quantitative (utilisation des outils de géo-simulation, analyses et traitements statistiques et géomatiques) en lien avec ma formation initiale.

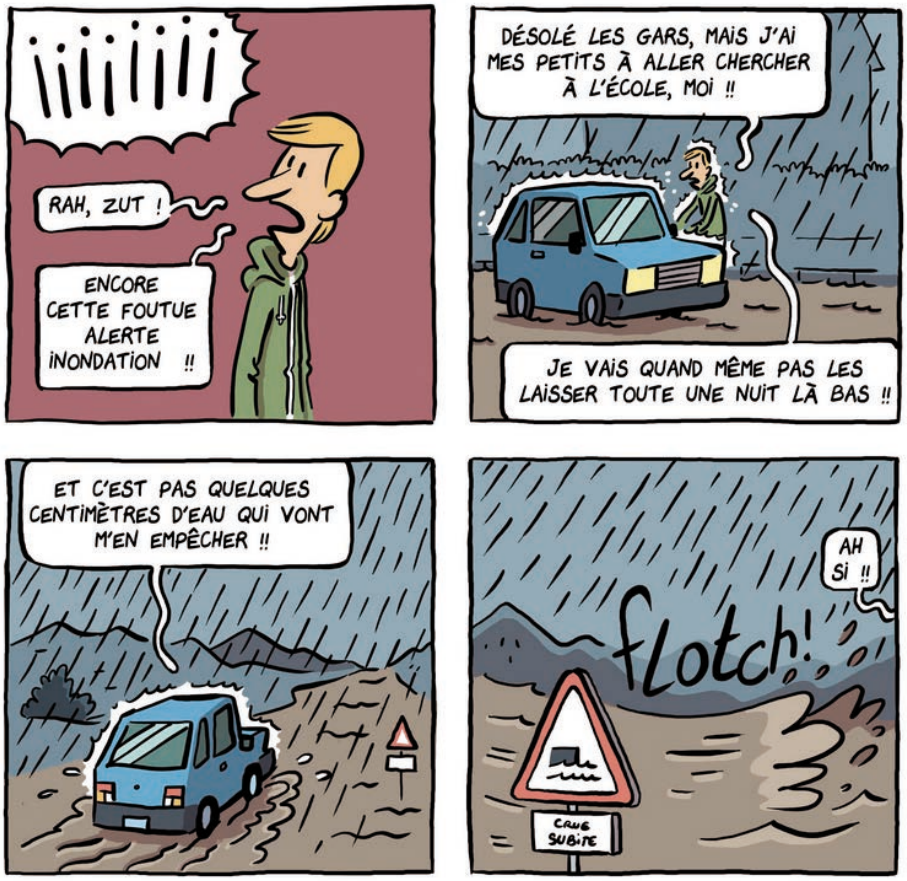
2) Dans un deuxième temps, mes travaux ont visé à évaluer l'efficacité des outils qui existent actuellement en France pour alerter la population d'un danger imminent ou en cours. L'un des objectifs était en particulier de comparer le potentiel (quels sont les apports et les bénéfices attendus de l'offre déployée ?) aux usages (quelle est la réalité de ces pratiques ?), que nous avons mesuré en jouant à nouveau sur les contextes, les scénarios ou les « catégories » de population. Par choix, j'ai décidé de focaliser mon attention sur des facteurs qui me semblent déterminants pour atteindre l'efficacité interne et individuelle attendue. Les méthodes et outils mobilisés traduisent une ouverture progressive de mon questionnement, avec des approches tantôt qualitatives, tantôt quantitatives, tantôt descriptives, tantôt normatives.

3) Dans un troisième temps, j'ai voulu dépasser ces entrées analytiques, pour tendre vers une approche plus normative qui consiste à proposer des grands principes sur lesquels on pourrait s'appuyer pour faire évoluer, rationaliser, ou refondre, l'offre actuelle. Pour cela, de nombreux travaux menés ailleurs, ou face à des aléas ayant une cinétique proche, sont relatés et mis en perspective avec d'autres protocoles innovants que nous avons empiricisé, qui se raccrochent au domaine de l'informatique (avec les réseaux opportunistes), du design social (avec l'atelier créatif des « Veilleurs de crue »), de la géomatique (avec la relocalisation spatiale des sirènes) ou à certains courants de pensée de la géographie. C'est surtout l'occasion de questionner la diffusion de l'alerte à travers des notions géographiques (comme le remaillage territorial ou la définition d'un territoire) et avec certains concepts clés (comme l'équité spatiale, l'isotropie, le rôle joué par la distance-temps, la réceptabilité ou l'engagement citoyen).

Au final, le volume a été structuré pour répondre à un fil conducteur et des exemples (indiqués comme ci-dessous) viennent préciser des points rapidement évoqués dans le texte (**exemple 1**). Par opposition, certains développements méthodologiques ont été succinctement explicités, par souci de parcimonie et pour ne pas perdre le fil de la discussion, et ce point (discutable) est assumé.

Partie I

Un processus « complexe » à évaluer à différentes échelles



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

Introduction de la partie I

Cette partie a pour objectif de dresser un état de l'art sur la manière dont on alerte la population en France, notamment face à des crues rapides potentiellement dommageables, et de mettre en avant les principales contraintes qui empêchent les autorités compétentes de prendre une décision dans les meilleurs délais. Trois hypothèses d'explication seront particulièrement soumises à la discussion :

1) La procédure qui régit l'activation du signal d'alerte paraît contraignante en France. Si les lois prévues à cet effet ont été instaurées pour inciter les responsables à respecter leurs obligations, les sanctions éventuelles semblent toutefois porter préjudice aux intérêts que l'alerte représente. La lenteur de la prise de décision et/ou le délai de validation induit par un grand nombre d'acteurs impliqués, semblent par ailleurs être en inadéquation avec la cinétique des crues rapides, qui apparaissent parfois en quelques minutes.

2) Le défaut de connaissances sur les « seuils de rupture », les « pluies critiques » ou les temps de réaction d'un grand nombre de petits bassins versants non jaugés est aussi un point qui apparaît incompatible avec la binarité de la prise de décision. Si les approches sont de plus en plus systémiques, en combinant notamment les réponses attendues des bassins versants à l'exposition des biens et des personnes et à leur vulnérabilité probable, le manque de données de validation et la faible répétitivité des aléas dans le temps limite toutefois la calibration de tous ces seuils, et donc leur anticipation à plus long terme.

3) L'alerte semble également pâtir des défaillances de l'information préventive et de tous les dispositifs déployés en France pour communiquer sur le risque inondation. L'hésitation des autorités (qui les conduit à de l'inaction en phase d'urgence), ou les comportements des individus (qui ne sont pas toujours à même de comprendre la situation en temps réel), résultent de nombreuses lacunes et de multiples dérives qui existent en dehors de la crise, et l'alerte ne fait alors que révéler l'accumulation de tous ces dysfonctionnements.

D'autres questions gravitent aussi autour de ces hypothèses. Comment afficher des définitions rigoureuses, maintenir des procédures fiables, voire tenir des postures robustes, alors que les priorités de l'alerte dépendent du lieu et du moment ? Comment ne pas constater que les mots utilisés (alerte, gravité) ont une connotation qui incite plus à de la réactivité qu'à une action réflexe ? Comment alerter lorsque des phénomènes graduels tels que les crues rapides (contrairement aux séismes, brutaux et soudains), peuvent laisser une petite place à un temps de vigilance (ou de surveillance) de la part des services techniques, voire même pour la population exposée (Vinet, 2017) ?

Aussi, la logique qui a prévalu à l'organisation de cette partie I et à la structuration de chaque chapitre est la contrainte : les niveaux de complexité induits par la procédure de déclenchement de l'alerte en France sont d'abord détaillées (**chapitre 1**) ; les difficultés liées à la définition des seuils de rupture sont ensuite explicitées (**chapitre 2**), avant de confirmer que les défaillances identifiées dans le cycle de la prévention se reporte inexorablement sur le processus de l'alerte (**chapitre 3**).

Chapitre 1. Alerter la population : une décision soumise à de nombreuses contraintes

Ce premier chapitre a pour objectif d'expliciter les contraintes auxquelles sont soumises les autorités quand elles veulent diffuser une alerte à la population en cas de crues rapides. Étant donné la gravité du danger qu'elle annonce, et les responsabilités qu'elle induit, l'alerte est exclusivement administrée par l'État et ses représentants aux échelles locales (maires et préfets). Les textes de loi associés relèvent du Code de la sécurité intérieure en France (articles L.112-1, L.711-1 et -2, L.732-7) et les risques de poursuites pénales en cas « d'alerte manquée » ou de « fausse alerte » (voire les procès actuellement portés à des individus « lanceurs d'alerte »), n'incitent d'ailleurs pas à sortir de la vulgate réglementaire, qui répond à une logique descendante (« top-down ») ancrée depuis plus de deux siècles. La validation de la prise de décision fait également face à d'autres niveaux de complexité, qui sont imputables au grand nombre d'acteurs impliqués et à différentes confusions dans la diffusion des messages. La chaîne de l'alerte peut alors être longue et devenir problématique quand la décision doit être prise en quelques minutes, et la cinétique brutale des crues rapides apparaît en porte-à-faux par rapport à la binarité du signal, déclenché dans une logique du « tout ou rien ». La législation a par ailleurs du mal à s'adapter au rythme des innovations, à l'image par exemple des propositions de loi qui restent sans suite favorable sur le *Cell-Broadcast* (qui permettrait d'envoyer des messages d'alerte dans une zone ciblée), ou l'abandon de l'application *SAIP*© le 29 mai 2018. Dès lors, il s'agit de faire un bilan de toutes ces contraintes, et de voir si elles pourraient être amenées à évoluer à court terme.

1.1. L'alerte à la population : une procédure très réglementée en France

1.1.1. Rôle et responsabilités des autorités compétentes

En application de son pouvoir de police administrative (instauré par les lois du 16 et 24 août 1790, et rappelé au 5^{e} alinéa de l'article L.2212-2 du Code Général des Collectivités Territoriales), le maire est l'autorité de droit commun (Douvinet et Denolle, 2010) chargée de diffuser le signal d'alerte destinée à avertir ses administrés d'un danger imminent ou en train de produire ses effets. Le maire doit considérer sa mission comme prioritaire : il est par exemple chargé de contacter le représentant de l'État (art. R732-22), les parents, les tuteurs responsables d'enfants, ou les chefs d'établissements scolaires (*via* la DASEN). Il peut ordonner, par arrêté, la fermeture des écoles ou de certaines routes. Ces actions réflexes peuvent être détaillées dans un *Plan Communal de Sauvegarde* (PCS), qui est la déclinaison du plan ORSEC (*Organisation de la réponse de sécurité civile*) à l'échelle communale, et qui a été instauré par la loi de Modernisation de la Sécurité Civile en 2004.

En tant que Directeur des Opérations de secours (DO), le maire est soumis à une obligation de résultat : il doit veiller à diffuser l'alerte auprès de tous ses administrés sans aucune distinction sociale, et réduire les dégâts par tous les moyens dont il dispose (mobilisation du personnel, recours à la sirène ou aux téléphones, etc.). Son champ d'intervention est précisé par la jurisprudence du Conseil d'État. Le préfet peut toutefois déclencher l'alerte (**exemple 1**), puis prendre la direction des opérations **1)** en cas de carence du maire, **2)** à partir du moment où des inondations couvrent plusieurs communes au sein du département ou **3)** lorsque les capacités (techniques, logistiques ou financières) du maire se retrouvent « dépassées ». Selon l'article L.1322-2 du code de la défense, à l'exception des zones où se déroulent des opérations militaires (la responsabilité de l'ordre est alors conférée par le gouvernement à un commandant militaire), le préfet sera dès lors chargé de la préparation et de la réalisation de la défense civile contre le danger, avec le concours des maires.

EXEMPLE 1. Après avoir pris connaissance des départements classés en vigilance rouge (selon les informations envoyées par Météo France et le SCHAPI) face à des inondations prévues dans les heures à venir, le préfet doit alerter de façon systématique les maires des territoires concernés, demander une expertise locale de la situation puis mettre en place, en lien avec le Centre Opérationnel de Zone (COZ), un dispositif de gestion de crise (selon la circulaire interministérielle du 14 septembre 2011). Le préfet doit déterminer avec les maires quelles sont les mesures les plus appropriées. En revanche, lorsque le niveau de vigilance est vert, jaune ou orange, le préfet ne va pas alerter de façon systématique les maires : ce sont eux qui définissent leur propre dispositif de veille.

Dans la vision des services de l'État, une fois l'alerte activée, les citoyens doivent adopter un comportement et un réflexe type de sauvegarde (DGSCGC, 2013), autrement dit, une mise en sécurité simple et immédiate, dans l'attente d'information complémentaire. Ces consignes sont variables selon l'événement en cours : évacuation en cas de feu de forêt ou incendie, mise à l'abri en cas d'inondation, « confinement » en cas de nuage toxique ou d'acte terroriste, etc. En cas de menace plus précise ou plus soudaine, l'émotion et l'inquiétude ressenties doivent servir à avertir du danger avec des appels à « se tenir sur ses gardes ». Elle peut également s'interpréter comme une notification sur l'imminence d'un danger : la DGSCGC (2013) distingue d'ailleurs l'engagement de la procédure par les autorités compétentes, de la prise de décision effective de cette mesure (activation du signal).

Ces dispositions s'appliquent à l'ensemble des communes du territoire national, à l'exception de Paris et des villes des départements dits de la « petite couronne parisienne » (c'est-à-dire Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne), pour lesquelles la compétence de l'alerte relève du préfet de police qui informe, sans délai, le préfet de département. Le Premier ministre, le Ministre de la Défense et le Ministre de l'Intérieur peuvent également, au niveau national, déclencher des mesures d'alerte dans certaines zones géographiques (titre III de la constitution et articles L.1142-1 et L.1142-2 du code de la défense). Associés à ces dispositions, certains cas particuliers sont aussi à prendre en compte : une alerte peut être activée sur un site soumis à un PPI (*Plan Particulier d'Intervention*) quand un événement présente des risques de nature particulière pour les populations environnantes. La décision d'activer l'alerte est confiée à l'exploitant du site pour des raisons de proximité et pour son expertise potentielle sur la cause probable nécessitant l'alerte. L'exploitant agit, dans ce cas-là, pour le compte de l'autorité de police. Si l'incident dépasse l'emprise du site industriel, c'est en revanche le préfet qui prend les commandes : il déclenche une alerte en cas de péril imminent, ou lorsque l'autorité de police ne peut être mobilisée dans les brefs délais requis.

1.1.2. Forme des messages et obligations des diffuseurs d'alerte

Les messages d'alerte ont pour objectif d'avertir la population de la nécessité de se mettre à l'abri du danger, et de se porter à l'écoute de l'un des programmes nationaux ou locaux de radio ou de télévision (décret n°2014-1253 du 27 octobre 2014, art. 16), pour faire face à une menace ou une agression (au sens des articles L. 1111-1 et L. 1111-2 du Code de la Défense), ou à un accident, un sinistre ou une catastrophe au sens de la loi du 13 août 2004. La forme des messages (qui doit tenir compte de la portée psychologique et d'une dimension sociale) et leur matérialisation (voix, couleur, identité sonore et visuelle, etc.) sont elles aussi très contrôlées : un message doit avoir la forme d'un signal court (type alarme pour les sirènes), d'un message intermédiaire (type SMS, composé de 180 caractères) ou d'un message détaillé (grand format du type communiqué de presse, **exemple 2**). Ces messages doivent attirer l'attention, nommer et caractériser le danger, prescrire le comportement individuel attendu, renvoyer vers un moyen d'information et préciser le public concerné. La mention « ALERTE ORSEC » constitue la marque privilégiée des messages officiels, rédigés de façon à être interprétés sans équivoque et sans laisser place à l'évaluation de la situation (ORSEC, 2013).

EXEMPLE 2. Afin d'illustrer le format pris par un message détaillé type communiqué de presse, on peut prendre l'exemple des messages diffusés dans le cadre du plan « Alerte Enlèvement ». Le déclenchement est validé par le procureur de la République territorialement compétent, en étroite concertation avec les enquêteurs et après consultation du ministère de la Justice. L'activation du plan « Alerte Enlèvement » repose sur plusieurs critères rappelés dans la circulaire du 30 mars 2015 : il s'agit d'un enlèvement avéré et non d'une disparition inquiétante ; la victime est mineure ; l'intégrité physique de l'enfant est en danger ; le procureur dispose d'informations dont la diffusion peut permettre la localisation de l'enfant et/ou de son ravisseur. Même si ces critères sont tous réunis,

le procureur de la République peut néanmoins décider de ne pas déclencher l'alerte s'il estime que sa diffusion peut mettre en danger la vie du mineur. Le message d'alerte est composé d'éléments susceptibles d'aider à la localisation de la victime, ou de la personne suspectée de l'enlèvement. Il contient des éléments d'identification (date, heure et lieu de l'enlèvement ; description du véhicule suspect et numéro de la plaque d'immatriculation), une formule incitant la population à ne pas agir seule, un numéro de téléphone et une adresse électronique pour recevoir les informations utiles à la localisation de la victime ou du suspect. La diffusion de l'identité et de la photographie du suspect doit en revanche être envisagée avec prudence. Le message peut par ailleurs être modifié à tout moment, en fonction des informations recueillies par les enquêteurs.

Une fois le message d'alerte défini, il convient ensuite de le diffuser auprès de la population. Pour cela, le cadre réglementaire définit à nouveau des règles strictes à respecter, à commencer par la détermination des personnes visées. Ce choix doit respecter cinq étapes de manière générale :

- Identification de la source et de la nature du danger (caractérisation du phénomène) ;
- Connaissance des enjeux (quantification des populations concernées) ;
- Évaluation de la zone de compétence de l'autorité responsable du déclenchement de l'alerte (on parle dans ce cas de zone d'alerte, puis de bassin d'alerte lorsque plusieurs zones d'alerte sont concernées par l'événement) ;
- Analyse de la zone de couverture des outils d'alerte en état de fonctionner, tout en ciblant les zones « blanches » (non couvertes par de tels dispositifs) ;
- Croisement de toutes ces informations avec les zones d'effet.

La diffusion de l'alerte est ensuite mise en œuvre par des services détenteurs de tout moyen de communication à destination du public. Il s'agit exclusivement de services publics ou privés :

- Les radios ou télévisions des sociétés nationales de programme *Radio France, France 3* et *Réseau France Outre-Mer*, ou leurs structures partenaires (**exemple 3**) ;
- Les centres d'ingénierie et de gestion du trafic (Centre National d'Informations Routières ou les Centre régionaux d'information et de coordination routière) ;
- Les collectivités territoriales et les moyens disponibles (panneaux d'affichage) ;
- Les gestionnaires de réseaux délivrant des informations (gare, métro, aéroport) ;
- Les partenaires privés qui ont montré un intérêt dans la diffusion des messages d'alerte.

La liste des diffuseurs est d'ailleurs fixée dans des conditions strictes (décret n°2014-1253 du 27 octobre 2014). Ces services sont sélectionnés en tenant compte de plusieurs critères :

- Leur capacité à alerter les populations (couverture spatiale),
- Leur capacité à informer différents types de populations (audience),
- Leur capacité à toucher différents lieux (portée),
- Leur performance dans la diffusion des messages,
- Leur capacité à ajuster la cible des messages (réactivité).

Si les services sélectionnés ont le droit d'utiliser leurs propres vecteurs de diffusion (écrans dans des lieux publics, sites internet, radios, etc.), le cadre réglementaire impose qu'ils diffusent les consignes de sécurité « après authentification, sans délai ni modification, et de façon aussi répétitive que de besoin » (DGSCGC, 2013), et qu'ils respectent les arrêtés qu'ils ont signés avec les ministères chargés de la sécurité civile et de la communication, selon l'ordonnance n°2012-351 du 12 mars 2002.

EXEMPLE 3. La loi n°86-1067 du 30 septembre 1986 (article 95-1) rappelle les différentes obligations auxquelles sont assujettis les services de radiodiffusion sonore et de télévision. Dans la pratique ces injonctions sont souvent encadrées par voie conventionnelle. La convention de partenariat signée entre l'État et *France Télévisions* est en cours de renégociation (la précédente convention datant de 2009). La convention conclue avec *Radio France* a, elle, été renouvelée le 16 juillet 2015. Des messages pré-écrits ont été définis pour 13 risques. Les modules sonores prescrivant les comportements adaptés ont été enregistrés et ils sont mis à disposition de l'ensemble des stations émettrices *Radio France*. La pratique a révélé que les réseaux *France Bleu et France Info* étaient les mieux équipés pour répondre à la diffusion de l'alerte, de par leur granularité optimale et la participation des journalistes aux exercices d'entraînement (Vogel, 2017). L'efficacité et la souplesse du dispositif ont permis la mise en place d'une ligne spécialisée de transmission des messages via le Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises (COGIC). Une convention est ensuite déclinée dans chaque département, afin de mieux identifier les acteurs impliqués à des échelles plus fines, et d'entretenir une mise à jour permanente des contacts entre les préfectures et les stations de diffusions.

La décision de lever le signal émis revient ensuite au Directeur des Opérations (DO). La fin de l'alerte est annoncée par le même outil que celui qui a servi à émettre le signal initial (DGSCGC, 2013) : soit par les services de radio ou de télévision, soit par un signal court (de 30 secondes pour les sirènes du RNA), soit par un communiqué officiel élaboré par le chef d'un établissement scolaire dans le cadre du PPMS (Plan Particulier de Mise en Sureté), par exemple.

1.1.3. Conséquences en cas d'« alerte manquée » ou de « fausse alerte »

La responsabilité des autorités (préfet ou maire) peut être engagée en cas de manquements ou de carences à leur obligation d'alerter la population concernée par un danger (autrement dit, c'est une « alerte manquée »). Il s'agit de l'application d'un principe général, qui porte sur la responsabilité pour carence des autorités de police administrative dans le domaine de la sécurité (Hassine, 2014). La circulaire du 28 septembre 2011 ne fait que le rappeler. Certains manquements (ayant des motifs variables) ont été avérés lors d'inondations récentes, et la responsabilité des maires a été incriminée (**exemple 4**), car une (ou plusieurs erreurs) les a (ont) conduits à ne pas mettre en œuvre des actions appropriées (notamment diffuser l'alerte). Compte tenu des contingences de la matière, les juges ont en revanche toujours refusé de condamner les services jouant un rôle dans la procédure de mise en vigilance alors qu'ils peuvent ne pas avoir prévenu les autorités (faute d'avoir détecté l'aléa). Ainsi, il convient de rappeler que le taux de non-détection de phénomènes météorologiques dangereux est compris entre 8 % (2011) et 11 % (2007). Le 14 avril 1999, par exemple, un orage de grêle qui n'avait pas été prévu par Météo France a détruit pas moins de 5 000 hectares de vignes et de fruitiers dans les Pyrénées-Orientales (MEDDE, 2012). La prévision météorologique a gagné en efficacité, avec des prévisions désormais fiables à 15 jours à l'échelle départementale. Mais les pluies intenses localisées sont toujours encore peu prévisibles avec quelques d'heures d'avance (Vincendon *et al.,* 2016).

EXEMPLE 4. Plusieurs inculpations pour « homicide involontaire et mise en danger de la vie d'autrui » ont été prononcées à l'encontre de certains maires suite à des inondations meurtrières récentes. On peut par exemple citer : 1) le maire de La Faute-sur-Mer (condamné à 2 ans assortis de sursis en 2016, suite au passage de la tempête *Xynthia* le 28 février 2010, qui a provoqué le décès de 29 personnes au sein de la commune suite à une submersion marine associée à des crues par rupture de digues – le rejet des pourvois a été acté le 2 mai 2018 par la Cour de cassation) ; 2) le maire de Lamalou-les-Bains (condamné à 6 mois assortie de sursis en 2016, suite à la crue du Bitoulet le 19 septembre 2014, qui a provoqué la mort de 4 personnes dans le camping municipal) ; 3) la maire de Biot (mise en examen suite aux inondations du 3 octobre 2015, qui ont provoqué le décès de 3 personnes dans une maison de retraite de la commune – procès toujours en cours).

La responsabilité peut aussi être engagée en cas de « fausse alerte », car un signal non suivi d'un danger réel peut générer différents préjudices (matériels, moraux, etc.). Elle peut surtout remettre en cause la crédibilité des outils existants, voire provoquer un afflux massif d'appels vers les numéros d'urgence de personnes inquiètes et ne sachant pas quel type de comportement adopter (DGSCGC, 2013). Selon l'article 322-14 du Code pénal et sous couvert de l'ordonnance du 19 septembre 2000, *« le fait de communiquer ou de divulguer une fausse information faisant croire à un sinistre »,* et qui serait susceptible de provoquer l'intervention inutile des secours, est passible de 30 000 € d'amende et de 2 ans d'emprisonnement. Néanmoins, à ma connaissance, aucune autorité n'a été inquiétée sur ce point, les responsabilités étant suffisamment floues et confondues pour éviter de telles pénalités.

Dans les faits, ces responsabilités sont rarement engagées car la socialisation des risques, rendue possible notamment par le principe de subsidiarité nationale créée en 1982 (avec la mise en place du régime *CatNat*), a conduit à la possibilité d'indemniser la plupart des dégâts, sans qu'il y ait à prouver l'existence de fautes et à chercher la moindre responsabilité (Hassine, 2014). La loi Fauchon (2000) prévaut d'ailleurs dans ce domaine : pour l'administré, il est très difficile d'apporter la preuve d'une faute lourde et donc d'obtenir l'indemnisation du préjudice subi (Douvinet et Denolle, 2010). Le plus souvent, la responsabilité de la commune sera engagée dès lors que l'administré, victime de la catastrophe, réussit à démontrer l'existence d'une faute simple commise par le maire dans l'exercice de ses compétences. Il faut ainsi une défaillance dans la signalisation et dans l'information du risque pour constituer une faute lourde, sauf si le maire démontre que le risque était inconnu ou *à contrario,*

connu par tout le monde. Quand les victimes de dommages renoncent à exercer un « recours de plein contentieux », ce sont les compagnies d'assurances qui prennent le relais : une fois que leurs assurés sont indemnisés, elles n'hésitent pas à saisir le juge dans le cadre d'actions récursoires (**exemple 5**), pour justement rechercher les responsables des dommages, et faire partager les frais.

EXEMPLE 5. Suite à l'action récursoire engagée par la SMACT (Société mutuelle d'assurances des collectivités territoriales), le maire actuel de La-Faute-sur-Mer a engagé une procédure judiciaire contre cette société pour que les indemnisations aux victimes ne soient pas directement versées par la commune. La SMACT se défend en arguant une clause assurantielle d'exclusion des dommages liés aux débordements d'eau de mer, mais si la procédure échoue, la mairie devra verser près de 2 millions d'euros (soit 10 fois son budget annuel).

1.2. Un processus décisionnel lent et parfois confus

1.2.1. Une pluralité d'acteurs, source de lenteurs dans la prise de décision

La représentation de l'État à une échelle locale (maires) et départementale (préfets) constitue l'un des traits originaux de la gestion des risques en France (Grislain-Letrémy *et al.*, 2012). Toutefois, cela induit un premier niveau de « complexité » : chargé d'encadrer l'activité des maires et d'assurer la coordination générale en cas de crise, le préfet exerce aussi une certaine forme de « surveillance » (Carré, 2006) et ce contrôle de légalité ne convient guère à certains maires. Un « dialogue de sourds » peut s'instaurer entre ces deux échelons administratifs, comme l'ont déjà montré certaines inondations (**exemple 6**), et les relations sont loin d'être si simples, d'autant que les pouvoirs des préfets de région ont été renforcés en matière de sécurité civile (lois de 1982, 1983, 2004 puis de 2010).

EXEMPLE 6. Lors du retour d'expérience mené suite aux inondations de l'Aude (1999), F. Vinet (2007) relate une anecdote qui donne la mesure du fossé existant entre les autorités étatiques et les édiles. Au cours d'une réunion publique, le maire d'une commune de l'Hérault (34) rappela que les appels téléphoniques venant de la préfecture pour l'alerter de l'imminence d'une crue avaient eu pour seul effet de réveiller son épouse en pleine nuit, puisque lui était sur le terrain depuis une heure, occupé à la mise en sécurité des populations à l'échelle de sa commune.

Un deuxième niveau de « complexité » est lié à la centralisation des pouvoirs décisionnels et à la logique « top-down » (descendante) qui prévaut sur la chaîne de l'alerte (Kouadio et Douvinet, 2016). La conclusion de la mission d'expertise mandatée suite aux crues survenues en 2013 et 2014 en Bretagne fait explicitement mention des faiblesses que représente le « millefeuille » administratif français, malgré une bonne volonté des acteurs ou des services mobilisés (MEDDE, 2015). En 2016, on peut encore recenser plus de 50 intervenants pouvant influencer la prise de décision (Kouadio, 2016) et les différents niveaux décisionnels peuvent alors être perçus comme autant de barrages à la transmission et à la diffusion des informations *(*Créton-Cazanave, 2010).

Si le Ministère de l'Intérieur autorise l'engagement de la procédure d'alerte, il est secondé par les autres ministères de tutelle concernés dans le temps de crise (Framery, 2003 ; Langumier, 2008 ; Gisclard, 2017) : le Ministère de l'Environnement (qui a changé 18 fois de nom en moins de vingt ans), le Ministère de l'Agriculture, le Ministère de la Santé, le Ministère de l'Éducation Nationale, le Ministère de l'Économie et des Finances, mais aussi l'Institut de Veille Sanitaire (IVS), la Direction Générale de la Cohésion Sociale (DGCS), la Direction des Affaires Maritimes (DAM), etc., sans oublier l'ensemble des services déconcentrés en région et les services spécialisés selon la nature de l'événement en jeu. Quand on positionne l'ensemble des acteurs selon leurs différents niveaux décisionnels (**figure 1.1.**), on se rend bien compte de l'ampleur du nombre d'intervenants sollicités. Le système apparaît à la fois pyramidal (toute décision dépend du plus haut niveau de l'État) et fragmenté (le maire se retrouve en bas de la « chaîne » et il peut recevoir différents messages venant « du haut »).

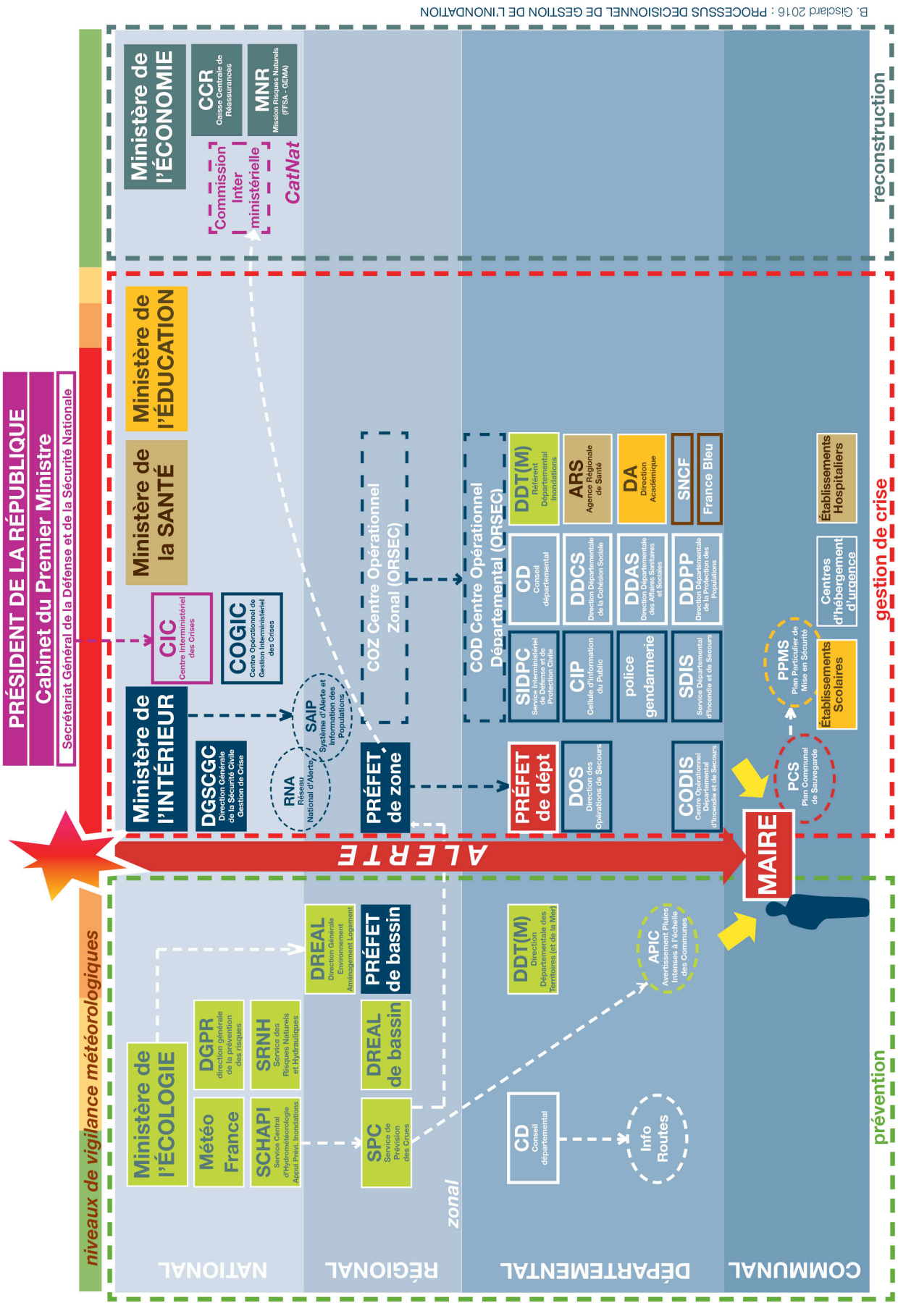


Figure 1.1. Schématisation de la complexité du processus de gestion du risque inondation en France, avec un fonctionnement en « silo » (Gisclard, 2017)

1.2.2. Une pluralité d'informations, source de nombreuses confusions

Un troisième niveau de « complexité » est lié aux informations qui arrivent, de façon confuse et opaque, voire contradictoire, au niveau des mairies (Langumier, 2008 ; Durand, 2014 ; Ministère de l'Intérieur, 2014). Les messages sont parfois délivrés sans aucun détail ou élément d'appréciation sur le phénomène (son ampleur, sa magnitude), ni même sur le péril pressenti pour les populations. Dès lors, certains maires peuvent ne pas évaluer les circonstances d'un événement et hésiter à déclencher une alerte inutilement (**exemple 7**). Les changements récurrents des maires (61 % sont des nouveaux arrivants depuis les élections de 2014 en France) font aussi craindre une mauvaise passation des procédures et des plans de gestion déjà existants : le contenu du *Plan Communal de Sauvegarde*, les risques identifiés ou les prérogatives de l'élu en termes de sécurité civile et d'alerte, peuvent alors se retrouver complètement dilués (Gisclard, 2017), voire inconnus en cas de crise réelle.

EXEMPLE 7. Des défaillances ont été observées dans la diffusion de l'alerte (Vinet, 2003) lors des inondations du 12 et 13 novembre 1999 survenues dans l'Aude. Suite aux fortes pluies (avec un maximum de 229 mm relevés en 3h à Lézignan-Corbières), une vigilance aux pluies intenses a été émise en fin d'après-midi, alors que des secteurs étaient inondés par plus de 2 m. d'eau. Des observateurs *in situ* et les centres locaux de secours (où convergent les appels de sinistrés) ont ainsi fait remonter des informations qui ont fait prendre conscience aux autorités de l'ampleur de la crise. L'interprétation des messages a aussi été différente selon les acteurs locaux : certains maires se sont plaints de l'opacité des messages et du manque de suivi de leur hiérarchie dans l'information sur la crise, alors que d'autres maires n'ont pas pris la mesure de l'événement et n'ont donc pas répercuté l'alerte auprès des populations, par crainte d'affoler ou pour ne pas faire évacuer la population pour rien, comme à Cuxac-d'Aude (Vinet, 2003). Des événements plus récents, comme les crues du 12-13 juillet 2013 dans le Béarn, ou celle du 18 et 19 janvier 2014 à La-Londe-les-Maures, ont à nouveau montré de tels problèmes (DREAL PACA, 2014 ; PRITNAT, 2006).

Il existe également une asymétrie d'informations dans la vigilance, qui peut se répercuter sur la diffusion de l'alerte. Le nombre, l'utilité et la cohérence de certaines sources d'informations mises à la disposition des Services de Prévision des Crues (SPC) ont été critiqués dans de nombreux retours d'expérience (Ministère de l'Intérieur, 2014 ; Préfecture des Bouches-du-Rhône, 2016). Il existe : trois sites extranet pour le suivi de la vigilance sur les 22 100km de linéaire de cours d'eau, un nouveau site en cours de déploiement face aux crues rapides (nommé *VigicruesFlash*), un bulletin émis sur les précipitations édité dans un format différent du modèle national (sans même parler des cartographies qui diffèrent parfois entre les sites, **figure 1.2.**), des Avertissements aux Pluies Intenses à l'échelle Communale (APIC) mis à la disposition des mairies et des préfectures depuis 2012 (qui sont pourtant inutiles pour anticiper les moyens d'action car les notifications indiquent qu'un épisode intense est déjà en cours sur le territoire ciblé). À cela s'ajoute l'hétérogénéité des réseaux hydrométriques, avec des réseaux juxtaposés (qui se situent parfois à quelques centaines de mètres les uns des autres ; Vinet, 2007), ou qui dépendent de services différents : les uns peuvent relever de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement), tandis que d'autres dépendent des Services de Prévision des Crues ou des DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt). Ces sources d'informations permettent aux différents échelons de s'accorder, en principe, mais plus les messages continennent des informations divergentes, plus l'expertise humaine a une importance capitale pour les traiter et les analyser, et pendant ce temps là, les mécanismes sociaux prévalent (Dedieu, 2009).

Ce qui peut se comprendre du point de vue des gestionnaires du SPC (qui ont pour objectif d'alerter les autorités) peut par ailleurs s'avérer peu lisible du côté des populations (Gisclard, 2017). Le décalage entre la vision d'un environnement stable et le cours d'eau qui déborde à des kilomètres de distance peut conduire à une incompréhension des informations fournies voire même à douter de leur pertinence. La confusion sémiotique résultant des différences de chromies entre les différentes cartes de vigilance (**figure 1.2.)** est préjudiciable à l'interprétation individuelle du phénomène en jeu (Deni et Gisclard, 2017), et cela peut s'expliquer par le fait que les informations fournies ne visent pas les mêmes objectifs, ou par des difficultés à anticiper les phénomènes. Mais quand des individus sont confrontés à ces décalages (par exemple, voir un tronçon de cours d'eau indiqué en vigilance jaune, alors que le département est lui situé en vigilance orange…), que peuvent-ils en déduire sur les actions qu'ils doivent mener, ou sur les précautions opératoires à prendre ?

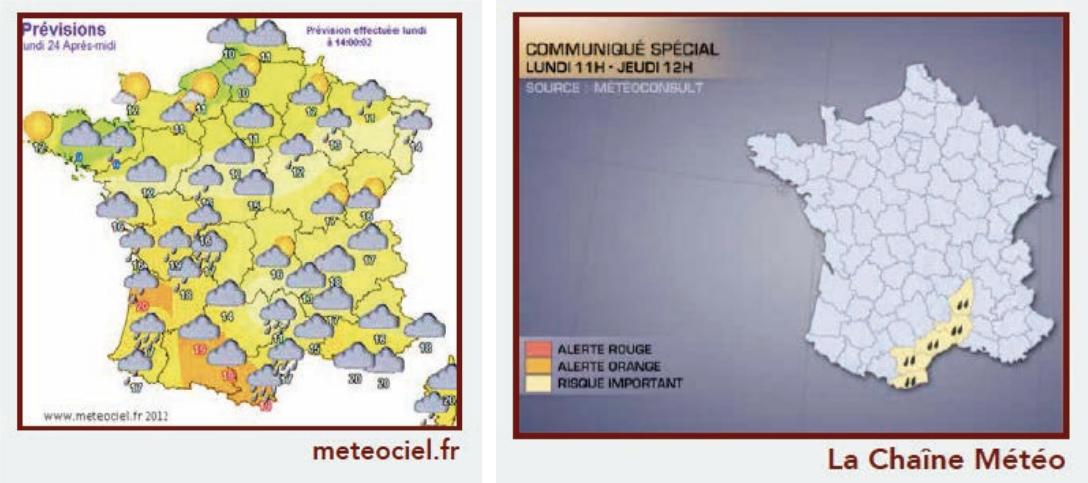


Figure 1.2. Différences d'affichage entre deux cartes de vigilances communiquées au grand public le même jour, le lundi 24 mai 2012, avec des espaces concernés différents (Gisclard, 2017)

1.3. Un délai de réaction restreint en cas de crues rapides

La dynamique de phénomènes évolutifs tels que des crues rapides pose problème face à la binarité de la prise de décision. En effet, à partir de quel moment déclencher l'alerte (qui répond à la logique du « tout ou rien ») ? Lorsque les premiers dommages sont avérés ? Quand les moyens des autorités sont dépassés ? Faut-il attendre jusqu'au dernier moment le pic de la crue ? Cette section a pour but de suggérer des réponses à toutes ces questions, en rappelant les caractéristiques des crues rapides, puis en montrant que les acteurs doivent adapter leur décision au type de situation en jeu.

1.3.1. Traits communs aux crues rapides survenant en France

Il n'est pas nécessaire de revenir de manière exhaustive sur la description des crues rapides tant les processus et leur cinétique ont déjà été décrits et étudiés par ailleurs (Dauge, 1999 ; Gaume *et al.,* 2009 ; Braud *et al*., 2014 ; Ruin *et al.,* 2016 ; Vincendon *et al.,* 2016). Les forçages climatiques et les facteurs de prédisposition sont également très variables d'une région à une autre (Borga *et al*., 2011 ; Lutoff *et al.,* 2016). Donc au lieu d'évoquer l'hétérogénéité des variables de contrôle, j'ai plutôt choisi de mettre en avant l'originalité de ces « crises hydrologiques » (Delahaye, 2002) par rapport à d'autres types d'inondations, et d'insister sur les points qui sont les plus dangereux pour la population.

Les crues rapides sont violentes en termes de montées des eaux : les débits de pointe sont très élevés, avec des valeurs allant de 500 à 5 000 m^3/s selon les régions (Dauge, 1999), et ils peuvent même aller au-delà des valeurs de référence. Il suffit de regarder les estimations faites suite aux crues du 3 octobre 2015 pour illustrer ce propos (**tableau 1.1**.) : rapportés à la taille des bassins versants, les débits spécifiques sont compris entre 4 et 17 $m^3/s/km^2$, avec des maximums ayant même dépassés 20 $m^3/s/km^2$ pour les plus petits bassins < 5 km^2 (**exemple 8**). Les ampleurs sont telles qu'on utilise désormais des « débits pseudo-spécifiques », avec des puissances (^) de 0,8 pour pondérer les effets liés aux perturbations inhérentes à des phénomènes de blocage, comme les embâcles, qui génèrent des phénomènes de remous (Gaume et Borga, 2013). Les crues peuvent faire émerger une « vague de boue », également appelée « mur d'eau » (Bravard et Petit, 2000 ; Douvinet, 2008). Elles induisent des incisions érosives majeures, voire des changements complets de la morphologie du lit mineur et de la plaine alluviale. Les matières en suspension (provenant de l'érosion des sols, du sapement des berges ou du charriage de fond), les glissements de terrain, les incisions dans les routes situées en fond de thalweg et les divers débris emportés (cabanons, voitures, tôles, tuiles, bottes de paille, bois morts, branches par exemple), etc., rendent néanmoins délicates les estimations hydrologiques.

Nom du bassin versant	Taille du bassin versant (km2)	Nom du cours d'eau	Localisation de la section mouillée	Débit de pointe minimum (m3/s)	Débit de pointe probable (m3/s)	Débit de pointe maximum (m3/s)	Référence (crue centennale) m3/s
L'Argentière	29,1	Argentière	aval confluence	190	230	270	270
	3,7	Vallon Maupas	amont confluence	35	45	55	51
La Bragues	41,5	Bragues	amont Biot	185	240	295	200
	3,3	Vallon des Combes	amont confluence	36	47	59	23
	10,6	Valmasque	Pont des Harkis	80	100	115	110
La Grande Frayère	9,1	Grande Frayère	Mougins	90	115	140	51
	10,5	Petite Frayère	Ranguin	55	68	80	52
Siagne	1,4	Théoulière	aval confluence	20	25	30	25

Tableau 1.1. Valeurs des débits de pointe estimés pour les crues du 3 octobre 2015 aux alentours de Cannes, suite au retour d'expérience mené en 2016 dans le cadre du programme HYMEX (modifié d'après Lebouc et Payrastre, 2016)

EXEMPLE 8. Dans la soirée du 3 octobre 2015, les communes de la zone côtière entre Mandelieu-la-Napoule et Nice ont subi un épisode orageux intense (entre 20h et 21h45) avec des cumuls « record » sur des pas de temps courts : 17,8 mm en 6 minutes relevés à la station de Cannes ; 69 mm en 30 mn et 115 mm en 1h à Mandelieu ; 175 mm en 2h à Cannes (Préfecture des Alpes-Maritimes, 2015). Ces cumuls de pluie très élevés se sont traduits par des volumes d'eau tombés considérables sur plusieurs bassins versants (plus de 5,7 millions de m^3 par exemple sur le Riou de l'Argentière, qui fait 47km^2), et par des débits pseudo-spécifiques exceptionnels, compris entre 7 et 19 $m^3/S/km^2$ (^0,8) au sein du Riou de l'Argentière et entre 8 et 18 $m^3/S/km^2$ (^0,8) sur le bassin de la Grande Frayère. Les grandes rivières (la Siagne, la Mourachonne ou le Loup) n'ont pas pour autant réagi avec une telle violence (à peine une crue décennale pour ces cours d'eau), ce qui montre l'acuité du phénomène. Des valeurs supérieures à 20 m3/s/km² (^0,8) concernent même deux bassins ayant une surface inférieure à 4 km².

Ces aléas sont également remarquables par la vitesse de propagation des écoulements. Les flots dépassent régulièrement des vitesses de plus de 2 $m.s^{-1}$ (le maximum estimé lors de la crue de la Narturby en 2010 est de 5,7 $m.s^{-1}$, en amont du village de Rebouillon, **figure 1.3.** ; lors des crues de 1977 en Gascogne, une valeur de 35 $m.s^{-1}$ est même avancée, Lambert et Vigneau, 1981) et des vitesses aussi élevées sont très révélatrices d'une relation pluie-débit directe (avec des coefficients de ruissellement qui peuvent atteindre 100% durant le paroxysme de l'événement). Les pointes de crue peuvent se propager vers l'aval avec une vitesse moyenne de 4 à 5 $km.h^{-1}$, et les témoignages des riverains (en particulier lorsque les rares stations hydrométriques sont emportées) sont alors les seuls outils d'aide aux études chronologiques des faits (Ruin *et al.,* 2016). Le temps de réponse (qui est l'intervalle de temps entre le pic d'intensité des pluies et la pointe de crue, et qui ne doit alors pas être confondu avec le temps de montée ou avec le temps de concentration ; Douvinet *et al.,* 2014) est compris entre 1h et 6h (avec une médiane de 3,1h calculée par Gaume *et al.,* 2012, dans le cadre du programme HYDRATE, sur plus de 60 crues recensées sur l'arc méditerranéen de 1946 à 2007).

Les écoulements, prenant un caractère torrentiel, ont par ailleurs des puissances spécifiques très élevées (**figure 1.3.**). Ces valeurs permettent d'évaluer les pertes d'énergie potentielle par unité de longueur du tronçon considéré (autrement dit, la capacité érosive des écoulements, exprimée en W/m^2), valeurs qui sont ensuite pondérées par la largeur moyenne des sections mouillées (Kondolf et Piégay, 1995 ; Douvinet et Delahaye, 2011). Les valeurs estimées (comprises entre 1 000 et plus de 6 000 W/m^2) augmentent par effet de convergence (suite à un accroissement de la pente ou à une diminution de la largeur du chenal d'écoulement), tandis qu'elles diminuent dans les parties aval des bassins (suite à un abaissement de la pente de la ligne d'eau et à une subdivision des flux dans les chenaux principaux). Dans les parties urbanisées, il est en revanche difficile d'associer les érosions à des puissances spécifiques à cause de la difficulté d'effectuer précisément des profils en travers, et plusieurs chercheurs (Petit *et al.*, 2005 ; Remaître, 2006) proposent d'utiliser des méthodes indirectes (avec des formules de charriage ou la taille des sédiments déposés) pour avoir des ordres de grandeur sur les puissances probablement atteintes.

Par leur dynamique inhabituelle, ces crues induisent un risque élevé pour la population et les dangers qu'elles représentent ont déjà fait l'objet de nombreuses études (Lambert et Vigneau, 1981 ; Staes *et al.,* 1994 ; Montz et Grundfest, 2002 ; Grothamn et Reusswig, 2006 ; Vinet, 2007 ; Boissier, 2013 ; Ruin *et al.,* 2016 ; Lutoff *et al,* 2016). Les dégâts matériels occasionnés sont considérables : si la moyenne des indemnisations versées par les assureurs au titre des inondations (reconnues en « catastrophes naturelles ») atteint 537 millions € / an sur la période 1982-2014 (CCR, 2017), il n'est

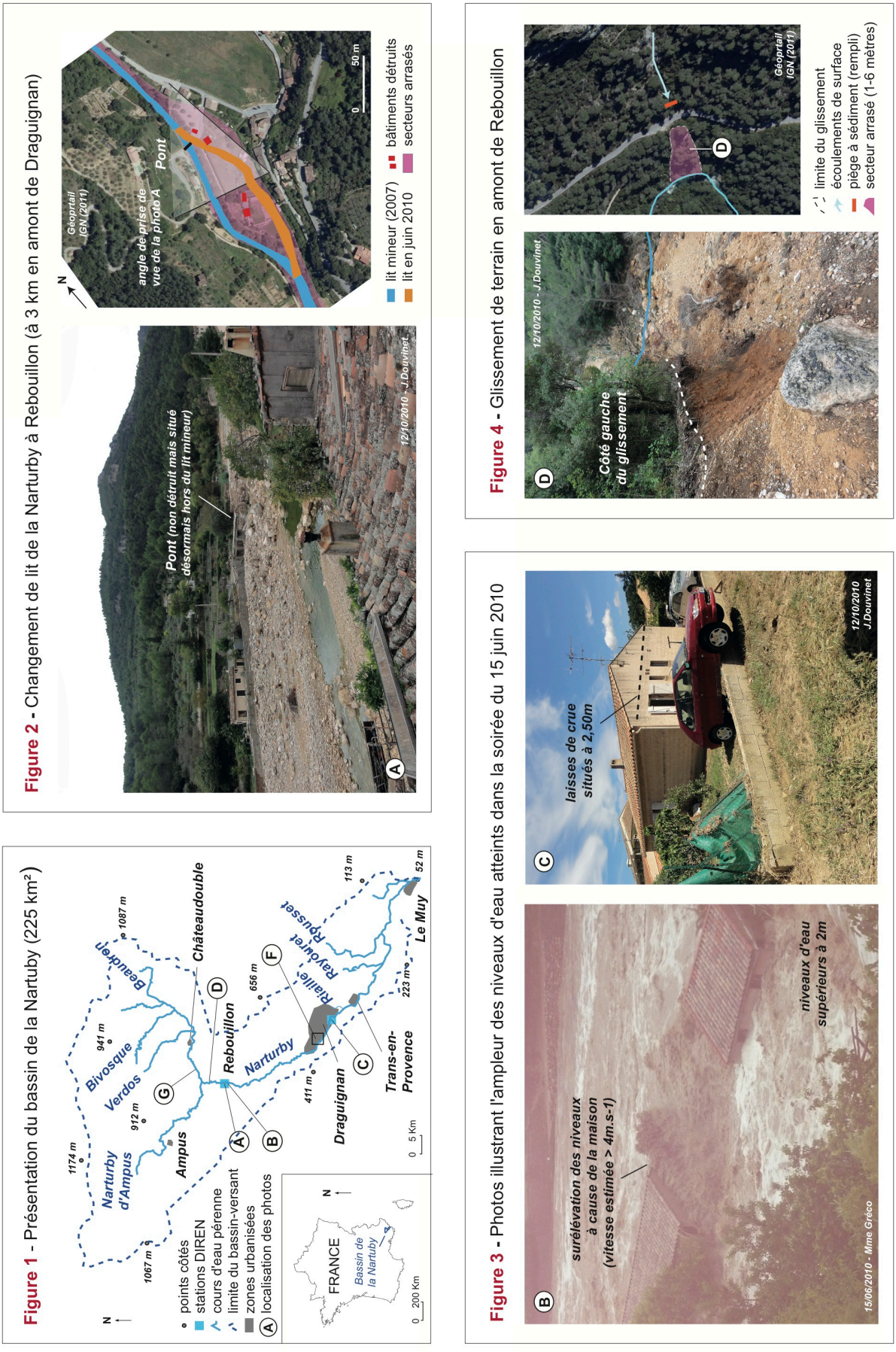


Figure 1.3 – A) Impacts de la crue du 15 juin 2017 sur le bassin de la Narturby (124km²) (extrait du poster présenté par Douvinet *et al.*, 2011)

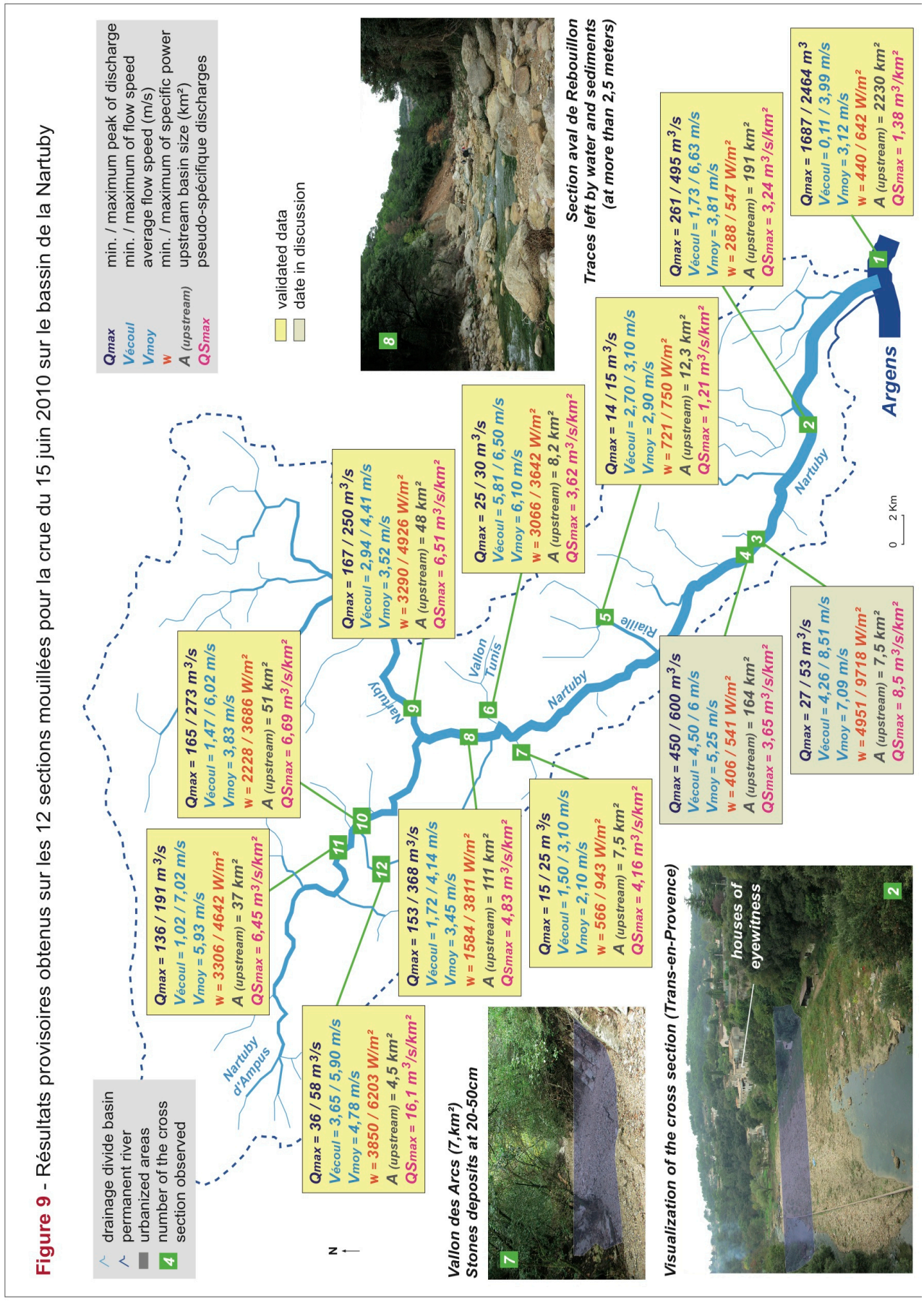


Figure 1.3 – B). Estimation d'un ensemble de paramètres suite au retour d'expérience mené en 2011 (extrait d'un poster présenté par Douvinet *et al.,* 2011)

pas rare qu'un seul épisode de type crue rapide dépasse un tel montant (**tableau 1.2.**). Les crues de juin 2010 ou d'octobre 2015 représentent plus de 60% de la totalité des sinistres comptabilisés la même année au titre des inondations (les autres sinistres étant liés à des inondations banales) et les dégâts sont d'autant plus élevés qu'ils sont concentrés sur des territoires restreints (plus d'1 million € par commune). Les inondations de plaine « coûtent » plus cher, mais touchent de vastes espaces.

Type d'inondation	Date de l'événement	Secteur touché	C = Coût estimé des indemnisations) en €	N = nombre de communes reconnues en état CatNat	Coût moyen par commune en € (C/N)	Nombre de décès
Crues rapides	22 septembre 1992	Vaison	440 000 000	453	971 302	34
	9 > 10novembre 1999	Aude	930 000 000	420	2 214 286	35
	9 > 10 mai 2000	Barentin	28 000 000	8	3 500 000	2
	25 septembre 2002	Gard	580 000 000	443	1 309 255	24
	15 juin 2010	Var	520 000 000	61	8 524 590	25
	18 septembre 2014	Lamalou	320 000 000	96	3 333 333	4
	3 octobre 2015	Cannes	700 000 000	68	10 294 118	20
Inondations par débordement	19-25 janvier 1995	Nord	690 000 000	3 623	190 450	1
	1 > 6 décembre 2003	Rhône	1 050 000 000	1 559	673 509	7
	1 > 4 juin 2016	Ile de France	1 300 000 000	1 403	926 586	3
	26-29 janvier 2018	Ile de France	185 000 000	564	328 014	0

Tableau 1.2. Dommages estimés suite à plusieurs inondations en France (d'après la CCR, 2017)

Les crues rapides occasionnent aussi de nombreux décès. Sur les 322 victimes recensées à cause d'inondations de 1980 à 2011 en France (d'après les bases de données du MEDDE ; Boissier, 2013), 203 sont imputables à des crues rapides survenues en zone méditerranéenne (63%), tout en sachant que près de 30 décès ont été recensés depuis (2012-2017). Le nombre de décès est bien plus élevé qu'en cas d'inondations de plaine. Des épisodes historiques ont été dramatiques par le passé : on pense par exemple aux crues de la Garonne en 1930 qui auraient provoqué la mort de 200 personnes, dont 140 à Moissac (Boudou, 2015), ou aux inondations des années 1940 qui auraient entraîné 50 victimes (Pyrénées) et près de 300 en Catalogne (Llasat *et al.,* 2013). Mais aujourd'hui, ces inondations par débordement entraînent rarement de tels dégâts humains (**tableau 1.2.**). De tels chiffres doivent également être associés au nombre de personnes « sauvées d'une mort certaine » : le 3 octobre 2015, 20 personnes ont malheureusement perdu la vie, mais près de 300 individus ont été sauvés d'une mort certaine au dire des sapeurs-pompiers, en rappelant que 2 357 personnes ont été hélitreuillées sur une période entre 16h38 et 23h15, dans une zone d'environ 35km^2.

La détermination et la compréhension des conditions de mortalité lors de ces crues rapides sont des éléments de mieux en mieux connus (Jonkman et Kelman, 2005 ; Boissier, 2013). Les décès ne sont pas dus au hasard, et deux types de facteurs sont ainsi à considérer : les facteurs endogènes propres à l'individu (force, âge, handicap, nature des liens sociaux et des responsabilités familiales ; caractéristiques sociodémographiques, économiques, psychologiques ou culturelles), et les facteurs exogènes, liés à l'environnement et aux impacts de l'aléa (hauteur de l'eau, vitesse des écoulements, caractéristiques des bâtiments). L'ampleur des décès dépend également des enjeux et de la vulnérabilité intrinsèque sous-jacente des secteurs géographiques affectés (Vinet, 2010 ; Saint-Martin *et al.*, 2017). L'augmentation du nombre de maisons de plain-pied (corollaire à la diminution du nombre moyen de personnes par foyer) est un des éléments les plus aggravants (Boissier, 2013). Les décès ont alors des origines communes (**exemple 9**) : l'ensevelissement (sous les décombres d'un bâtiment emporté ou détruit par les eaux), les noyades (dans une pièce ou dans un véhicule, sans que les victimes aient eu la force physique ou le temps de s'en échapper) ou la mobilité (étant donné la forte probabilité d'être emporté par les écoulements). Les rues, transformées en véritables « rivières », divaguant à vive allure et sur de très longues distances, ou l'effondrement d'un pont ou d'une digue sont aussi des causes meurtrières (Antoine *et al.,* 2001).

EXEMPLE 9. L'étude menée par Jonkman et Kelman (2005) permet de cibler les causes et les circonstances des décès suite à 13 inondations survenues en Europe et aux USA. Les crues ont fait 247 victimes, déclarées en lien avec l'inondation. Les données agrégées (individu par individu et regroupées pour l'analyse) montrent que les 2/3 des décès sont survenus par noyade, en tant que piéton (25%) ou dans un véhicule (33%). Les autres décès sont liés à d'autres types de noyade (10%), à un traumatisme physique (11%), à des crises cardiaques

durant l'évacuation (6%) ou au retour à la maison (5,7%). Les victimes recensées pendant le nettoyage par électrocution (2,8%) et les décès provenant des incendies suite aux inondations (3,6%) terminent la liste des causes de mortalité désormais connues.

D'autres travaux ont également mis en perspective les décès par rapport au déclenchement de l'alerte. Aux USA, les premières victimes des crues rapides sont ainsi des personnes possédant des *« capacités physiques limitées »* pour réagir ou être sensibles aux messages d'alerte (Jonkman et Penning-Roswell, 2008) : ce sont des personnes « âgées », souffrant de handicap, ou des enfants. À elles s'ajoutent les personnes difficilement joignables par les moyens d'alerte classique, notamment celles en déplacement au moment de la crue (Ruin, 2007). Compte tenu de la montée des eaux et des vitesses d'écoulement, les crues rapides nécessitent des réactions rapides des personnes, ce qui aboutit très (trop) souvent à des comportements « inadaptés » face au danger. Ces derniers sont liés à des pratiques quotidiennes restant inchangées (malgré l'événement en cours) ou à la mise en œuvre d'actions imprudentes causées par l'événement. Rares sont les personnes qui adaptent leur itinéraire à la crue avant d'y être contraintes par les circonstances (Ruin et Lutoff, 2004).

Le niveau de perception est, *in fine,* une variable fondamentale à appréhender (Weiss *et al.,* 2011 ; Gisclard *et al.,* 2017) : plus la perception du risque sera forte, plus la prudence influencera la décision de partir à temps ou de rester à l'abri (Lalo, 2002). En outre, un manque de connaissances sur la crue en cours de déroulement, ou une information non perçue comme fiable, aura les mêmes conséquences (Ruin, 2007 ; Weiss *et al.,* 2011). Des personnes peuvent se faire surprendre sur le même lieu par deux inondations successives, ou peuvent volontairement traverser plusieurs zones inondées dangereuses. Des personnes peuvent aussi se mettre en danger en refusant d'évacuer, en sollicitant des évacuations tardives (souvent par incrédulité) face à l'information reçue, ou à cause d'une trop grande confiance en leur propre expérience, en celle de la mémoire collective ou en leurs propres ressources. Dans ce cas, une confiance exagérée en sa propre expérience ou en celle des anciens peut induire une sous-estimation du risque (Colbeau-Justin, 2002 ; Lutoff *et al.,* 2016).

1.3.2. Des aléas à la cinétique incompatible avec la binarité du déclenchement

La chronologie de la diffusion de l'alerte en situation de crise respecte cinq seuils de rupture qui varient selon l'intensité du danger (**figure 1.4.**). En théorie, l'alerte doit être activée quand le seuil d'atteinte à l'intégrité physique des biens et des personnes est dépassé (point 2), et la crise se termine une fois que l'intensité de l'événement en cours repasse en dessous de ce seuil (point 4). Si le délai entre les points 2 et 4 devient relativement long (inondations de plaine), aucune alerte ne sera activée (DGSCGC, 2013). Les inondations de la Seine survenues à Paris en juin 2016 ou en janvier 2018 sont révélatrices de telles situations favorables, et les mécanismes d'anticipation ont pleinement joué leur rôle, malgré des problèmes de coordination à certains endroits. Néanmoins, ce délai entre les points 2 et 4 est plus restreint en cas de crues rapides. En considérant que les points 2, 3 et 4 soient connus, trois situations sont alors incompatibles avec la logique du « tout ou rien » de l'alerte (**exemple 10**) :

1) Quand les crues apparaissent en quelques minutes (notamment au sein des très petits bassins versants < 5 km^2), leur gradualité peut devenir proche d'aléas soudains tels que des séismes, des mouvements de terrain soudains ou des éruptions volcaniques (Dedieu, 2009 ; Vinet, 2017), pour lesquels les signes annonciateurs sont impossibles à estimer. Aussi, sur quels seuils activer l'alerte à la population dans des bassins ? Sur des présomptions ? Sur le point 1 (pour gagner du temps), au risque de perdre en crédibilité si rien ne se passe ?

2) Quand les délais sont compris entre une et trois heures (pour des bassins dont la taille est comprise entre 5 et 30km^2 environ), la problématique se pose autrement : doit-on déclencher l'alerte dès le dépassement du point 2 ou attendre le pic d'intensité (point 3), au risque de ne plus pouvoir alerter ensuite, comme dans la région de Cannes par exemple en 2015 ? De ce point de vue, la protection civile estime qu'il faut un délai minimum de 3 heures pour prendre en charge un risque annoncé et impulser des mises en protection (Dedieu, 2009).

3) Quand le délai est compris entre trois et six heures, sur les bassins de 30 à 100km^2 (PSR, 2011), la gradualité de la crue laisse cette fois-ci plus de temps aux autorités pour mettre en place les premières actions d'urgence et l'alerte peut ne pas être perçue comme nécessaire.

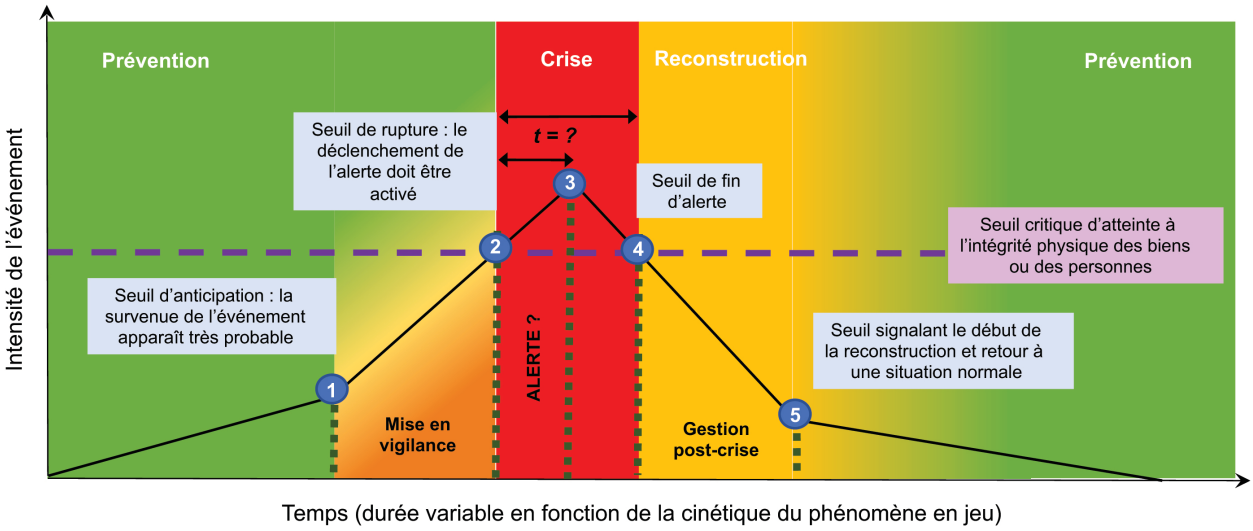


Figure 1.4. Chronologie simplifiée de la gestion de crise (modifiée d'après le guide ORSEC, 2013)

EXEMPLE 10. Prenons l'exemple de la crue du 24 novembre 2014 survenue à La-Londe-Les-Maures. Certaines communes ont pu diffuser une alerte : la ville de Hyères par exemple, a fait appel à l'automate Antibia©, et elle a envoyé des télé-messages aux habitants vivant dans des secteurs à fort risque : les Salins, le hameau Saint-Nicolas de Mauvanne, les Borrels, l'Oratoire, les abords du parc Olbius Riquier par exemple). Toutefois, d'autres élus (La Londe-les-Maures, Le Lavandou ou Bormes) ont jugé que l'évènement avait été trop rapide pour alerter de manière efficace leurs administrés. La gestion de crise s'est souvent faite au cas par cas, autrement dit au-fur-et-à-mesure que les problèmes étaient remontés aux centres opérationnels, ce qui a partiellement gêné la coordination des actions menées. La concentration des fonctions de gestion de crise en mairie, le manque d'une communication suffisante entre les services de secours (départementaux et communaux) et l'incivilité des habitants ont été les trois principaux freins soulignés lors des retours d'expérience (CGEDD, 2014).

Au final, si les crues rapides apparaissent « récalcitrantes » à la prise de décision de l'alerte, c'est donc aussi à cause de leur indétermination, spatiale et temporelle, et ces éléments contrastent évidemment avec des aléas plus lents et progressifs tels que des inondations de plaine.

1.4. Quels besoins à court terme ?

Certaines contraintes, comme diminuer le temps de réaction face à des aléas qui apparaissent de façon brutale, voire imprévisible, ou assouplir le rôle et les responsables des autorités compétentes, semblent « immuables ». Mais, en réalité, le sont-elles réellement ?

1.4.1. Une « culture de l'alerte » à promouvoir en dehors de la crise

Il semble d'abord nécessaire (voire urgent) de développer une véritable « culture de l'alerte » en dehors de la crise, en particulier à destination des autorités (dans le domaine de la prévention) qui ont la responsabilité de la prise de décision. La crainte d'être pénalement jugé pour « fausse alerte » est un élément régulièrement avancé par les autorités pour justifier le non-déclenchement de l'alerte (CEPRI, 2017). Aussi, si les procédures sont prévues pour inciter les responsables à respecter leurs obligations, les sanctions semblent toutefois porter préjudice aux intérêts que l'alerte (même non suivie d'un danger) représente. Sur ce premier constat, pourquoi ne pas mettre en place une sanction plus légère et sans doute plus largement effective (par exemple, une amende forfaitaire), quand l'alerte a

été déclenchée sans aucun fondement, et ne pas pénaliser les responsables si des seuils (vigilance ou pré-alerte) ont été considérés ? Étant donné que la réception du signal d'alerte dépend par ailleurs de la crédibilité que les individus ou les autorités lui accorde (Créton-Cazanave, 2010), la répétitivité des « mauvaises alertes » conduit inévitablement à la familiarité du signal (c'est le concept de risque « scélérat »), voire à un rejet de l'alerte (**exemple 11**). Toutefois, pourquoi ne pas alerter la population même en cas de danger minime si elle est suffisamment préparée en amont et qu'elle est habituée à ce type de signal (à l'image du *Common Alerting Protocol* appliqué aux Etats-Unis, § 7.1.2.) ?

EXEMPLE 11. Un des principaux reproches qui est adressé à l'encontre de la vigilance et de l'alerte est ce que nous pouvons appeler « crier au loup ». Cette expression vient d'une fable d'Ésope, dans laquelle un garçon s'amuse à répéter qu'il a vu un loup, ce qui le discrédite progressivement auprès des habitants de son village). Deux extraits d'entretiens réalisés auprès de gestionnaires de crise (issus de la thèse de B. Gisclard, 2017) peuvent être pris en exemple : *« en même temps, moi je trouve que c'est tellement fréquent que c'est comme l'histoire du berger qui crie « au loup ! au loup ! » c'est-à-dire qu'à force, euh, je ne sais plus trop quoi penser… »* ; *« le principe de précaution, on crie au loup à chaque fois, et quand on crie trop au loup, on sait ce que ça dit après, les gens disent « oh les inondations, c'est pas grave, on roule quand même, et c'est comme ça qu'il y a des gens qui se sont retrouvés noyés à vouloir passer une rivière avec les voitures ».* Les conséquences sont évidentes : les personnes ne prêtent plus attention aux messages de vigilance (et d'alerte), bien que les risques perdurent : *« c'est ça exactement ! sur la Vabre, on a vu ça ! A la première vigilance orange, eh bien, toutes les voitures étaient parties, et puis à la 5ème ou la 6ème, tout était plein, personne ne bougeait plus du tout »*.

1.4.2. Une réglementation à adapter au rythme des innovations

Plusieurs députés (**tableau 1.3.)** ont déposé des propositions de modifications des textes de lois pour élargir la liste des vecteurs de diffusion d'alerte classiques (sirènes, télévisions, radios ou panneaux à messages variables) et dont les conditions d'utilisation (fixées par le décret du 3 octobre 2014) prévalent encore aujourd'hui. Ces demandes sont liées à d'autres risques mais si elles étaient intégrées dans les textes de loi, elles pourraient permettre aux autorités de gagner en rapidité et en efficacité (notamment dans un délai court comme en cas de crues rapides). En 2018, J.C. Bouchet a déposé une proposition pour que les alertes « enlèvement » soient diffusées de façon systématique sur toutes les lignes de téléphonie (fixe et mobile). Suite à des alertes « non généralisées » lors de plusieurs actes terroristes (octobre 2015 et juillet 2016), L. Bellot a aussi proposé, en 2016, d'utiliser les antennes des opérateurs de communications pour acheminer les messages (SMS ou e-mails) à l'ensemble des personnes situées dans une zone géographique (ce qu'on appelle le *Cell-Broadcast,* abrévié CBC par la suite), à l'instar de ce qui se fait déjà dans le domaine du secours aux personnes ou dans le cadre des procédures judiciaires. Le CBC offre plusieurs avantages : **1)** il ne nécessite ni la 3G ni la 4G ; **2)** il rend les alertes prioritaires par la nature des canaux sollicités. Il existe d'ailleurs dans plusieurs pays (**tableau 1.4**). Aux Pays-Bas, 10,8 millions de personnes y sont inscrites en 2017 (soit 74% de la population) et la technologie a été utilisée à plus de 200 reprises en 5 ans (de 2012 à 2017). Cette technologie a pourtant du mal à être intégrée dans la réglementation française.

Date d'enregistrement de la proposition	Nom du député	Fonction du porteur de la proposition	Numéro	Synthèse des principaux motifs avancés	Liens avec des réglements déjà existants en France
31 août 2016	Luc BELLOT	Député (PS) de la 1ère circonscription du Maine-et-Loire de 2012 à 2017	4004	- permettre l'envoi de SMS géolocalisés - envoyer les messages d'alerte dans une zone spécifique, tout en choisissant de ne pas l'envoyer ailleurs - acheminer tout message utile pour avertir le public (ne pas approcher une zone en cas d'acte terrosiste, rester dans un bâtiment face à un séisme, etc.)	- Articles L. 33-1 du code des postes et télécommunications électroniques. - Articles L. 1332-1 et L. 1332-2 du code de la défense
4 février 2018	Jean-Claude BOUCHET	Député (LR) de la 2ème circonscription du Vaucluse	644	- envoyer un message par SMS (92% des Français possèdent un téléphone mobile) et par les lignes fixes à tous les abonnés en téléphonie mobile et fixe lors du déclenchement d'une alerte "enlèvement" - arriver à un taux de réussite de 100 % pour retrouver le mineur enlevé dans les plus brefs délais	- Articles L. 33-1 du code des postes et télécommunications électroniques.

Tableau 1.3. Deux propositions de modifications des textes de loi (restées pour le moment sans suite) pour multiplier les canaux en cas d'alerte

Date de déploiement	Pays	Nom du CBC	Objectif	Utilisation
2007	Japon	*Earthquake Early Warning*	Alerter face à différents types de risque (tremblement de terre et tsunamis)	En 2011 (portée limitée à cause d'un capteur défaillant), 2013 et 2018
2010	Israël	/	Alerter face à différents types de risque (explosion, acte criminel)	/
2012	Chili	/	Alerter face à différents types de risque (séisme notamment)	2014 face à un tsunami
2012	Etats-Unis	*Common Mobile Services*	Alerter face à différents types de risque (séisme, feux de forêts, acte criminel)	A différentes occasions (en 2013, pour alerter face au blizzard à New York)
2012	Pays-Bas	*ND-Alert*	Alerter face à différents types de risque (inondations notamment)	Près de 200 fois sur la période 2012-2017)
2015	Canada	*Alert ready*	Alerter face à différents types de risque (tempête, neige, verglas)	A quelques reprises (système créé dès 2010 mais contesté avant déploiement)
2017	Nouvelle-Zélande	*Emergency Mobile Alert*	Alerter face à différents types de risque (séisme, feux de forêts, acte criminel)	Utilisé en 2017 (tsunami) et 2018 (cyclone)

Tableau 1.4. Liste de pays qui font appel au *Cell-Broadcast* (CBC) pour alerter la population

En France, les principaux opérateurs de téléphonie refusent d'appliquer ce standard car ils voudraient (du moins, 3 des 4 principaux opérateurs) que la puissance publique prenne en charge les coûts de maintenance et de fonctionnement (Douvinet et al., 2017). Des discussions avaient déjà eu lieu avec le ministère de l'Intérieur en 2005, mais tous les projets ont été annulés suite à l'arrivée en 2009 d'un nouveau concurrent, et des entreprises du secteur privé profitent désormais du marché pour vendre leurs solutions, moyennant un financement. Or, même si ces avancées sont relayées par certains députés, les lois n'y font pourtant encore nullement référence aujourd'hui.

1.4.3. Des exercices et des plateformes d'entraînement à démultiplier

Depuis la recrudescence du risque attentat en France depuis 2015, les préfectures doivent organiser tous les ans plusieurs exercices type cadre, pour chronométrer la réactivité des services de secours et tester les procédures face à différentes situations de crise nécessitant l'activation de plans d'urgence (Plan Blanc, plan ORSEC, plan NOVI, plan Tuerie de Masse par exemple). Les écoles ont également pour obligation de faire trois exercices d'entraînement (incendie, acte terroriste – qui prend la forme d'un jeu de cache-cache – et un autre laissé au libre choix des écoles en fonction des risques présents). En toute logique, il existe désormais différentes plateformes et divers protocoles pour mettre en situation toutes ces institutions face à une décision d'urgence.

L'Institut des Risques Majeurs (Alès) propose par exemple de tester la mise en œuvre d'un COD (Centre Opérationnel Départemental) avec une salle opérationnelle où les joueurs (équipe de 10 à 15 personnes) doivent gérer un incident simulé en temps réel. La procédure d'alerte et la gestion de crise peuvent aussi être expérimentées à travers la simulation. L'ANR ESCAPE (portée par E. Daudé) vise un tel objectif, et nous avons aussi, de notre côté, deux projets de recherches en cours sur cette thématique. Le premier vise à développer un SMA (Système Multi-Agents) pour mettre en situation le Directeur des Opérations (DOS) et lui montrer que ses choix, dans un délai contraint et avec un nombre de ressources et d'informations limitées, ont une forte incidence sur le nombre de personnes qu'il pourrait théoriquement sauver (**exemple 12**).

Dans le cadre du PEPS SMARE (porté par M. Amalric et E. Beck), l'idée est de mesurer le rôle joué entre les liens sociaux des individus et l'influence du degré de connaissance des consignes de sécurité, à travers des mises en situation théâtralisées simulant un séisme ou une crue rapide, et d'aboutir ensuite à un autre SMA, qui tiendrait compte de ces capacités d'action et des biais cognitifs. Ce projet fait écho à une étude précédente dans laquelle nous avions essayé de mesurer les effets de contingence et de mimétisme entre les individus en cas de diffusion d'un nuage toxique (Salze *et al.,* 2014). C'est l'occasion d'aller au-delà des protocoles d'enquêtes classiques, et de montrer à quel point les autorités doivent tenir compte de ce que les individus comprennent en cas de crise.

EXEMPLE 12. Dans le cadre de l'école thématique « chercheurs » organisée par le réseau MAPS en juin 2018, nous (F. Amblard, N. Bécu, J. Chantenot, J. Douvinet, J. Dugdale et G. Torti) avons développé un Système Multi-Agent (*Flood-Up*©) du type « serious game » (Crichton *et al.,* 2000). Le but de ce SMA est de mettre en situation le Directeur des Opérations (DOS), qui doit gérer une crue rapide avec un nombre de ressources limité et dans un temps contraint, tout en sauvant un maximum de personnes. Le joueur voit l'emprise des zones inondables et le règlement du PPR, et il peut alerter la population, mais il ne connaît pas l'extension réelle des surfaces qui sont en train d'être inondées. Il a 15 s. pour déployer des équipes de sapeurs-pompiers, qui vont secourir les personnes et les déplacer dans un centre de rassemblement, et des équipes de gendarmes chargés de bloquer les routes inondées. Il ne peut plus agir pendant 45 s., puis reprend la main pendant 15 s. Les premiers résultats montrent que le joueur apprend à chaque tour, et qu'il améliore ses résultats après 3 simulations.

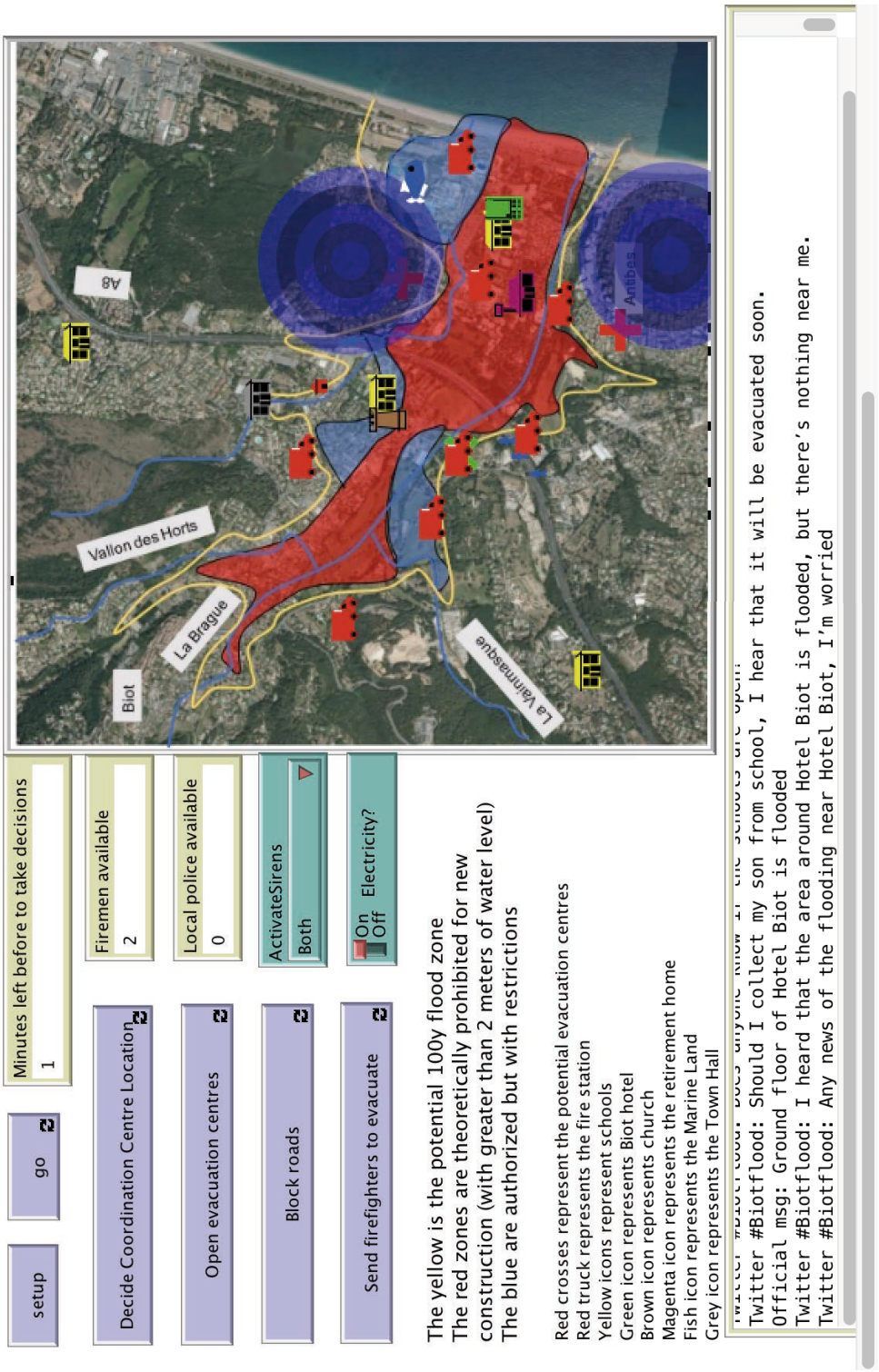


Figure 1.5. Visualisation de l'interface du Système Multi-Agent *Flood-up*© (en cours de développement) conçu en juin 2018

1.5. Conclusions du chapitre 1

Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'origine des contraintes auxquelles sont soumises les autorités lorsqu'elles veulent diffuser une alerte à la population. Plusieurs niveaux de complexité, propres à la gestion des risques en France, ont été identifiés :

1) Les maires sont contrôlés par les préfets dans leurs actions et ils reçoivent des messages de différente nature et par différents canaux, ce qui les empêchent d'avoir une réactivité aussi claire que le définit pourtant le cadre réglementaire.

2) La prise de décision est également délicate en cas de crues rapides : ces aléas ont une gradualité incompatible avec la binarité du déclenchement car les temps de réaction sont courts, voire très brefs sur les petits bassins versants.

3) L'indétermination, spatiale et temporelle, des seuils de rupture les rendent finalement peu lisibles pour tous les acteurs, et ces phénomènes sont encore bien difficiles à prévoir. L'alerte souffre également de procédures pas toujours efficaces et intelligibles pour les publics visés, et cette efficacité ne doit pas être exclusivement comme étant une question de moyens.

Certaines contraintes apparaissent « immuables » : les crues rapides sont par essence des phénomènes violents et difficiles à anticiper. L'État et ses représentants aux échelles locales ont aussi des responsabilités qui répondent à une logique « top-down » ancrée en France (on peut ici rappeler que le maire reste l'autorité de droit commun, eu égard à son pouvoir de police administrative instauré depuis 1790). Cependant, cette vision est imparfaite. Les facteurs intervenant sur la prise de décision doivent mieux répondre aux enjeux techniques et sociétaux, mais également s'adapter aux évolutions contextuelles et aux changements dans la nature même des risques (la menace terroriste est revenue au premier plan face à la menace aérienne par exemple). La législation pourrait aussi être assouplie (à l'instar des propositions de modification de la loi déposées depuis plusieurs années), et l'existence de l'aléa peut également être vue comme une contrainte muable car les efforts dans ce domaine ne cessent de s'accroître. A condition toutefois de dégager les ressources (économiques, matériels et/ou humains) de manière optimisée, ce qui pose la question des choix politiques préemptés jusqu'alors : l'État a injecté entre 40 et 60 millions € par an sur la période 2009-2014 (d'après les chiffres avancés par le Ministère de l'Économie et des Finances) sur la question de la prévention, et pourtant, face à une crue rapide, rare sont les individus qui semblent réagir de façon autonome et adéquate…

Chapitre 2. Les crues rapides : des aléas aux seuils de fonctionnement incertains

Ce chapitre a ensuite pour objectif de montrer que les seuils de rupture associés aux crues rapides sont délicats à calibrer, soit par manque de données suffisantes sur une période assez longue, soit par manque de données de validation sur un grand nombre de bassins versants, et ces aléas sont eux-mêmes porteurs d'une complexité et d'incertitudes qui empêchent les institutions d'activer l'alerte. Les petites entités hydrologiques sont particulièrement concernées car elles sont, la plupart du temps, non jaugées, par faute d'enjeux importants. Pour parfaire une telle connaissance, différents outils de modélisation ont été développés, mais il existe aujourd'hui autant de modèles que de chercheurs, et la nature des paramètres en jeu et les processus suivis sont aussi hétérogènes. Face à l'éclectisme et à des efforts de simulation qui paraissent fragiles, les autorités ont logiquement dû mal à accorder du crédit aux données produites, et la population ne comprend pas non plus cette absence de fiabilité de savoirs dits experts. Bien que les travaux à ce sujet soient nombreux (Montz et Gruntfest, 2002 ; Estupina-Borrell *et al.*, 2006 ; Gaume *et al.,* 2009 ; Moulin *et al.,* 2009 ; Borga *et al.,* 2011 ; Naulin *et al.,* 2013), il est donc nécessaire de poursuivre ces efforts de modélisation, d'autant plus que les seuils de fonctionnement ou de déclenchement (que nous regroupons sous le terme seuils critiques) peuvent évoluer sur des pas de temps courts. Nos premiers travaux menés au cours des recherches doctorales ont dès lors été prolongés, en visant deux objectifs complémentaires pour gagner en opérationnalité : mieux identifier les dépassements de ces seuils (pics de crues probables, débits de pointe spécifiques, temps d'écoulement très courts) pouvant générer des dégâts ; mieux calibrer les données simulées en utilisant des « proxy data » (notamment les impacts localisés lors de crues rapides passées).

2.1. La simulation comme outil d'expérimentations spatiales

Les méthodes de prévision conçues pour simuler les crues « classiques » (par débordement ou par remontées de nappe) ne sont pas adaptées aux crues rapides (Anquetin *et al*., 2005 ; Estupina-Borell *et al.*, 2006) : le processus dominant expliquant l'ampleur des débits de pointe mesurés suite à des pluies extrêmes renvoie plus à du ruissellement érosif, par saturation et/ou par refus d'infiltration, alors que l'extension progressive de la saturation en bas de versants ou les flux hypodermiques jouent plus un rôle en fin de crue. Si ce constat ne fait pas l'objet d'un consensus entre tous, plusieurs équipes ont pourtant développé de nouveaux modèles (Le Bissonnais *et al.,* 2002 ; Piney, 2009 ; Breil *et al.,* 2014 ; Naulin *et al.,* 2013), qu'il convient de brièvement rappeler dans un premier temps.

2.1.1. Eclectisme des approches de modélisation du ruissellement érosif

La plupart des Plans de Prévention du Risque Ruissellement (PPRR) utilisent des approches naturalistes fondées sur une expertise locale, des observations *in situ*, des études géomorphologiques et des données historiques issues des archives ou des témoignages locaux (Marty et Thevenet, 2006 ; Jaillet *et al.,* 2002 ; Montané, 2014 ; Lagadec, 2016). Ces approches permettent de réaliser des cartes cohérentes avec la réalité mais, elles sont subjectives et peu reproductibles, d'autant que les variables descriptives sont hétéroclites entre les bassins versants étudiés. D'autres approches sont uniquement topographiques : elles sont simples, génériques, et nécessitent peu de données d'entrée (uniquement le Modèle Numérique de Terrain, **exemple 1**). Or, ces approches requièrent des ressources de calcul importantes et elles ne tiennent pas compte de l'ensemble des autres facteurs environnementaux, tels que les propriétés du sol ou l'occupation du sol par exemple.

EXEMPLE 1. Plusieurs approches topographiques ont été développées par le CEREMA (Pons *et al.,* 2011). Ces modèles associent un Modèle Numérique de Terrain à résolution fine (1m) avec un modèle hydraulique 1D semi-automatique (*Cartino*©) ou avec un modèle de remplissage des fonds de talwegs par bruitage aléatoire (*Exzeco*© pour Extraction des Zones d'Écoulements). Les cartes de ruissellement proposées avec *Exzeco*© sont mise à disposition depuis 2011 sur l'ensemble de la France. Elles ont servi de support à *l'Évaluation des Aires Inondées Potentielles* demandée dans le cadre de la *Directive Européenne sur les Inondations*, retranscrite dans le droit français dans la loi LENE (en 2009). Les données *Exzeco*© ont depuis été calibrées sur les inondations du sud-est de la France. On peut d'ailleurs indiquer que 9 décès sur 20 ont été recensés, suite aux crues rapides du 3 octobre 2015, dans des zones situées en dehors du TRI, mais bien identifiées par *Exzeco*©. Elles ont aussi servi de support à la nouvelle cartographie du PPRI de Nîmes (en 2012), et ont été utilisées pour réaliser de nombreux schémas d'assainissement des eaux pluviales. Toutefois, *Exzeco*© surestime les zones inondables en plaines, et il définit des emprises sans tenir compte des cumuls et de l'intensité des épisodes pluvieux, ni de leur variabilité spatio-temporelle. Les auteurs précisent donc que ce n'est pas un modèle d'inondabilité (Pons *et al*., 2017).

Les approches par combinaison d'indicateurs (STREAM© ; Cerdan *et al*., 2006 ; SCALES© ; Le Gouée *et al*., 2010, ERRUISSOL© ; Demarcin, 2009 ; IRIP©, Dehotin et Breil, 2015) consistent à croiser plusieurs facteurs (topographie, type de sol, pluie-projet) à l'aide des outils géomatiques. Elles permettent la spatialisation des zones sensibles au ruissellement. Mais les combinaisons reposent sur des pondérations variables selon les auteurs. Les résultats se focalisent sur les processus d'érosion des sols, mais n'apportent pas la moindre information sur la structuration des axes d'écoulement ou sur les volumes ruisselés (**exemple 2**), alors que les autorités aimeraient disposer de ces informations. Les combinaisons, non dynamiques, ne sont également valables que pour des périodes données.

EXEMPLE 2. Piney (2009) fait une comparaison de trois modèles utilisant les mêmes indicateurs. Il conclut que le modèle ERRUISSOL© est le plus simple à mettre en œuvre car il offre la possibilité d'une complexification croissante et maîtrisée. Il rappelle également que l'atout d'un modèle est d'être robuste et simple, que les tests d'application et d'évaluation doivent rester sur des bassins versants inférieurs à 100 km², et que les zones les plus dangereuses sont les talwegs et espaces de concentration du ruissellement, que les algorithmes des SIG peuvent aujourd'hui bien détecter. Il recommande cependant l'utilisation de l'Indice de Concentration (Douvinet, 2008) et l'indice topographique (Beven and Kirkby, 1979) pour mieux détecter les axes de concentration.

Les approches par modélisation physique sont aussi nombreuses : on peut citer ANSWER© (Beasley *et al.,* 1980), KINEROS© (Smith *et al.,* 1995), LISEM© (De Roo *et al.,* 1996), RUSLE (Renard *et al.,* 1997), WEPP© (Nearing *et al.* 2005), STREAM© ou WATER-SED© (Cerdan *et al.,* 2002). Ces modèles utilisent des algorithmes qui résolvent différentes équations (Saint Venant, Richards, Darcy), en tout point d'un maillage, plus ou moins précis selon les zones étudiées. Ils offrent aussi l'avantage d'étudier spatialement les processus (plus que la réponse à l'échelle globale d'un bassin versant), de quantifier les variations spatiales du stockage et du transfert, d'examiner les interdépendances entre les processus vis-à-vis de l'échelle d'observation, ou d'explorer les changements à travers les échelles (Jetten et Govers, 2003 ; De Vente *et al.,* 2013). Ces modèles doivent pourtant faire l'objet d'un effort important en matière de calibration (**exemple 3**). Ils requièrent beaucoup de données d'entrée, et sont très coûteux pour répondre aux besoins opérationnels. C'est d'ailleurs pour ces raisons que les cartes produites ne sont pas rendues publiques, et qu'elles sont réservées aux autorités locales.

EXEMPLE 3. Entre octobre et décembre 2016, IRSTEA® et BRGM® ont collectivement travaillé à la réalisation d'une enveloppe approchée spécifique au phénomène de ruissellement sur le bassin versant de l'Austreberthe (213 km^2) en combinant deux modèles différents : IRIP©, qui repose sur une méthode géomatique de croisement d'indicateurs topographiques, pédologiques et d'occupation du sol, et qui fournit trois cartes représentant trois étapes du ruissellement (production, transfert, accumulation) en quantifiant, à l'échelle des pixels, le potentiel du phénomène sur 6 niveaux (de 0 à 5) ; WATER-SED©, qui estime, à partir de l'analyse des capacités d'érosion des sols, une quantité d'eau ruisselée pour un événement de pluie donnée. La combinaison des deux modèles permet de détecter 52% des mailles déclarées inondées. Ce taux monte à 87% avec une zone buffer de 100 m. autour des mailles déclarées inondées.

Il n'existe finalement pas d'outil universel pour modéliser le ruissellement érosif, et il n'est pas utile de prolonger ce tour d'horizon des principales démarches de modélisation : le choix des outils dépend de ce que l'on désire en faire et de ce que l'on veut démontrer (Piney, 2009). La validation et le calage du modèle sont en revanche deux étapes indispensables si on veut l'utiliser dans une vision prédictive. Mais si les résultats obtenus sont un « gage de qualité » (Van de Wiel *et al.*, 2007 ; Douvinet

et al., 2014), encore faut-il les vérifier sur des données consolidées et fiables, et cela devient vite sujet à caution. Le calage réalisé sur le bassin de l'Austreberthe (**exemple 3**) a par exemple été possible grâce à un nombre élevé de données de terrain (notamment sur le temps de récession et d'infiltration), bancarisées et fournies par le syndicat de bassin. Cependant, la validation est impossible à l'échelle nationale et il ne convient pas nécessairement selon les méthodes utilisées. Pour pallier ce problème, certains utilisent alors des « proxy data » : ces données ne sont pas directement liées au phénomène physique, comme par exemple les impacts recensés lors de crues passées. Si ces données intègrent des biais, tels que la vulnérabilité des zones impactées ou l'exhaustivité qui prévaut à la constitution de telles bases de données, les résultats obtenus sont pourtant prometteurs (Payrastre *et al.,* 2018 ; Saint-Martin *et al*., 2018). Ils viennent surtout pallier l'absence de données directes, absentes dans les bassins non jaugés, et nous avons nous aussi utilisé ce type de données (§ 2.2.).

2.1.2. Position de notre démarche exploratoire face aux autres modèles

Sans remettre en cause les avantages des modèles présentés précédemment, nous avons opté pour une autre approche de modélisation dans nos travaux. Le but était non seulement d'isoler le rôle dynamique joué par l'organisation morphologique interne d'un bassin versant sur sa réponse hydrologique, mais aussi de faire émerger des phénomènes de ruissellement pouvant survenir au sein de petits bassins versants (< 50 km^2), souvent dépourvus d'écoulement pérenne. Dans cette optique, nous avons utilisé l'automate cellulaire *RuiCells©*, un modèle distribué à base physique (Langlois et Delahaye, 2002), avec des règles de fonctionnement plus simplifiées. La structure et les paramètres de fonctionnement ont déjà été détaillés dans plusieurs articles (Douvinet *et al.,* 2008, 2013, 2014).

Le recours à cet automate s'explique pour plusieurs raisons : il est facile à comprendre et peu gourmand en données d'entrées, à l'inverse d'autres modèles plus complexes (Nearing *et al.,* 2005). Les données d'entrées et de sorties sont plus faciles à contrôler, avec un paramétrage qui se fait « pas à pas » (Fenicia *et al*, 2008), à l'inverse des modèles type « boîte noire ». On se place aussi dans une logique différente de certains modèles (**exemple 4**) : l'idée est de combiner les interrelations verticales et horizontales entre les couches d'informations, de façon à les faire interagir ensemble et à reproduire des phénomènes spatiaux émergents, à l'inverse des approches par combinaisons d'indicateurs par exemple. Les simulations doivent par ailleurs permettre de tester des hypothèses et de voir l'influence des variables progressivement implémentées dans l'automate, tout en restant attaché à une démarche exploratoire : il existe trop peu de données pour valider les résultats produits par nos simulations, ce qui rejoint ici la principale lacune des autres approches de modélisation.

EXEMPLE 4. De manière plus large, les automates permettent de traiter l'espace de manière plus explicite et à un niveau de détail considérable, notamment depuis l'amélioration des Modèles Numériques de Terrain (un MNT 1m est désormais disponible sur l'ensemble de la France depuis 2016). Ils s'attaquent ainsi à des systèmes de plus en plus complexifiés et spatialisés, ce qui les rend compatibles avec bon nombre de données issues de traitement géomatique. Il est par ailleurs plus aisé de faire le lien entre le processus, encapsulé dans les règles de décision, et les patrons qu'ils génèrent (Douvinet, 2008).

2.1.3. Rappel des premiers résultats obtenus durant les recherches doctorales

Différentes configurations ont été mises à jour sur les 189 bassins qui ont été étudiés durant les recherches doctorales : 43 % des bassins étudiés (soit 81 entités) ont un réseau hydrographique qui est efficacement organisé au sein de la forme imposée. Certains bassins présentent une efficacité structurelle interne (48 entités), sont homothétiques (9 entités), efficaces à leur exutoire (16 entités), ou « hyper-efficaces » (8 entités). En calculant un Indice de Concentration (IC), nous avons réussi à spatialiser les zones dont les parties amont sont structurellement efficaces (**figure 2.1.**). Après cette analyse en plan, nous avons aussi quantifié l'incidence de l'encaissement sur la réponse hydrologique potentielle : les écarts entre les pics de surface se réduisent, notamment entre des bassins où la pente devient plus prononcée, et des bassins de plus grande taille, qui eux conservent une réactivité élevée

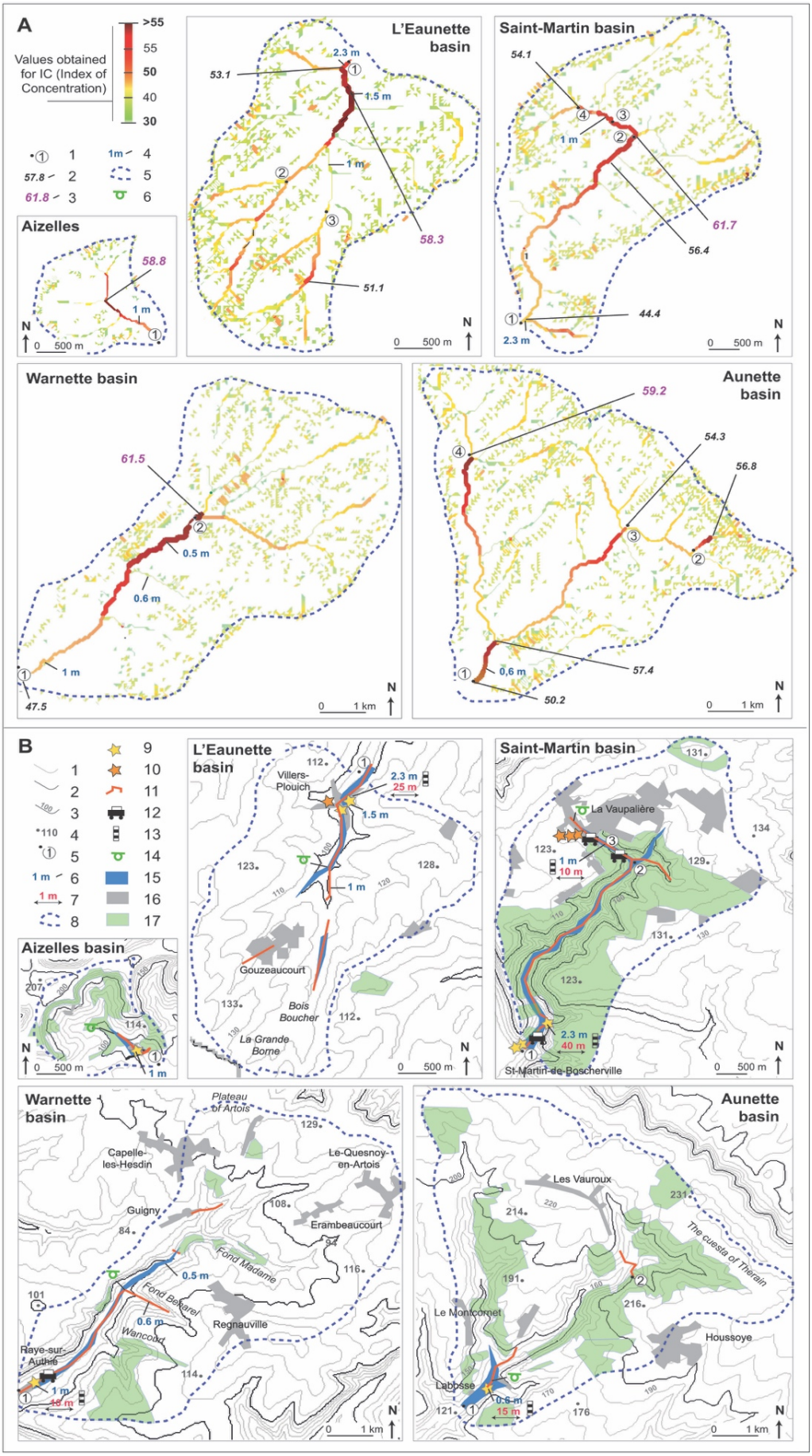


Figure 2.1. Comparaison entre la concentration des écoulements de surface (indice IC simulé avec *RuiCells*©) et les dommages avérés suite à certaines crues rapides (Douvinet *et al.,* 2013)

grâce à l'emprise de la surface drainée. L'efficacité du « système morphologique » a finalement pu être quantifiée, de manière séparée, combinée puis emboîtée (Douvinet, 2008 ; Douvinet *et al.,* 2011).

Ces résultats amènent également à mettre en cause la notion d'homogénéité hydrologique du bassin versant, qui a toujours été considérée comme l'unité spatiale de référence. L'aire drainée par un exutoire donné n'a pas un fonctionnement homogène ; c'est simplement la surface en amont d'un point de mesure. La réponse hydrologique peut ainsi être conditionnée par le fonctionnement d'une petite partie du bassin, le reste n'étant qu'un simple « corps d'accompagnement ». La notion classique de « bassin versant » est limitée et son usage doit être réduit à la réalisation de bilans hydrologiques et à des échelles mensuelles ou annuelles. Pour des phénomènes hydrologiques violents et localisés, et qui surgissent en quelques minutes il faut alors détecter les zones morphologiquement réactives et identifier les niveaux de complexité évoluant à travers les échelles (**exemple 5**).

EXEMPLE 5. Pour améliorer la prévention face aux écoulements rapides dans le nord de la France, différents niveaux d'observation doivent être combinés. À une échelle régionale, la morphologie est le facteur de contrôle de premier ordre, puisqu'elle prédétermine la distribution d'un stock de bassins potentiellement réactifs en cas de pluies de forte intensité. C'est la localisation des zones urbanisées par rapport aux axes d'écoulement qui détermine ensuite un premier niveau d'exposition : plus de 20 maisons exposées sont recensées à l'exutoire de 905 bassins (sur un échantillon de 2 845 vallons sensibles à l'aléa). En descendant à une échelle intra-bassin, les interactions entre les composantes environnementales jouent en second lieu, notamment à cause des relations entre l'urbanisation, une courte réactivité hydrologique, des états de surface sensibles et une occupation du sol favorables au ruissellement. C'est d'ailleurs en suivant cette direction que le chapitre 11 de la thèse avait conduit à proposer des « diagnostics de risque » complets sur des bassins affectés par des dommages (1983-2005), mais également sur des bassins où aucun sinistre n'avait, jusqu'à présent, été localisé.

2.2. Production de nouvelles connaissances à visée opérationnelle

Dans la suite logique des travaux de thèse, les simulations ont été expérimentées sur d'autres bassins, touchés ou non par des crues rapides passées ou situés dans d'autres contextes. Le but était d'identifier les seuils de dépassement critiques, pouvant générer des dommages aux échelles locales et à partir desquels les autorités pourraient décider d'alerter la population, et d'améliorer la calibration de l'Indice de Concentration en utilisant les données d'impact associés à des crues dommageables.

2.2.1. Mise à jour de seuils de fonctionnement « critiques »

Suite à la convention de partenariat signée entre l'université d'Avignon et le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) pour une période de 3 ans (2011-2014), une première étude (2011-2012) a permis d'estimer des seuils de rupture hydrologique potentiels sur 180 vallons secs sujets à des crues rapides (10 km^2) en Seine-Maritime. Les simulations produites avec l'automate *RuiCells*© ont permis d'estimer des pics de crues (Q), des débits spécifiques (Q_s) et des temps d'écoulement (T_e) probables pour 16 pluies-projets, qui présentent une intensité fixe mais variable sur plusieurs heures (de 20 à 50 mm entre 1h et 6h). Il convient de préciser que T_e est considéré ici comme étant la durée séparant le débit de pointe au début des pluies implémentées dans le modèle (Douvinet *et al.,* 2014). T_e ne doit donc pas être confondu avec le temps de concentration (T_c) que l'on peut calculer avec des formules empiriques imparfaites (Ven Te Chow, Passini, Ventura), ou avec le temps de montée (T_m) identifiant la phase de montée des eaux sur un hydrogramme.

Les résultats obtenus sont disponibles sur chaque bassin versant, mais ils ont été agrégés à l'échelle départementale pour faciliter l'analyse comparative. Les simulations confirment la sensibilité élevée de bassins déjà touchés par des crues rapides sur la période 1982-2005, mais elles mettent aussi en évidence de nouvelles entités où aucune crue ne serait survenue au cours des 20 dernières années. La validation des simulations n'a ensuite été faite que sur le plan qualitatif, à défaut de pouvoir utiliser des méthodes statistiques robustes comme les matrices de confusion (eu égard à la faiblesse des données de calage) : 36 bassins avaient ainsi déjà été affectés sur la période 1982-2005.

Les simulations confirment tout d'abord que le nombre de bassins ayant des débits très élevés augmente corrélativement avec les intensités des pluies. Trois seuils ont été choisis (arbitrairement) pour dissocier les débits faibles (de 4 à 7 $m^3.s^{-1}$), moyens (de 7 à 10 $m^3.s^{-1}$) et forts (> 10 $m^3.s^{-1}$). Pour une pluie projet de 30 mm en 1h, 13 bassins ont des débits > 4 $m^3.s^{-1}$, et seulement un (Val-de-Saâne) présente une valeur supérieure à 7 $m^3.s^{-1}$. Pour 40 mm en 1h, 70 bassins ont un débit Q > 4 $m^3.s^{-1}$; 17 d'entre eux ont un débit > 7 $m^3.s^{-1}$ et 3 dépassent le seuil 10 $m^3.s^{-1}$ (Val-de-Saâne, Val-aux-Scènes et Lézarde amont). Pour 50 mm en 1h (**figure 2.2.**), plus de 70 % des bassins (104 sur 148) ont un débit >4 $m^3.s^{-1}$; 56 d'entre eux ont un débit > 7 $m^3.s^{-1}$ et 21 dépassent le seuil de 10 $m^3.s^{-1}$. Les débits diminuent ensuite pour des pluies plus étalées dans le temps : pour une pluie projet de 50 mm en 2h, seulement 33 bassins ont un débit > 4 $m^3.s^{-1}$ et 6 ont un débit > 7 $m^3.s^{-1}$. Les zones productrices de ruissellement (mais, blé de printemps, betteraves) – pas forcément plus importantes sur ces 6 bassins que sur les 33 autres – sont en réalité vite connectées avec les axes d'écoulement et les zones de réinfiltration (bois, prairies) ne jouent plus leur rôle dès 30 mm en 1h ou 40 mm en 2h. Sur d'autres bassins, ces surfaces arrivent à diminuer les ruissellements mais perdent leur efficacité à 50 mm en 1h (effet de seuil) car la pluie entraine des excédents d'eau volumineux. Les configurations internes entre les bassins sont toutefois trop variées pour dégager la moindre tendance. Aucun seuil minimum de terres cultivées n'est identifié, et les pourcentages d'occupation du sol mesurés à une échelle large ne sont donc pas des critères satisfaisants pour faire la moindre anticipation.

En regardant les résultats à l'échelle départementale, plusieurs bassins ayant des réponses fortes apparaissent concentrés dans l'espace, le long de la Manche (petits bassins côtiers), de la Seine puis de la Scie, la Durdent et la Saâne. Les crues rapides pourraient être concomitantes si l'épisode orageux a une extension spatiale (10 km^2) suffisante, c'est ce qui est déjà arrivé le 16 juin 1997 ou 6 juin 1998 par exemple, et elles induisent un risque de dégâts, par effet de convergence, sur les parties aval urbanisées. Ces crues probables apparaissant lors de pluies de même intensité mais dispersées dans l'espace sont, à l'inverse, plus faciles à gérer et à prévenir. De façon qualitative, la comparaison avec les événements historiques montre une bonne corrélation avec les débits élevés : les 3 bassins identifiés pour une pluie de 40 mm en 1h ont connu des épisodes dommageables sur la période 1983-2005. La validation n'est toutefois pas systématique puisque 12 crues ont été recensés sur 21 bassins ayant des débits simulés > 10 $m^3.s^{-1}$ (**figure 2.2.)**

Des cartographies présentant les débits spécifiques ont aussi été réalisées pour chaque pluie-projet. Plusieurs études focalisées sur les crues méditerranéennes (Gaume *et al.,* 2009 ; Lumbroso et Gaume, 2012) ont montré que les crues devenaient érosives à partir d'un Q_s > 0,7 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$, et nos recherches menées après plusieurs crues rapides dans les régions du nord de la France (Douvinet et Delahaye, 2010) ont permis d'affiner cette valeur : un seuil de 1 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$ pour les incisions mineures et > à 1,5 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$ pour les formes d'incisions majeures (ravines dans les sols, destruction du tablier routier). Aussi, les cartes présentant les débits spécifiques simulés (Qs) tiennent compte de ces seuils. L'occurrence des plus fortes valeurs augmente logiquement avec les intensités de pluies. Pour une pluie de 30 mm en 1h, 7 bassins ont une valeur Qs> 1 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$. Pour 40 mm en 1h, 26 bassins ont une valeur Qs qui excède ce seuil, tandis qu'à 50 mm en 1h (**figure 2.3.**), ce seuil est dépassé sur 64 bassins (et 104 entités ont un débit supérieur à 4 $m^3.s^{-1}$). Des tendances intéressantes apparaissent. Des débits spécifiques élevés sont simulés aux exutoires de plusieurs vallons secs se raccordant à des fonds de vallées humides (Durdent, Valmont, Bolbec). Les valeurs les plus fortes (de 4,3 $m^3/s/km^2$ à l'exutoire du Val de Mer, à plus de 5 $m^3/s/km^2$ au Val à Souris et pour le Hanouard, **figure 2.3.**) sont recensées à l'exutoire de très petits bassins (< 4 km^2), alors que les Q_s ne dépassent jamais 2 $m^3/s/km^2$ sur les bassins de plus de 9 km^2, à cause de leur plus grande superficie. 61 bassins présentent par ailleurs des temps d'écoulement très courts (< 3h), dont 25 (< 2h) concernent des bassins < 5km^2.

Ces résultats apportent de nouvelles connaissances aux acteurs prévisionnistes du Service de Prévision des Crues (SPC) Seine-Normandie et du SCHAPI, mais aussi aux autorités en charge de diffuser l'alerte à la population. Même si les simulations restent imparfaites, à cause d'un manque de données de calage (hydrologique et/ou météorologique), elles confirment qu'il ne faut pas se limiter à étudier les pourcentages moyens d'occupation du sol (à une échelle globale), ni même à la taille du

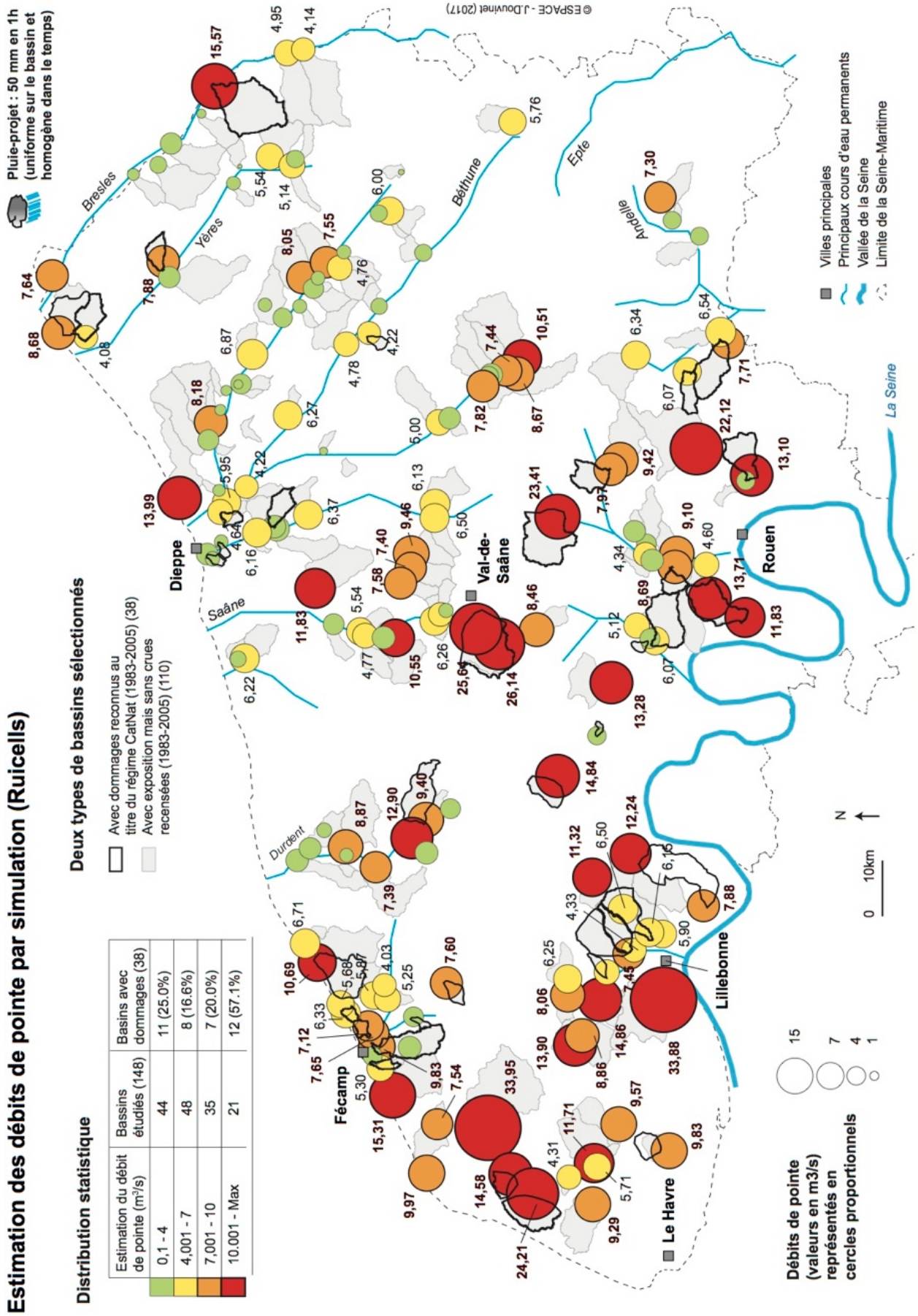


Figure 2.2. Estimation des pics de crue pour une pluie-projet de 50 mm en 1h (Douvinet *et al.*, 2015)

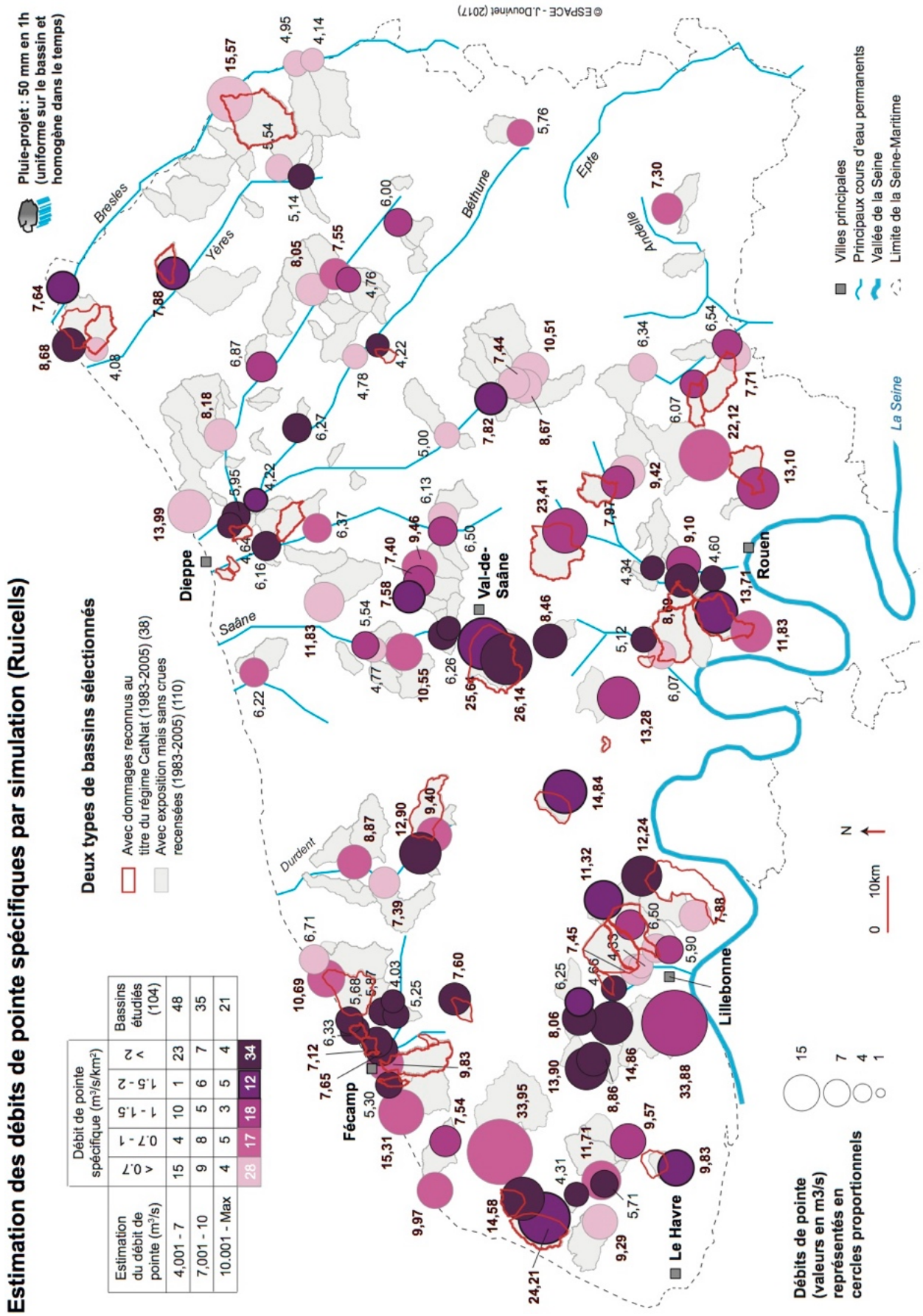


Figure 2.3. Estimation des débits de pointe spécifiques, simulés sur 148 bassins versants pour une pluie-projet de 50 mm en 1h en Seine-Maritime (modifié d'après Douvinet *et al.,* 2015)

bassin versant ou au temps d'écoulement. Le PSR (*Plan Submersions Rapides*), approuvé en 2011, mis en œuvre sur la période 2012-2015 et évalué à mi-parcours (CGEDD, 2014), sélectionne pourtant les bassins sujets à des crues rapides en fonction de ce temps d'écoulement (compris entre 1h et 6h). Il faut alors aller au-delà de variables moyennes, certes plus simples à calculer à une échelle nationale, d'autant qu'elles ne traduisent pas l'ampleur des réponses possibles ni même la sinistralité pouvant y être associée (Saint-Martin *et al.,* 2017). Si une intensité de 50mm en 1h ne se produira probablement jamais au même instant sur l'ensemble du département de la Seine-Maritime, de nombreuses zones potentiellement très réactives ont émergé et elles se situent à proximité de secteurs déjà indemnisés au titre du régime *CatNat*. Si la diffusion de ces informations se fait de façon rapide, les populations pourraient être alertées aux échelles fines. Mais encore faut-il quantifier cette exposition potentielle…

2.2.2. Liens entre l'Indice de Concentration et des indicateurs d'exposition

Deux projets de recherche ont également été financés pour comparer la localisation de l'Indice de Concentration (IC) avec l'exposition du bâti et des habitants. D'un côté, les simulations produites pour la DREAL du Nord-Pas-de-Calais (en 2011) ont eu pour objectif de localiser les zones bâties par rapport aux axes de concentration des écoulements simulés avec *RuiCells*, pour comprendre la gravité de crues survenues dans ce département, et en particulier suite aux crues de 2008 (Abencourt) et de 2009 (Estreux). 54 entités ont fait l'objet de cette étude ; ils ont été sélectionnés car ils ont été touchés par des crues rapides survenues à différentes moment de l'année (hiver, printemps, été) au cours des dix dernières années. Sur ces 54 entités, 15 présentent une efficacité interne, 3 une homothétie interne et 1 une hyper-efficacité. Si le contrôle géomorphologique reste omniprésent à l'échelle intra-bassin, il disparaît ensuite à une échelle régionale (Douvinet *et al.,* 2008). Mais en étudiant les autres variables environnementales, et notamment la part des surfaces cultivées en lien avec l'intensité des pluies, on confirme deux résultats connus dans le nord du Bassin parisien (Delahaye, 2002 ; Douvinet, 2008) : plus le bassin est cultivé et efficace, moins les pluies générant des crues rapides sont intenses ; les crues hivernales se produisent sur des bassins non efficaces, quand l'impluvium est dominé par plus de 80% des cultures. Les crues printanières et estivales apparaissent dans des bassins aux taux de cultures bien plus variables (moins de 40 % ou plus de 80 %), avec des indices IC élevés ou parfois faibles, la pluie devenant alors la variable la plus discriminante à l'échelle événementielle.

D'un autre côté, une étude complémentaire a été conduite en Seine-Maritime pour savoir s'il existait un lien entre les indices IC > 50 recensés au sein de 29 bassins et les aménagements existants (**figure 2.4.**). L'objectif était double : savoir si des marques d'écoulement existaient à proximité de ces points de concentration détectés (si oui, quelle est la forme de l'incision ?) et voir si des aménagements avaient été construits pour limiter ou réguler les ruissellements provenant des parties amont, ce qui pourrait confirmer que les autorités ont conscience du risque de dégâts potentiellement liés aux crues rapides, et qu'ils l'ont pris en compte dans les aménagements (**exemple 6**).

EXEMPLE 6. Des incisions ont bel et bien été observées (en 2011) pour 23 indices IC. Les formes de ces érosions sont variables et dépendent de l'inclinaison du profil en long : ravine et incision de grande taille, ou incision large et de faible profondeur en pente faible ; ravines en V ou en U de petite taille ou ayant une profondeur atteignant plus de 3 m. dans certains vallons (au sein du Val-aux-Clercs par exemple) ou dans des secteurs plus pentus (> 5 %). 19 marques existent dans des espaces qui sont toutefois boisés (9) ou situés dans des zones enherbées (10) ; elles se situent en têtes de bassin. Si ces secteurs se situent en pente faible (on aurait ici pu s'attendre à avoir des surfaces cultivées), des surfaces infiltrantes sont néanmoins présentes et elles réduisent la production du ruissellement. Dès lors, l'écoulement de surface a été réellement pris en compte par les pouvoirs publics et dans les politiques d'aménagement. Les autres linéaires correspondent à des fossés qui traverse un espace cultivé, ce qui nous incite à penser que le potentiel de concentration a été intégré dans les pratiques agricoles. Sur les 43 indices restants (non associés à une incision), 19 se retrouvent en zones cultivées : le passage des engins agricoles et le temps séparant l'observation actuelle de la date de la crue précédente ont sans doute effacé les anciennes traces d'écoulement naturel. Pour finir, pour les 13 indices situés en zones enherbées, on peut supposer que le taux de recouvrement des sols, plus élevé, est susceptible de masquer une concentration élevée des écoulements de surface. Au final, soit les indices sont matérialisés par une marque (33%), soit un doute plane sur l'existence possible d'une érosion dans le passé (**figure 2.4.**).

Figure 2.4. Comparaison entre les Indices de Concentration élevés (potentiel de concentration > à 50) et les observations de terrain (marques d'érosion, aménagements hydrauliques et dires d'experts) – mis à jour avec l'appui de D. Delahaye et A. Maille, étudiant en Master I en 2012

Code identifiant : **A3** Taille du bassin : **1,88 km²**

Producteurs: A. Christol, J. Douvinet
email : johnny.douvinet@univ-avignon.fr

Estimation des débits de pointe par RuiCells

	1h	2h	3h
20 mm	0,35	0,14	/
30 mm	2,04	0,41	0,19
40 mm	4,77	1,07	0,48
50 mm	7,65	2,4	1,16
60 mm	/	4,07	1,46

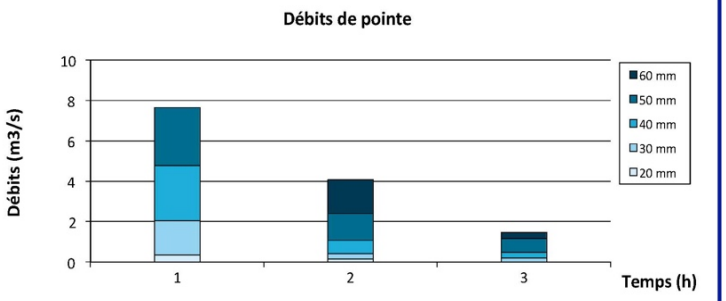
Estimation des débits spécifiques par RuiCells

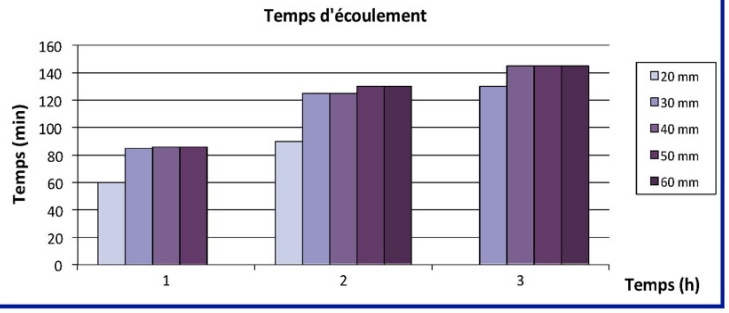
	1h	2h	3h
20 mm	0,19	0,07	/
30 mm	1,09	0,22	0,10
40 mm	2,54	0,57	0,26
50 mm	4,07	1,28	0,62
60 mm	/	2,16	0,78

Estimation des temps d'écoulement par RuiCells

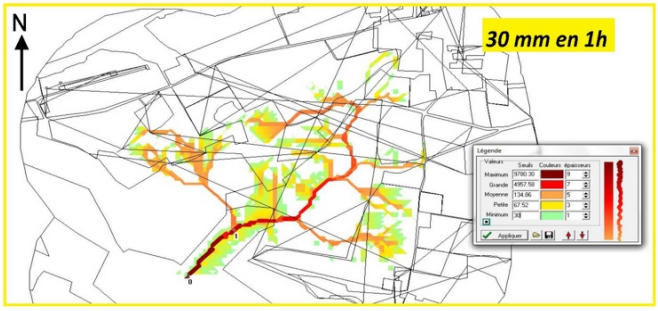
	1h	2h	3h
20 mm	60	90	/
30 mm	85	125	130
40 mm	86	125	145
50 mm	86	130	145
60 mm	/	130	145

Graphiques de visualisation





Cartographie des écoulements simulés pour deux intensités de pluie différentes





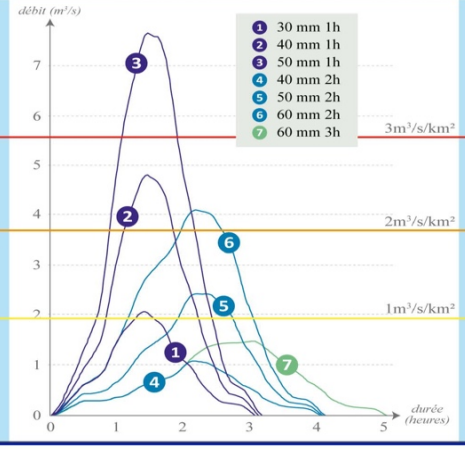
Niveaux de mise en alerte définis par le débit spécifique	Liens avec les pluies critiques	Simulations des réponses hydrologiques à partir de l'automate cellulaire Ruicells	Degrés d'endommagement potentiels (à titre indicatif)
Risque de crue rapide majeure Menace directe et généralisée de la sécurité des biens et des personnes.	43 mm en 1h		**Dommages très élevés** Hauteur > 1m sur la route / Risque sur les personnes mobiles / Coût > 2 M€
Risque de crue rapide important Impact significatif sur la société et la sécurité des biens et des personnes.	58 mm en 2h 37 mm en 1h		**Dommages élevés** Hauteur > 50 cm sur la route / Griffures / Incision du fossé et talus / Coût > 1 M€
Risque de crue mineure Pas de dommages significatifs mais nécessitant une vigilance particulière aux abords des fonds de vallons secs.	47 mm en 2h 29 mm en 1h		**Dommages faibles** Inondations très localisées sur routes / Ruissellement dans les fossés ou aux abords des parcelles cultivées
Pas de vigilance particulière Pluie prévue mais aucun risque de dommages nécessitant une mise en vigilance particulière.			**Aucun risque de dégâts** Les pluies ou les débits prévu(e)s ne mettent pas en danger les réseaux routiers ou les espaces bâtis

Figure 2.5. Liens entre les niveaux de mise en vigilance, les pluies critiques, les réponses probables simulées avec l'automate *RuiCells*© et un degré d'endommagement indicatif (Douvinet *et al.,* 2014)

2.2.3. A la recherche de seuils combinés pour activer une « mise en alerte »

Une seconde collaboration (2012-2013) menée avec le SCHAPI a eu pour objectif de corréler les intensités des pluies critiques (considérée comme étant le cumul de pluie nécessaire pour donner naissance à des crues rapides après un certain nombre de jours secs) à la cartographie de l'indice IC et à des degrés d'endommagement définis à titre indicatif. Des graphiques de synthèse ont été réalisés sur 64 bassins pour combiner les données acquises pour chaque entité hydrologique (**exemple 7**).

EXEMPLE 7. Les fiches synthétiques réalisées avec A. Christol (recruté 6 mois en tant que CDD sur un nouveau contrat financé par le SCHAPI) permettent de capitaliser différentes informations : le potentiel de concentration des écoulements, cartographié par rapport aux zones bâties potentiellement exposées ; la carte de l'utilisation du sol (issue du RGP, 2010) avec quelques chiffres-clés ; une évaluation quantitative de la population exposée au risque de ruissellement ; la liste (si elle existe) des événements recensés précédemment (Douvinet, 2008) et qui ont été observés sur la période 1983-2005 ; trois tableaux indiquant les estimations des débits (Q), des débits spécifiques (Q_s) et des temps d'écoulement (T_e) simulés pour les 16 pluies-projets ; l'évolution des résultats des simulations dans le temps ; deux cartographies des écoulements simulés pour deux intensités différentes ; les niveaux possibles de mise en alerte, combinant les débits spécifiques (Qs), les pluies critiques, les courbes des hydrogrammes et des degrés d'endommagement (**figure 2.5.**).

Ces fiches ont été produites sur les 64 bassins présentant des temps d'écoulement très courts (< 3h) pour une pluie-projet de 50 mm en 1h. 7 bassins (ayant des débits élevés, une exposition forte mais des seuils de déclenchement faibles) ont fait l'objet d'une attention particulière, d'autant que ces entités hydrologiques n'étaient pas intégrées à un EPRI (*Évaluation Prioritaire du Risque Inondation*) alors que le risque d'endommagement y est réellement important (Douvinet *et al,* 2015). Les réseaux inondés ou saturés ont été localisés à échelle fine pour savoir si les volumes d'eau à évacuer n'étaient pas trop volumineux et érosifs. Les mairies (centre de décision), les écoles et les services de secours (pompiers, hôpitaux) ont été identifiés pour connaître la capacité de réponse des acteurs locaux face à un éventuel aléa rapide et violent. Il était encore possible d'améliorer l'identification de ces seuils de rupture, en associant des indicateurs de vulnérabilité et des niveaux de résilience par exemple, mais des changements de personnels au sein de la DREAL Haute-Normandie (en 2014), et l'éloignement géographique depuis Avignon, ont temporairement mis fin à ces travaux.

Ces niveaux de « mise en alerte » permettent d'anticiper les futurs dépassements de seuils, à partir desquels des ruissellements localisés associés à des débits relativement faibles pourraient se transformer en véritables crues rapides dommageables. Les autorités peuvent dès à présent décider que les seuils nécessaires à l'activation de la procédure d'alerte auprès de la population soit rehaussés (nous avons considéré l'état initial du bassin saturé par une pluie de 10 mm), ou abaissés (notamment si des intensités ont engendré des crues rapides avérées par le passé). Ces seuils sont de toute façon adaptables selon les missions des acteurs concernés, qui pourraient ainsi les utiliser pour activer une « pré-alerte » par exemple (astreinte des services communaux dans la plupart des *Plans Communaux de Sauvegarde*). Ils sont disponibles sur les 64 bassins, et le jour où l'un des seuils sera dépassé, on tentera de comparer les résultats des simulations avec l'ampleur de la réactivité hydrologique réelle, pour valider ou non ces seuils, tout en affinant la caractérisation de l'endommagement probable.

2.3. Lacunes et limites de ces expérimentations

L'objectif de nos simulations était de détecter le dépassement de seuils de rupture d'une façon la plus fiable possible, mais le calage a essentiellement consisté à comparer la localisation des bassins touchés sur une période passée (1982-2005), au détriment d'autres approches classiquement menées en hydrologie, comme les critères de contingence sur les mises en alerte (Naulin *et al.,* 2013 ; Javelle *et al.,* 2016) ou les dépassements associés à différentes périodes de retour (Saint-Aubin *et al.,* 2016). En comparant les résultats de leur modèle, à des bases de données recensant des dommages avérés, plusieurs résultats sont analysés : les « alertes correctes » indiquent que le dépassement des débits

est à la fois observé et simulé. Les « alertes manquées » (dépassement du seuil par les débits avérés seulement) ou les « fausses alertes » (dépassements modélisés, mais non observés) indiquent des erreurs dans l'un des deux résultats. Des indices sont ensuite calculés pour quantifier la qualité du modèle : le taux de succès évalué calcule par exemple le ratio entre le nombre d'alertes correctes et la totalité des alertes modélisées. Mais pour le moment, étant donné que le nombre d'événements et de données de calibration sont limités, la validation reste un vœu pieu qu'il faut assumer.

2.3.1. Des efforts de validation à poursuivre

Le modèle confirme la susceptibilité de plusieurs bassins, touchés par le passé, mais pourquoi les autres bassins (touchés par une crue dans le passé) ne sont-ils pas identifiés par le modèle ? Trois hypothèses sont formulées : **1)** les pluies à l'origine de ces phénomènes ont été supérieures à 50 mm en 1h (100% des bassins sont identifiés pour une pluie de 78 mm en 1h) ; **2)** une plus forte exposition des personnes et des biens dans des bassins où les débits spécifiques simulés ne dépassent pas le seuil de $0{,}7 m^3.s^{-1}.km^{-2}$; **3)** les simulations surestiment l'impact de l'occupation du sol sur la genèse du ruissellement, et des changements pourraient avoir eu lieu entre la date de la crue passée et l'état de la situation considérée dans les simulations. Par opposition, comment expliquer la mise en avant de bassins pour lesquels les simulations indiquent une susceptibilité élevée, alors qu'aucun événement historique n'est recensé ? Si on compile les dires d'experts (gestionnaires du risque, maires, syndicats de bassins), 35 bassins ont eu, par le passé des problèmes de ruissellements ou d'érosions localisées en cas de pluies fortes (32 %). Si on utilise de tels *verbatim* comme outils de validation, on pourrait penser que 59 bassins sur 104 (57 %) seraient bien sujets à des crues rapides pour une pluie de 50 mm en 1h en Seine-Maritime. Si ces résultats sont satisfaisants, il faudra néanmoins poursuivre cette validation et affiner la crédibilité des résultats.

Les incertitudes liées au design conceptuel de *RuiCells*© (routage simplifié de l'eau, non prise en compte des aménagements ou des linéaires qui peuvent dévier les écoulements) et à la nature des données en jeu (**exemple 8**) expliquent par ailleurs nos réserves sur la fiabilité des données simulées. Les capacités d'infiltration restent par ailleurs « homogènes » durant la simulation avec *RuiCells*© alors que plusieurs travaux ont confirmé la grande variabilité spatiale et temporelle de ce paramètre durant des pluies intenses (Obled *et al.,* 1994 ; Gaume *et al*., 2009 ; Braud *et al.,* 2014). Il faudrait aussi traduire les débits en hauteur, en vitesse et en surface mouillée (tout en gardant une marge d'incertitude sur ces trois paramètres clés), et appréhender la morphologie des thalwegs aux exutoires pour mieux visualiser l'emprise des zones inondées et identifier leur capacité de remplissage (Gaume et Borga, 2012). Ces efforts doivent être poursuivis, et des rapprochements avec les autres approches de modélisation topographiques (WaterSed© et IRIP© notamment) sont prévus à court terme.

EXEMPLE 8. La nature et la précision des données d'entrée jouent un rôle évident sur la qualité des « rejeux » (simulations post-événement). Les valeurs simulées de RuiCells© ont toujours été validées par rapport à d'autres modèles (LISEM, GR4J et STREAM) en se basant sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 50m. Or, si la résolution des MNT a fortement progressé au cours de la dernière décennie, il reste impossible de les intégrer dans *RuiCells*© pour deux raisons principales. Quand on utilise un MNT ayant une plus faible résolution, on rallonge inévitablement la durée des simulations : un MNT au pas de 5m va ainsi générer des réponses qui seront 10 fois plus longues par rapport à un MNT de 50m, et on diminue d'autant plus les débits de pointe et les volumes ruisselés. Les simulations n'intègrent pas non plus les débits solides, et des comparaisons avec IRIP© (développé par IRSTEA®) et WATER-SED© (BRGM®) sont d'ailleurs prévues en 2019.

Toutes ces limites expliquent nos « réserves » quant aux suites à donner à des sollicitations venant de différents syndicats de rivière, qui sont en train de réaliser des études sur le ruissellement (ex : Champalaune ou Quincampoix en Bretagne, Quiswiller dans le Bas-Rhin, Orne Saonaise dans la Mayenne, etc.). Les discussions lancées dès 2011 avec plusieurs bureaux d'étude (*Ginger, Risques & Développement, BCEOM*) ou en 2015 avec des cellules de transfert technologique (SATT Sud-est par exemple) n'ont pas abouti à mettre à disposition le logiciel *RuiCells*© sur le marché. La diversité des modèles développés en France pour simuler le ruissellement induit un grand flou chez les acteurs

opérationnels, voire une très forte concurrence au sein des équipes de recherches, qui n'arrivent pas à s'accorder sur ce que sont les « crues rapides » (Daugé, 1999 ; Lutoff *et al.,* 2016).

2.3.2. Des simulations difficiles à transposer dans d'autres contextes

Tout en ayant conscience des faiblesses et les lacunes précédemment évoquées, nous avons éprouvé *RuiCells*© dans d'autres contextes où surviennent des crues rapides, pour mieux circonscrire le champs d'utilisation de ce modèle et pour affiner nos connaissances sur de tels aléas.

Une première étude a été conduite à l'échelle de l'oued Koriche (10,2 km^2), situé à l'ouest de la ville d'Alger où une crue rapide est survenue le 19-20 novembre 2001. Si l'aléa hydrométéorologique est remarquable (263 mm en 14h), il ne suffit pourtant pas à expliquer, à lui seul, la gravité des pertes en vie humaine (781 morts et 115 disparus), ni l'ampleur des dommages matériels (3 271 immeubles détruits ou endommagés), ni le coût des montants estimés à 5 milliards de dinars (GECOTEC, 2002 ; Machane *et al*., 2008 ; Ménad *et al.,* 2012). C'est l'emprise de la tâche urbaine qui a en réalité été le facteur aggravant et la simulation a permis d'infirmer cette idée (**exemple 9**). En 2001, le tissu urbain dense, qui rassemble les centres anciens, les cités populaires, les quartiers pavillonnaires et l'habitat semi-collectif, représente 54 % de la surface de l'oued, contre 21 % en 1986. En y associant l'habitat dispersé (habitations précaires), le tissu urbain couvre 78 % du bassin (contre 65 % en 1986), ce qui traduit le fort degré d'imperméabilisation de cet oued (**figure 2.6**.). L'urbanisation s'y est développée en grignotant progressivement les talwegs depuis les quartiers anciennement peuplés, à l'image de Bab-el-Oued dont la densité atteint 19 360 hab./km² en 2001. Par ailleurs, le lit des oueds et les fonds de vallon ont collecté les déblais produits lors des travaux urbains (Belhouli, 2001), ce qui a fortement augmenté la charge solide mesurée en 2001, et estimé à près de 1,2 T/km^2.

EXEMPLE 9. Les simulations ont permis d'évaluer ces effets aggravants de l'urbanisation. L'hydrogramme simulé de l'événement (**figure 2.6**.) démontre que le débit de pointe (88,7 m^3/s) est lié à une arrivée concomitante des écoulements venant des parties amont, en réponse aux pluies relevées de 8 h à 8 h 30, et à une réactivité marquée des sous-bassins urbanisés situés en rive gauche en aval (Frais-Vallon, Scotto-Nadal), en réponse aux pluies de 9h30 à 10h. Les quantités d'eau ont augmenté en 2h, et les ondes de crue se sont combinées pour former une réponse « polygénique » dont les effets ont été aggravés par l'ampleur des routes construites dans les talwegs (18km). Au final, c'est la concomitance des crues, la distribution du bâti et les effets collecteurs des réseaux qui expliquent la violence des flux, bien plus que le seul facteur pluviométrique (Ménad et al., 2012).

D'autres simulations ont également été testées dans le cadre de l'ANR FLOODSCALE (2011-2015). Il s'agissait ici de mesurer les effets d'emboîtement des réponses hydrologiques sur plusieurs bassins équipés de capteurs hydrologiques aux exutoires (Le Cartaou : 0,9 km^2, Valescure : 4,1 km^2, Tourgueille : 14,4 km^2), tout en comparant les réactions de ces bassins avec d'autres entités situées dans des contextes proches d'un point de vue géologique et pédologique (Gazel : 4,1 km^2 ; Avène : 40,2 km^2). En utilisant des Modèles Numériques de Terrain (MNT) avec une résolution similaire (pas de 25 m), les cartographies du cumul des surfaces transitant par chaque point de mesure et à chaque itération mettent à jour plusieurs anomalies. Le bassin du Cartaou se vidange bien plus vite que celui de Valescure, et le pic de surface *Smax* est atteint en très peu d'itérations (27), alors que la surface la plus éloignée sur un grand bassin (Avène) nécessite une distance de 307 itérations pour atteindre l'exutoire, alors qu'elle n'est que de 148 pour le bassin de Tourgueille (qui est 2,5 fois moins grand). La distribution spatiale de la pluie a également été comparée à la réponse surfacique des bassins, et elle a abouti à la création d'une nouvelle « fonction largeur » pour la pluie (travaux d'A. Wijbrans et G. Nord). Les autres simulations ont toutefois abouti à des résultats trop éloignés des réactions mesurées sur ces bassins, et *Ruicells*© est finalement « hors-course » dans le domaine calcaire, notamment car les écoulements souterrains ont un rôle bien trop important lors des réponses hydrologiques.

Une troisième étude a été menée dans le cadre du projet régional OCTOMED (2012-2014). Le but de ce projet de recherche était d'évaluer le rôle joué par les surfaces dénudées, ou couvertes par des espèces forestières, sur les réponses hydrologiques de deux bassins torrentiels marneux (le

Laval, dénudé, et le Brusquet, boisé), tout en comparant les résultats obtenus à l'aide de 3 modèles distribués (LISDQS©, DHSVM© et *RuiCells*©) qui ont recours à des paramètres différents. L'analyse des débits a permis de quantifier l'importance du transit sédimentaire : sur le bassin dénudé du Laval (0,86 km^2), 45 tonnes (T.) de matériaux solides ont été charriées durant la seule crue du 1er juin 2013, et un pic de crue estimé à 9,96 m^3/s (soit un débit spécifique de 12 m^3/s) a été enregistré le 14 octobre 2016 (avec un temps de montée de 15 minutes), à la suite d'une pluie de 10 mm de 8h15 à 8h30 (mais elle fait suite à 22,4mm sur les 3 heures précédentes). La pluie limite est de 20 mm à l'exutoire du Laval (sur 870 épisodes), contre 55 mm sur le bassin très boisé du Brusquet (avec 409 épisodes) (1,4 km^2). Les épisodes pluvieux très brefs peuvent produire du ruissellement sur le Laval, malgré un temps sec supérieur à 60 jours, alors qu'aucune crue ne se produira après 50 jours secs sur le Brusquet.

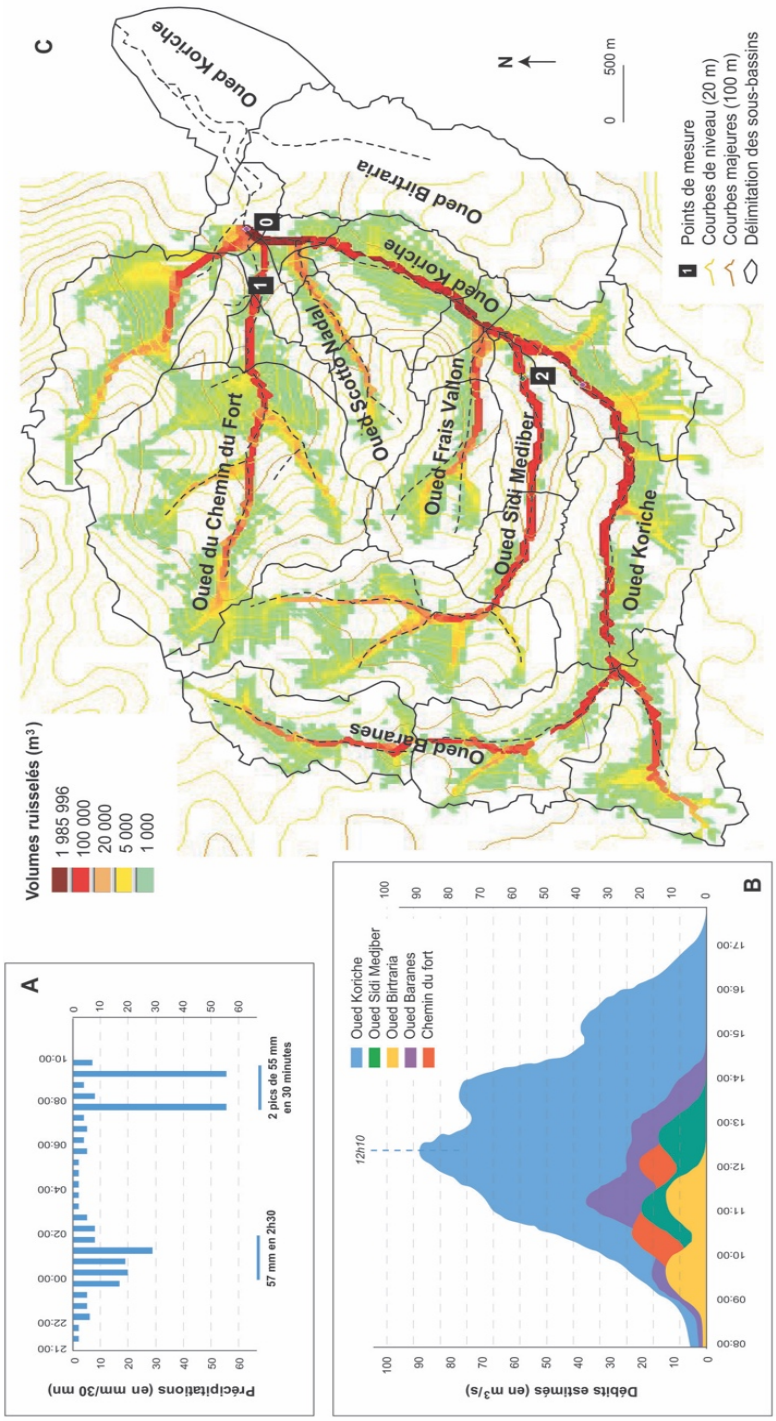


Figure 2.6. Simulation des écoulements de surface avec l'automate cellulaire RuiCells suite à l'épisode pluvieux durant la matinée du 9 et 10 novembre 2001 dans l'oued Koriche

2.4. Quels besoins à court terme ?

Les seuils de ruptures qui expliquent pourquoi les ruissellements localisés se transforment en quelques minutes en crues rapides dévastatrices constituent un verrou à lever, sur lequel bon nombre de chercheurs achoppent et sur lequel nous souhaitons poursuivre nos efforts.

2.4.1. Du ruissellement aux crues rapides : un problème de connectivité

Si le titre de cette section fait directement allusion au titre d'une HDR (Cossart, 2014), de très nombreux travaux ont montré que les interactions spatiales entre les zones de production des flux, les linéaires hydrologiques (axes d'écoulement) et les autres linéaires paysagers (haies, fossés et routes), et les zones d'accumulation (exutoire des bassins, urbanisés ou non) avaient un rôle déterminant pour expliquer la propagation rapide des ruissellements et la cinétique des crues rapides (Cosandey, 1992 ; Delahaye, 2002 ; Viel *et al.,* 2014). Autrement dit, deux épisodes pluvieux de même intensité peuvent générer des processus et des relais de processus différents ; deux crues rapides ayant une magnitude similaire peuvent aussi émerger avec des conditions initiales hétérogènes, en termes de saturation ou d'occupation du sol par exemple. Aussi, si les couplages sont systématiquement efficaces, les zones de relais entre les processus ne doivent pas être considérées comme des « boîtes noires », et il faut aller au-delà d'une telle idée en quantifiant les modalités d'organisation interne d'un bassin versant et la connectivité des flux. Cette connectivité doit notamment être appréhendée comme l'ensemble des relations, potentielles ou effectives, qui existent entre plusieurs composantes environnementales, et qui sont nécessaires pour comprendre son fonctionnement hydrologique. Et pour cela, l'approche doit être multi-scalaire : à échelle fine, il faut mieux détecter les seuils entre chaque processus élémentaire et comprendre dans quelle mesure ils sont effectifs. A l'échelle du bassin versant, il faut ensuite savoir comment la somme de ces multiples comportements locaux s'accumulent et interagissent ensemble, dans le temps et dans l'espace (Braud *et al*., 2014), pour expliquer le fonctionnement global, et voir les seuils de fonctionnement en réponse aux forçages (les pluies « critiques » par exemple).

A ce titre, une contribution à distance a été apportée aux travaux de R. Reulier (2012-2015), qui a développé un Système Multi-Agent et proposé des indices pour quantifier l'impact des réseaux linéaires sur le parcours théorique des flux de surface (Reulier *et al.,* 2016). L'un des indices se base sur un nombre limité de données en entrées (MNT + réseaux), et il se veut de ce fait transposable. De nouveaux axes sont mis à jour par rapport à la simple simulation des écoulements topographiques. Il est ainsi possible d'affiner l'aire d'alimentation (drainant les écoulements jusqu'au point exutoire) d'une façon plus réaliste, en tenant compte de tous les espaces connectés alimentant cette surface. En plus de livrer une appréciation du rôle joué par la rugosité du paysage, cet indice est également construit à partir d'informations spatiales plus pertinentes à une échelle fine (**figure 2.7.**).

2.4.2. Une production sédimentaire à mieux appréhender

D'autres facteurs rendent aussi complexe la mesure même du phénomène : d'un point de vue rhéologique (Meunier, 1993), les crues rapides se caractérisent intrinsèquement par une concentration importante en flux solides, qui regroupent les Matières en Suspension et les éléments charriés (§ 1.3.), et qui représentent entre 10 et 35% du flux total (Malmon *et al.*, 2004 ; Billi, 2011). Si les zones sources sont bien connues (Douvinet, 2008), la définition du budget sédimentaire reste toutefois un problème insolvable pour plusieurs raisons : les dépôts situés en zones urbanisées sont rapidement enlevés par les acteurs locaux pour remettre en état ces zones sinistrées ; les bilans d'érosion réalisés entre deux événements donnent une idée des volumes charriés (Delmas *et al.*, 2012) mais il est impossible de replacer ces productions dans la temporalité de la crue (**exemple 10**) ; les approches hydrologiques occultent, de façon volontaire, l'importance de ces sédiments, et les débits de pointe estimés à partir des laisses de crue surestiment ainsi le flux liquide réel ; les blocs les plus gros et les autres obstacles constituent une entrave connue aux écoulements de surface (Le Coz *et al.,* 2014) ; les changements

de morphologie des lits sont tels qu'il faudrait avoir des informations en tout point de l'espace avant une crue rapide (**figure 2.8.**). La quantification des budgets sédimentaires est finalement souvent réalisée sur un pas de temps long (Viel *et al*., 2014 ; Larue, 2005). Les seuils érosifs manquent aussi de validation empirique : sans vouloir passer par de fastidieux protocoles en laboratoire, qui restent difficiles à généraliser, il faudrait pouvoir affiner les seuils nécessaires à l'émergence des différents phénomènes érosifs, comme l'ont initié plusieurs travaux (Auzet *et al.,* 1995 ; Delahaye, 2002).

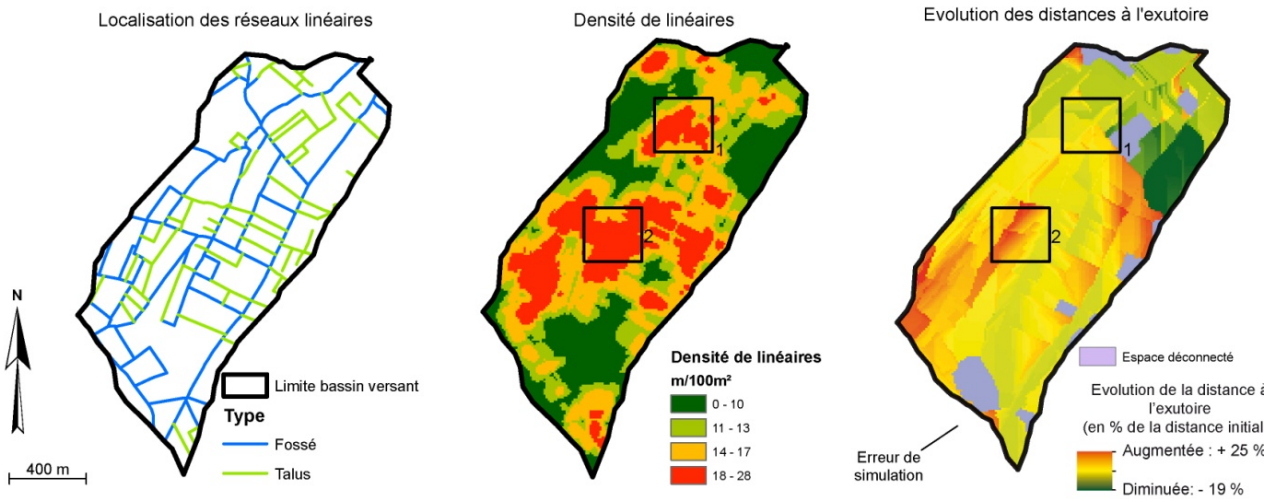


Figure 2.7. Simulation des écoulements prenant en compte les effets des linéaires (avec validation terrain) sur le bassin versant de la Bourderie (1,8km^2) et quantification de la modification des écoulements par les réseaux linéaires (Reulier *et al*., 2016)

EXEMPLE 10. Les crues rapides survenues le 15 juin 2010 dans le bassin versant de la Narturby ont été fortement dommageables à partir du village de Rebouillon situé à 5km au nord-ouest de Draguignan. Le pont de la Narturby a surtout été submergé par une vague de plus d'1 m d'eau supplémentaire par rapport à l'inondation en cours et les riverains ont pris des photos attestant d'un tel phénomène. Si les études hydrauliques ont systématiquement minimisé le rôle d'un glissement de terrain localisé à 1 km en amont du village de Rebouillon (Préfecture du Var, 2011), je pense au contraire que le volume charrié (estimé à plus de 2,3 millions de tonnes) a joué un rôle dans l'arrivée de ce « mur d'eau ». Difficile toutefois d'expliquer la cinétique du glissement (progressif ou brutal ?), tout comme son rôle à Rebouillon : est-ce que les sédiments ont fait barrage aux écoulements, sur un laps de temps court, puis provoqué une rupture de cet embâcle, ou ont-ils été progressivement emportés durant l'événement ? Une seule certitude : le volume déposé a totalement été emporté par l'événement.



Figure 2.8. Impacts morphogènes au sein du talweg d'un petit vallon (6,3 km^2) suite au passage d'une crue rapide (Rusjan *et al.,* 2016)

2.5. Conclusions du chapitre 2

Ce chapitre a permis de confirmer que les crues rapides sont des aléas difficiles à anticiper et à évaluer, notamment à cause d'un manque de données (hydrologique ou pluviométrique) suffisantes pour caler et calibrer les modèles sur des bassins non jaugés, mais aussi parce que les dépassements des seuils de fonctionnement ne sont pas linéaires. Les interactions spatiales et la connectivité entre les multiples variables environnementales qui composent un bassin versant peuvent transformer des ruissellements localisés en crues rapides très dévastatrices et dommageables en quelques minutes, et pourtant, la relation n'est pas si systématique. Nos simulations ont à ce titre permis d'identifier des seuils de rupture sur d'autres bassins versants, de valider l'Indice de Concentration avec de nouvelles données empiriques, et de proposer une analyse emboîtée associant des degrés d'endommagement probables à des pics de crue simulés et à des « pluies critiques ». Dans l'étude menée sur la Seine-Maritime, plusieurs bassins réagissent dès 30 mm (27 entités sur 180) et les prévisionnistes doivent surtout se focaliser sur 14 bassins au sein desquels les débits spécifiques dépasseraient une valeur d'$1 m^3.s^{-1}.km^{-2}$ et pour lesquels les temps d'écoulement sont très courts (< 2h). Si une pluie de 50 mm en 1h est prévue à l'échelle du département, le nombre de bassins potentiellement réactifs est élevé (102 entités sur 180). Les crues rapides pourraient alors se propager dans les parties aval des vallées humides et induire des dégâts indirects non négligeables, en particulier autour de Fécamp, Lillebonne et Dieppe. Si cette intensité ne se produira peut-être jamais sur la totalité du département, les résultats produits permettent néanmoins d'en mesurer les conséquences probablement attendues.

En revanche, si les efforts sur la mesure et la simulation des crues rapides sont à poursuivre, ces savoirs scientifiques, entachés de nombreuses sources d'incertitudes, sont difficiles à comprendre pour les autorités, qui sont soumises à des biais de jugements liés à leurs missions qui les enferment dans des cadres préétablis (Gisclard, 2017). Étant donné les sanctions pénales possibles, et eu égard à leurs responsabilités sous-jacentes, ces autorités ne donneront jamais l'alerte à la population sans avoir une garantie ou une grande certitude sur les valeurs indiquées ou produites. Il faut affiner nos connaissances sur ces crues rapides ou à l'inverse, accepter les erreurs et les degrés d'incertitude, mais surtout informer les individus de ces états de fait. Les individus ont en effet tendance à intégrer plus facilement ces incertitudes, tout comme ce défaut de connaissances (Finucane et Holup, 2006), mais à condition qu'ils comprennent ce que sont les crues rapides, si diverses et si imprévues soient-elles, et qu'on leur fasse un minimum confiance.

Chapitre 3. Une politique préventive contre-productive

Ce troisième chapitre a pour objectif de montrer que l'alerte, en tant que point de rupture entre la prévention et l'action, pâtit aussi des faiblesses et des lacunes préexistantes en dehors de la crise. Depuis la fin des années 1990, les politiques de prévention des risques naturels en France se sont tournées vers la maîtrise de l'urbanisme (ce qui se traduit par la définition de périmètres de protection, censés limiter la constructibilité en zones à risque), et vers l'information et la sensibilisation du public, avec pour objectif de donner les moyens aux individus de surmonter leur sentiment d'insécurité, et les rendre plus responsables avant, pendant ou après une crise. Cependant, le manque de connaissance des consignes de sécurité, l'absence de considération des risques qui peuvent exister sur le territoire où les individus vivent, ou l'inadaptation de l'injonction réglementaire (définie à une échelle nationale) aux particularismes locaux, sont autant de facteurs de blocage qui impactent la portée opérationnelle de l'alerte. Il est également illusoire de s'attendre à ce que les individus « adoptent » un comportement de protection *ex-nihilo*, sans s'assurer qu'ils comprennent, perçoivent et évaluent le danger, d'autant plus que le souvenir d'un événement passé peut les empêcher de croire que l'événement en jeu n'est pas le même. Aussi, il s'agit ici de remettre en perspective un certain nombre d'enseignements issus des travaux que j'ai menés dans le cycle de la prévention (pas uniquement sur le risque lié aux crues rapides), et de voir si ces défaillances peuvent être amenées à évoluer à court terme.

3.1. Apports et lacunes de la politique d'indemnisation assurantielle

La reconnaissance en état de « catastrophe naturelle », désignée sous le terme *CatNat* par la suite, est une procédure qui permet à chaque citoyen français d'être indemnisé face à des événements hydro-climatiques telles que des inondations, à condition néanmoins d'avoir soumis une extension de garantie aux contrats d'assurance « dommage » et que l'événement en question soit reconnu comme tel par les pouvoirs publics. Le dispositif juridique de cette reconnaissance a été instauré par la loi du 13 juillet 1982, avec une mise en application au 1er janvier 1983, puis complété par la réforme du Code des Assurances en 2000, la loi Bachelot du 13 août 2004 et la circulaire du 11 mars 2011 (qui permet désormais au Président de la République de prendre cette décision 24h après la survenue d'un sinistre de grande ampleur). Les victimes constituent un dossier pour être dédommagés pour les préjudices subis (Pottier, 1998 ; MEDD, 2005; Douvinet, 2010), qui est transmis aux assureurs et aux maires moins de 7 jours après la date de l'événement. Les communes collectent les dossiers qui sont transmis aux préfectures, puis à la *Commission Interministérielle* en charge des arrêtés, et en cas de réponse favorable, un arrêté est alors publié puis notifié aux préfets et aux maires. La Commission est chargée, en parallèle, de classer l'ensemble des arrêtés dans la base de données nommée GASPAR (*Gestion ASsistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels*). Cette base est très souvent employée car elle est homogène sur l'ensemble du territoire ; elle repose sur des critères équivalents (i.e. appliqués de la même manière, quelle que soit la taille de la commune touchée) et inchangés depuis 1983, et la période couverte est intéressante pour définir les périodes de retour des sinistres. Mais elle résulte aussi de plusieurs lacunes, ce qui peut conduire à une mauvaise lecture des données.

3.1.1. Les arrêtés *CatNat*, supports d'analyse spatio-temporelle de la sinistralité

Les déclarations rassemblées dans la base GASPAR sont couramment exploitées pour rendre compte de la sinistralité liée à des aléas naturels (Delahaye, 2002 ; Pigeon, 2002 ; Hay-Lepêtre, 2005 ; Vinet, 2007 ; Douvinet, 2008). Les inondations sont ici considérées comme des aléas dommageables,

et elles représentent plus de 80% du montant des indemnisations versées au titre de cette procédure (CCR, 2017). Basé sur un principe de solidarité nationale, le système CatNat accompagne la mise en place des Plans d'Exposition aux Risques (PER). À l'époque, en associant ces deux procédures, l'État voulait recenser les communes régulièrement sinistrées pour imposer la réalisation de plans légiférant l'urbanisation dans les zones à risque. Pour le phénomène inondation, la prise de décision est positive lorsque l'intensité du phénomène est reconnue comme « anormale », c'est-à-dire lorsque l'intensité journalière des pluies mesurées par les stations du réseau Météo France (au plus proche de l'épisode pluvieux), ou estimées à partir des échos radar du réseau ARAMIS (la taille des pixels des images est passée de 10 km² à l'échelle du km² en 2000) est supérieure à la valeur décennale sur 24h.

L'analyse réalisée sur 50 395 arrêtés recensés pour l'item *« inondations et coulées de boue »* entre 1982 et 2008 (Douvinet et Vinet, 2012) a permis de faire ressortir sur une cartographie par points (**figure 3.1.**), la saisonnalité des arrêtés, liés aux entrées pluviométriques générales, et les linéaires de cours d'eau drainant des grands bassins versants (le Rhône, l'Aisne, la Somme, la Meuse, l'Allier dans sa partie moyenne), puis des bassins de taille moyenne (Maine, Loire amont, Aude) et des petits bassins (Orne, Sarthe, Iton). La fréquence des arrêtés observée sur d'autres secteurs n'est pas liée à des débordements en fonds de vallée (Pays de Caux, Pays d'Artois, sud des Ardennes, est des Alpes-Maritimes). Des agglomérations (Marseille, Toulouse, Bordeaux, Paris, Lille) ont également un nombre très élevé d'arrêtés, ce qui est plus lié à des phénomènes de ruissellement urbain et à la concentration des enjeux (**exemple 1**). D'autres départements (la Seine-Maritime, la Saône-et-Loire, la Charente-Maritime, l'Ariège) ont eu la totalité de leurs communes sinistrées au moins une fois depuis 1982. Par opposition, la carte ne fait pas ressortir les principaux fleuves français (Garonne, Loire, Seine et Rhin). Les territoires les plus fréquemment reconnus (Ledoux, 2005 ; Vinet, 2010) ne sont pas les mêmes que ceux matérialisés sur les cartes du risque « connu », qui ont été sinistrés à cause de phénomènes de débordement lors d'inondations survenues aux siècles précédents (1856 sur la Loire et le Rhône, 1875 et 1930 sur la Garonne, 1910 sur la Seine, etc.). La plupart des fleuves ont été endigués et les zones urbanisées situées à l'arrière sont protégées des crues moyennes : les crues de la Loire en 2008 ont affecté peu de zones urbaines car les déversoirs n'ont pas été dépassés (Rode, 2009).

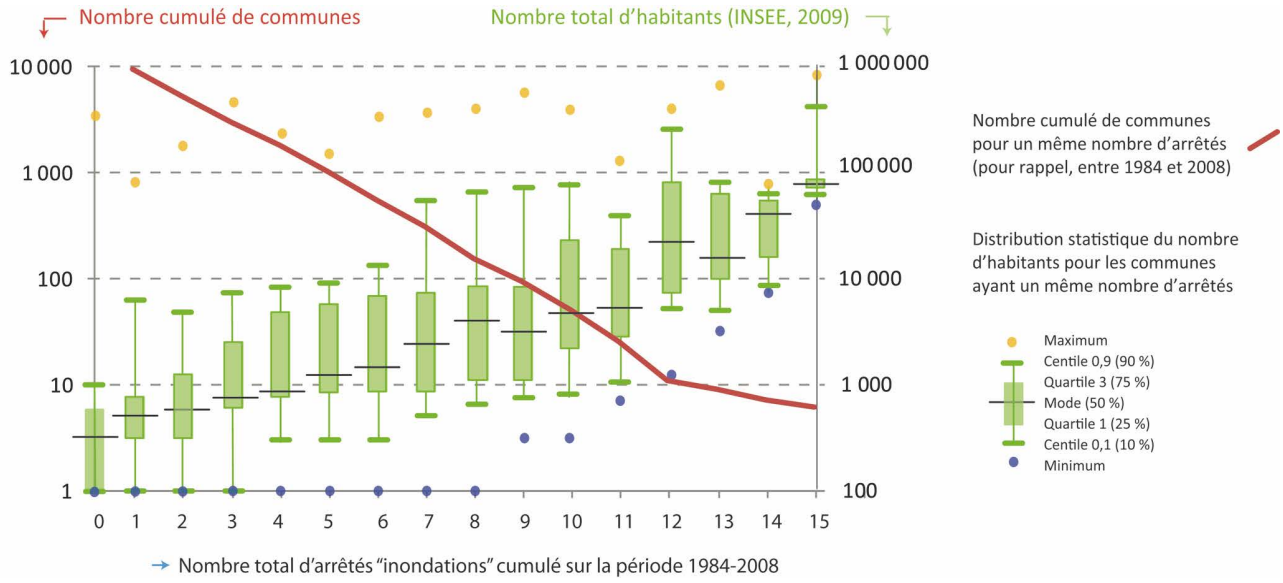


Tableau 3.1. Relation entre le nombre d'arrêtés pour l'item « inondations et coulées de boue » (1984-2008), le nombre de communes et la population totale cumulées (Douvinet et Vinet, 2012)

EXEMPLE 1. Sur la période 1984-2008, 15 070 communes (soit 41,5 % des 36 600 communes étudiées) n'ont jamais été touchées par une inondation dommageable. La plupart se situent dans la « diagonale du vide », dans la partie nord-ouest du Massif central, les Landes ou la partie sud du Bassin parisien (**figure 3.1.**). Elles sont très peu peuplées (90% ont moins de 1 000 habitants) et les quelques communes densément peuplées sont avant tout situées en Île-de-France. A l'inverse (**tableau 3.1.),** 21 530 communes (58,5%) ont été touchées au moins

une fois en 25 ans, avec un nombre d'arrêtés variant de 1 (9 026 communes) à 19 pour Nice, Marseille et Antibes (le maximum). Ce chiffre dépasse même les 40 arrêtés si on étudie la période 1983-2017. De 1984 à 2008, 11% des communes ont été reconnues par 4 arrêtés ou plus (4 014) et 109 communes ont eu plus de 10 arrêtés. Plus la population s'accroît, plus le nombre d'arrêtés a tendance à augmenter : les quartiles de population Q1 (25%), Q2 (50%) et Q3 (75%) ont une progression croissante avec l'occurrence des reconnaissances. Un seuil de population semble d'ailleurs émerger pour un nombre total compris entre 12 et 13 reconnaissances, le centile 10% passant de 1000 à 5 450 habitants. Sur les 6 communes ayant 15 arrêtés ou plus, 5 se situent dans les Alpes-Maritimes et sont très densément peuplées (> 150 000 habitants). Toutefois, si la population est un facteur explicatif évident, bon nombre de cas isolés, bien que différents, confirment que cette filiation n'est pas si simple. La distribution statistique montre des évolutions irrégulières (notamment pour les arrêtés compris entre 11 et 14). En explorant les données, on trouve dans chaque classe, des villes densément peuplées, même pour un faible nombre d'arrêtés: Grenoble (2 arrêtés), Nantes, Saint-Nazaire ou Tours (3 arrêtés).

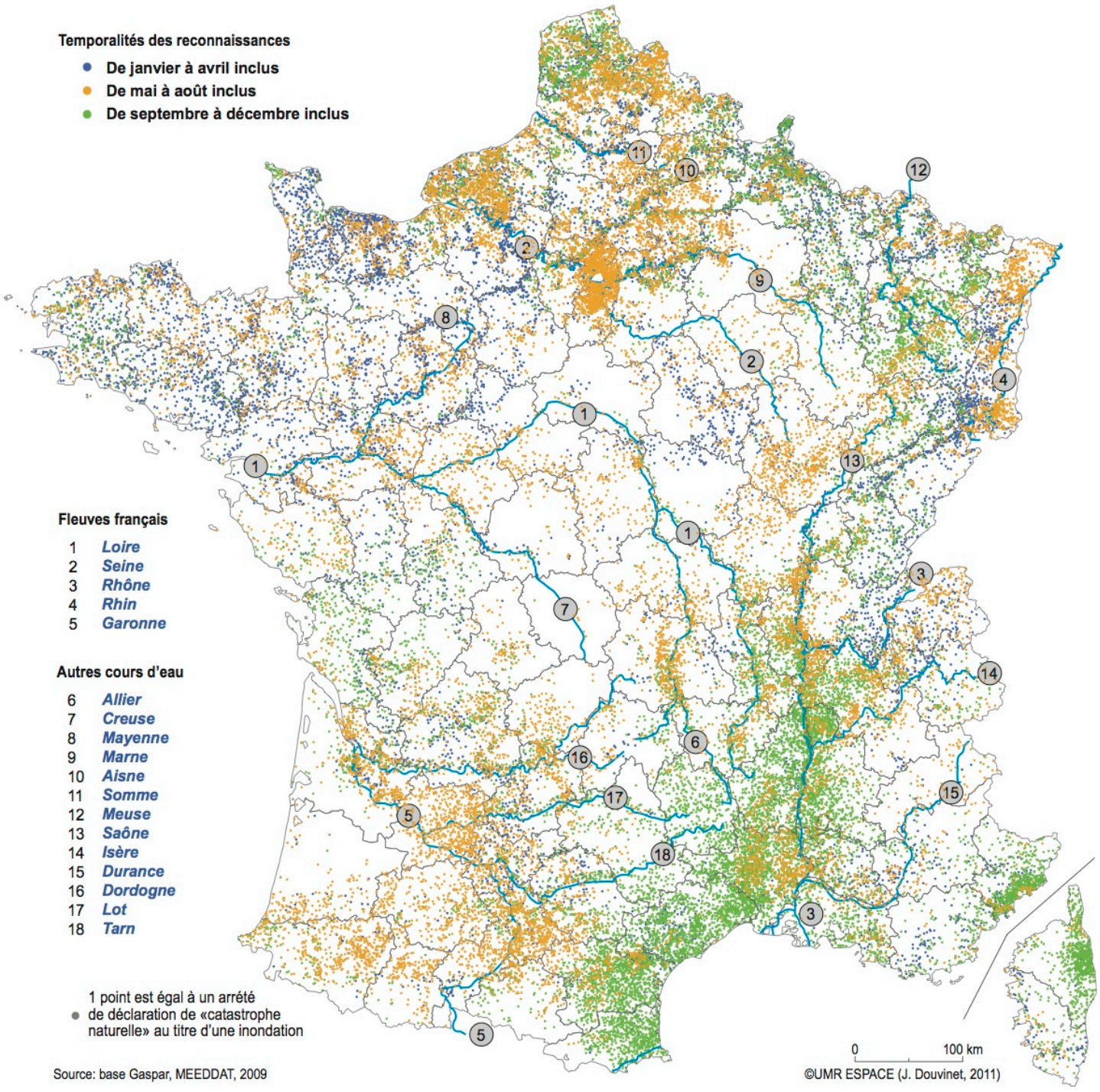


Figure 3.1. Saisonnalité des reconnaissances CatNat pour « inondations et coulées de boue », avec un arrêté représenté par un point dans chaque commune (1984-2008) (Douvinet et Vinet, 2012)

La carte des déclarations de janvier à avril (points bleus) confirme la répétitivité des sinistres pour des cours d'eau de petite taille (Orne, Risle ou Eure) et de taille moyenne (Aisne, Maine, Vilaine, Somme, Oise et Doubs). La sensibilité du nord-ouest (du Massif armoricain au Bassin parisien) et de l'est (Vosges, Fossé Rhénan) de la France est mise en avant, et cette distribution spatiale confirme la prégnance des crues provoquées par des pluies régulières et continues associées au passage des perturbations en flux perturbé d'ouest (Dupont *et al.,* 2008). Les reconnaissances apparaissent plus dispersées au printemps et en été (points orange), même si plusieurs secteurs présentent une plus forte prédisposition (Bassin aquitain, Bassin parisien, Alsace, couronne parisienne, ouest des Alpes). Les sinistres touchent peu de communes à chaque événement : ils sont liés à des épisodes pluvieux de forte intensité, à caractère ponctuel et aléatoire, induisant des ruissellements urbains ou des crues rapides (Dauge, 1999). Ces inondations résultent de deux types de situations.

Les systèmes frontaux les plus violents provoquent bien plus de dommages liés à la grêle, mais pourtant intégrés dans l'item «inondations ». Les marais barométriques sont aussi discriminants (Douvinet, 2008) : en raison de l'insolation et de la relative sécheresse, l'air se réchauffe rapidement dans les basses couches et l'instabilité devient de plus en plus forte en fin de journée et durant la nuit (Belliard *et al.,* 1976). *In fine,* la carte des communes reconnues entre septembre et décembre (points verts) met à jour les sinistres provoqués par des précipitations automnales, phénomènes classiques sur le pourtour méditerranéen. Les crues rapides peuvent ensuite générer des crues par débordement le long du Rhône (comme ce fut le cas en décembre 2003).

Les forçages pluviométriques et la distribution des enjeux contrôlent donc la localisation de ces reconnaissances, qui surestiment la fréquence des sinistres « locaux » liés à des événements banals : on accorde, à la récurrence des reconnaissances, bien plus d'importance qu'aux impacts économiques engendrés par les phénomènes naturels. Autrement dit, un arrêté qui génère 1 million € d'indemnisations ou cent fois moins, importe peu : il sera reconnu sur les communes qui en ont fait la demande. Ainsi, on donne plus de poids à une commune qui a été déclarée plusieurs fois (mais pour des dommages faibles), par rapport à celle touchée une seule fois et qui a connu des dégâts onéreux. Les rares cartes publiées par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) confirment que les coûts des indemnisations sont pourtant disparates, même pour des communes contiguës de rang 1. Les sommes versées par exemple suite aux inondations de la Somme en 2001 oscillent entre 2,6 et 17,8 millions € (5 communes), contre moins de 20 000 € pour la majorité des reconnaissances (315). Plusieurs communes ont été déclarées pour des dégâts infimes (sur les marges des nappes du Bathonien, dans la plaine de Caen, ou sur les plateaux calcaires du Pays de Caux) par rapport à la vallée de la Somme et pourtant, elles sont numériquement considérées de la même façon si on réalise une carte par arrêté. Le coût financier doit donc être considéré. Néanmoins, la CCR (*Caisse Centrale de Réassurances*) reste réticente à l'idée de rendre de telles informations publiques, avant tout pour des questions de confidentialité et de gestion interne des portefeuilles (Douvinet et Vinet, 2012).

3.1.2. Les « fonds de dossiers » en appui à la caractérisation des crues rapides

Afin d'améliorer la localisation des sinistres associés aux crues rapides, j'ai réussi, durant mes recherches doctorales, à avoir accès aux « fonds de dossiers » qui sont présentés à la Commission interministérielle, qui statue sur la prise de décision. Ces dossiers sont protégés et communicables au public qu'à l'expiration d'un délai de 30 ans, conformément aux conditions prévues par la loi (légiférant les archives) du 3 janvier 1979. Une convention Recherche a toutefois été signée, conformément aux règles de communication des archives publiques et grâce à un accord entre la Direction de la Défense et Sécurité Civile (DDSC), rattachée au Ministère de l'Intérieur, la mission Patrimoine du ministère de la Culture, les Archives nationales et le Centre des archives contemporaines. L'analyse des rapports circonstanciés et des fiches techniques, a permis d'obtenir différentes informations, comme la nature de l'événement, les estimations de dommages, les rapports circonstanciés du maire ou des habitants, les mesures de prévention déjà prises par la commune ou le rapport météorologique (**exemple 2**).

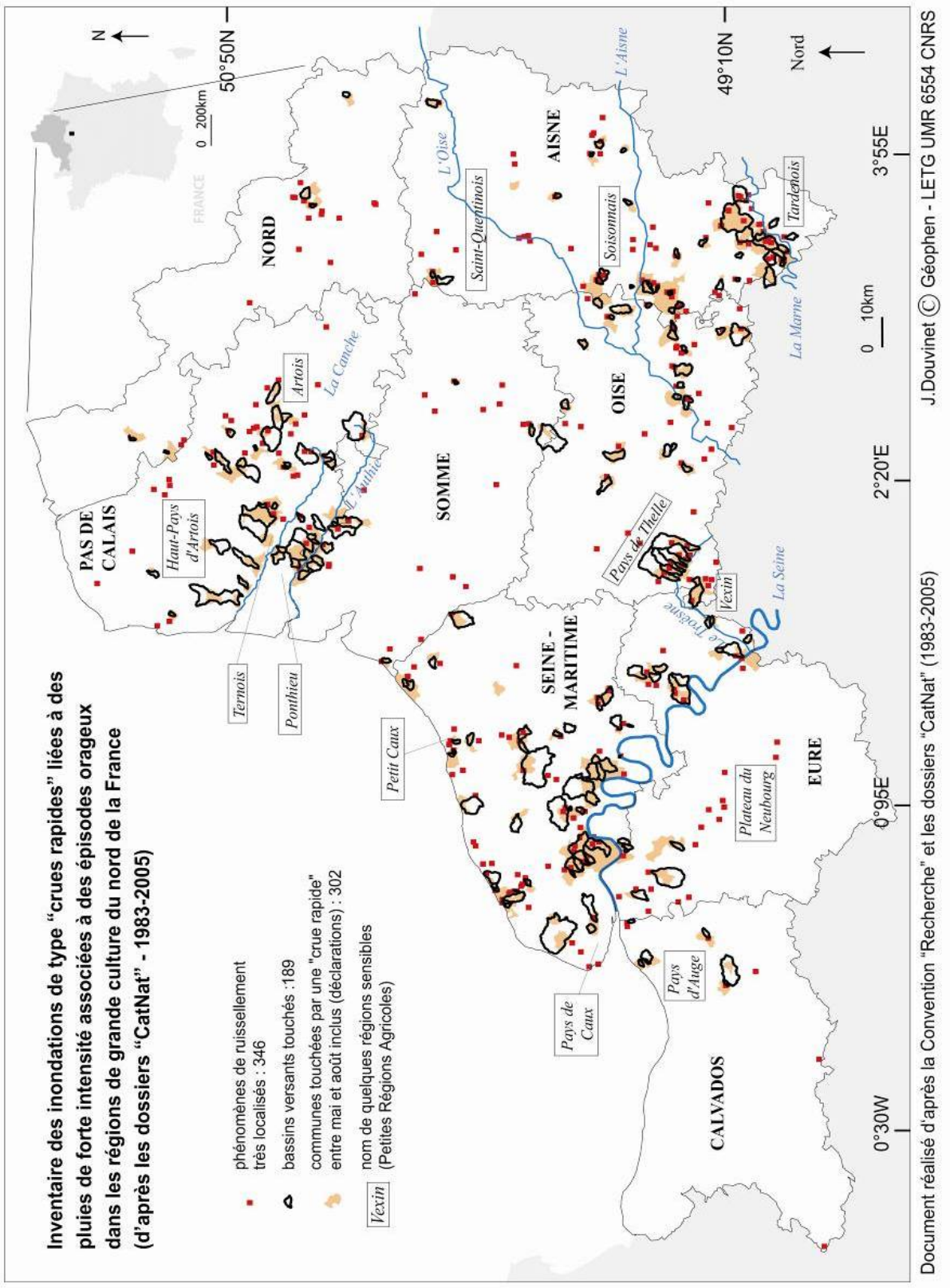


Figure 3.2. Localisation des bassins versants au sein desquels des « crues rapides » ont entraîné une indemnisation au titre de la procédure CatNat, à l'échelle du nord de la France (1983-2005)

EXEMPLE 2. L'accès aux fonds de dossiers a permis d'améliorer la carte de localisation des communes sinistrées ou reconnues comme telles, par des crues rapides dans le Bassin parisien (**figure 3.2.**). Il semble tout d'abord plus facile pour les communes des départements les moins souvent touchés de se faire reconnaître en état de « catastrophe naturelle » (le souci d'équité ayant tendance à lisser les disparités régionales) et la plupart des demandes ont été accordées suite à des épisodes violents, par manque de tri parmi toutes les demandes et/ou

à cause de la généralisation des pluies sur plusieurs communes. L'analyse a également permis de recenser 279 événements survenus sur 187 bassins dispersés sur 8 départements (**figure 3.2**). Ce résultat indique alors que les crues rapides induisent des sinistres fréquents dans ces régions, que les épisodes sont récurrents si on se place à une échelle large (8,5 bassins sont en moyenne touchés tous les an sur 50 000 km²) mais qu'ils restent rares à l'échelle d'un bassin versant : 70% ont été touchés 1 seule fois en 22 ans (Douvinet, 2008).

En 2010, une autre étude a été conduite conjointement avec E. Masson et E. Desette (Lille 1) pour comprendre la cinétique de deux crues rapides observées dans la région du Cambrésis (nord de la France) : la crue du 7 juin 2007 dans le vallon d'Estreux (6,5 km^2) et la crue du 11 septembre 2008 dans le bassin de l'Escautin (9,8 km^2). Les rapports météorologiques ont permis d'affiner l'estimation des cumuls pluviométriques : les échos radar ont par exemple permis de voir qu'il était tombé 70 mm en 1h30 sur la partie amont du bassin d'Estreux le 7 juin 2007, dont 50 mm en 1h. Une fois injectées dans l'automate *RuiCells©,* ces données ont permis de reconstituer la cinématique de cette crue. Les simulations montrent que les volumes ruisselés (50 388 m^3) et le débit de pointe (7,4 m^3.s^{-1}) ont été considérables (**figure 3.3**) sur un vallon de si petite taille. Les maisons situées dans l'axe principal des écoulements à l'exutoire, ont été très impactées à cause d'un excédent d'eau qui est venu s'accumuler dans une cuvette topographique, et des laisses de crue ont été mesurées à une hauteur de plus de 2,3m. Le faible développement de certains couverts végétaux (maïs, lin) a aggravé la réponse de ce vallon sec (Douvinet *et al.,* 2012). Les autres données relatives à la sinistralité et à la sensibilité des territoires (récurrence des arrêtés) ont par ailleurs été capitalisées pour mettre à jour la carte des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC), et pour mener une enquête locale (**exemple 3**).

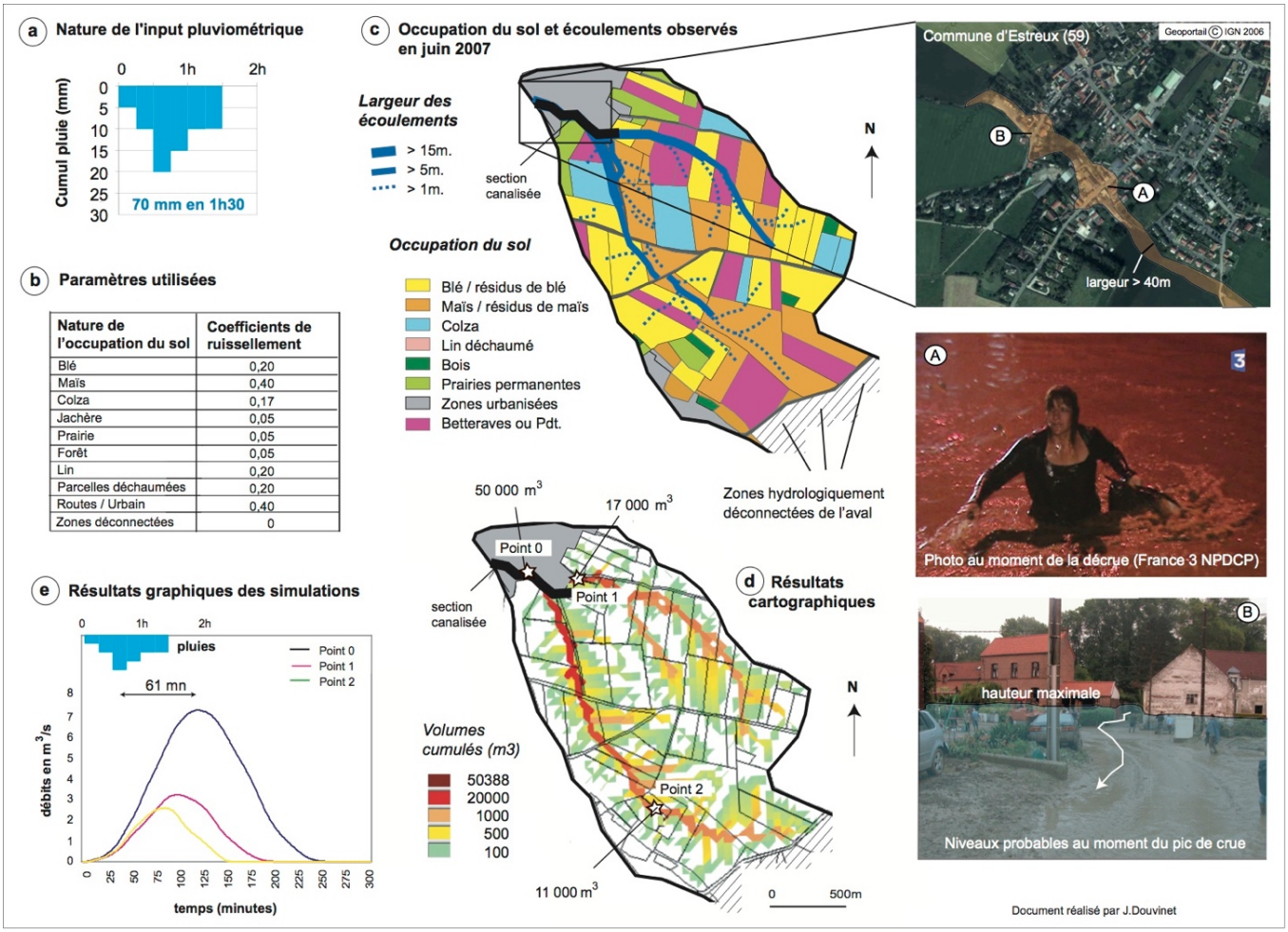


Figure 3.3. Valeurs implémentées (a, b) dans *RuiCells©* et comparaison entre les écoulements observés (c) et simulés (d, e) dans le bassin d'Estreux (59) pour l'événement du 7 juin 2007

EXEMPLE 3. Les fonds de dossiers sont aussi venus en appui à une évaluation de la mémoire du risque auprès des sinistrés et les élus. Une enquête a été administrée (en passation indirecte) auprès des personnes localisées le long des rues les plus sinistrées, et indiquées comme telles dans les fonds de dossiers *CatNat*. Une attention particulière a été portée sur le type architectural du bâti (construction sur cave, remblais, vide sanitaire) puisqu'il conditionne en grande partie la vulnérabilité matérielle. L'enquête montre aussi que les victimes des inondations, la plupart des propriétaires (88,2%), ont été marquées psychologiquement (65,5%) par des dégâts jugés par eux comme étant importants (44,1% des répondants), voire « catastrophiques » (8,8%). Plus des 2/3 des victimes (69%) n'avaient jamais été inondés auparavant.

3.1.3. Quand indemniser ne rime pas avec prévenir ni responsabiliser…

Le système *CatNat*, soutenu depuis sa création et maintenu par les différents gouvernements successifs, bénéficie d'une large adhésion de la part de tous les acteurs. Toutefois, les problèmes liés aux objectifs réglementaires et à l'architecture de la base GASPAR amènent tout d'abord à énoncer un grand nombre de réserves. D'un côté, la commission interministérielle est chargée de se prononcer sur le caractère d'« intensité anormale » ou sur la « cause déterminante » de l'agent naturel, à l'aide des rapports techniques joints aux demandes de reconnaissance, et non sur l'importance des dégâts. Pour déclarer une inondation en état de « catastrophe naturelle », la pluie mesurée au plus près de la zone sinistrée doit présenter une intensité supérieure à la valeur décennale. Toutefois, les stations ne sont pas systématiquement situées sous l'épicentre pluviogène, et les radars peuvent aussi présenter certaines déficiences (problème de masque et de réflectivité des ondes), comme ce fut le cas lors des pluies orageuses du 4 juillet 2005 (Douvinet, 2008). La valeur décennale n'a pas non plus une réelle signification : la qualification en termes de période de retour par la méthode de renouvellement (ou loi GEV) nécessite de disposer de références statistiquement valides, et d'avoir des données recueillies sur une période de plus de 30 ans (une « normale » au sens climatique), ce qui n'est pas le cas pour l'ensemble des stations du réseau Météo-France. L'intensité doit par ailleurs être indiquée sur un pas de temps horaire, ce qui exclut, de faire, les épisodes pluvieux très courts et focalisés dans l'espace.

Des doutes sont aussi émis sur le caractère scientifique de la prise de décision : le classement en état de « catastrophe naturelle » dépend plus d'une décision politique, et les reconnaissances de ces vingt dernières années le montrent de façon systématique. À cause de la méconnaissance des différents régimes, par la population et par les élus, des phénomènes assurables au titre de l'extension de la garantie TGN (Tempête, Grêle, Neige) et qui ne nécessitent pas un arrêté pour ouvrir droit à une indemnisation, se retrouvent inclus dans la base GASPAR, ce qui traduit bien une instrumentalisation de cette procédure. On peut citer l'exemple des tempêtes du 26-27 décembre 1999 (les dégâts liés aux effets du vent ont été pris en charge par les assureurs, mais un arrêté a été pris tant l'émotion publique était vive), ou la tempête Xynthia du 28 février 2010 (l'arrêté pris dès le lendemain, le 1er mars 2010, couvre en totalité les départements de la Vendée, Charente, Charente-Maritime et Deux-Sèvres, sans distinction entre les effets du vent, la submersion marine ou les chocs mécaniques des vagues). Ensuite, les pouvoirs publics font souvent pression sur les assureurs pour que des arrêtés soient pris en urgence, notamment si l'ampleur du phénomène est médiatisée. Preuve en est : depuis le 11 mars 2011, le Président de la République peut prendre un arrêté CatNat dès le lendemain d'un événement, sans aucune expertise scientifique détaillée, comme ce fut le cas en 2015 ou en 2018…

En facilitant les indemnisations, la procédure empêche par ailleurs l'émergence des solutions préventives, comme l'évoquait C. Kert dès 1993 (Pigeon, 2002). L'intervention de l'État joue en réalité un rôle bien plus insidieux que celui de simple réassureur, et la Cour des comptes (2008, 2015) épingle régulièrement l'État pour diverses raisons :

1) Il n'y a aucun lien entre prévention et indemnisation : les assureurs remboursent à hauteur des dégâts mais ils ne vérifient pas le respect des injonctions réglementaires ;

2) Le système est déresponsabilisant : en permettant le remboursement à des personnes qui souscrivent une assurance pour cela, ce système déresponsabilise l'ensemble des acteurs locaux : la population reconstruit à l'identique après un sinistre sans se poser de question sur le risque et l'éventuel retour d'un événement, et le maire autorise les constructions en zones à risque car il sait que les assureurs vont rembourser ;

3) elle estime aussi que le système est « injuste » : pourquoi les personnes habitant dans des zones sans risques devraient payer pour d'autres sinistrés ? Cette question paraît vite sujette à caution car cela revient à remettre en cause le principe de la solidarité (voire la subsidiarité) nationale, mais c'est pour cela que certains proposent depuis quelques années une profonde réforme de ce système (comme le projet de loi Fillon de 2010, qui n'a pas été approuvé) ;
4) les ministères de l'Environnement successifs rappellent, en vain, que le recours insuffisant à l'expertise scientifique limite la pertinence de la prise de décision (MEDD, 2012) ;
5) la fréquence des arrêtés sur certaines communes (41 pour Nice ou 42 à Marseille sur la période 1984-2017 par exemple) invite à s'interroger sur le sens que l'on donne au terme de « catastrophe naturelle », qui renvoie dans le sens commun à des phénomènes de grande ampleur entraînant un nombre élevé de victimes sur de vastes territoires, alors qu'il s'agit, ici, de « risques à fréquence élevée » et non de « risques catastrophiques ».

Au final, tous ces éléments viennent impacter le processus d'alerte et la réactivité attendue de la part des individus : comment peut-on attendre que des habitants aient des comportements adéquats s'ils subissent des dommages associés à des aléas présentés comme étant « exceptionnels », et face auxquels ils bénéficient d'indemnisations sans la moindre mesure d'adaptation post-crise ?

3.2. Limites des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI)

En complément des travaux menés sur la politique d'indemnisation CatNat, nous avons aussi étudié la traduction de la réglementation du Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) dans les documents cartographiques, et cherché à mettre à jour les marges de manœuvre dont disposent les maires pour assouplir ou contourner cette injonction préventive (Denolle et Douvinet, 2010 ; Douvinet *et al.,* 2011). Eu égard à son pouvoir de police générale en matière de protection de l'environnement, le maire doit prévenir et faire cesser tous les accidents susceptibles de survenir sur son territoire, en particulier en appliquant le Plan de Prévention des Risques (PPR), qui a été instauré par la loi Barnier le 17 février 1995. Outre le fait de réduire par anticipation les dégâts potentiels avant une catastrophe, le PPR s'applique en vue de réduire l'exposition des biens et des personnes face à un risque majeur et pour faciliter la gestion de l'occupation des sols, mais les zonages, en inscrivant les risques dans le territoire, peuvent vite paraître absurdes (Pigeon, 2014).

3.2.1. Pertinence de la couverture des PPRI : un bilan à nuancer

À l'échelle nationale, l'état d'avancement des PPRI est progressivement satisfaisant : 7 093 plans avaient été approuvés entre 1995 et 2008, et 14 576 PPRI existent en 2017 (CCR, 2017). Mais derrière ce chiffre global, se cachent en fait deux réalités :
1) le maire se retrouve dans une position délicate, tiraillé entre la volonté de protection des habitants et le développement de son territoire (« par le bas »), et des élus ont alors développé des stratégies pour négocier les restrictions imposées ;
2) certains élus ne veulent pas approuver ce document, afin de convertir des terres agricoles en terres à urbaniser et/ou pour faciliter l'accès à la propriété. Des habitations ont alors été autorisées dans des zones jugées « à risque ». L'Observatoire du risque inondation dans le Gard (ORIG, 2011) rappelle à ce titre que sur les 100 000 nouveaux logements autorisés en zones inondables entre 1999 et 2008 sur l'ensemble du territoire français métropolitain, plus de 43 000 l'ont été dans 4 départements du sud-est alors que des PPRI y avait été approuvés. Dans l'étude que nous avons mené à l'échelle du bassin à risque de l'Ouvèze, 181 nouvelles maisons ont été autorisées (sur un total de 1 035), dont 62% dans 2 petites communes.

Chacun se « renvoie la balle » sur l'origine de ces manquements à la loi et les responsabilités associées (Vinet *et al.,* 2017), mais un constat est récurrent : même si les catastrophes révèlent ces

dysfonctionnements, la tendance n'est pas pour autant en train de changer, et cela impacte un peu plus l'efficacité du processus d'alerte auprès des populations exposés en zone inondable.

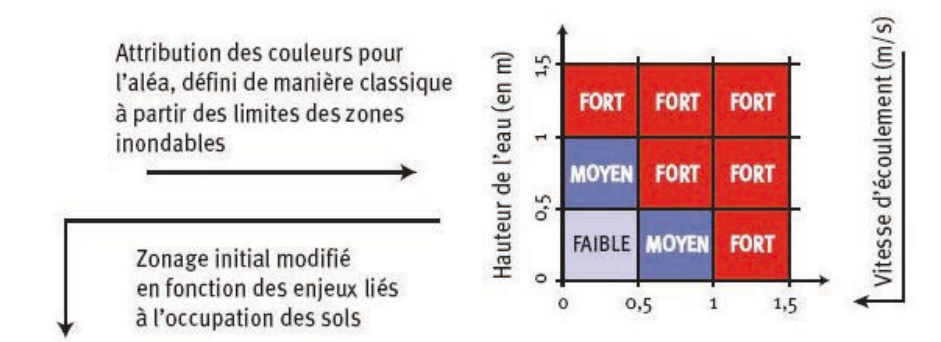
Si le préfet est chargé d'approuver les PPR, c'est bien au maire qu'il revient de lui donner une traduction concrète sur son territoire. Mais l'élu local se retrouve dans une position délicate : il se situe de façon simplifiée à l'interface population-gouvernement et il subit une pression par le « haut », venant des instances institutionnelles, avec l'obligation de respecter les restrictions du PPRI, mais aussi par le « bas », avec un électorat actuel ou potentiel, et des acteurs économiques, qui souhaitent s'installer et venir enrichir économiquement le territoire. Aussi, même si le PPRI vaut servitude d'utilité publique et que les cartographies sont annexées aux documents d'urbanisme, tels que les Plans d'Occupation des Sols (POS), qui sont devenus des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) depuis 2010, ou les Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT), il n'est pas toujours très simple de le faire respecter (**exemple 4**). L'absence d'inondations très dommageables contribue aussi à faire oublier l'existence du risque, qui a tendance à ne plus être intégré dans les décisions inhérentes à l'aménagement. C'est par exemple le cas de la commune de Magland (Haute-Savoie), où il n'y avait pas eu d'inondations depuis 1968, ou pour plusieurs communes de Vendée qui sont restées sur les tempêtes de 1999 et qui, de fait, ont oublié le risque lié à des submersions marines (remis à jour par Xynthia en 2010). Le même constat peut se retrouver suite aux crues rapides survenues à Draguignan (les médias et les élus évoquant le dernier événement de 1827, en oubliant volontairement la crue de 1967) ou lors des récents cyclones apparus dans les Antilles le 4 septembre 2017 (les dégâts ont été imputés aux effets du changement climatique, alors que ce secteur était bien connu comme sensible à l'aléa ; Desse, 2013 ; Coco, 2015).

EXEMPLE 4. Une étude menée pour la DDT-84 en 2011 a permis de mesurer l'impact du PPRI sur l'urbanisation dans le bassin à risque de l'Ouvèze, un bassin très surveillé par les services de l'État suite aux crues rapides du 22 septembre 1992. Sur les 21 communes étudiées, 1 009 nouvelles constructions ont été recensées, dont 814 (près de 80%) en dehors des zones inondables. Certaines communes ont respecté les restrictions du PPRI, appliqué par anticipation en 2004 et approuvé en 2009, malgré une forte urbanisation : à Sorgues par exemple, 317 maisons ont été créées en dehors des zones inondables, contre 1 seule dans une zone d'aléa résiduel. D'autres communes ont limité l'extension urbaine, comme Vaison-la-Romaine (13 maisons en zones inondables sur 51 nouvelles habitations) ou Bédarrides (11 maisons en zones inondables sur 30, alors que 90% de la commune se situe en zone à aléa fort). Deux communes ont en revanche totalement occulté un tel risque : les 82 nouvelles maisons autorisées à Joncquières sont toutes en zones inondables (23 en aléa fort), tout comme à Violès (46 nouvelles maisons en zones inondables). Si ces chiffres sont globalement satisfaisants, rappelons que ce bassin a été très surveillé, et que l'urbanisation en zones inondables est plus forte ailleurs.

De nombreuses communes exposées aux inondations ne sont toujours pas dotées d'un PPRI (Vinet, 2010). Si on prend les chiffres issus des préfectures, 16 134 communes seraient exposées aux inondations, mais 2 134 seraient encore sans PPRI en 2018. Si on sélectionne les communes situées près d'un cours d'eau et dotées d'une couverture d'Atlas des Zones Inondables (Gérin, 2011), il ne reste plus que 800 communes. Mais sur le reste des communes exposées et non couvertes par des AZI, ce sont 35 % des communes (6 143 sur 16 800) qui, cette fois-ci, n'ont pas de PPRI. Ces dernières valeurs chiffrées sont sans conteste les plus aptes à illustrer l'état de la situation actuelle. Quels que soient les chiffres, la couverture reste partielle et ce constat avait déjà été rappelé par des sénateurs suite à la tempête Xynthia (Anziani, 2010). Suite aux crues rapides du 15 juin 2010, le nouvel objectif (15 000 PPRI pour 2015) a presque été atteint, et l'augmentation des PPRI est évidemment associée à la survenue d'événements dommageables : certains secteurs, comme la zone méditerranéenne, ont rattrapé leur retard « grâce » aux inondations de 1999 (basse vallée de l'Aude), de 2002 (surtout dans le Gard), de 2010 (Var) ou de 2015 (Alpes-Maritimes). Mais les communes non couvertes par un PPRI et soumis à un risque élevé devront alors attendre la survenue d'une inondation majeure. La mise en œuvre d'un PPRI nécessite en réalité de grands moyens techniques et humains, de l'énergie, du temps ainsi que des crédits d'étude. De leur côté, les services de l'État ne peuvent traiter l'ensemble des zones qui sont soumises à un risque d'inondation. La situation reste donc préoccupante, d'autant que les PPRI existent sur les grandes communes et les agglomérations (de plus de 10 000 habitants), mais rarement sur les petites communes qui doivent alors gérer ce risque sans cadre bien défini.

3.2.2. Pluralité des marges de manœuvre avérées aux échelles locales

Divers ajustements sont désormais observés par rapport au cadre légiférant le PPRI : création de zones « violettes » (**figure 3.4.)** dans des zones rouges (elles deviennent constructibles à condition qu'un aménagement soit réalisé) ; négociation et tendance à la baisse des règlements selon les enjeux exposés, notamment en dissociant un centre urbain dense, les zones d'activités ou de loisirs (ouvrant par exemple la possibilité de créer un parking ou un centre sportif en zones inondables) ou les zones naturelles ; assouplissement des restrictions et diminution des hauteurs d'eau probables dans certains secteurs ; densification dans les « dents creuses » exposées à un aléa fort, sous prétexte de réduire l'étalement urbain, etc. Les guides méthodologiques délimitent en théorie deux zones à risque (Garry et Graszk, 1999) : une zone rouge, à aléa fort, où sont préconisées des interdictions de constructions, et une zone bleue, avec un aléa modéré à faible, pour laquelle les constructions sont autorisées avec préconisations. Mais la plupart des PPRI présentent aujourd'hui d'autres zonages, avec 5 à 6 couleurs (orange, jaune, vert, rouge hachurée...), voire jusqu'à 12 couleurs dans certains PPRI. Le pire est que ces ajustement sont désormais communément admis puisqu'ils sont présentés comme des pratiques normalisées sur le mémento du maire. C'est surtout le prix à payer pour poursuivre les applications et pour faire approuver les PPRI, même si certains services de l'État ont indiqué à plusieurs reprises que ces dérives sont juridiquement attaquables. Les ajustements sont évoqués le temps de la catastrophe (on en parle un court instant en rejetant la faute tantôt sur les élus, tantôt sur les préfectures), mais on les oublie bien volontiers en l'absence de catastrophes ou de sinistres majeurs.



Intensité de l'aléa	Centre -ville ou urbain dense	Zones urbaines, loisirs commerces, artisanats	Zone naturelle ou agricole	Suite à des aménagements	
FORT	Zone rouge hachurée	Zone rouge	Zone rouge	Zone rouge	
MOYEN	Zone rouge hachurée	Zone orange	Zone rouge	Violet « dur »	Violet « mou »
FAIBLE	Zone jaune	Zone jaune	Zone récf.	Zone jaune	
RÉSIDUEL	Zone verte	Zone verte	Zone verte	Zone verte	

Figure 3.4. Redécoupage du zonage réglementaire du PPRI avec plusieurs couleurs. Tableau de synthèse réalisé après avoir consulté plusieurs PPRI approuvés (Douvinet *et al.,* 2011)

Ces ajustements confirment que des mesures dictées à une échelle nationale sont difficiles à appliquer aux échelles locales : les maires ne veulent pas respecter cette injonction car ils ont d'autres priorités. Il n'existe pas non plus d'accompagnement financier et technique pour les petites communes, ni une prise en compte des particularismes ou des spécificités locales (Vinet, 2010). D'autres pistes d'explication ont aussi été explorées. Le système de responsabilisation est compliqué à comprendre pour tout justiciable à cause de la variété des régimes de responsabilités (**exemple 5**). Les restrictions du PPRI sont très rarement vérifiées sur place : 0,03 % des habitations font ainsi l'objet d'un contrôle de légalité (Anzioni, 2010). Les tribunaux administratifs sont surchargés eu égard au nombre très élevé

de dossiers déposés : à titre d'exemple, dans le département du Vaucluse, 8 500 actes d'urbanisme ont été étudiés en 2012, mais 2 personnes en « équivalent temps plein travaillé » ont pour mission de collecter, gérer et instruire tous ces dossiers, qui se cumulent d'une année sur l'autre...

EXEMPLE 5. Sans être exhaustif, la responsabilité pour faute simple ou pour faute lourde peut être engagée pour tout le monde (habitant, élus). Le plus souvent, la responsabilité de la commune sera engagée quand l'administré victime de la catastrophe réussit à démontrer l'existence d'une faute simple commise par le maire dans le cadre et l'exercice de ses compétences (article L. 2212-2 du CGCT). Mais sur le terrain de la responsabilité pénale, le législateur évite régulièrement que la responsabilité des élus en cas d'imprudence soit engagée. C'est le sens de la loi Fauchon approuvée le 10 juillet 2000 : si le maire n'est pas directement à l'origine du sinistre, il faudra montrer qu'il a commis une faute caractérisée, c'est-à-dire une faute exposant autrui à un danger grave, pour que sa responsabilité pour un « délit non intentionnel » soit engagée…

Le respect des prescriptions est par ailleurs limité dans le temps : sur la commune de Sallèles-d'Aude, inondée en 1999, les rez-de-chaussée laissés vacants ont été réinvestis dès 2003 (Defossez, 2009), soit 4 ans à peine après les précédentes inondations). La « mémoire du risque » (qui englobe les souvenirs, l'expérience d'événements passés, la perception, la représentation et la sensibilisation au risque) ne dure aussi qu'un certain temps : des particuliers se servent de leurs souvenirs pour réagir en cas d'inondation, mais d'autres ont tendance à les négliger, allant parfois jusqu'à refuser d'évacuer leurs maisons, malgré le traumatisme laissé par le décès de personnes proches. Stigmatisant les services de l'État, certains maires mettent en avant le fait que ces terrains représentent le fruit d'une vie de travail pour les propriétaires et ils vont même jusqu'à parler de « spoliation du bien » (Douvinet *et al.,* 2011). Dès lors, il est illusoire d'espérer que la prévention ait une quelconque efficacité dans un tel contexte.

3.2.3. Des plans « négociés » qui minimisent l'inondabilité

Les crues rapides survenues en 2014, 2015 ou 2018 ont confirmé que le zonage du PPRI est souvent sous-estimé par rapport à l'enveloppe de la zone dans laquelle une crue centennale (ou une crue exceptionnelle si elle est déjà survenue sur le territoire en jeu) pourrait se produire. Instauré par la circulaire du 24 janvier 1994, l'AZI est réalisé par les Directions Départementales des Territoires, à partir d'études hydro-géomorphologiques à l'échelle des bassins versants hydrographiques, et il est pris en compte dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Mais cette carte de l'aléa, fondée sur des méthodes de calcul variables, ne couvre pas forcément les petits cours d'eau, ne mentionne pas les hauteurs d'eau, et ne distingue pas les aléas en jeu. Bon nombre d'élus ont alors négocié le PPRI selon leurs expertises locales et ils ont inévitablement assoupli un tel zonage **(exemple 6)**. Si ces deux documents ne visent pas le même objectif, ces écarts sont parfois minimes, comme à Goudargues (**tableau 3.2.**) mais ils peuvent atteindre 30 à 50%, voire plus dans certains territoires, comme à Sablet ou à Lamalou-les-Bains**.** A l'échelle du Gard, les écarts sont en moyenne compris autour de 7%, mais les chiffres dépassent 40% sur 4 communes, comme au Caillar, à Sauve ou à Aigues-Mortes. Le choix des éléments de composition visuelle des documents interpelle aussi, compte tenu des différences de chromie, de contrastes, de surfaçages ou de matérialisation des reliefs (IGA, 2015 ; Deni et Gisclard, 2017). Il n'y a aucune harmonisation entre les codes couleurs des cartes. Une zone d'inondabilité peut être représentée par une couleur unie (rose, vert ou jaune, avec des hachures ou des carreaux selon les bureaux d'études, sans réflexion à l'échelle nationale pour harmoniser les symboles (Chesneau, 2006), comme c'est par exemple le cas pour les panneaux de signalisation. Ainsi, ces éléments expliquent la perception imprécise que les populations se font de l'inondabilité, et les informations fournies par l'État sont entachées d'une absence totale de lisibilité.

EXEMPLE 6. Le retour d'expérience mené sur la crue du Bitoulet le 17 septembre 2014 (Vinet *et al.,* 2017) montre que dans la partie aval de ce bassin (18km^2), des relevés situés à plus de 1,50m et 1,90m ont été relevés dans la zone rouge, et des hauteurs d'eau de 1,20 à 1,90m en zone bleue, mais également dans les parties blanches du PPRI, et en particulier au niveau du camping, situé dans une cuvette topographique, où les 4 personnes sont décédées (avec un maximum de 2,10m). L'emprise de l'inondation est, par opposition, incluse à 99% dans l'AZI. Le PPR a donc très largement sous-estimé la zone (pourtant connue) de l'aléa.

	Surface de la commune (km²)	Surface de la couverture AZI (en %)	Surface de la couverture EAIP (en %)	Surface de la couverture PPRI (en %)	Taux de recouvrement AZI / PPR (en %)	Taux de recouvrement EAIP / PPRI (en %)
Goudargues	30,24	10,9	13,3	10,8	99,8	81,3
Sauve	31,75	9,8	14,2	7,6	76,8	53,4
Mérindol	27,14	39,5	41,4	32,1	81,2	77,4
Sablet	11,10	35,8	38,1	20,1	56,1	52,8
Caillar	30,01	14,9	16,1	9,7	65,1	60,2
Aigues-Mortes	57,74	24,5	33,1	16,8	68,1	50,7

Tableau 3.2. Écarts entre les emprises AZI, EAIP et PPR pour 6 communes

Si la concertation du public est devenue obligatoire dans le cadre de la procédure PPRI depuis 2004, les politiques ne la réduisent par ailleurs qu'à sa dimension représentative, et non collaborative. Or, l'envisager uniquement sous cet angle revient à désintéresser progressivement de la question du risque les individus (Gourgues, 2015). Mobiliser la figure du « citoyen » revient également à mettre à distance les acteurs individuels, au profit d'une entité « abstraite », stigmatisée pour ses « mauvais » comportements et non pour ses bonnes actions. Et quand les principes de prévention n'ont pas été mis en œuvre, l'efficience de la prévention n'est jamais remise en question, alors que les négligences individuelles sont systématiquement pointées du doigt, tant du côté des médias que des autorités. Si l'implication du public est renforcée depuis la *Convention d'Aarhus* (1998), qui impose le recours aux concertations citoyennes, une fois de plus, les fondements ne sont pas explicités à la cible visée et on est plus *« dans la monstration que dans son réel accomplissement »* (Peltier, 2008). Une étude (Wehn *et al.,* 2015) menée sur les retombées concrètes de l'implication citoyenne dans le cadre de la Directive Inondations Européenne (Angleterre, Pays-Bas, Italie) confirme le manque d'implication des individus dans tous les cycles de la gestion globale des risques naturels, tant en amont (prévention) qu'en aval (gestion de crise, reconstruction). On considère finalement les individus comme des victimes, plus que comme des acteurs en puissance, ces derniers étant dans une attitude généralement attentiste vis-à-vis de leurs institutions (Ledoux, 2005).

3.3. Faiblesses des autres documents préventifs

En complément des travaux menés sur les Plans de Prévention du Risque Inondation, nous avons aussi questionné la portée et le manque d'application systématique de deux autres documents préventifs : le *Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs* (DICRIM), instauré par la loi du 22 juillet 1987 (faisant suite à l'événement survenu à Tchernobyl en 1986), et le *Plan Communal de Sauvegarde* (PCS), instauré par la loi du 13 août 2004, et qui vise à préparer, par anticipation, les acteurs communaux à gérer une crise. Ces documents ont un lien évident avec le processus d'alerte car les consignes de sécurité et les gestes à adopter en cas de crise y sont explicitement rappelés.

3.3.1. Les DICRIM : des documents méconnus et insuffisamment déployés

Instauré par la loi du 22 juillet 1987 (relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques), puis mis en application suite au décret du 11 octobre 1990, le DICRIM est un document préventif additionnel, qui a pour objectif de rappeler aux habitants la nature, l'occurrence et la distribution des risques pouvant survenir sur leur commune, et de leur indiquer de façon simplifiée les consignes de sécurité corollaires. Ce document d'Information Communale est mis en œuvre sous la responsabilité politique du maire, et pourtant, il reste, comme d'autres outils de prévention, très encadré par les services de l'État : les SIDPC et les DDT listent les communes devant réaliser un DICRIM dans un Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), en sélectionnant la totalité du département pour des raisons politiques (volonté du préfet ou souhait

de ne pas créer de différences entre les territoires) ou techniques (gain de temps), ou en ne conservant que les communes assujetties à un Plan de Prévention des Risques (Naturels ou Technologiques), à un document équivalent, ou celles exposées à des risques spécifiques (nucléaire, minier, incendie de forêt, affaissement du sol lié au retrait des argiles). Les communes listées devaient ensuite réaliser un *Dossier Communal Synthétique* (DCS), document qui a progressivement disparu au fil des années, et les préfets envoient depuis 2007 un simple Porté à Connaissances (PAC).

Le contenu d'un DICRIM a été normalisé par la loi de 1987 et par certains décrets additionnels. Ainsi, ce document doit : décrire les risques et leurs conséquences prévisibles, lister les événements ou les accidents survenus dans le passé, rappeler les différentes consignes individuelles à respecter, indiquer les mesures de prévention, de protection et sauvegarde (donc les moyens d'alerte) existantes sur la commune, évoquer les grandes lignes du *Plan Communal de Sauvegarde* (si ce plan de gestion de crise existe), rappeler les règles d'urbanisme du Plan Local d'Urbanisme et faire état des principaux éléments du *Plan Familial de Mise en Sureté (PFMS)*. Des documents supplémentaires peuvent être attendus si la commune est exposée à un risque inondation (carte et liste des repères de crue depuis 2005) ou lié à un affaissement du sol (cartographie des marnières ou des cavités souterraines depuis 2003). Le DICRIM est alors confronté à deux difficultés : il se veut technique, précis et le plus complet possible, mais il doit aussi rester pédagogique et accessible à tous ; sa légitimité est scientifique, ce qui peut être sujet à caution car les risques sont considérés comme cumulatifs alors que la nature des aléas, des enjeux exposés et les conséquences probables diffèrent selon les territoires. Mais il s'agit d'un document d'information, donc de connaissance et de confiance citoyenne, et les pouvoirs publics doivent donc s'en saisir pour accroître la réactivité de leurs populations, en particulier en cas d'alerte.

Si le contenu d'un DICRIM est bien circonscrit, il reste toutefois difficile d'avoir une idée précise de l'état d'avancement des documents en France. D'un côté, on pourrait utiliser les chiffres issus de la BD-DICRIM, portail Internet qui a été créé en 2008 et qui fait état, en juin 2012, de 2 269 documents réalisés à l'échelle de la France métropolitaine. Toutefois, ce site ne recense que les DICRIM envoyés aux services préfectoraux (donc sur la seule base du volontariat), et ce chiffre semble bien faible pour 27 752 communes soumises à obligation (d'après l'ensemble des DDRM). D'un autre côté, à la même date et à la même échelle, le Ministère de l'Environnement précise que 5 586 DICRIM sont effectifs mais sans donner les moyens de les localiser. Ces chiffres, variables, tendent à montrer que la fiabilité des informations sur le recensement des DICRIM peut être sujet à caution, et ce manque d'application constitue en soi un motif d'interrogation géographique évident. Ce constat pose par ailleurs la question de la quantité (combien de DICRIM existent réellement aux échelles locales ? où sont-ils localisés ?), mais aussi de la qualité de la démarche (les DICRIM réalisés sont-ils conformes à la loi ? quelles sont les raisons des blocages ou les facteurs de réussite face à cette injonction réglementaire ?).

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, une enquête a été réalisée auprès de la totalité des 1 033 communes de quatre départements (Loire, Loiret, Loire-Atlantique, Vaucluse), choisis comme secteurs témoins. Les 727 réponses obtenues (Douvinet *et al.*, 2013) confirment deux postulats : l'écart entre les informations compilées par les SIDPC et la réalité est élevé puisque nous avons recensé, en 2012, 318 DICRIM (258 effectifs et 60 en cours de finalisation), contre 113 recensés uniquement sur le site BD-DICRIM. Des disparités existent ensuite entre les départements, avec des états d'avancement qui varient de 32% pour la Loire-Atlantique à 91% pour le Loiret. Les 727 réponses ont également permis d'identifier le rôle joué par des variables institutionnelles (l'injonction régalienne (**exemple 7**), la présence du PCS ou l'appartenance à l'intercommunalité), géographiques (le nombre de risques ou la proximité à un cours d'eau) ou démographiques (l'importance de la population).

EXEMPLE 7. La législation est une variable incitative omniprésente : 97 % des DICRIM réalisés ou en cours ont effectivement été réalisés par des mairies soumises à obligation (**figure 3.5.).** Les DICRIM réalisés de manière volontaire sont des exemples rares et isolés (12 d'entre eux sont essentiellement recensés dans le Loiret). Les disparités départementales sont toutefois marquées. Ainsi, si l'obligation est une condition suffisante dans le Loiret (9 communes sur 112 n'ont pas de DICRIM obligatoires), elle ne l'est pas ailleurs : 130 communes sur 198 assument volontairement déroger à la loi dans la Loire-Atlantique (en dehors des communes situées à proximité de la Loire) et aucune démarche n'a été mise en place pour réduire ce retard. Au final, l'injonction réglementaire n'est pas exclusive car 47 % des DICRIM obligatoires sont manquants sur l'ensemble des 4 départements.

Les liens avec les différentes variables étudiées aboutissent à des résultats très contrastés : il n'y a pas de variables « essentialistes », chacune d'entre elles jouant un rôle, mais sans pour autant constituer une règle généralisable et restrictive. Les communes les plus peuplées (> 15 000 hab.) sont majoritairement dotées du document (28 sur 32), et la mise en place du DICRIM y est plus facile car les enjeux sont plus importants (des aléas de même ampleur y seront plus coûteux ?) et les moyens budgétaires, techniques et humains dédiés à l'information préventive, plus faciles à justifier. 4 grandes villes (La Baule, Saint-Chamond, Pornic, Apt) dérogent toutefois à leur obligation. Les communes de 5 000 à 15 000 habitants se répartissent de manière équivalente dans les deux groupes : elles sont dotées (56 %) ou non d'un DICRIM (**figure 3.5**). De leur côté, les petites communes (< 5 000 habitants) se répartissent de manière plus faible dans la première catégorie (37 %). Ce chiffre s'explique par un nombre bien plus élevé de petites communes dans ces quatre départements (87%), mais aussi par le fait que les DICRIM y sont encore plus le reflet d'une volonté politique et de l'engagement de la mairie.

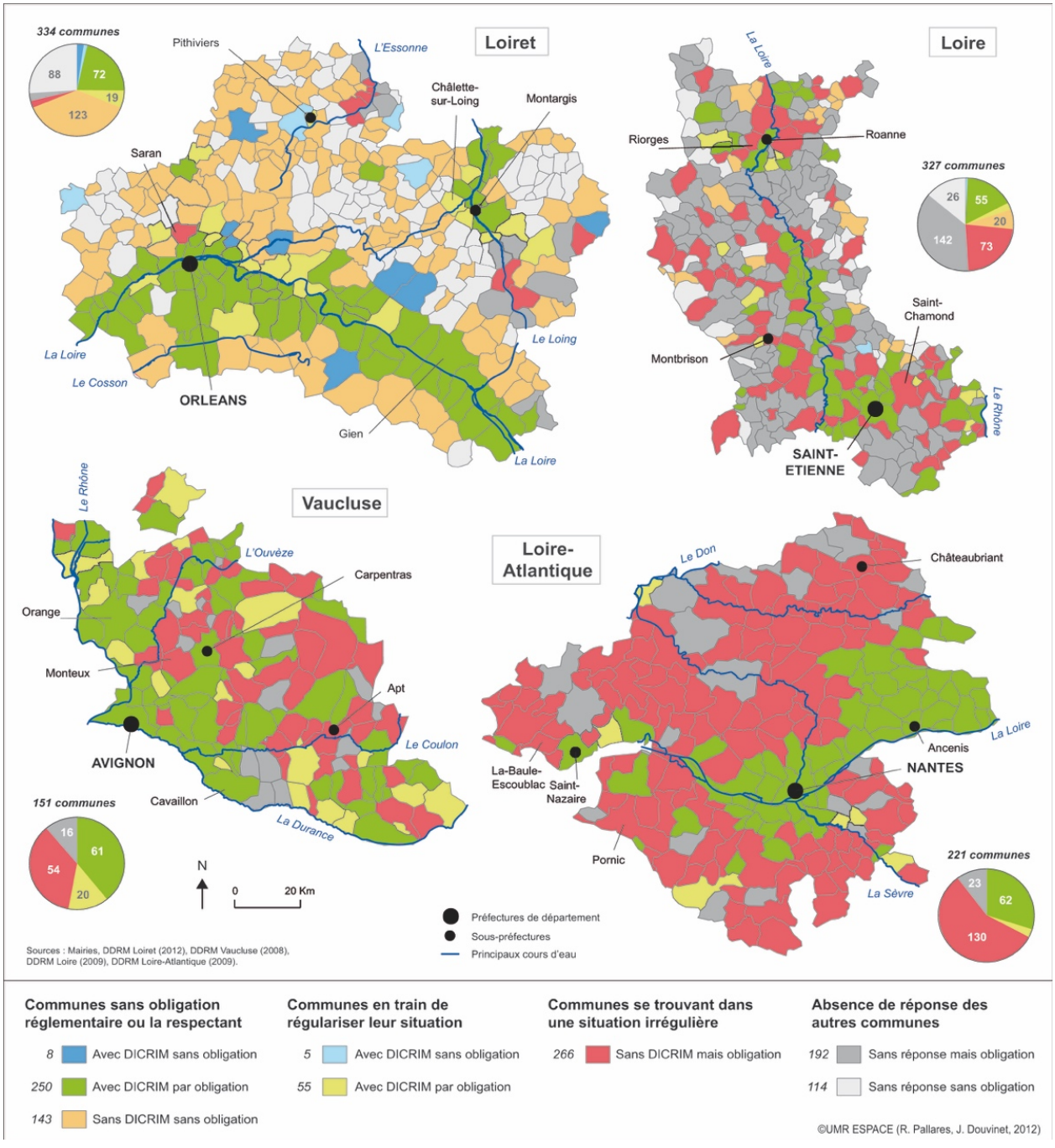


Figure 3.5. Distribution spatiale des DICRIM dans les départements de la Loire, le Loiret, le Loire-Atlantique et du Vaucluse au regard de la contrainte réglementaire (Douvinet *et al.,* 2013)

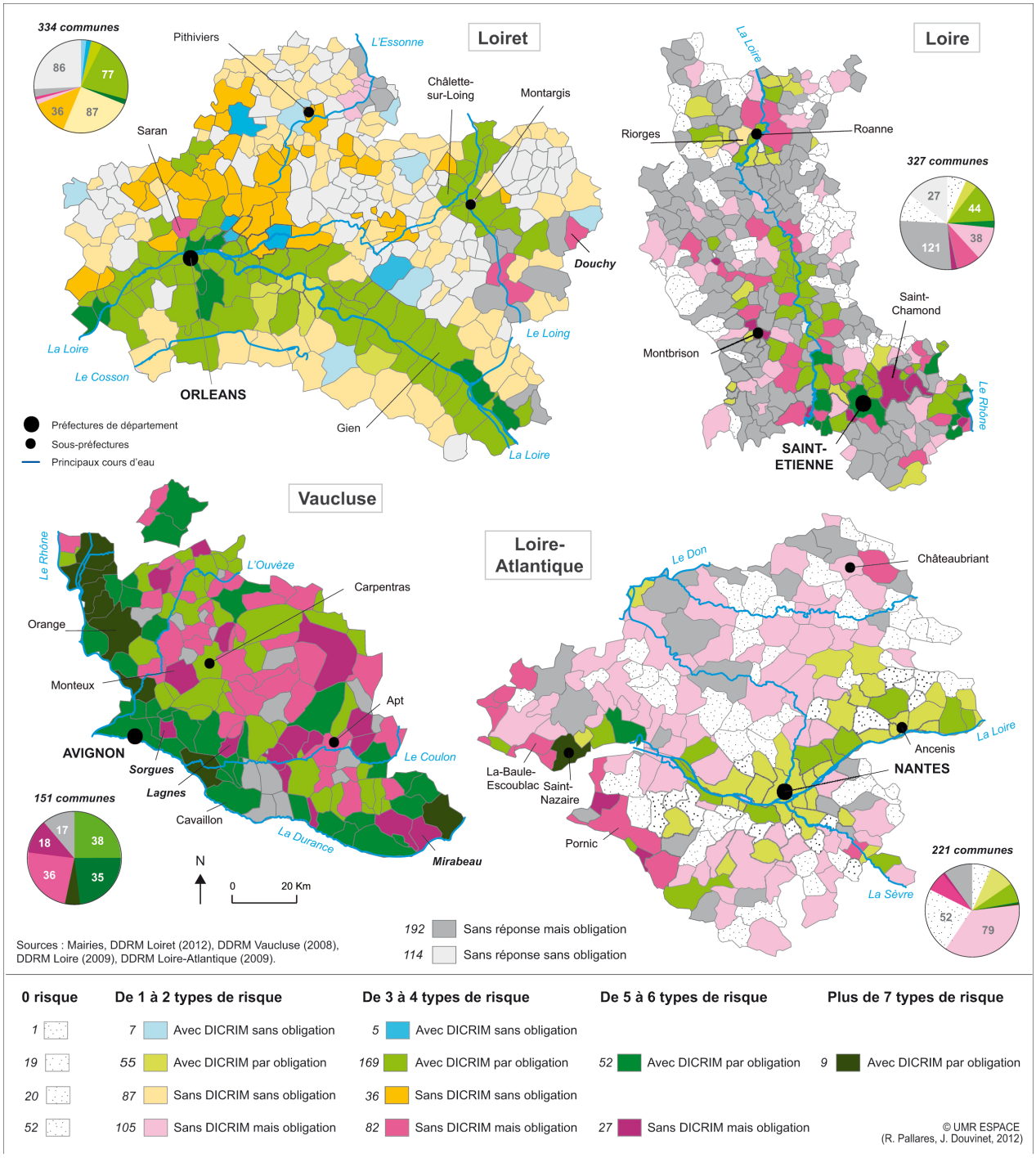


Figure 3.6. Distribution spatiale des DICRIM dans les départements de la Loire, le Loiret, le Loire-Atlantique et du Vaucluse au regard du nombre de risques (Douvinet *et al.,* 2013)

Le nombre de « non réalisation » peut s'expliquer à l'inverse par le fait que réaliser le DICRIM est problématique à cause d'une absence de personnel suffisamment formé, d'un manque d'expertise territorialisée, d'un manque de moyens suffisants pour solliciter une aide extérieure, ou à cause d'une communication plus difficile entre tous les acteurs (Gralepois, 2008 ; Layre, 2010). Néanmoins, une multitude d'exemples, aussi bien divergents qu'isolés, démontre que les petites communes peuvent disposer, de façon indépendante, d'un DICRIM et qu'elles n'ont pas toujours besoin d'aide extérieure, notamment dans le Loiret. Une dernière analyse portant sur le contenu des DICRIM confirme un autre constat plus inquiétant : les contenus des documents sont hétéroclites et ne cadrent pas avec le cadre règlementaire car seulement 22 DICRIM sur 139 sont conformes à la loi. Ainsi, disposer d'un DICRIM est une chose, mais l'avoir correctement réalisé en est une autre. Il convient par ailleurs d'ajouter que

le cadre réglementaire définit exclusivement le contenu du DICRIM : le mode de communication et les outils de diffusion sont à la charge et à la discrétion de la commune, et bon nombre de municipalités se limitent au respect de la loi sans s'assurer d'une réelle appropriation par les habitants (**exemple 8**).

EXEMPLE 8. . Dans une enquête réalisée en 2013 sur l'Ile de la Barthelasse, 4 personnes (sur 314 enquêtées en zones inondables) savent définir correctement le contenu et les attendus du DICRIM, envoyé par courrier postal 6 mois avant. Dans une autre étude menée en 2018 sur le bassin de l'Ouvèze, 14 personnes (sur 389) identifient ce DICRIM… Le CYPRES (association créée en région PACA et qui soutient les démarches d'information auprès des populations) confirment aussi que des DICRIM ont parfois été imprimés et qu'ils les ont retrouvés, en masse, dans des centres d'incinération ou dans des locaux communaux de ville situées en région PACA…

3.3.2. Les PCS : des documents en quête d'opérationnalité

Le PCS est une déclinaison du plan ORSEC à l'échelle communale (instauré depuis la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004) et il est obligatoire dans les 2 ans qui suivent l'approbation du PPRN ou du PPI (Plan Particulier d'Intervention, à mettre en place lorsqu'une Installation Classée au titre de la Protection de l'Environnement exploite des produits potentiellement dangereux pour la population locale), ou à compter de la parution du décret du 13 septembre 2005 si un PPRI ou un PPI existaient avant (Gralepois et Douvinet, 2012). Plus de 10 ans après, l'état d'avancement est pourtant mitigé à l'échelle nationale : 8 013 PCS (chiffres de 2016) ont été réalisés sur 67 % des communes soumises à obligation (11 850 selon le Ministère de l'Intérieur), mais les écarts sont importants entre les départements, puisqu'on peut passer de 35% (Tarn) à 95% (Isère).

Plusieurs facteurs de blocage expliquent ces écarts. L'absence de PCS dans les communes pourtant soumises à obligation est liée à un manque de moyens (financier, humain), qui empêche de penser le portage administratif et de faire appel à un prestataire, ainsi qu'à un manque d'expertises scientifiques et techniques, qui limite les capacités d'analyse et de planification opérationnelles. La départementalisation des Services d'Incendie et de Secours en 1998 a aussi laissé un vide concernant la prévention des risques et la connaissance des vulnérabilités. De leur côté, les SIDPC ont en charge un nombre de risques encore plus élevé. Mais la mise en œuvre de PCS dans des communes n'ayant pas un budget démesuré ne permet pas d'en faire des explications systématiques. L'organisation et la taille des communes ont un rôle contre-intuitif car les communes de taille moyenne (de 10 000 à 49 999 habitants) sont les plus investies. Deux contradictions liées au contenu, aux objectifs et à l'esprit du PCS peuvent d'ailleurs expliquer la faible appropriation par les équipes municipales et les services administratifs. Quand la démarche est comprise, les communes poursuivent leurs efforts en mettant en place des stratégies de réponse à tous types de danger (Giannocarro, 2005). À l'inverse, faire un PCS synthétique (4 p.) et simplifié ne permet pas de répondre aux besoins locaux ni aux spécificités territoriales de la commune concernée. Le coût demandé pour faire du PCS un document complet et détaillé, face à un événement dont les modalités d'occurrence sont incertaines, paraît aussi démesuré pour certaines municipalités et au lieu d'être un outil prévu pour faire face à l'imprévisible, le PCS est réduit à un simple guide d'action, qui ne servira jamais en l'état, et qu'on laisse traîner dans le placard.

Dès lors, face à tous ces éléments de blocage, est-il possible de réduire les décalages entre l'ampleur des outils conçus pour accroître la protection des biens et des personnes, et le sentiment grandissant d'incapacité à prévoir la survenue d'événements dommageables (en particulier en cas de crues rapides) ? Afin de répondre à cette question, plusieurs investigations ont été explorées à la suite des résultats obtenus dans le cadre du projet CEMORAL. D'un côté, les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) doivent accentuer leur implication, par exemple en s'investissant dans la création des *Plans Intercommunaux de Sauvegarde* (PICS). Si des présidents d'EPCI y sont encore réticents (ils ne veulent pas endosser la responsabilité du pouvoir de police qui incombe aux maires), cela va changer avec la loi MAPTAM (2015) ou GEMAPI (2016), bien que ces responsabilités soient encore complexes à encadrer. Le soutien des EPCI doit également correspondre à une logique de résultats, bien plus qu'à une simple obligation de moyens. D'un autre côté, les SIDPC doivent être

des coordinateurs réguliers dans la démarche PCS (**exemple 9**). La collaboration avec ces services de l'État se fait au profit des communes les plus peuplées, tandis que les petites communes décrivent le rôle de ces acteurs davantage en termes de contrôle qu'en termes d'apports et d'échanges : lorsque le préfet d'Indre-et-Loire a envoyé un rappel à l'ordre aux communes qui avaient dépassé les 2 années de délai pour la réalisation des PCS obligatoires, de nombreuses petites communes ont mal accueilli le message car la préfecture ne proposait ni dispositifs d'aide, ni moyens financiers supplémentaires, pour satisfaire à l'obligation de PCS (Demeilliers, 2011).

EXEMPLE 9. Notre collaboration avec le SIDPC du Vaucluse a été fructueuse à plusieurs titres : en 2010, le préfet du Vaucluse a accompagné son courrier d'un guide méthodologique, qui a été perçu de façon ambivalente (comme appui, mais aussi comme mise en garde). Néanmoins, le bilan réalisé sur le département (Souteyrand, 2011) a permis de cibler des priorités sur les actions à mettre en place, et le second bilan réalisé en 2017 montre une avancée significative dans la réalisation des PCS. L'année 2010 (+ 32 PCS) constitue même un réel tournant dans l'état d'avancement (**figure 3.7.**). Par ailleurs, si les budgets diminuent dans les services déconcertés de l'État, et si la lutte contre le terrorisme est devenue la priorité des politiques de sécurité civile depuis 2015, le fait d'organiser des exercices de sécurité civile et de tester l'opérationnalité des PCS est une opportunité que nous avons saisi depuis 2014. Aussi, je participe depuis 2016 (en impliquant aussi différentes promotions d'étudiants) à divers exercices (simulation d'un accident industriel à la CAPL, simulation d'une crue rapide sur le bassin du Coulon-Calavon) et j'apporte un regard d'expertise aux exercices d'entraînement du COD. Nous faisons aussi un exercice annuel lors de la semaine de la sécurité civile (du 10 au 13 octobre 2018 cette année).

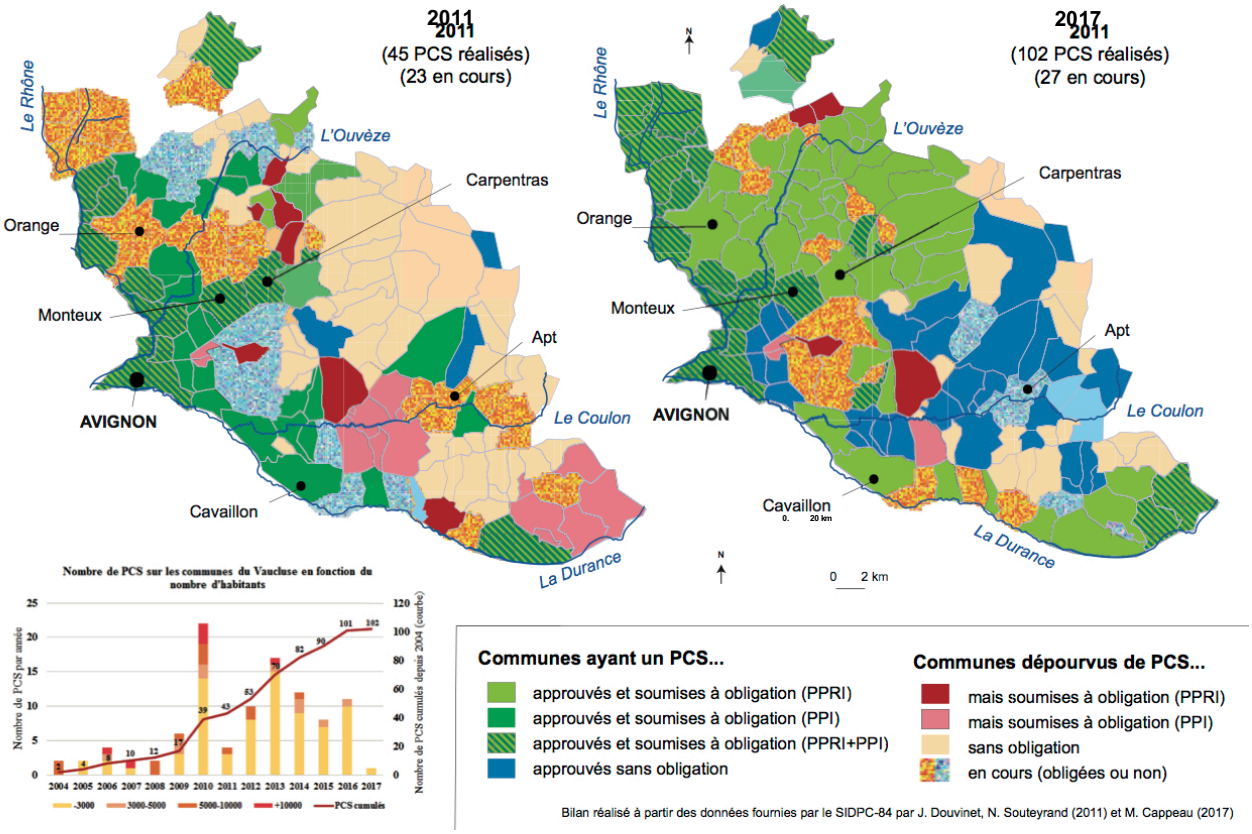


Figure 3.7. État d'avancement des Plans Communaux de Sauvegarde dans le département du Vaucluse en 2011 (Souteyrand, 2011) et comparaison avec la situation de 2017 (Cappeau, 2017).

3.4. Quels besoins à court terme ?

Les politiques de prévention des risques naturels mises en œuvre en France souffrent d'une inadaptation aux besoins locaux. Elles suivent aussi une logique « descendante » qui a montré à de trop nombreuses reprises ses limites : les institutions se chargent de faire respecter les injonctions et

elles assurent un suivi des documents réalisés, mais sans s'assurer de leur efficacité (changements dans les comportements induits), ni mesurer leur réception et leur réelle appropriation par les habitants sur l'ensemble des territoires concernés. Face à de telles insuffisances, des initiatives citoyennes sont apparues, et elles sont à promouvoir, d'autant plus que les individus seront de plus en plus sollicités pour s'impliquer dans la prévention des inondations car les moyens (financiers, matériels, humains) alloués aux autorités diminuent, alors même que les enjeux ne cessent de s'accroître.

3.4.1. Innover et démultiplier les démarches de sensibilisation

Différents dispositifs ont émergé en France pour impliquer les individus dans la prévention des risques d'inondation (**tableau 3.3.).** Les outils recensés (sans prétendre à l'exhaustivité) apparaissent vite hétéroclites. Certaines initiatives tentent de reconnecter les individus avec les outils de gestion de crise, ou les sensibilisent à travers des supports dérogeant aux approches classiques (BD, maquettes, vidéos, films, pièces théâtralisées). D'autres tentent de réduire la dimension généraliste des politiques publiques en adaptant, de façon plus pragmatique, les contraintes réglementaires aux particularismes locaux, ou cherchent à dépasser la focale d'une vision technocratique pour aller vers une vision plus intégrée et partagée des risques (Gisclard et al., 2017). A l'instar des États-Unis, les campagnes de communication se sont d'ailleurs généralisées et des kits familiaux d'urgence (*Plans Familiaux de Mise en Sureté* en France) existent dans la plupart des pays européens. Il est même possible de projeter les habitants dans des scénarios réels (comme lors de l'exercice SEQUANA organisé en juin 2015 en simulant une inondation type 1910 à Paris), ou fictifs (avec les outils de visualisation 3D, à travers des mises en situation prospectives avec un détachement temporel important, **exemple 10**, ou en projetant dans la rue les niveaux d'eau atteints lors de crues passées par exemple).

Type d'action	Objet (localisation)	Source
Vidéos en ligne	L'Heure DICRIM (Salaise sur Sanne, Isère, France)	http://www.journal-des-communes.fr/actualites/3731/Risques-majeurs
Participation citoyenne	Habitants du Ventouret (Saint-Gilles, France)	http://saint-gilles.fr/protocole-de-participation-citoyenne
Bande Dessinée	Haggar the Horrible (C. Brown) / The Judge's Editorial	http://cartoonistgroup.com/subject/The-Flood-Comics-and-Cartoons.php
Maquette (2D ou 3D)	La Maison inondable (bassin de la Meuse, France)	http://risques-majeurs.info/fiche/maquette-la-maison-inondable
	Plateforme pour comprendre les simulations (laboratoire ICUBE)	https://lejournal.cnrs.fr/diaporamas/une-maquette-geante-pour-comprendre-les-inondations
Jeu de simulation	FloodSim	http://playgen.com/play/floodsim/
Campagnes de sensibilisation	Les sinistrés du Guyana	http://www.unitedcaribbean.com/ guyanasocioeconomic.html
Jeu interactif pour les enfants	Saint-Etienne (France)	http://www.actu-environnement.com/ae/news/risques-majeurs-guide-saint-etienne-15551.php4
	La voix des Jeunes (UNICEF)	http://www.voicesofyouth.org/fr
Sensibilisation de terrain	Vallée de Fella (Italie)	http://delta.tudelft.nl/article/volunteers-checking-river-dams/
Cartographie interactive	Photos des inondations (UK)	http://www.bbc.com/news/in-pictures-19714947
Réseaux de sentinelles	Syndicat de Brévenne-Turdine	http://www.syribt.fr/
Atelier créatif	Gens de Garonne (France)	http://www.gensdegaronne.com/
	Sauve (Gard, France)	http://www.midilibre.fr/2016/11/27/les-veilleurs-de-crues-vue-par-les-sauvains,1431369.php

Tableau 3.3. Exemples d'initiatives impliquant des individus sur la thématique des inondations - bilan non exhaustif, surtout réalisé en France (modifié d'après Gisclard *et al*., 2017)

EXEMPLE 10. L'atelier créatif est un exemple d'initiative qui laisse beaucoup de place à l'acteur citoyen. Un atelier de ce type a par exemple été organisé en 2016 à Sauve (Gard, France), commune rurale régulièrement soumise

aux Vidourlades, épisodes de type crues rapides, en se basant sur des méthodes de codesign définie par la 27è région. Réunis en « veilleurs de crues », les participants ont travaillé à l'élaboration de scénarios prospectifs, en particulier en cas de rupture de barrage en 2030. L'implication des habitants et les propositions créatives ont été un révélateur positif des possibilités d'appropriation de ce risque par les populations en appui des gestionnaires locaux. L'un des résultats confirme que le manque apparent d'investissement individuel dans ces problématiques ne résulte pas d'un désintérêt des acteurs concernés (cf. chapitre 9 pour plus de détails, § 9.2.2.)

Si les initiatives diffèrent sur la forme et le fond, elles ont pour point commun d'être très souvent initiées par des institutions : autorités locales, structures territoriales (intercommunalités, syndicats de bassins), élus ou chercheurs. Rares sont ainsi les démarches portées exclusivement par des individus. Par ces initiatives, l'individu tend à passer du statut de veilleur (passif) à l'acteur (proactif), capable de se défendre en réaction à un événement sans attendre que l'État ou ses représentants s'y investissent plus. Ces démarches garantissent un *continuum* entre les individus et les autorités (même si elles ne l'indiquent pas toujours de façon claire et assumée) et elles rappellent à tout un chacun que le risque résulte d'une co-production, que ce soit de manière directe ou indirecte. Certains dispositifs viennent à cet égard combler un refus dans le changement de pratiques des acteurs institutionnels. Bon nombre d'acteurs de la sécurité civile préfèrent ainsi secourir des acteurs mal informés sur la situation en cours (plus malléables), alors que plusieurs études ont montré que ce problème de compréhension peut être préjudiciable à leur propre sécurité (Becerra *et al.,* 2019, 2013 ; Daupras *et al.,* 2015).

3.4.2. Réintroduire l'inondation dans une réalité quotidienne

La diversité des pratiques peut aussi être considérée comme étant le résultat d'une demande sociale absente. La prévention des risques est une action publique qui n'a jamais fait l'objet d'un projet politique et social débattu (Gralepois, 2008). Cela est vrai pour les risques naturels et cela l'est d'autant plus pour les risques technologiques tels que le nucléaire, ou les risques de type biotechnologiques (OGM, nano, etc.). C'est à travers les processus de contestation que les individus peuvent contraindre les institutions à projeter le risque dans l'univers de la controverse et forcer la mise en débat (Callon *et al.,* 2001 ; Borraz, 2008). L'évolution du contexte politique, le développement de l'urbanisation et la recrudescence d'évènements exceptionnels font évoluer les aspirations citoyennes et obligent surtout les pouvoirs publics à formuler de nouvelles réponses, plus adéquates. Mais certains élus rechignent pourtant à pointer clairement les risques auxquels est soumise leur commune, craignant pour l'impact que cela pourrait avoir sur l'image du territoire et les retombées négatives sur la manne touristique.

« Ne pas faire peur » est l'argument régulièrement évoqué pour ne pas communiquer sur les risques dans les projets d'aménagement urbain (Dournel *et al.,* 2015). L'analogie avec le risque routier, qui présente une létalité plus élevée (avec près de 2 250 décès en 2017, contre près de 16 000 à la fin des années 1970) et qui fait l'objet d'une récurrence médiatisation (plus de 3 000 spots publicitaires financés en 2017), démontre pourtant le contraire. Mais l'inondation ne fait pas partie du quotidien et l'oubli des évènements revient vite. Les repères de crue, qui participent à la mémoire des inondations passées, constituent à titre d'exemple une obligation (article L-563 de la loi n°2003-699), et s'ajoutent à d'autres marqueurs (repères peints, encoches) afin d'ancrer la mémoire des crues passées. Mais ces obligations sont rarement mises en œuvre (IGA, 2015), notamment dans les lieux touristiques ou dans les zones au foncier très élevé, car les crues sont les « stigmates d'un passé que l'on préfère ignorer », à l'image des 673 repères installés (à 80% dans les rues secondaires) suite aux crues du 3 octobre 2015 dans la région de Cannes.

Pourtant, la dimension partagée et collective conditionne et construit la mémoire sociale des évènements. C'est un cadre dans lequel les groupes constituent leur mémoire, et l'une des conditions de cette résurgence mémorielle est d'être fixée dans un espace. Les lieux ont une fonction identitaire mais aussi des fonctions affectives et historiques. L'attachement au lieu entraîne ainsi une meilleure acceptation du risque, mais également une illusion de prédictibilité et de stabilité, qui conduit parfois au refus d'évacuer des zones à risque (Weiss *et al.,* 2011). De nombreux liens existent entre l'eau, les populations et le territoire, et les inondations jouent dans le temps un rôle central (Langumier, 2008 ;

Becerra *et al.*, 2012). Développer une conscience du risque revient à réintroduire l'inondation dans un quotidien. Faciliter et multiplier les échanges entre services de l'État et populations, c'est contribuer à faire évoluer les *a priori* qui résultent de représentations erronées de l'autre (de son travail comme de ses attentes) pour évoluer conjointement vers des objectifs communs. Une meilleure compréhension des enjeux permettrait de faire évoluer les représentations de l'eau « menace » à l'eau « constitutive » du territoire, tant du point de vue géographique que culturel. Partir du lieu et non du risque, pour mieux considérer ce dernier (Durand, 2014), c'est vivre avec le risque de façon responsable et lucide, en se réappropriant l'espace qui nous entoure.

Il est donc important de considérer les risques dans leur globalité, et non comme des entités séparées, ce qui est pourtant encore trop souvent le cas. Outre les interdépendances évidentes entre certains risques et certains processus, d'autres externalités négatives et des effets dominos peuvent surgir selon l'ampleur de l'événement, qui ne sont pas toujours pensées en interaction (un glissement de terrain peut induire une « vague de boue »). Cette approche systémique doit être priorisée compte-tenu de l'accroissement des enjeux (Lagadec, 2015). En prendre conscience en est la première étape. Aider le citoyen à évaluer les risques dans le territoire où il vit n'est en que la seconde... (§ 8.3.).

3.5. Conclusions du chapitre 3

Ce chapitre a permis de démontrer à quel point le manque de liens constants et réguliers entre le cycle de la prévention et l'alerte pénalise l'action, à la fois des autorités et des individus. Cela ajoute des niveaux de complexité supplémentaires, dans un processus d'alerte qui est déjà intrinsèquement « complexe » à appréhender à travers les échelles. Ce constat explique le développement d'initiatives citoyennes plus adaptées et l'émergence de dispositifs alternatifs au cadre réglementaire, qui ont pour principal objectif de réduire l'écart entre, d'un côté, les citoyens, qui souhaitent avoir connaissance du risque inondation et s'affranchir des injonctions réglementaires, et d'un autre côté, les institutions, qui sont chargées de faire respecter ces réglementations, sans pour autant s'assurer du suivi et sans tenir compte des perceptions individuelles.

Le changement de posture doit s'effectuer de façon réciproque : les gestionnaires gagneraient à mieux intégrer les individus dans la prise de décision les concernant, et une réelle intégration du public conduirait à une meilleure prise en compte de l'expertise citoyenne, à travers son intégration à chaque étape du processus d'alerte. Quant aux citoyens, une appropriation effective des risques contribuerait à lui faire comprendre en quoi l'alerte est une étape fondamentale, et cela leur permettrait de réagir de façon plus proactive en cas de crise. Mais pour cela, une véritable prise de conscience de l'utilité de l'alerte et de l'environnement dans lequel tout un chacun vit est nécessaire. La prévention, l'éducation et la formation, et ce dès le plus jeune âge, sont les premiers leviers de cet « éveil ». Cette approche co-construite de la gestion du risque est nécessaire à ancrer dans les territoires, pour qu'une communauté puisse agir face à des aléas imprévisibles tels que les crues rapides. Ce point sera repris et discuté, de façon plus détaillée, dans les chapitres 8 et 9 de ce volume 1.

Synthèse et perspectives de recherche

La réflexion menée dans cette partie confirme que **l'alerte aux crues rapides en France est un processus empreint de plusieurs niveaux de complexité, additionnels, qui s'inscrivent dans différentes échelles de temps et d'espace, et qui ne sont pas appréhendés de la même manière par l'ensemble des individus concernés.** Les relais dans les processus rendent délicate l'évaluation du moment à partir duquel des ruissellements localisés peuvent générer des aléas dommageables de grande ampleur, et les incertitudes dans les dépassements des seuils de rupture sont incompatibles avec la binarité de la prise de décision, et la logique du *« tout ou rien »* à laquelle doivent répondre les autorités. Si le temps de réponse des cours d'eau à des pluies intenses semble pouvoir laisser un laps de temps suffisant (quelques minutes à quelques heures) pour déclencher l'alerte, encore faut-il savoir à quel moment activer ces signaux, puis en avoir l'autorisation.

Les crues rapides : des aléas aux seuils de rupture incertains

La capacité de chaque individu à se prémunir contre les effets dévastateurs des catastrophes dépend largement des moyens d'anticipation, de préparation et d'information mis en œuvre en amont, et donc de la connaissance que l'on a des phénomènes. S'il est important de connaître les processus physiques régissant les crues rapides, il est surtout nécessaire de savoir à quel moment les seuils de déclenchement et de fonctionnement (*i.e.* les seuils de rupture) sont dépassés. Or, c'est justement parce que ces seuils sont incertains et qu'ils évoluent dans le temps et dans l'espace, que les autorités compétentes hésitent à activer la procédure d'alerte en cas de danger imminent ou en cours. Plusieurs études (Gaume *et al.,* 2009 ; Borga *et al.,* 2011 ; Payrastre *et al.,* 2018) ont montré que les dommages les plus importants sont souvent observés dans des bassins versants où les cours d'eau ont généré des débits de pointe spécifiques excédant le seuil de 10 $m^2.s^{-1}.km^{-2}$, et là où les puissances spécifiques y ont façonné des incisions significatives, en dépassant le seuil de 1 000 $W.m^2$. Mais la filiation directe avec le ruissellement érosif est bien plus complexe qu'il n'y paraît (Delahaye, 2002), et c'est d'ailleurs parce que les interactions spatiales et temporelles sont multiples qu'il reste difficile de définir, de façon précise, le terme de « crues rapides » (Gauge, 1999 ; Douvinet, 2008 ; Lutoff *et al*., 2016).

En utilisant les outils de simulation, nous avons tenté d'affiner la quantification des seuils de rupture probables, sur un grand nombre de bassins et à une échelle agrégée, et proposé des seuils de « mise en alerte » associant des intensités pluviométriques aux réponses hydrologiques attendues et à l'exposition des populations aux échelles fines. Mais le manque de données de calage suffisantes et la faible répétitivité des événements poussent à avoir des réserves quant à leur utilisation par les acteurs opérationnels. Deux crues de même intensité peuvent induire des degrés d'endommagement variables aux échelles locales. Par ailleurs, deux crues peuvent survenir sur un même bassin versant dans des conditions différentes, comme ce fut le cas dans le bassin de La-Londe-Les-Maures (situé dans le Var), touché par deux crues ayant une période de retour décennale en 2014 (le 18 janvier et le 17 septembre), alors que ces périodes de retour renvoient à l'idée qu'elles n'ont qu'une chance sur 10 d'être observées tous les ans (et non une fois tous les 10 ans !).

De nombreux travaux tentent de quantifier tous ces seuils par anticipation, mais la réalité est souvent plus complexe car les seuils se sont pas fiables à 100%. Or, encore aujourd'hui, on alerte en fonction de ces certitudes, et on prend rarement en compte l'incertitude fondamentale (Morin, 2005), qui est pourtant le « propre de chaque crise » (Lagadec, 2015). Il faut alors développer des *process* matriciels à plusieurs dimensions (qui considèrent les évolutions de la situation en cours), et envisager des actions conjuguées dans le temps : on doit informer pendant que l'on communique, et notamment sur les degrés d'incertitudes sur les changements à venir, et on doit évaluer pendant que l'on agit. Or,

par facilité ou par manque d'expérience (voire par paresse), les autorités s'éloignent de cette voie à l'heure actuelle, comme le montrent les indications très généralistes associées à la vigilance en cas de crues rapides survenant en France (*Vigicrues-Flash*) : les bulletins indiquent un risque de dégâts « fort » ou « très fort » et ces deux termes sont suffisamment englobants pour ne pas interférer avec la politique d'indemnisation assurantielle, qui couvre les aléas dépassant une « intensité anormale », et qui ont des périodes de retour allant au-delà de la valeur décennale. Quant à l'alerte, elle reste très rarement déclenchée, à cause des incertitudes que l'on estime « inintéressantes » pour la population. C'est le même constat que l'on peut faire pour le système EFAS-FF (*European Flood Alert System – Flash Floods)* qui existe depuis 2009 à l'échelle européenne (Thielen *et al.,* 2009) : le risque induit par les crues rapides probables est indiqué en cas de dépassement de seuils possibles définis grâce aux outils de modélisation (le modèle COSMO-LEPS notamment ; Reed *et al*., 2007), mais rares sont les autorités aux échelles fines à être informées d'une telle vigilance, et à prendre les mesures adéquates.

La pluralité des cartographies réalisées sur le risque lié aux inondations ne facilite pas non plus sa lisibilité auprès du grand public. D'un côté, l'AZI maximise l'emprise de la zone inondable, mais ni les hauteurs d'eau, ni les périodes de retour, ne sont affichées, ce qui amènent les élus locaux à le remettre en cause, sous prétexte d'une surestimation du risque inondation. Les aléas de ruissellement sur versant sont également négligés, du fait de faibles hauteurs, par méconnaissance du cheminement de l'eau, ou par anthropisation des lieux servant autrefois à la divagation des eaux de ruissellement. D'un autre côté, le PPRI, qui a pour but de légiférer l'urbanisation dans les zones à risque, est le fruit d'un processus de négociation entre les différents acteurs, conduisant à la configuration d'une *« scène locale du risque »,* qui traduit partiellement la réalité (Decrop *et al.*, 2007). Les assouplissements, portant à la fois sur les restrictions et les règlements, résultent de tensions politiques au niveau des collectivités territoriales, et certains élus se battent pour maintenir des espaces « ouverts à la construction », quitte à dénier l'existence du risque, qu'ils ne peuvent considérer à l'échelle de la durée de leur mandat. Les bras de fer entre l'État et les communes, pour aboutir à une « reconnaissance partagée du risque », se multiplient et les dossiers déposés auprès des Tribunaux Administratifs sont en nette augmentation. Les DDT sont par ailleurs réticentes à communiquer des plans non approuvés car non officiels. Et au final, les situations sont souvent minimisées et sous-estimées par les acteurs locaux, et ne sont mises en évidence que le jour d'une catastrophe, vite oubliée dans la durée…

Ces différentes sources d'incertitude sont progressivement réduites, et c'est aussi parce que l'attention portée à ces phénomènes reste récente (environ trente ans) que les recherches font encore face à de nombreux verrous. On peut donc espérer une évolution positive dans les années à venir, en particulier à la lecture des nombreux projets financés ces dernières décennies sur cette question. Plus de dix modèles hydrologiques sont utilisés aujourd'hui pour anticiper les inondations par débordement en France (par le SCHAPI) et pourtant, ces modèles ont nécessité une longue phase de test, de calage et de validation, notamment en utilisant le vaste réseau de stations déployées sur les principaux cours d'eau et fleuves français depuis le début du XX^{ème} siècle.. Mais en l'état actuel, les crues rapides, qui se produisent dans un laps de temps court, en quelques heures, et qui apparaissent dans des bassins ayant une taille comprise entre 1 et 100km^2 au maximum, présentent des caractéristiques encore peu connues à échelle fine : ces ordres de grandeur sont englobants et généralistes et il est ainsi illusoire de prédire la violence et la brutalité de tous les phénomènes, comme l'ont rappelé les crues d'octobre 2015 dans les environs de Cannes : 12 personnes sont décédées aux exutoires de très petits bassins, qui n'étaient pas reconnus comme étant sujets à des crues rapides.

De la prévention à l'alerte : des défaillances cumulatives

Si l'alerte est un point de rupture entre la prévention et l'action, force est de constater que les liens entre ces deux cycles n'existent que partiellement en France. La politique assurantielle tend à déresponsabiliser les individus : **1)** elle n'incite pas à une adaptation des habitations au risque ; **2)** elle fait croire à la survenue de « catastrophes naturelles » qui sont des « risques à répétitivité élevée » ; **3)** elle empêche des initiatives préventives plus adaptées aux particularités des territoires. La lenteur

du processus d'alerte, les confusions entre les sources d'information, ou l'imbrication de nombreux acteurs ne rendent pas non plus lisible le rôle que doivent jouer les autorités compétentes. Et même si les efforts dans la diffusion des informations préventives ont été importants ces dernières années (on peut rappeler que 40 à 60 millions € ont été injectés dans le domaine de la prévention entre 2009 et 2014 pour la prévention des risques en France), leur mise en œuvre n'est pas du tout satisfaisante. Le nombre de DICRIM et de PCS n'atteint pas pleinement les chiffres attendus. La « course » à la réalisation de ces documents entraîne un regard moins vigilant sur les conditions de réalisation et sur leur opérationnalité effective et même s'ils existent, leur connaissance est limitée aux échelles locales. Respecter l'injonction réglementaire ne suffit pas pour demander à avoir des « bons » comportements en cas d'alerte, d'autant plus que l'individu est trop rarement impliqué à prendre part à la construction de tels documents. Des initiatives (comme les DICRIM-Jeunes réalisés par des lycéens) montrent que cette orientation est possible, et à quel point le mode opératoire informatif doit être dépassé.

Finalement, on ne peut pas demander à un individu d'avoir des comportements adéquats en cas de crise sans être sûr qu'il comprend, perçoit et mesure la dangerosité d'une situation, si tant est qu'il l'analyse de façon objective. Souhaiter que les individus aient des comportements adéquats reste, dans les conditions actuelles, un vœu pieu : les individus ignorent qu'ils doivent être « acteurs de leur propre sécurité » (selon les termes de la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004), considérant que l'État-providence à qui ils ont délégué cette fonction y pourvoira ainsi qu'il l'a fait jusqu'à présent (Sorensen, 2000 ; Gisclard, 2017). L'auto-organisation spontanée de collectifs face au risque implique que ces derniers considèrent qu'il existe une carence de l'État en la matière, et qu'ils doivent compter sur leurs propres moyens. Or, cette perception d'un État défaillant (et faillible) vient en opposition avec l'image renvoyée depuis longtemps par le pouvoir stato-centré en France (Jouve, 2005). L'autonomie ne se décrète pas non plus : elle se construit et se pratique au quotidien (Brédif et Carré, 2009 ; Dufès, 2016), et il est donc nécessaire de mieux intégrer dans l'ensemble des dispositifs les différents points de vue de l'ensemble des acteurs (point sur lequel je reviendrai un peu plus dans le chapitre 9).

Se préparer pour agir : une solution qui peine à s'imposer

Face à un tel constat, plusieurs pistes ont été proposées et explorées dans cette partie I. D'un côté, il est nécessaire de multiplier les moyens pour arriver à sensibiliser les individus sur la thématique du risque inondation. De nombreux dispositifs (BD, plateformes, films, pièces de théâtre…) ont émergé pour reconnecter les individus avec les outils de gestion de crise, et réduire la dimension généraliste des politiques publiques en s'adaptant aux problématiques locales (Vinet, 2010). Les outils recensés sont hétéroclites, mais peu importe : plus les canaux seront diversifiés, plus on augmentera nos chances de sensibiliser un maximum d'individus. C'est d'ailleurs avec cette idée en tête que nous avons réalisé en 2017 la bande dessinée *« Quoi une inondation ? »*, qui a pour objectif de sensibiliser le grand public sur la différence à faire entre la vigilance et l'alerte face aux crues rapides liées à des pluies méditerranéennes. La BD au format court (type *scroll*) se lit en 10 minutes et elle a été relayée plus de 12 650 fois en un mois (au 1er novembre 2017) sur plusieurs réseaux sociaux numériques.

D'un autre côté, eu égard à la potentielle violence des crues rapides, la population doit adopter une mise en sécurité immédiate, et donc acquérir des repères et des automatismes. Pour cela, il faut alors promouvoir les exercices d'entraînement partagés, qui impliquent les autorités et les populations, ne serait-ce que pour informer sur les moyens dont disposent les services institutionnels en charge de la gestion de crise, pour accroître les compétences comportementales ou développer les consciences situationnelles. Or, les exercices de sécurité civile excluent de façon systématique la population, alors que les échanges entre les services de l'État (SIDPC, SDIS, DSDEN…) et les individus permettraient de faire évoluer les « *a priori* », résultant des représentations erronées de chacun (Gisclard, 2017), pour évoluer conjointement vers des objectifs partagés. Ces occasions de s'entraîner lors d'exercices sont pertinentes au regard de la nécessaire pérennisation de la conscience du risque. Une meilleure compréhension des enjeux permettrait de rendre plus clairs et transparents les objectifs de chacun.

Les exercices doivent donc être préparés **pour et avec les individus**, et le processus d'alerte ne doit plus être uniquement centré sur les solutions techniques (comme l'ont globalement pensé les autorités décisionnaires jusqu'à présent, et en particulier en France). En conséquence, les différents métiers impliqués dans la gestion de crise doivent évoluer avec la population. Une alerte efficace doit être comprise par les habitants et être considérée comme « utile » par les communautés à qui elle est destinée. Ce constat n'est pas nouveau (Sorensen, 2000) mais les changements de posture semblent lents et en décalage avec les demandes émanant des populations. Bon nombre de systèmes ont ainsi porté sur les aléas et sur leur caractérisation, mais rares sont ceux qui mesurent et évaluent les liens entre les capacités techniques des outils d'alerte et les capacités d'action individuelles (*empowerment)* en situation de crise. Par ailleurs, la connaissance et la compréhension par le grand public des risques et de leurs vulnérabilités ne sont pas encore assez intégrées dans les chaînes d'alerte. Les acteurs ou les institutions impliquées ne considèrent pas non plus la diversité des échelles d'intervention : bien qu'animés par le même objectif d'anticipation, un prévisionniste chez Météo France ou au sein d'un Service de Prévision des Crues (SPC), un acteur de la protection civile, ou encore un responsable de collectivité locale, n'appréhendera pas une crue rapide avec les mêmes possibilités d'action, le même regard ni les mêmes prérogatives. De son côté, un individu n'aura pas non plus les mêmes besoins. D'où la nécessité, désormais urgente, de mieux se coordonner et mieux se préparer pour agir…

Perspectives de recherche

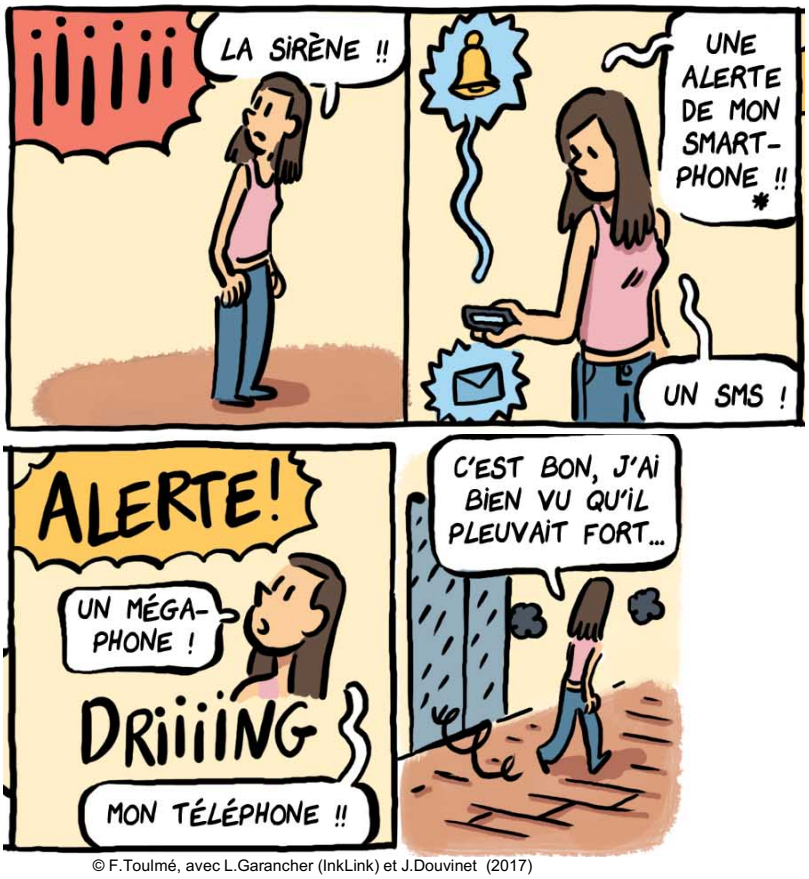
Marquées par des approches aléa-centrées, bon nombre d'études présupposent que le levier principal pour rendre l'alerte efficace réside dans l'amélioration de la prévision des phénomènes et la promotion d'une plus grande rationalité technique, scientifique et procédurale (Sorensen, 2000). Or, si nous avons nous aussi orienté une partie de nos travaux dans cette direction, notamment à la suite de mes recherches doctorales, il semble que de telles démarches ont aujourd'hui atteint leurs limites, tant dans la prise en compte de l'ensemble des incertitudes que dans la place accordée aux individus. S'il faut poursuivre ces efforts de mesure et de quantification, il convient donc aussi de mener d'autres approches, en changeant la focale et l'angle d'étude, pour inciter à des démarches plus partagées et pour mieux intégrer les besoins des destinataires finaux, à savoir la population.

Mon regard critique porté sur la complexité de l'alerte, indépendamment de son utilité pour les opérationnels, s'explique par ailleurs par le fait que la plus-value des alertes n'a pas été formellement démontrée, et de nombreux phénomènes n'ont (même récemment) pas été prévus, anticipés, ou tout simplement détectés (Matveeva, 2006). La procédure d'alerte est rarement utilisée en cas de crues rapides, sous prétexte de « faire peur pour rien » et des conséquences pénales possibles en cas de fausses alertes, alors qu'il conviendrait plutôt d'avouer qu'on est incapable, en l'état, de déclencher le signal s'inscrivant dans le bon « timing ». On pense en effet attendre jusqu'au dernier moment le point de rupture, sans pouvoir l'identifier dans le temps et dans l'espace, mais en se disant surtout que la population agira en conséquence, alors qu'elle n'est pas suffisamment préparée ni entraînée. Les démarches de simulation que nous avons initiés en 2018 lors de l'école d'été MAPS doivent, à titre d'exemple, être poursuivis pour comprendre les stratégies des joueurs (opérationnels vs. habitants), en peaufinant le *design* du système multi-agent, en faisant varier les conditions initiales (cartes mises à la disposition des joueurs) ou en changeant les sites tests par exemple.

Une autre piste à questionner renvoie à l'une des activités majeures que présuppose l'alerte, à savoir l'interprétation des signaux envoyés, et leur compréhension par le grand public. Sur ce point, plusieurs travaux (e.g. Créton-Cazanave, 2010 ; Garcia, 2012 ; Daupras, 2015) ont déjà identifié un certain nombre de facteurs limitant l'efficacité des outils d'alerte, comme par exemple la surestimation de l'efficacité des mesures préventives, mais aussi le transfert de responsabilités et la sous-estimation des besoins de préparation. Mais aucune grille d'évaluation systémique ne permet actuellement de détailler plus finement cette efficacité, et c'est donc logiquement dans cette direction qu'une partie de mes travaux se sont progressivement orientés (partie II).

Partie II

Des outils d'alerte pluriels et non coordonnés en France



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

Introduction de la partie II

Si la partie I s'est principalement intéressée à la complexité de la procédure, cette partie II a pour objectif d'évaluer et de mesurer l'efficacité des principaux moyens existant en France pour alerter la population, notamment en cas de crues rapides. Le terme de « moyen » renvoie ici à l'idée que cet outil sert d'intermédiaire et de médiateur entre les autorités et les populations, ou entre ces acteurs eux-mêmes. Le terme de « vecteur » aurait également pu convenir, pour insister sur l'idée que l'outil sert en parallèle à la communication et à l'information, et qu'il conditionne les modes d'échanges et les modes de transmission, mais son caractère polysémique (c'est l'équivalent d'un segment de droite orienté dans le domaine des mathématiques, ou d'un animal susceptible de transmettre directement ou par un autre animal parasitaire un agent infectieux en épidémiologie à titre d'exemple) le rend plus sujet à caution, d'autant que certains moyens n'induisent aucune rétroaction ni le moindre échange.

Différents moyens d'alerte ont été déployés au fil des années, et un premier postulat doit être vérifié : l'offre apparaît diversifiée, et les différentes solutions ne semblent pas être coordonnées. Ainsi, si l'alarme des sirènes est le signal d'alerte le plus connu en France selon l'IFOP, 2013 (Vogel, 2017), elle apparaît opérer de manière indépendante et non coordonnée avec les messages envoyés avec d'autres solutions plus contemporaines, comme les Panneaux à Messages Variables, les applications smartphone ou les réseaux sociaux numériques, alors que ces deux derniers ont bouleversé la gestion globale des risques : chaque citoyen est désormais capable d'émettre et/ou de recevoir une alerte via ces médias sociaux (expression qui tend à remplacer le terme Web 2.0.), et l'État n'est désormais plus le seul à détenir de l'information sur un danger, ni à en déterminer la temporalité de diffusion (Douvinet *et al*., 2017, 2018).

Il n'existe par ailleurs aucune grille analytique systémique permettant de comparer l'efficacité de tous ces outils d'alerte. Chaque moyen présente des avantages et des inconvénients, qu'il convient de circonscrire tant d'un point de vue technique, organisationnel et/ou social. Mais en l'état actuel, rares sont les études qui mesurent les changements de comportement générés chez les individus, qui considèrent l'adhésion et l'appropriation des moyens par les utilisateurs (Lindsay, 2011 ; Whittaker *et al.,* 2015), ou qui font état du nombre de personnes « sauvées d'une mort certaine » grâce à tous ces outils. Il est donc nécessaire d'identifier des critères plus pertinents, d'autant plus que dans le domaine du management, « ne s'améliore que ce qui se mesure, et ne se mesure que ce qui se comprend ».

La logique qui a prévalu à la structuration de cette partie II est la suivante : les apports et les limites des outils d'alerte institutionnels (**chapitre 4**), des applications smartphone (**chapitre 5**), puis des réseaux sociaux numériques (**chapitre 6**) seront discutés de façon séparée, et des améliorations à moyen terme seront proposées. Les résultats seront ensuite combinés dans la synthèse de la partie.

Chapitre 4. L'alerte institutionnelle : des dispositifs en phase de modernisation

Pendant des siècles, le tocsin des églises a été utilisé pour alerter la population et envoyer un signal destiné à interrompre les activités sociales. Mais à la fin de la Seconde Guerre mondiale (et sous couvert d'une défense passive), l'État va mettre en place de nouveaux moyens, notamment des sirènes électroniques, qui vont constituer le Réseau National d'Alerte (RNA) à partir de 1954. Le RNA est toutefois devenu « désuet et obsolète » au fil des années (Hirel, 2002 ; Vogel, 2017), ce qui va inciter certaines autorités à déployer d'autres outils, plus adaptés aux particularités des territoires, comme par exemple les Automates d'Appel d'Alerte (AAA) ou les Services d'Alerte Locaux (SDAL), ces derniers ayant d'ailleurs émergé pour alerter la population face à des crues rapides. Depuis 2010, l'État a acté la fin définitive du RNA, pour envisager une nouvelle solution, le projet SAIP (« *Système d'Alerte et d'Information de la Population »)*, dont le déploiement a débuté à l'échelle métropolitaine en 2017 et dont l'opérationnalité est attendue pour 2022. Ce chapitre a dès lors pour objectif de voir les bénéfices et les limites de tous ces outils, et les résultats seront d'autant plus intéressants que le volet « sirènes » reste l'outil prioritaire dans l'esprit des services de l'État (elles concentrent la quasi-totalité des crédits alloués à la modernisation du SAIP), alors que leur impact est désormais moindre par rapport à d'autres solutions telles que la téléphonie mobile (Vogel, 2017).

4.1. Des outils hérités d'une longue tradition régalienne

Les sirènes sont les moyens d'alerte les plus connus par la population (même si seulement 22% des personnes affirment connaître les consignes associées ; Deloitte, 2014), et leur présence est rappelée grâce aux tests réalisés tous les premiers mercredis de chaque mois. L'électrification des cloches des églises et la mise en place du Réseau National d'Alerte au cours des années 1930, ont toutefois contribué à faire disparaître de la mémoire collective leurs ancêtres, à savoir les tocsins.

4.1.1. Une pratique ancestrale « tombée aux oubliettes » : les tocsins

Pratique ancestrale qui remonte au Moyen-Âge (voire à l'Antiquité si l'on tient compte du fait que les guetteurs de la Rome Antique faisaient sonner des cloches d'alarme pour prévenir des feux), le tocsin était utilisé comme signal d'alerte jusque dans les années 1930. La cloche était frappée et mise en branle selon un rythme soutenu (60 coups par minutes), et certaines cloches étaient même réservées au feu (on les désignait alors comme les « cloches de feu »). La plus connue d'entre elles était le « braillard », plus large, ayant une sonorité plus discordante et une portée sonore théorique de près de 40 km. En fonction du danger, le tocsin pouvait sonner de 5 à 10 minutes (incendies), ou plus longtemps face aux invasions : en 1914, les cloches (**figure 4.1**.) ont par exemple sonné pendant plus d'une heure sur plusieurs communes pour avertir le maximum de personnes, même les plus éloignées. La direction du sinistre pouvait aussi être indiquée dans certaines localités (par des coups de cloches spécifiques ou à l'aide de lampes à huile qui se situaient sous les abat-sons du clocher), afin d'orienter les volontaires en direction du sinistre en cours. Quel que soit le danger, le curé de la paroisse était le seul à autoriser le déclenchement du tocsin : après les émeutes de février 1854 qui ont occasionné le pillage de bateaux de grains sur la Loire et le Cher, le présidial de Tours a ainsi fait exécuter deux vignerons, qui avaient sonné le tocsin sans autorisation (Maillard, 2011).

Sur les 160 000 cloches (datant en France du XVI^{ème} au XVII^{ème} siècle), près d'une centaine étaient spécifiquement dédiées à l'alarme. Toutes sont aujourd'hui classées comme des monuments

historiques (d'après E. Sutter (2014), président de la Société Française de Campanologie). Pourtant, elles sont jugées insuffisantes et inefficaces dès la fin du XIX^{ème} siècle dans plusieurs villes (Boudou, 2015) et les tocsins n'ont pas été réellement utiles face à certaines inondations, comme par exemple celles survenues en 1856, 1875, 1910 ou 1924 (Lang et Cœur, 2014). Peu de personnes connaissent ces anciens dispositifs et ce manque est tel qu'en 2002, par exemple, lorsque le curé de la paroisse à Aramon (Gard) fit sonner le tocsin à la demande du maire vers 1h du matin, très peu d'habitants ont identifié que des inondations étaient en cours (Durand, 2014).



Figure 4.1. Tocsins des églises de Saujon (Charente-Maritime) et d'Auxerre (Yonne)

Les inondations de 1930 (**exemple 1**) vont amener l'État à réfléchir à d'autres solutions, et on retrouve un certain nombre de critiques dans la presse de l'époque (Boudou, 2015) :

- L'intensité exceptionnelle de la crue de 1930 a mis en lumière la vulnérabilité du réseau électrique qui a été interrompu rapidement au début de l'événement, enlevant la moindre possibilité d'alerter les populations vivant en aval via les télégraphes ;
- Pour les autorités, un choix cornélien s'est posé lors du déclenchement de l'alerte : ne pas affoler les populations et sous-estimer la situation (A Saint Sulpice, une crue banale a ainsi été annoncée, malgré une hauteur d'eau sans précédent), ou « faire du zèle ».
- Dans certaines communes, le tocsin n'a pas généré un changement de comportement de la part de la population principalement par négligence : les riverains du Tarn, habitués aux caprices de la rivière, n'ont pas réagi car ils n'étaient pas en mesure d'imaginer une telle catastrophe. A Moissac, une partie des habitants assistait d'ailleurs à la représentation du Cirque Hagenbeck, en dépit de la montée des eaux et de l'annonce du danger, et ce n'est qu'à la fin du spectacle (vers 22 heures) que ces derniers ont pris conscience de l'ampleur de la catastrophe (leur présence à cette représentation les a, paradoxalement, sauvé).

EXEMPLE 1. Si quelques communes ont encore aujourd'hui des tocsins (comme par exemple Marsillargues ou Redessan), ces outils d'alerte ont progressivement été abandonnés suite aux inondations de mars 1930, qui ont fait 170 victimes, dont 130 dans le village de Moissac (Boudou, 2015). L'annonce des crues se fondait à l'époque sur des informations hydrométriques et pluviométriques transmises par le réseau télégraphique. Les stations amont étaient chargées d'envoyer des dépêches aux stations aval, à partir du dépassement d'une certaine cote ou d'une quantité de pluie conséquente. Il incombait ensuite aux autorités d'alerter les populations en cas de forte crue, en sollicitant le garde-champêtre qui faisait une annonce publique ou qui organisait des tournées avec un tambour. Le téléphone en plein essor était d'ailleurs un objet encore rare en campagne (Maillard, 2011). Mais dans la nuit du 2 au 3 mars 1930, alors que certains services avaient réalisé des prévisions relativement exactes face à une crue violente et soudaine, l'alerte a été déclenchée très tardivement dans le Tarn moyen et inférieur. A Lavaur, alors que le lundi 3 mars, à 10h30, les hauteurs d'eau atteignaient 3 m. au-dessus de la cote de référence de 1875, aucune alerte n'a par exemple été donnée. *« C'est le tocsin de la cathédrale qui, à 1 h du matin, a prévenu la population dont une partie impuissante assistait aux furieux assauts des eaux ; au milieu des cris des inondés se démenant dans l'obscurité la plus profonde, piquée, çà et là, par les rares points lumineux de lanternes »* (La Dépêche, 04/03/1930). La transmission via les télégraphes a aussi montré des insuffisances puisque le début de la crue a commencé le dimanche soir, jour de repos pour les bureaux de poste, et l'alerte par les *tocsins* n'a guère pu être déclenchée suffisamment tôt (Lagarrigue, 2009, *in* Boudou, 2015).

4.1.2. Un réseau emblématique de l'après guerre : les sirènes du RNA

Suite aux crues de 1930, des sirènes vont commencer à être installées dans plusieurs grandes villes (Paris, Marseille). Elles vont ensuite être déployées en masse à partir de 1937, notamment le long des frontières franco-allemandes, puis à la fin de la Seconde Guerre mondiale, le réseau va être étendu à l'ensemble du territoire métropolitain, sous couvert d'une défense passive (pour faire face à toute menace aérienne). L'arrêté du 9 février 1954 encadre la création du Réseau National d'Alerte (RNA), et les bombardements étaient envisagés comme les seuls motifs de déclenchement de toutes les sirènes. L'ordonnance du 7 janvier 1959 instaurée par le Général de Gaulle définit les compétences des autorités qui en ont la charge (et qui prévalent aujourd'hui), et l'arrêté du 8 mai 1973, en lien avec l'expansion du programme nucléaire lancé par le gouvernement Messmer, va élargir les hypothèses d'utilisation aux risques NRBC (Nucléaires, Radiologiques, Bactériologiques et Chimiques).

A l'échelle métropolitaine, la distribution physique des sirènes RNA a très fortement évolué au cours des décennies : en extrapolant les données remontées par les préfectures (Deloitte, 2014), il existait sans doute 1 100 sirènes avant 1960, environ 2 400 avant 1980, près de 3600 dans les années 2000, pour atteindre un nombre total de 4 291 sirènes en 2010. Les armoires de commande ont été installées avant 1970 pour 28% des sirènes mais la date d'installation des autres sirènes (situées sur d'autres ERP, Établissement Recevant du Public, comme des gymnases par exemple) n'est pas du tout connue pour 35% d'entre elles. En 2010, 1 071 sirènes (26%) sont encore implantées sur les toits des mairies, et 573 sur les toits des églises. Si on se fonde sur les normes des constructeurs, 18% de la population aurait été couverte par le RNA en 1960 (avec un rayon de 3km), et ce chiffre atteindrait 48% en 2010 (**figure 4.2).** Or, si on réduit ce rayon à 1km (seuil plus réaliste si on tient compte de nos observations de terrain), on arrive à un taux de couverture plus faible (32 % en 2018).

Différents facteurs expliquent la répartition actuellement en place pour le RNA : la densité de la population résidente a évidemment joué un rôle important, tout comme la localisation de certains sites militaires (aux alentours de Brest et Toulon) ou ayant des enjeux stratégiques (position frontalière ou concentration de sites industriels), mais le réseau est surtout empreint de décisions politiques, qui ont été spécifiques selon les contextes. Les sites industriels, liés à un risque nucléaire ou industriel, ont joué un rôle secondaire : ils sont équipés de sirènes spécifiques, et cet équipement est désormais obligatoire pour toutes les installations dotées d'un PPI (Plan Particulier d'Intervention).

La couverture du RNA garde une certaine cohérence aujourd'hui, avec une prédominance des sirènes en Ile de France (19% du parc recensé) et autour des grandes agglomérations : Strasbourg (58), Marseille (57), Lyon (28), Toulouse (27), Nice (26). Toutes les villes de plus de 23 000 habitants sont équipées d'une sirène RNA. Néanmoins, de fortes disparités existent ensuite aux échelles fines, avec des pôles urbains « suréquipés » (27 sirènes à Mulhouse, 26 à Saint-Etienne), et des communes ayant de plus faibles densités se retrouvent au contraire « isolées ». Les services de l'État ont eu une considération plus faible pour les territoires sans grands enjeux apparents (pôles ruraux, territoires de montagne), mais ces explications ne sont pas suffisantes : certaines communes peu peuplées peuvent être dotées d'une sirène (1 sirène à Carnac - 4 214 habitants en 2016). Mais même en considérant les populations résidentes, les logiques prévalant à cette distribution sont *in fine* floues (**figure 4.2.**).

La localisation des sirènes n'est pas corrélée avec l'existence des plans de gestion de crise, et notamment le *Plan Communal de Sauvegarde*, imposé depuis 2004 dans les communes dotées d'un PPI ou d'un PPR dans les deux ans suivant l'approbation d'un des documents précités : 35% des communes avec PCS ne sont pas couvertes par une sirène RNA en 2010, alors que 55% des communes sans PCS obligatoires le sont. La conformité du signal est également très discutable : si 76% des sirènes sonnent toujours en 2010, 37% seulement émettraient un signal « conforme », et pour le reste, le signal n'est pas correct ou cette information n'est plus disponible (Deloitte, 2014). La plupart des sirènes emploieraient une technologie électromécanique (71%) mais la puissance est là aussi très variable (37% auraient une puissance comprise entre 5 et 7kw). Elles seraient aussi reliées

par un réseau analogique, mais répondent aux normes électriques définies au cours des années 1970. La confidentialité des données nous empêche par ailleurs de zoomer plus en détails (**exemple 2**).

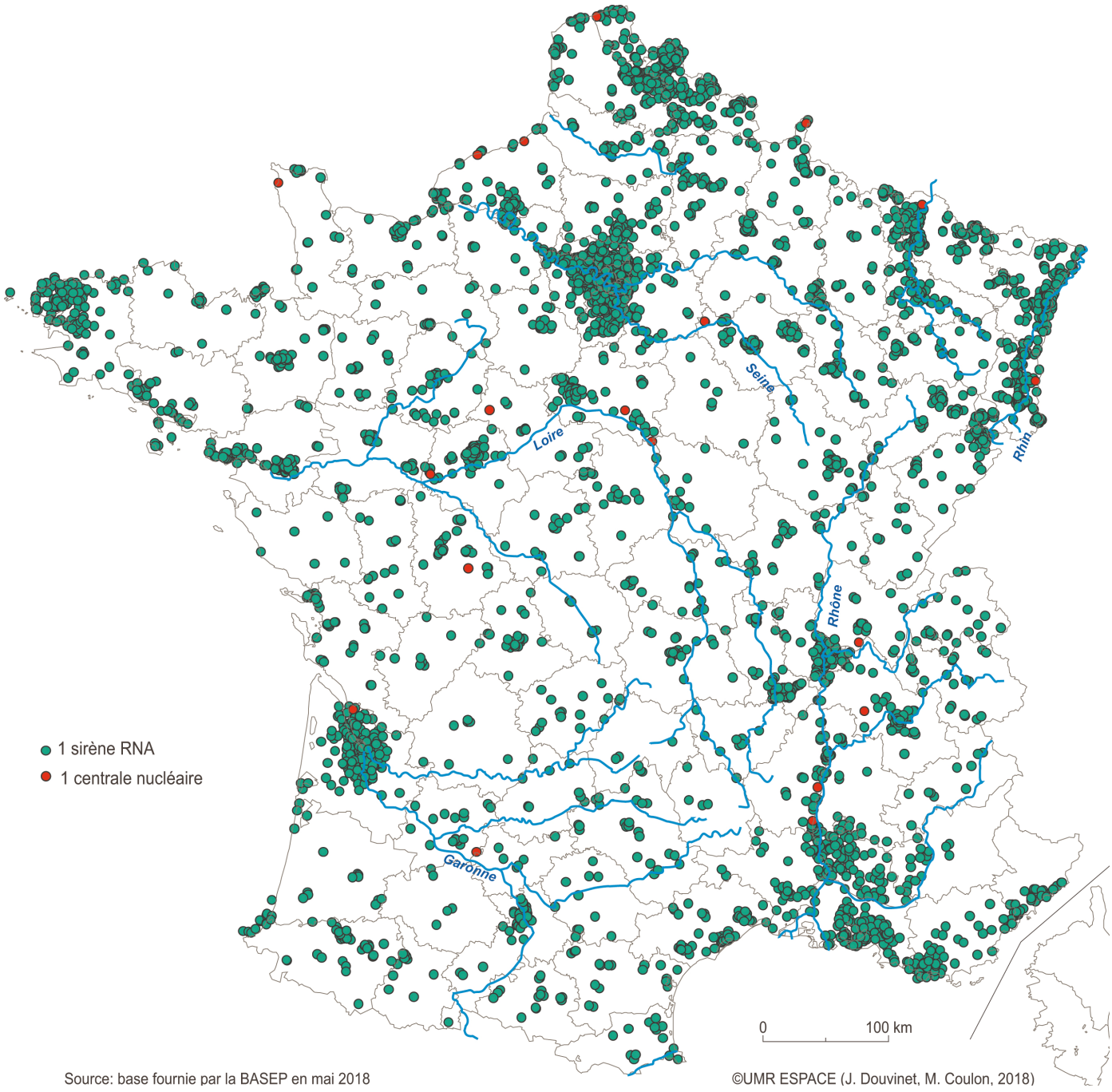


Figure 4.2. Localisation des 4 291 sirènes du réseau RNA qui couvrait, jusqu'en 2010, les 2266 communes en France métropolitaine (d'après les données de la BASEP)

L'analyse est plus facilement menée à l'échelle fine, comme par exemple aux alentours de la ville du Havre, marquée par un héritage portuaire industriel important (Bonnet, 2015), voire à l'échelle départementale, comme dans le Bas-Rhin, le Nord, la Gironde (avec 2 sites nucléaires proches) ou le couloir rhodanien. Afin de voir si ce système pourrait être opérant en cas d'alerte aux crues rapides, nous avons ensuite étudié la distribution d'un département pilote, le Vaucluse (**figure 4.3.)**.

EXEMPLE 2. Grâce aux données fournies en 2017 par le SIDPC-84, nous avons comparé la portée sonore des 85 sirènes du réseau RNA par rapport à la densité de la population (2016) dans le Vaucluse. 59% de la superficie du département n'est pas couverte par le RNA (en considérant un rayon de 3km), et on atteint 94% si on prend

un rayon d'1km. En revanche, en termes de population, 78% des vauclusiens sont couverts (à 3 km), mais 43% le sont avec un rayon d'1 km. 77% des mailles avec une densité comprise entre 400 et 1758 habitants sont inclus avec une portée de 2 km, et 70% des mailles plus denses le sont à 1 km (93% à 2 km). Les communes les plus densément peuplées ont d'abord été équipées, puis celles situées le long du Rhône et ses principaux affluents (**figure 4.3**). Des communes apparaissent finalement suréquipées (12 sirènes RNA et 4 PPI pour l'agglomération d'Avignon), et d'autres se retrouvent isolées : les habitants de ces communes (Buoux, Sivergues, ou Cabrières d'Avignon par exemple) se retrouvent totalement exclus du RNA, par manque d'enjeux essentiellement.

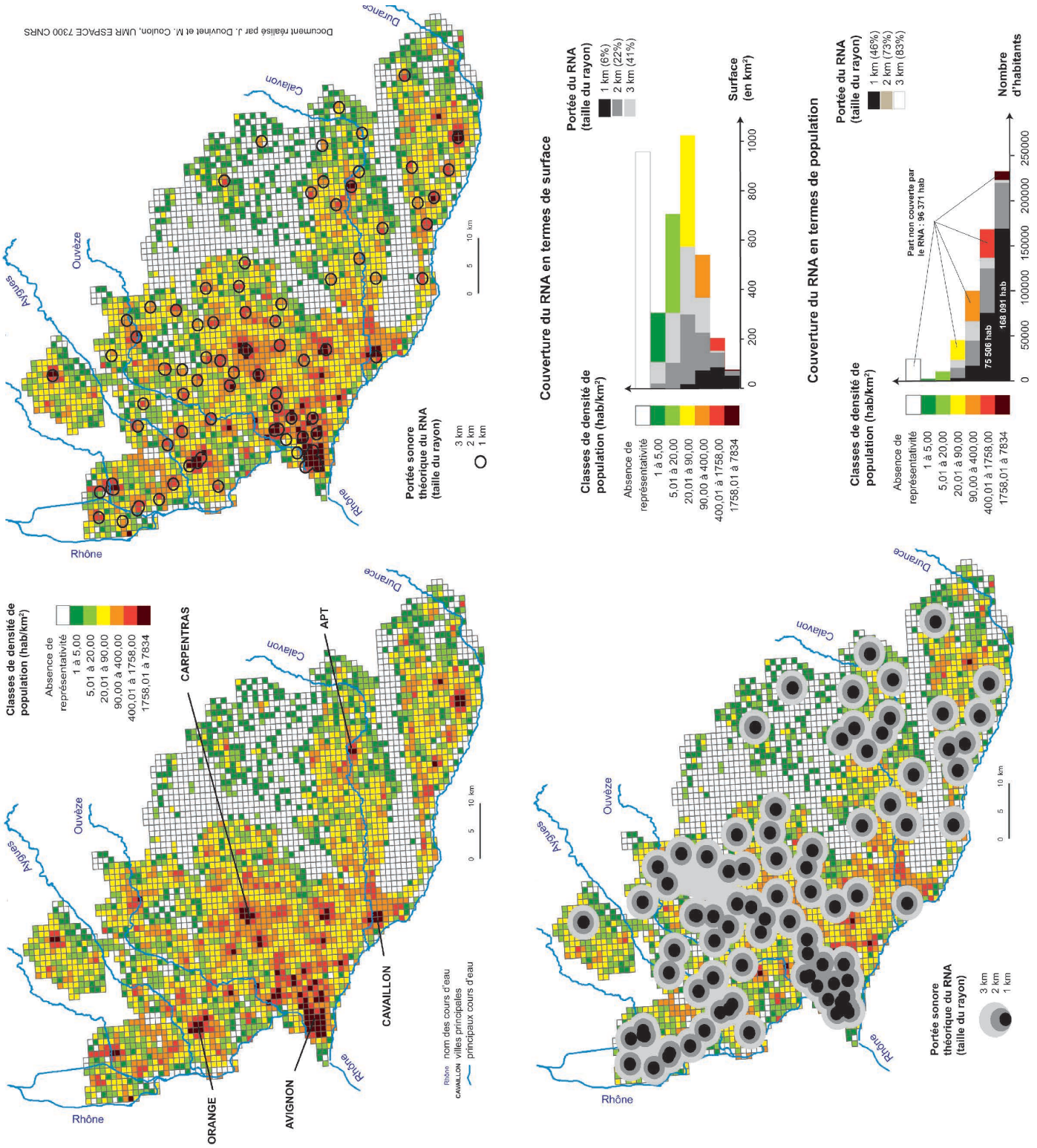


Figure 4.3. Cartographie de la densité de population dans le Vaucluse, et portée sonore théorique des sirènes du RNA (d'après les données du SIDPC-84 2017 et INSEE, 2014)

4.1.3. D'autres solutions complémentaires : les automates d'appels d'alerte

Depuis l'après-guerre, certaines communes ont aussi décidé de renforcer le RNA en utilisant d'autres moyens d'alerte pour toucher, de manière indifférenciée, toutes les catégories de population (Hirel, 2002 ; Hébert, 2008). Plusieurs dispositifs ont ainsi été créés. On pense par exemple :

- aux ensembles mobiles d'alerte (porte-à-porte ou voiture équipée d'un mégaphone), qui sont utilisés par les agents communaux pour des actions très locales ;
- aux services de diffusion cellulaire (*Cell BroadCast),* qui permettent une diffusion en un temps très court d'une alerte sans risque de saturation du réseau (§ 1.1.2.),
- à la diffusion de courriel (ce qui permet d'alerter via des listes de diffusion ciblées),
- aux Panneaux à Messages Variables (PMV), qui diffusent des messages dans des lieux de passage important (3 213 PMV existent en 2011 en France métropolitaine, dont 96% sont détenues par des communes ou des EPCI).

Les communes peuvent aussi avoir recours à des Automates d'Appels d'Alerte (AAA). Ces solutions sont des systèmes téléphoniques capables de composer un grand nombre de numéros de téléphone de façon automatique (en utilisant un téléphone ou un ordinateur) et délivrent un message préenregistré (type son vocal, SMS, fax ou mail) ou un *texto-speech* aux destinataires qui répondent. Les premiers automates sont apparues en 1994, et les mairies ont pu se doter de systèmes robustes en 1999 (puis en 2001 pour le ministère de l'intérieur). En 2010, 74 préfectures sont utilisatrices d'un automate (Deloitte, 2014), et 336 communes déclarent les utiliser régulièrement. Près de 15 solutions existent en France, mais le marché est dominé (à 52%) par 3 prestataires : Cedralis (23%), Gedicom (16%) et Orange (13%). Les communes et EPCI s'adressent massivement au premier, les exploitants industriels au second, et les préfectures au troisième. L'utilisation faite des automates est multirisque (ils sont même deux fois plus utilisés sur les risques naturels que sur le risques industriel, Deloitte, 2011) mais les communes les utilisent aussi pour de l'information courante (information sur les transports ou sur les activités de la commune par exemple).

Les automates diffèrent suivant la nature des lignes utilisées, les médias supportés (tous les automates ont recours aux téléphones, aux SMS, fax et e-mails, mais parfois aussi aux écrans vidéos ou aux panneaux lumineux, **tableau 4.1.**), leur lien éventuel (ou non) avec un système d'information géographique et le nombre de personnes potentiellement atteintes**.** Les configurations sont souvent opérées par les prestataires (72% d'après Hébert, 2008). Pour inclure d'autres numéros (portables ou issues des listes rouges), les communes doivent en faire la demande auprès de leurs administrés (*via* un formulaire mis en ligne sur le site internet par exemple).

Deux types de configurations existent (IRMA, 2014) :

- L'automate d'appel local correspond à un logiciel installé en mairie ; la commune gère alors en intégralité le dispositif (matériel, maintenance) et utilise les lignes téléphoniques propres à la mairie (Antibia®) ; elle peut aussi solliciter les lignes opérateurs.
- L'automate externalisé correspond à un logiciel « serveur-client » se situant en dehors de la commune. Le système est accessible par téléphonie ou par internet, et les lignes utilisées sont celles du prestataire (*France Télécom* ou lignes propriétaires). L'automate couvre alors une échelle très large (la France métropolitaine pour Viappel®).

Quel que soit le système choisi, le nombre de destinataires, le choix du message, le support de diffusion et la population doivent être déterminés en amont, de même que la personne qui sera la seule habilitée pour engager la procédure. Les systèmes sont robustes d'un point de vue technique et les campagnes d'alerte sont suivies en temps réel par les propriétaires des automates. Ainsi, il est possible de connaître avec précision le nombre d'abonnés ayant acquitté l'écoute du message, le nombre d'abonnés ayant décroché sans acquittement (à cause d'une mauvaise compréhension de la consigne - « appuyez sur le bouton # » par exemple – ou à cause d'une mauvaise manipulation), et le nombre de personnes non jointes (personnes absentes ou numéros erronés).

	Antibia®	Medialert®	Viappel®	AlarmTILT®	Téléalerte®	Téléalerte®
Propriétaire	©SDIS84 (Vaucluse)	©COGIS Network	©CEDRALIS	©M-PLIFY	©GEDICOM	©CII industrielle S.A.
Lignes utilisées	Mairie	Mairie (local)	Opérateurs	Opérateurs	Spécifiques + opérateurs	Opérateurs
Médias supportés (points communs)	Téléphones (fixe et portable), SMS, fax, e-mail					
Autres médias supportés (spécifique)	/	/	Ecran d'ordinateur, Ecran TV	Flux RSS, système tiers, panneaux lumineux	/	Lien SIG possible avec MediaSIG®
Origine des données	Annuaires et contacts / formulaire en ligne	Annuaires et contacts / formulaire en ligne	Importation des annuaires + Liste fournie par les communes	Gestion intégrale des annuaires	Importation automatique des annuaires	Importation automatique des annuaires + Liste fournie par les communes
Déclaration CNIL	Commune	Commune (aide de COGIS)	CEDRALIS		GEDICOM	Commune
Cartographie	/	Suivi cartographique en temps réel	Suivi cartographique en temps réel	Module SIG évolué (*Geo-Mapping, tracing, géocodage, géo-fencing*)	Suivi cartographique en temps réel	Suivi cartographique en temps réel des appels émis / reçus / validés
Nombre de personnes atteintes (pour un message de 30 s.)	700 foyers par heure (32 appels en 30 secondes)	150 foyers par heure (ou 15 000 si lignes opérateurs)	Environ 70 000 messages en 1 heure	De 2 400 à 84 000 appels en 1 heure	Environ 50 000 messages en 1 heure	De 5 000 à 20 0000 appels en 1 heure
Particularités		Serveur Vocal Intéractif (répondeur) pour diffuser de l'information.	Recherche de nouveauc canaux (avec Sinovia) pour éviter saturation des lignes opérateurs	Gestion des astreintes et de la logistique des interventions	SMS en flash et possibilité de hiérarchiser les envois en fonction de liste choisie	Visualisation 3D de la ville, planification de campagnes, mise en place de SVI, N° Vert, centres d'appels.

Tableau 4.1. Caractéristiques de plusieurs automates d'appels (adapté à partir des retours d'A. Grangeat (GEDICOM) et du tableau réalisé par Hébert, 2008)

4.1.4. Des dispositifs spécifiques face aux crues rapides : les SDAL

La vigilance hydro-météorologique existe en France depuis 2006 et 22 100 km de linéaire de cours d'eau bénéficient en 2018 d'un suivi en temps réel (avec un accès aux données mesurées sur la plateforme www.vigicrues.fr). Depuis les événements de 2010 (la Faute-sur-Mer le 28 février, et en Dracénie le 15 juin), l'Etat a aussi accentué ses efforts pour améliorer la prévision et l'alerte face aux submersions marines et aux crues rapides (PSR, 2011). Suite à une période de test, de calage et de validation dans la région PACA en 2017, une vigilance complémentaire (appelé *Vigicrues-Flash*) est d'ailleurs en cours de déploiement à l'échelle de la France métropolitaine sur environ 4 000 bassins versants de 100 km^2 (Saint-Aubin *et al.,* 2016 ; Saint-Martin *et al,* 2016 ; Javelle *et al.,* 2014, 2017). Les avertissements (notifiés aux maires qui se sont abonnés à ce système) sont établis en fonction des périodes de retour définies par le modèle AIGA-Hydro (*Adaptation de l'Information Géographique à l'Aléa*), et les prévisions ne se fondent pas sur les stations du réseau *Vigicrues*. Mais tous ces travaux permettent de fournir de nouvelles données et donc, potentiellement, de contribuer à l'identification des seuils nécessaires au déclenchement d'une alerte à la population concernée dans ces bassins.

Toutefois, de nombreuses communes restent traversées par des cours d'eau non surveillés par ces différents systèmes (de veille, de vigilance et d'avertissement). Dès lors, les autorités locales peuvent avoir décidé d'équiper les bassins versants amont avec un réseau de capteurs indépendants, et elles assurent de façon autonome leur fonctionnement et la maintenance. On appelle ces réseaux des Services D'Alerte Locaux (SDAL).

Un bilan a été réalisé en 2011 (**figure 4.4.),** en collaboration avec le SCHAPI (Hubert, 2011), et en 2016, on recense 39 SDAL à l'échelle métropolitaine. Ces SDAL ont prioritairement été installés dans des secteurs touchés par des crues rapides meurtrières (24 sur 39), mais deux systèmes sont précurseurs : celui de la Communauté Urbaine de Nice Côte d'Azur (1983), et celui de la ville de Marseille (déployé sur l'Huveaune), mise en place à partir de 1985 (figure 2.5.). Les SDAL ont principalement été implantés sur les territoires du Service de Prévision des Crues (SPC) « Garonne Tarn Lot » (8) et « Rhin-Sarre » (5), et dans le sud-est de la France (6). Ils couvrent 411 communes, 3 890 000 habitants et se déploient sur près de 16 500 km de linéaire de cours d'eau. La création des SDAL a été motivée par des enjeux de protection de la population et ils sont plutôt récents (22 SDAL sont apparus depuis 2001 ; 14 de 2010 à 2016).

Pour promouvoir ce type d'initiative tout en regardant l'efficacité des solutions existantes, un guide a été rédigé par les services techniques du ministère de l'environnement en 2016 (Douvinet et Janet, 2017). Il précise le mode opératoire du diagnostic à réaliser, et les financements possibles à solliciter. Trois solutions sont proposées en fonction des besoins des collectivités (**tableau 4.2.**) : un SDAL simple (avec un coût d'investissement compris entre 2 000 et 4 000 €, et des frais de régie de 200 € par an) ; un SDAL plus complet, fondé sur les hauteurs d'eau (avec un coût d'investissement de 40 000 à 75 000 € et un coût de fonctionnement de 3000 à 6 500 € par an) ; un SDAL associant hauteurs d'eau et débits, avec un coût d'investissement compris entre 100 000 et 250 000 € HT. Cette troisième solution, certes la plus développée, est très coûteuse et les montants peuvent augmenter si le nombre de stations est important (le SDAL de Nîmes a coûté plus de 650 000€ à l'installation), mais elle traduit une réelle prise de conscience des besoins et un vrai investissement à moyen terme.

	SDAL simple	**SDAL avec des mesures de hauteurs d'eau**	**SDAL associant les mesures de hauteurs d'eau à des débits**
Principales composantes techniques	2 contacteurs type poire flottante 1 sirène puissante 1 modem GSM	1 réseau de stations de mesures automatisé / 1 système de transmission 1 serveur de données en temps réel	1 réseau de stations mesurant hauteur et débits automatisé / 1 système de transmission / 1 serveur temps réel
Résumé du principe de fonctionnement	Lorsque l'eau atteint la poire la plus haute, le boîtier déclenche la sirène, active l'appel téléphonique d'une liste de responsables et réactive le buzzer.	Le réseau de stations de mesures fournit les données de hauteurs d'eau et/ou de pluviométrie au serveur-concentrateur en temps réel. Chaque station alerte par téléphone le ou les responsables du suivi des crues, sur dépassement de seuil de niveau ou de cumul de pluie.	Les mesures effectuées relient la hauteur d'eau à un hydrogramme de crue, donc au débit, qui est fonction du temps, de la pluie observée, pour appréhender les fonctions de production (rapport entre la lame d'eau écoulée et la lame d'eau précipitée) et de transfert du bassin versant en question.
Conditions requises pour la mise en oeuvre	Localisation des sites et réglages des seuils de pré-alerte/alerte	Marché public avec un bureau d'études + 1 comité de pilotage	Marché public avec un bureau d'études + 1 comité de pilotage + identification des sites de jaugeage et courbe de tarage
Coût d'investissement (achat du matériel)	Entre 2 000 € et 4 000 € HT	Entre 40 000 € et 75 000 € HT (pour un réseau de 5 stations)	Entre 100 000 € et 250 000 € HT (pour un réseau de 5 stations et un équipement complet)
Coût de fonctionnement (par an)	200 € (intervention en régie, avec 2 à 4 jours pour les tests)	De 3 000 € à 6 300 € HT (selon le nombre de stations et maintenance)	De 3 000 € à 6 300 € HT (selon le nombre de stations et maintenance)
Avantages	- Coût faible de l'investissement - Fonctionnement modéré	- Connaissance hydrologique capitalisée - Amélioration du PCS	- Appui à l'élaboration de modèles - Connaissance renforcée
Inconvénients	- Pas de mesure du pic atteint - Seuils d'alerte à calibrer	- Coût d'investissement important	- Coût d'investissement très élevé - Mise en œuvre technique lourde

Tableau 4.2. Caractéristiques des trois types de Services D'Alerte Locaux pouvant être déployés pour faire face aux crues rapides (modifié d'après le guide du SCHAPI ; Douvinet et Janet, 2017)

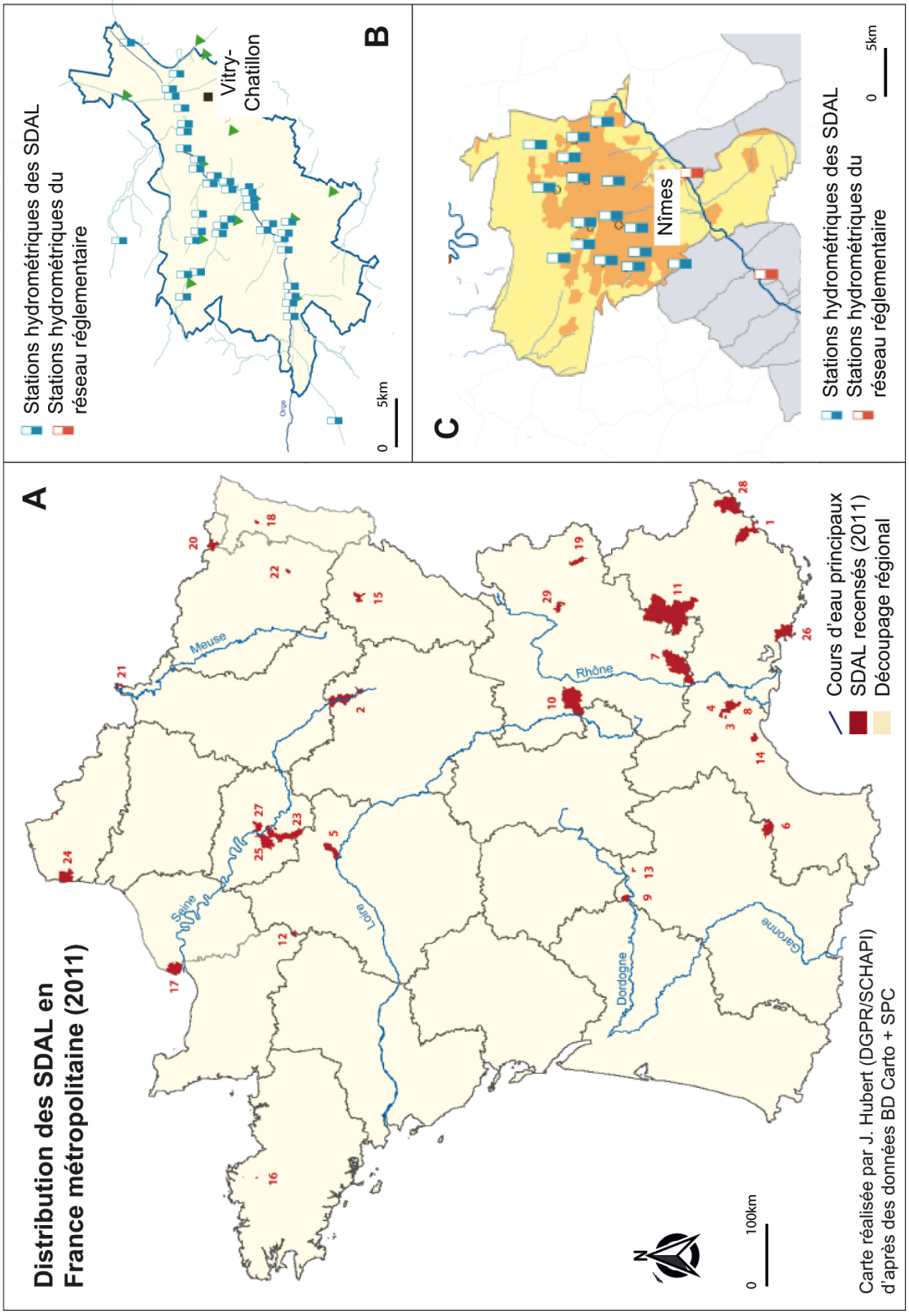


Figure 4.4. Localisation des SDAL à l'échelle métropolitaine en 2011 (A), puis zoom sur un SDAL du Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge aval (B) et sur la ville de Nîmes (C) (modifié d'après Hubert, 2011). La liste des SDAL identifiés en 2011 sont disponibles auprès du SCHAPI (B. Janet)

4.2. Des bénéfices attendus indéniables

Après avoir décrit les principaux moyens d'alerte utilisables par l'État et ses représentants aux échelles locales, il s'agit à présent d'identifier les avantages apportés par toutes ces solutions.

4.2.1. Un moyen pour l'Etat républicain d'imposer son autorité

Depuis plusieurs siècles, les autorités ont pris la responsabilité de signaler tout type de danger pouvant menacer l'intégrité physique des biens et des personnes (Meschinet de Richemond, 1992 ; Douvinet, 2018). Ce pouvoir a ensuite été transféré à l'église (les curés donnaient l'autorisation du déclenchement du tocsin), puis aux services de l'État en 1954 (via les sirènes). Le déclenchement de l'alerte revient à ceux qui ont le pouvoir, et à ce titre *« la France valorise à l'excès les politiques de sécurité civile »* (Padioleau, 2003) : la planification des secours, la mobilisation des services nationaux et locaux (police, hôpitaux ou pompiers) et l'alerte à la population sont encore prioritaires pour les élus, par rapport à la sécurisation des réseaux ou l'indemnisation au nom de la solidarité nationale (créée seulement à partir de 1982). En 2010, l'État (à 51%), puis les communes et les EPCI (38%), détiennent à eux seuls 89% du parc des sirènes, et le reste appartient aux SDIS (11%). Ces moyens répondent à des choix politiques sans aucune référence à une quelconque efficacité (Vinet, 2007) : la répartition du RNA a par exemple été conditionnée pour des logiques urbaines (prise en compte de la densité de population résidente et non présente) et stratégiques (prédominance du RNA dans l'est de la France par exemple), et non pour d'autres enjeux (la nature des dangers, la répétitivité des événements, la vulnérabilité des enjeux ou les effets dominos entre les processus). L'alerte institutionnelle symbolise ce primat politique et les élus sont toujours attachés à ces mesures structurelles car elles sont visibles et *« s'entendent »*, contrairement à des mesures non structurelles (**exemple 3**).

EXEMPLE 3. « Les achats de camions rouges, les constructions de casernes fournissent des preuves manifestes du souci des élus et des fonctionnaires d'assurer la sécurité des citoyens ». À l'inverse, entretenir les réseaux d'assainissement pour éviter qu'ils ne débordent lors des orages, ou assurer l'entretien des digues et le curage des rivières, sont des opérations coûteuses et peu visibles, et donc peu profitables politiquement (Carré, 2006).

C'est d'ailleurs sur l'échelon communal que les pressions se sont accrues : dans le contexte actuel de crise des finances publiques (Reghezza-Zitt, 2015), sur lequel l'État justifie allègrement le transfert de certaines responsabilités au niveau local (notamment avec la compétence GEMAPI depuis la loi MAPTAM de 2014), les maires sont incités (ou plutôt obligés) de se doter de moyens suffisants pour alerter leurs habitants. Si l'État prévoit une rénovation et le renouvellement du parc des sirènes (projet SAIP), à charge ensuite aux communes d'assurer la prise en charge, financière et technique, du raccordement au réseau électrique. Elles doivent aussi assurer a fourniture en énergie de la totalité des équipements composant les sirènes (pour un coût moyen de 120 € / an), veiller à la maintenance de premier niveau, et assurer la formation de l'ensemble du personnel. Les *Programmes d'Action et de Prévention des Inondations* (PAPI) des 3 générations ou les *Plans de Gestion du Risque Inondation* (PGRI), instaurés dans chaque district hydrographique de façon à répondre à la *Directrice Européenne Inondation* depuis 2011, suivent cette logique : une action porte systématiquement sur l'amélioration de l'alerte (**exemple 4**), et les autorités définissent une stratégie en fonction de leur budget.

EXEMPLE 4. Dans le Programme d'Action et de Prévention des Inondations (PAPI 3ème génération) porté par le Syndicat Intercommunal de Rivière du Coulon-Calavon (SIRCC), l'action 3.1. porte de manière très explicite sur « l'amélioration des outils d'alerte inondation » sur ce bassin, avec un volet (40 K€) destiné à clarifier le rôle du SIRCC dans la transmission opérationnelle de l'information entre l'amont et l'aval du bassin (autrement dit, « qui fait quoi ? »), et à encadrer son implication dans les cellules de crise de certaines communes stratégiques (Apt, Caumont). Lors de l'exercice réalisé le 4 juin 2017, le SIRCC a été impliqué dans l'exercice PCS inondation mais des problèmes de communication et d'accès aux informations ont été observés (à cause d'un nombre d'acteurs bien trop élevé sur ce bassin), ce qui a été modifié quelques mois après.

4.2.2. L'alarme des sirènes : un stimulus univoque

L'alarme est considérée comme un signal univoque, un « stimulus », qui doit déclencher des comportements pré-organisés et planifiés (Créton-Cazenave, 2010). En France, le signal envoyé par une sirène RNA correspond à un son modulé ascendant et descendant de 101 secondes (ou 1m 41s). (**figure 4.5**.), séparée par un silence de 5 secondes, puis répété à trois reprises. Cet outil privilégie en premier la sensibilité : il ne faut pas manquer un événement exceptionnel car cela pourrait avoir des conséquences sur les actions et les contre-mesures mises en place. En revanche, on ne recherche jamais la représentativité (PRITNAT, 2006) : on demande à l'alarme de fournir le plus vite possible un signal (**exemple 5**), qui doit laisser peu de temps à la réflexion (pour éviter toute hésitation), mais on ne cherche pas à donner une information exhaustive (Valleron *et al.,* 1994). Si certains considèrent l'alarme comme le simple « relais » d'une information technique (Vinet, 2008), la rapidité de diffusion est pour d'autres l'emblème de l'alerte (Dedieu, 2009 ; Créton-Cazanave, 2010 ; ORSEC, 2013).

EXEMPLE 5. L'alarme renvoie à la limite, dans les années 1950, des sirènes électromagnétiques, qui risquaient de disjoncter si elles tournaient trop longtemps (Deloitte, 2014). Le délai a été calculé avec les fabricants de l'époque pour assurer leur opérationnalité, les 41 s. correspondaient au délai de montée et de descente de la sirène. Ce signal univoque a été rappelé dans l'arrêté du 23 mars 2007. Il permet d'attirer rapidement l'attention de la population, de jour tout comme de nuit, en cas de danger immédiat (ce qui sous-entend que la population ait une bonne compréhension de la situation et comprenne ce qui est attendue de sa part). Il convient de ne pas le confondre avec le signal d'essai des sirènes (qui a lieu le premier mercredi de chaque mois), ni avec le son du type « corne de brumes », utilisé en cas de danger sur les aménagements hydrauliques.

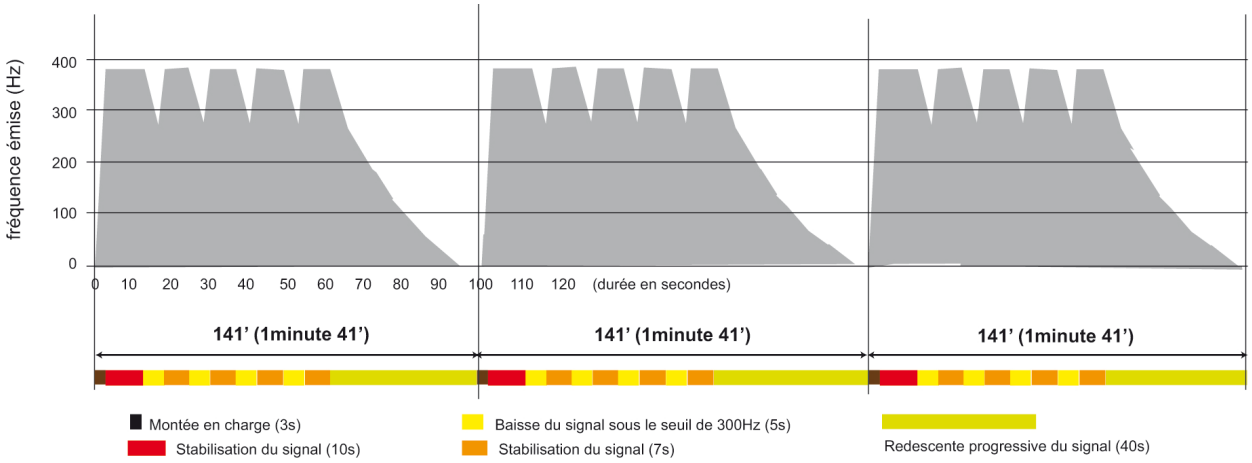


Figure 4.5. Décomposition du signal d'alarme généré par une sirène du réseau RNA

4.2.3. Des outils de diffusion massive pour gagner en rapidité

Les outils de diffusion massive présentent aussi divers avantages. Les ensembles mobiles sont de leur côté intéressants car ils sont peu onéreux, adaptables à des aléas aux effets circonscrits spatialement, et deviennent utiles pour alerter et informer de façon parallèle une population présente située au plus près de l'événement en cours (Hébert, 2008). La portée du signal est toutefois limitée dans le temps, et restreinte dans l'espace. D'un autre côté, les automates d'appels d'alerte présentent aussi plusieurs bénéfices : diffuser une alerte de façon personnalisée dans chaque foyer ; pas de mise en danger des agents communaux dans les zones exposées ; la graduation des messages (**exemple 6**) avec des niveaux progressifs (pré-alerte, risque d'inondation, évacuation immédiate, retour à la normale, etc.) en évitant une réponse binaire (contrairement aux sirènes)… L'accès à ces systèmes se fait souvent à distance, par internet, téléphone ou par ordinateur, ce qui permet de lancer une alerte en étant à l'extérieur de la commune. Les autorités peuvent donc utiliser ces outils quand une partie

du territoire est inaccessible, quand des événements type crues rapides ont coupé les réseaux routiers (Debionne *et al.,* 2016) ou quand ils sont en déplacement (Hébert, 2008). Des solutions plus récentes utilisent l'ADSL, le Wifi, voire la fibre optique (**exemple 7**) pour gagner en opérationnalité, et plus d'une quinzaine de solutions existent aujourd'hui (IRMA, 2017).

EXEMPLE 6. Différentes données nous ont été fournies par la société GEDICOM© pour étudier le potentiel de leur automate TéléAlerte®. A titre d'exemple, le 13 septembre 2017, la préfecture de Meurthe-et-Moselle a utilisé cette solution entre 8h44 et 9h44, suite aux inondations sur la Meurthe : 531 personnes sur 600 (soit 87%) ont acquitté le message ; 63 personnes ont décroché sans acquittement (il peut s'agir d'un répondeur) et 6 n'ont pas décroché (1%). La société apporte depuis plusieurs années son expertise sur différents territoires et elle met en place des scénarios multiples (plus de 20 scénarios par exemple pour Nîmes), afin d'évaluer la qualité de l'outil et de sa mise en œuvre, et moduler les listes des destinataires selon les phénomènes en jeu.

EXEMPLE 7. AlertBox® est un boitier multimédia raccordé par la fibre optique, conçu par la ville de Gonfreville-l'Orcher (près du Havre) en 2008. AlertBox® permet d'alerter les 3 600 foyers de la ville en 20 secondes (contre 20 minutes pour les automates en temps normal). L'activation du signal se fait à partir d'un système d'information géographique, qui permet aussi à la ville de quantifier le nombre de population ayant bien réceptionné le signal. Différents scénarios ont été créés, et en 2012, par exemple, la ville a envoyé une alerte « pollution de l'air ».

4.3. Des outils à l'efficacité pourtant contestée

Les outils d'alerte institutionnels offrent des avantages évidents et pourtant, ils font l'objet d'un certain nombre de critiques depuis des années. Sans revenir sur les contraintes réglementaires, il s'agit ici d'évoquer les principaux problèmes techniques, administratifs et organisationnels qui restent à lever, et qui ont été abordés dans de nombreux travaux (Hirel, 2002 ; Ruin, 2007 ; Créton-Cazanave, 2008 ; Vinet, 2010 ; Boudou, 2015 : Daupras, 2015 ; Kouadio et Douvinet, 2016 ; Vogel, 2017).

4.3.1. Rénover le RNA : une solution largement plébiscitée

Le RNA souffre tout d'abord de nombreuses limites techniques. Maintenu à niveau, le RNA est devenu coûteux à entretenir, avec un coût moyen annuel estimé à 11 millions d'euros de 2000 à 2001 (selon Hirel, 2002). Il a considérablement vieilli (la moyenne d'âge des sirènes dans le Vaucluse est de 47 ans par exemple) et certaines entreprises qui ont fabriqué les sirènes ont changé de nom, ont interrompu leur prestation, comme *France Télécom* depuis 2011, ou n'existent plus. Il n'y a pas non plus d'harmonisation entre les sirènes RNA, ni avec les autres sirènes (PPI ou communales), ce qui réduit alors la portée de ces signaux sonores en cas de crise. Leur état de fonctionnement est aussi discutable : en 2010, les préfectures indiquent que certaines sirènes ne fonctionnent plus (en Corse, par exemple, les tests du 1er mercredi du mois ne sont plus possibles depuis 2008) et cet état varie considérablement, entre les départements, pour diverses raisons : impossibilité de déclencher les sirènes à distance, déclenchements intempestifs, réseau abandonné (Deloitte, 2014).

D'autres facteurs remettent en cause l'audibilité des sirènes. La portée du signal sonore (3 km en théorie) est perturbée par divers facteurs géographiques locaux : la topographie (relief, hauteur des immeubles, agencement du tissu urbain, **exemple 8**), les conditions atmosphériques (direction et force du vent, température, taux d'humidité) ou le niveau de bruit ambiant (**exemple 9**). Le signal n'est pas non plus adapté aux évolutions sociétales (isolation acoustique et phonique des bâtiments, dispersion des populations, flux pendulaires, etc.). Dans la plupart des cas, les sirènes ne s'entendent plus au-delà d'un rayon d'1km du point émetteur (comme le confirme E. Pourtain, de l'association CYPRES, lors de l'exercice PPI à CAPL de Sorgues que nous avons fait ensemble), d'autant que les énergies sonores de 2 sirènes s'annulent si elles ne sont pas situées à une distance suffisante : pour une sirène de 4 kw, l'espacement minimal à respecter est de 2,1 km en milieu urbain calme, contre 0,57 km en milieu urbain sonore (d'après une étude de FRIAA-ROUSSEAUIS, fournie par la DGSCGC en 2018).

EXEMPLE 8. Une situation paradoxale peut être observée dans des zones en théorie couvertes par une sirène PPI. Afin de respecter la réglementation, les fenêtres des bâtiments doivent été renforcées par des films anti-débris (pour éviter les débris de vitres sur les personnes suite à un accident type explosion ou propagation des ondes de surpression), mais les personnes qui se situent dans ces locaux n'entendent plus forcément bien le signal sonore de la sirène (exemple avéré lors de l'exercice mené à Sorgues en 2016).

EXEMPLE 9. Quelle que soit la puissance des sirènes (1,1 kw à 7,5 kw), le rayon d'audibilité des sirènes chute de 26 % en moyenne (d'après FRIAA-ROUSSEAUIS, DGSCGC, 2018), entre un milieu urbain calme (MUC) et un milieu urbain sonore (MUS). A titre d'exemple, pour une sirène de 1,1 kw, la portée passe de 401 m. (MUC) à 104 m., alors que pour une sirène de 4 kw, elle passe de 1 460 m. (MUC) à 380 m.

Le RNA présente aussi des limites fonctionnelles : les sirènes n'ont jamais été utilisées pour répondre à leur vocation originelle (fort heureusement…), mais elles ont également été très rarement déclenchées en un demi-siècle (Hirel, 2002). Le BASEP (Bureau de l'Alerte, de la Sensibilisation et de l'Éducation au Public) donne quelques exemples (AZF en 2011 ; les crues de la Vidourle en 2015 ou les incendies dans le Var en 2017), mais les usages ne sont pas systématiques et la doctrine qui en dresse les contours reste largement inappliquée (Vogel, 2017). Les sirènes ne sont pas activées face à des phénomènes soudains et peu prévisibles, comme les séismes, les ruptures de barrage ou les glissements de terrain (Guzetti *et al.,* 2008 ; Boudou, 2015), et pas plus en cas de phénomènes plus progressifs (cf. chapitre 1), car les autorités estiment avoir le temps pour mener les évacuations et mettre en place les mesures de protection collectives (batardeaux en cas d'inondation de plaine par exemple). Certains aléas peuvent par ailleurs échapper à la couverture spatiale du RNA : quand on compare la distribution des sirènes RNA à la localisation des bassins versants les plus sensibles aux crues rapides dans le Vaucluse, les petits bassins (< 5 km²) sont tous exclus de la portée sonore théorique (en prenant le rayon de 2 km), alors même que leur temps de concentration est inférieur à 1h, et 74 % des linéaires de cours d'eau ne sont même pas inclus dans le rayon de 3 km (**figure 4.6.**). Aussi, près de 21 000 habitants ne pourront jamais être alertés (**exemple 10**) face à de tels aléas.

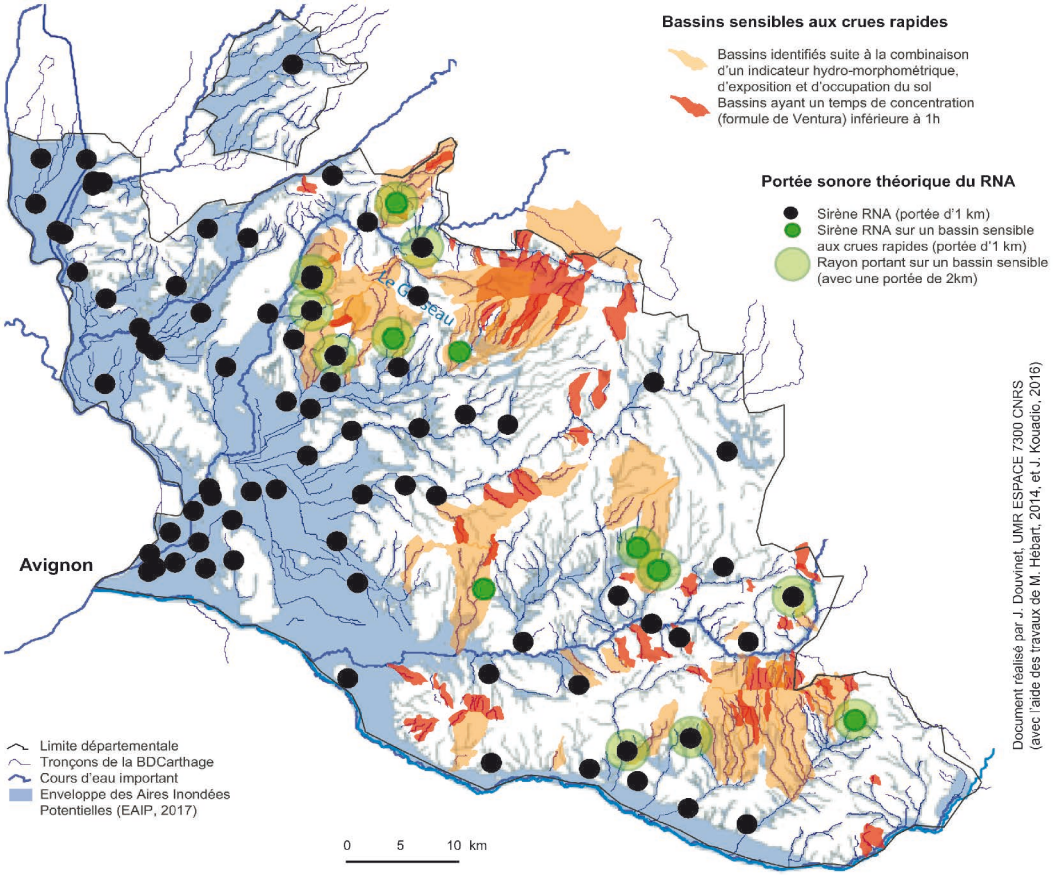


Figure 4.6. Portée sonore théorique des 85 sirènes du réseau RNA dans le Vaucluse et localisation des cours d'eau sujets à des crues rapides (Douvinet *et al.,* 2017)

EXEMPLE 10. Un diagnostic d'exposition aux crues rapides a été réalisé sur 138 bassins versants (< 50km^2) à l'échelle du département du Vaucluse. Un indicateur hydro-morphométrique a tout d'abord été calculé, fruit de la combinaison entre l'indicateur de Gravelius (Kc), la pente moyenne et le temps de concentration, estimé à partir de la méthode de Ventura (Hébert, 2014). 102 bassins ont ainsi un temps de concentration inférieur à 1h. Un second indicateur a pris en compte les caractéristiques de l'occupation du sol (état de la couverture forestière, de la garrigue et des surfaces cultivées) et les propriétés hydriques des sols (définies à partir des données de la BD Alti© et de la BD Lithothèque©IGN). Cet indicateur permet d'identifier des secteurs plus favorables à la formation de ruissellement et potentiellement de crues rapides, en particulier le sud-est du Luberon (composée de marnes sur la partie inférieure des bassins et favorable au ruissellement hypodermique), le sud du Mont-Ventoux (marqué par la présence de marne, d'argile et d'ocre) ou le pourtour, au nord-ouest, des Dentelles de Montmirail (zone calcaire entourée d'espaces argileux et marneux). Un troisième indicateur a permis d'estimer le degré d'exposition des habitations (indépendamment de leur vulnérabilité physique ou matérielle, ou même de la vulnérabilité des habitants), en quantifiant le nombre de maisons situées au sein du bassin et à l'exutoire. Une Analyse des Composantes Principales (ACP) fait ressortir les relations entre les paramètres utilisés (80% de la variance est conservée sur les deux premiers axes) et une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) met ensuite en évidence une typologie des bassins en 5 classes (**figure 4.6**). Une fois que ces résultats ont été obtenus, nous avons spatialisé les tendances en grandes régions, puis comparé la localisation des bassins « sensibles » aux crues rapides avec la distribution du RNA (**figure 4.2.**). Au final, sur les 96 371 vauclusiens qui sont situés en dehors de la couverture théorique à 3 km, près de 21 000 (19 %) sont potentiellement exposés aux crues rapides, et 4 % seulement des bassins sont spatialement couverts avec un rayon de 1km.

4.3.2. L'alarme des sirènes : un signal peu explicite

Peu d'individus arrivent également à identifier la nature du danger en entendant l'alarme des sirènes. Ce signal sonore, se voulant pourtant univoque, est difficile à interpréter en condition réelle : c'est *« un son en plus d'un autre »* (Dedieu, 2009), qui vient s'ajouter au bruit ambiant (et en particulier dans les zones urbaines très denses), et qui n'est accompagné d'aucune information supplémentaire. L'interprétation de ce signal va dépendre de la connaissance et des expériences de chaque acteur, mais aussi du travail de formation et d'information réalisé en amont (Créton-Cazenave, 2010 ; CEPRI, 2011) et tous ces éléments vont jouer tant sur la prise de décision et l'adaptation, que dans l'analyse de la situation (Colbeau-Justin, 2002 ; Daupras *et al.,* 2015). L'interprétation du signal est d'ailleurs considérée comme un frein à la rationalisation de l'alerte, alors qu'il est vain de concevoir une alerte comme un processus uniquement technique. Pour certains, l'alarme relève même du « fantasme » ou du « mythe » (Mileti et Sorensen, 1990) : il est impossible de produire à partir de seuils cristallisés un signal qui déclencherait automatiquement certains comportements attendus (Roux, 2006). D'ailleurs, cette idée est régulièrement confortée par les décalages récurrents avérés entre les compétences comportementales (« je sais ce que je dois faire ») et les comportements déclarés en dehors de l'alerte (**exemple 11** et **figure 4.7.**), et ces observations semblent prévaloir quel que soit le risque en jeu.

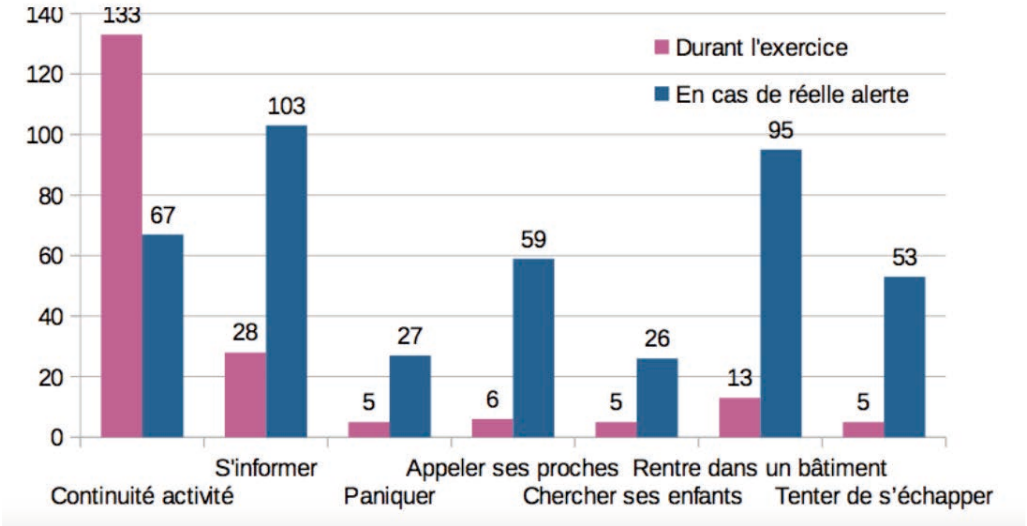


Figure 4.7. Décalages entre compétences comportementales et réalité des faits (Douvinet, 2018)

EXEMPLE 11. Une enquête a été réalisée le 1er décembre 2016 durant un exercice de sécurité civile (simulation d'un accident industriel et activation des sirènes PPI puis RNA) mené à Sorgues (ville située à 5 km au nord d'Avignon). Sur les 280 personnes interrogées sur place, 103 déclarent qu'elles s'informeraient en cas d'alerte, 95 certifient qu'elles entreraient bien dans un bâtiment, 59 appelleraient leurs proches… Toutefois, sur ces 280 personnes qui confirment avoir bien entendu l'une des deux sirènes dans la matinée, elles avouent qu'elles ont continué leur activité au moment du signal (133), 28 ont tenté de s'informer, et les autres réponses sont faibles. D'un autre côté, sur les 27 personnes qui étaient au courant de l'exercice, les ¾ ont continué leurs activités. Ces chiffres confirment bien que les comportements réels sont en très net décalage (pour ne pas dire en opposition) avec les déclarations comportementales (que l'on appelle ici des compétences).

4.3.3. Les automates d'appel : des outils perfectibles

Les automates d'appel souffrent eux aussi de plusieurs lacunes. Il est impossible de garantir l'appel exhaustif d'une population dans sa globalité (ce système ne touche pas les personnes qui ne disposent pas de téléphone, ni les travailleurs ou les touristes). Le nombre d'échecs téléphoniques peut être important en cas d'une mauvaise compréhension des touches sur lesquelles il faut appuyer pour valider l'appel, et aucune évaluation n'est réalisée lors des exercices d'entrainement auprès de la population (**exemple 12**). L'automate peut s'avérer inutile face à des crues extrêmement rapides (la sirène retrouve alors ici toute sa légitimité). Les systèmes ne sont pas infaillibles, et peuvent être ralentis en cas de saturation des lignes téléphoniques ou lors d'alertes plurielles (*Viappel*© peut ainsi alerter jusqu'à 84 000 personnes en une heure mais sur l'ensemble du territoire national, et il devient donc limité si plusieurs alertes différentes doivent être diffusées de manière instantanée). Certains automates (SIREN© et Télé-Alerte© dans sa version locale) sont par ailleurs dépendants du nombre de lignes de la mairie, donc le nombre de canaux accessibles peut devenir vite restreint.

EXEMPLE 12. Lors du même exercice de sécurité civile évoqué ci-dessus (**exemple 11),** l'automate VIAPPEL® a été utilisé pour diffuser des messages d'alerte en masse à la population sur l'ensemble de la ville. Sur les 8 100 appels passés de 9h15 à 11h30, 2 650 (1/3) ont été mal réceptionnés. La communication autour de cet outil doit surtout être améliorée : en effet, sur les 280 personnes interrogées sur place, seulement 24 (8%) déclarent avoir connaissance de l'automate, et 65 ne savaient pas qu'elles y étaient inscrites d'office.

Si la plupart des automates d'appels certifient une grande fiabilité du point de vue technique, leur usage n'est par ailleurs jamais mesuré auprès des habitants. De nombreuses données nous ont été fournies sur l'utilisation qu'en font les autorités, ou sur les taux de succès des solutions auprès des habitants, mais *quid* des comportements individuels induits après la réception des messages durant une alerte réelle ? Acquitter un message ne veut pas dire changer de comportement, et le nombre de personnes atteintes en une heure devient alors un paramètre discutable.

4.4. Quels besoins à moyen terme ?

Alors qu'il existe une pluralité d'outils dans le domaine de l'alerte institutionnelle, la priorité est actuellement donnée aux sirènes : même si la fin du système d'exploitation du réseau RNA a été actée dès 2010 par le ministère de l'intérieur, un nouveau projet (SAIP : *Système d'Alerte et d'Information à la Population*) est en cours de déploiement et le but est de converger vers un système de connexion unique, pour un coût estimé à 83 millions € (Vogel, 2017), en se basant pour partie sur l'ancien RNA.

4.4.1. Doter les autorités d'un système d'activation unique : le projet SAIP

Depuis la publication du *Livre Blanc sur la défense et la sécurité nationale* en 2008, le RNA est destiné à être remplacé par un projet plus ambitieux, le SAIP (*Système d'Alerte et d'information des populations*). Il s'agit de doter les autorités (maires, préfets) d'un réseau d'alerte plus performant

et plus résistant, en diffusant des messages d'alerte et d'informations comportementales à l'aide de tous les outils déjà existants en incluant les radios, les téléphones mobiles, les panneaux à message variable et les sirènes de l'ancien réseau RNA (qui constituent le cœur du dispositif). La solution se fondera sur *l'Infrastructure Nationale Partagée des Transmissions* (INPT) et l'alerte pourra aussi être propagée en cas de divers événements à cinétique rapide, tels que les explosions (nuages toxiques, projection de débris), les prises d'otage ou les attaques terroristes, mais aussi les crues soudaines (Vogel, 2017). À l'inverse, les phénomènes plus lents ne justifieraient pas son activation. Le second volet du projet devait initialement reposer sur une solution permettant la diffusion en masse de SMS (à l'image du *CellBroadcast).* Celle-ci a été remplacée par une application smartphone (portant le nom du projet, *SAIP©)* en 2016, puis abandonnée en mai 2018 (je reviendrai sur ce point dans le § 5.1).

L'ensemble des moyens d'alerte devrait pouvoir être activé à distance ou en s'appuyant sur une plateforme, avec un logiciel pilote dont la conception a été confiée à *Airbus Defence and Space* (ex *Cassidian*). Ce système d'activation, unique, présentera aussi l'avantage de pouvoir diffuser une alerte sur une zone géographique spécifique ou d'en exclure d'autres. A l'heure actuelle (avril 2018), la phase d'aptitude au bon fonctionnement (VABF) du logiciel est achevée (prononcée le 6 avril 2017 et effective depuis le 4 octobre 2017) mais avec un retard de 37 mois par rapport à la date initiale de la livraison et pour un coût avoisinant 5 millions € (contre 2,6 millions prévus au départ, sans inclure les coûts liés de surcroît à l'assistance à maîtrise d'ouvrage). Le nombre de sirènes déclenchées en même temps était trop limitée (300 maximum), et des soucis dans la performance de l'envoi et de retour de l'acquittement ont pris du temps à être réglés. Les sessions de formation des Formateurs Internes Occasionnels (FIO) sont désormais en cours et elles impliquent les EMIZ (2 agents) et les SIDPC. Le cadre juridique et organisationnel reste inchangé (Vogel, 2017), même si les préfectures pourront, en tant qu'autorités chargées du déclenchement, permettre aux SDIS d'accéder à la plate-forme d'activation en leurs noms, par le biais d'une convention. La première a d'ailleurs été signée en juin 2017 dans l'Hérault, et 15 conventions avec les SDIS sont signées en avril 2018 en France.

Le projet SAIP prévoit le raccordement de 5 531 sirènes sur 1 743 « bassins de risque ». La distribution du parc à venir repose ainsi sur la notion de « bassin de risque » (et non plus sur le seul critère de la densité de population), qui tient désormais compte de la cinétique et de la prévisibilité des risques et de la position des sirènes eu égard aux circonstances locales (concentration de zones industrielles, pluralité d'activités). Le découpage en « bassin de risque » a été mis en application par les États-Majors Interministériels de Zone (EMIZ), pour arriver *in fine* à deux niveaux de priorité : 640 bassins couverts par 2 832 sirènes (dont 1 286 (45%) appartiennent à l'ancien RNA) sont considérés comme les plus prioritaires (**tableau 4.3.**) tandis que les 1 103 bassins restants sont secondaires (ils seront concernés par le déploiement de SAIP à partir de 2020). Le raccordement des sirènes sur les bassins de rang 1 a débuté depuis 2013 (**exemple 13**), mais des événements peuvent aussi induire des changements par rapport au planning prévisionnel : suite aux crues rapides d'octobre 2015, plus d'une centaine de nouvelles sirènes (toujours à la charge de l'État) ont été rajoutées, dont plus de 20 dans le seul département du Var (d'après les informations de la BASEP, mars 2018).

Niveau de priorité	Nombre de bassins de risque	Nombre de sirènes prévu	… dont les anciennes sirènes RNA	… dont les nouvelles sirènes État	… dont les sirènes communales	… dont les sirènes PPI
Rang 1 (2017-2020)	640	2 832	1 286	932	614	0
Rang 2 (2020-2022)	1 103	2 699	191	854	533	1 121
Total prévu (2022)	1 743	5 531	1 377	1 786	1 147	1 121

Tableau 4.3. Nombre de sirènes prévu pour le projet SAIP (modifié d'après Vogel, 2017)

EXEMPLE 13. Selon les chiffres indiqués par la DGSCGC, le déploiement des sirènes a été engagé sur le terrain en septembre 2013 et il ne concerne à ce stade que les bassins d'alerte de priorité 1. Début 2016, les visites de pré-installation ont commencé dans 68 départements et le 20 octobre 2017, la société EIFFAGE avait réalisé 2

408 visites de site (85 % du parc visé). Le 20 octobre 2017, 1 576 sites (59 %) étaient raccordés au SAIP (avec une couverture terminée dans 24 départements). Certaines communes ont informé leurs administrés d'une telle situation via leurs bulletins municipaux (Bédarrides, Avignon, Orange pour le département du Vaucluse). Suite aux crues rapides survenues le 3 octobre 2015, le ministre de l'intérieur a souhaité qu'un effort plus conséquent soit réalisé sur l'arc méditerranéen. 11 départements ont été ciblés (2A, 2B, 4, 6, 11, 13, 30, 34, 66, 83 et 84). Une centaine de sites additionnels ont ainsi été intégrés aux bassins de priorité 1 (soit 570 sirènes prévues sur ces territoires). Fin 2017, 95 % de ces sites avaient été visités et 59 % (336) des sirènes étaient raccordés.

4.4.2. Dépasser une vision exclusivement guidée par la politique de l'offre

Les différents changements à la tête des directions n'ont pas modifié la priorité accordée aux sirènes, et c'est désormais l'un des objectifs prioritaires de l'action gouvernementale dans ce domaine (Vogel, 2017). Mais le projet SAIP ne constitue pas une « fin en soi » pour les communes : chacune restera libre d'utiliser ses propres moyens, comme les automates d'appels (qui offrent l'avantage de diffuser un message de façon indifférenciée) ou les Panneaux à Messages Variables (il existe plus de 3500 PMV en France en 2013). Dès lors, ce choix politique pose question : pourquoi les mairies ne sont-elles pas obligées d'avoir recours au logiciel unique, qui lui est imposé aux préfectures ? Pourquoi ne pas alerter l'ensemble des habitants avec un système fédérant la totalité des moyens ? Comment attendre également de la part de la population un comportement « adapté » (et à quoi d'ailleurs ?), si l'existence de la totalité des solutions reste inconnue pour un grand nombre ?

Cette vision exclusivement dédiée aux sirènes peut aussi s'expliquer autrement : les services de l'État semblent avoir dû mal à faire confiance à des acteurs inconnus (d'autant plus dans le domaine de la sécurité). Plus de 35 milliards € ont été dépensés en 2017 par les services publics pour les produits et les services de sécurité privée, ce qui représente pas moins de 300 000 emplois en termes marchands (selon les chiffres indiqués le 28 février 2018 par F. Murgadella, membre du Secrétariat Général de la Défense et Sécurité Nationale, lors de la restitution finale de l'ANR DEMOCRITE). Mais force est de constater que certains marchés semblent être attribués par effets de connaissance et/ou de confiance entre des prestataires et les institutions. L'offre d'*Airbus Defence & Space* a par exemple été retenue en 2011 pour le développement du logiciel pilote de SAIP pour deux raisons : la solution a été considérée comme étant la moins onéreuse (elle devait aussi être déployée aux Émirats Arabes Unis pour réduire le coût de développement) et cette entreprise avait déjà de nombreuses références dans le domaine des systèmes de notification de masse et dans l'utilisation de l'infrastructure INTP (Vogel, 2017). Or, que dire sur ce point, puisque le logiciel pilote a pris 37 mois de retard ?

Les autorités alertent aussi avec ce que les prestataires et les services techniques savent faire en interne. Autrement dit, la politique de l'alerte est exclusivement fondée sur l'offre et elle découle de stratégies issues de choix ou de décisions reposant sur des valeurs idéologiques ou sur des aspects purement techniques (Gralepois, 2008 ; Gisclard, 2017). La chaîne de l'alerte souffre d'un manque de vision globale et de prospectives à long terme, pour les 10 ou 20 prochaines années. Et ce constat rejoint celui avéré dans le domaine de la prévention des risques, et en particulier dans l'information préventive (**exemple 14**) : plusieurs outils sont fondés sur une offre techniciste que les représentants de l'État et les différents services techniques maîtrisent, mais cela manque d'initiatives plus périlleuses (qui se fondent plus sur la demande des habitants) ou de réflexion plus large (Vinet, 2008). Des doutes sont ainsi émis quant au fait qu'il puisse exister une demande sociale face à cela, en sachant que la gestion des risques ne correspond pas à un projet social débattu (Gralepois et Douvinet, 2012).

EXEMPLE 14. L'un des résultats obtenus dans la thèse de B. Gisclard (2017) confirme la prédominance de l'offre sur la demande : *« Les gestionnaires sont eux aussi lucides dans l'analyse qu'ils font des nombreux travers des dispositifs étatiques de gestion du risque, mais ils cernent mal les leviers d'action possibles avec les individus, qu'ils considèrent pourtant comme étant la pierre angulaire de la transition à réaliser. Même si les gestionnaires ressentent des limites, penser les habitants autrement que comme des entités abstraites est un changement de cap difficile à opérer, d'autant plus que les seules manifestations visibles pour l'État s'opèrent à travers la contestation et l'irrationalité des comportements »* (p. 351).

4.5. Conclusions du chapitre 4

Ce chapitre a permis de mettre en avant les avantages et les inconvénients des outils d'alerte institutionnelle utilisés par les autorités pour alerter la population. Les tocsins ont laissé place aux sirènes depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, et ces outils restent le moyen le plus approprié pour alerter dans les meilleurs délais le maximum de personnes en cas d'événement grave. Face aux nombreuses lacunes du RNA, le réseau fait enfin l'objet d'une modernisation importante, pour un coût initial estimé à 83 millions d'€, et le projet SAIP (caractérisé par un système d'activation unique et une diffusion qui sera adaptable aux dangers en cours et à différentes échelles géographiques) est attendu pour 2022 à l'échelle de la France métropolitaine. Mais ce choix est avant tout politique, et il s'inscrit dans une logique régalienne qui prévaut depuis de nombreuses décennies.

Face aux crues rapides, le RNA souffre de différentes fragilités : **1)** le réseau ne couvre que très partiellement les petits bassins versants sensibles à ces aléas ; **2)** les populations s'y trouvant ne pourront jamais être couvertes (même avec le projet SAIP), par manque d'enjeux importants ; **3)** les déplacements des populations ne sont pas non plus pris en compte dans l'évaluation de leur efficacité. En effet, la portée spatiale tient uniquement compte de la population résidente, et non celle réellement présente, ce qui est d'autant plus problématique que la mobilité est un facteur aggravant la mortalité en cas de crues rapides : certains épisodes se sont par exemple manifestés aux heures de pointe sur le trafic routier (entre 17h30 et 19h à Draguignan le 15 juin 2010). La non-utilisation des sirènes semble donc plus imputable à la distribution physique du réseau qu'à la gradualité des aléas en jeu (**tableau 4.4.)**. Dès lors, face à ces constats, se pose la question de la mise en œuvre d'autres moyens d'alerte, plus contemporains et plus souples, pour compléter de façon positive ces outils institutionnels.

	Alerte (au sens large)			Alerte (en cas de crues rapides)			
Critères d'efficacité	**Sirènes (RNA)**	**Sirènes (SAIP)**	**Automates d'appel (AAA)**	**Sirènes (RNA)**	**Sirènes (SAIP)**	**Automates d'appel (AAA)**	**Systèmes d'Alerte Locaux**
Ampleur de la portée spatiale	> 70 % de la population (rayon de 3 km)	> 90 % de la population (rayon de 3 km)	< 10 % (336 communes) en sont dotées (juin 2018)	Inégale (faible couverture pour zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Relatif (chiffres fournis uniquement du côté technique)	Très satisfaisant (là où ils existent)
Rapidité de diffusion du message	Signal court (son harmonisé)	Signal court (son harmonisé)	Signal intermédiaire (SMS), volcalisé ou long (e-mail, fax)	Signal court (son harmonisé)	Signal court (son harmonisé)	Signal intermédiaire (SMS) ou long (e-mail, fax)	Signal long (appel téléphonique)
Capacité à toucher toutes les catégories de population	Satisfaisant (urbain dense)	Satisfaisant (urbain dense)	Moyenne (limitée aux personnes y étant inscrites)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Très satisfaisant (si ils existent)	Discutable (population en partie touchée)
Adéquation à la temporalité d'aléas à cinétique rapide	Discutable (utilisation partielle)	Très satisfaisant (élargissement des bassins à risque)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Discutable (utilisation inconnue)	Discutable (utilisation inconnue)	Discutable (utilisation partielle)	Très satisfaisant (là où ils existent)
Capacité à inciter un changement de comportement	Discutable (signal univoque mais peu explicite)	Discutable (signal univoque mais peu explicite)	Très satisfaisant (message en complément)	Discutable (signal univoque mais peu explicite)	Discutable (signal univoque mais peu explicite)	Très satisfaisant (message en complément)	Très satisfaisant (message en complément)
Réception et compréhension du signal par les individus	Discutable (pas de message associé)	Discutable (pas de message associé)	Très satisfaisant (taux de messages acquittés)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Discutable (évaluation partielle)
Qualité de diffusion du signal	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Moyenne (variable selon les systèmes)	Discutable (diffusion partielle)	Discutable (diffusion partielle)	Faible (peu déployée dans ces zones)	Faible (lié au temps de diffusion)
Actions de communication ou de sensibilisation réalisées en amont	Moyenne (lié à l'ancienneté du réseau)	Partielle (selon les territoires) et inégalitaire	Faible dépendance (pas besoin de formation)	Très limitée	Très limitée	Faible dépendance (pas besoin de formation)	Discutable (diffusion par bouche à oreille)
Appropriation sociale de l'outil par les bénéficiaires	Faible (héritage de la Seconde Guerre mondiale)	Aucune évaluation possible pour le moment	Faible (défaut de communication)	Aucune (absence d'information sur la couverture)	Aucune évaluation possible pour le moment	Aucune (absence d'information sur la couverture)	Réduite (aucun chiffre)

Tableau 4.4. L'efficacité des outils institutionnels évaluée selon différents critères

Chapitre 5. Les applications smartphones : des solutions à promouvoir

Outils d'alerte plus contemporains, les applications smartphones sont intéressantes à explorer pour plusieurs raisons. Elles peuvent raccourcir le délai de communication entre les institutions et les individus (Slingsby *et al*., 2013), permettant à tout un chacun d'émettre ou de recevoir une alerte dans un environnement en instance de subir un désastre en temps réel. Les messages corollaires rendent le signal plus explicite et elles offrent l'avantage de toucher un grand nombre de personnes (38 millions de français possèdent un smartphone en mai 2018). Elles sont aussi en train de bouleverser la société en profondeur car elles modifient les pratiques des usagers (Goodchild, 2007 ; Laurila *et al*., 2013 ; Dashti *et al*., 2014). Les applications smartphones sont d'ailleurs devenues un objet de recherche qui questionne et qui fait débat (Palmen *et al,* 2007 ; Coleman *et al,* 2009 ; De Longeville *et al*, 2010 ; Fajardo et Oppus, 2009 ; Corvey *et al.,* 2010 ; Brownlee et Liang, 2011 ; Laurila *et al,* 2013 ; Lapointe *et al*., 2013 ; Preis *et al.,* 2013 ; Smith *et al.,* 2015 ; Barr *et al.,* 2015). Toutefois, l'appropriation sociale de ces solutions n'est pas toujours évaluée (Drabek, 1999 ; Donahue and Tuohy, 2006), et les études portent plus souvent sur les développements techniques des smartphones (Fragkiadakis *et al.,* 2011 ; Chatzimilioudis *et al.,* 2011 ; Erdjel *et al.,* 2017), que sur la façon dont le contenu est perçu ou partagé par le public. Dès lors, difficile de savoir si les applications smartphones répondent bien aux attentes et aux bénéfices qu'on leur attribue, d'autant que les individus n'y prêtent guère attention en dehors de la crise (Douvinet, 2018), et que les autorités sont réticentes à leur usage, à l'image de l'application du ministère de l'Intérieur, *SAIP*®, déployée le 8 juin 2016 puis abandonnée le 29 mai 2018. Aussi, quels sont les apports et les écueils de ces applications ? Comment dépasser les facteurs de blocage si l'on veut que ces outils soient utilisés comme des moyens additionnels ? Et ces solutions apportent-elles une réelle plus-value, notamment en cas de crues rapides ?

5.1. Etat des lieux : une offre foisonnante en France depuis 2013

Les applications étudiées sont uniquement celles qui traitent du risque inondation (et de façon indirecte des crues rapides). Le développement de ces solutions est lié à une implication précoce des structures privées, qui ont créé leurs premiers prototypes en 2010 à l'échelle mondiale (*FloodAlert* par exemple aux États-Unis), puis en 2013 en France. Leur profusion (lié à l'occurrence des catastrophes naturelles) a toutefois été rapide : en 2018, 42 applications peuvent ainsi être téléchargées sur divers risques naturels, dont 12 permettent d'être alerté en cas d'inondation. Sans prétendre à l'exhaustivité, il s'agit alors ici de présenter le mode de fonctionnement de telles applications, puis d'identifier des points communs ou divergents. Les applications étudiées seront nommées, mais il ne s'agit en aucun cas d'en faire faire la promotion : le fait d'utiliser des lettres pour éviter toute publicité nous amène plus à perdre le lecteur qu'à l'aiguiller dans le « monde des applis » (Douvinet *et al.,* 2017).

5.1.1. Principes et mode de fonctionnement de quelques applications

Signalert® (mis en ligne en 2013 dans sa version 1.1) est une application dont la conception et le fonctionnement s'inspirent des marqueurs et des échelles d'intensité permettant une description détaillée et en temps réel des crues observées. Les informations sont gérées sur une plateforme web, où des conseils de comportement sont indiqués, et des alertes peuvent être envoyées par une autorité vers les détenteurs de l'application dans un périmètre géographiquement circonscrit. Dans sa version payante, il est également possible de paramétrer l'assistance d'urgence, de contacter les observateurs d'un même événement et de définir une zone géographique à surveiller, c'est-à-dire les espaces sur

lesquels on souhaite recevoir des alertes. Ce système est également doté d'un module d'exportation de données cartographiques et statistiques, pour une réutilisation dans des systèmes annexes, avec l'intégration de systèmes de notifications automatiques nationaux et internationaux (**figure 5.1)**.

L'application *Vialert*® (aussi apparue en 2013) a, elle, été créée pour prévenir les usagers en fonction du lieu où ils sont, et non en fonction du lieu où ils habitent. Elle envoie des alertes en se basant sur des annuaires téléphoniques et part du constat que les habitants disposent de moins en moins de lignes fixes et qu'ils sont de plus en plus détenteurs de smartphones. *Vialert*® centralise les données géo-localisées. Elle est gratuite et l'utilisateur s'abonne à une liste de diffusion (par mot clé ou par événement). Il peut ensuite signaler un événement à l'aide d'un formulaire simplifié (avec des termes vulgarisés). L'application devient là aussi payante pour l'autorité qui veut envoyer l'alerte. Une fois la zone géographique sélectionnée, le message envoyé contient diverses informations (texte et image de l'événement, lien internet pour obtenir plus d'informations, flux RSS, sites et réseaux sociaux qui relatent l'événement, etc.). Les usagers reçoivent l'alerte même si le téléphone est en veille et la sonnerie s'intensifie jusqu'au retour d'un accusé de réception (pour signifier que le message a bien été lu). L'administrateur peut connaître le nombre de personnes détentrices de l'application dans la zone d'alerte, et ainsi quantifier le pourcentage d'usagers qui ont bien validé la réception de l'alerte.

Basée sur les principes de la loi de Modernisation de la Sécurité Civile de 2004, l'application *MyPredictServices*® (mise en ligne en 2015 dans sa version 1.1.) fonctionne en flux descendant, et sous couvert d'un abonnement annuel de 2€ HT. L'information transmise aux usagers est graduée selon les différents cycles de la prévention (anticipation, retour d'expérience et/ou information) et elle explique la nature des comportements attendus. Cette application a pour but de guider les actions des utilisateurs et de les inviter à aller chercher une information complémentaire. Le comportement attendu des individus se fonde sur les recommandations indiquées dans les *Plans Familiaux de Mise en Sureté* (PFMS). Une fois le message d'alerte reçu, l'utilisateur peut aussi évaluer son exposition par rapport à l'aléa en cours (niveaux d'eau, vitesses d'écoulement). L'expertise métier est ensuite apportée par des ingénieurs, qui sont d'astreinte 24h/24 et 7j/7, analysant diverses données hydrométéorologiques comme les radars pluviométriques de Météo France, les données maritimes de l'Institut de la Mer, ou les impacts de foudre de *Météorage* par exemple… Les enjeux présents sur les territoires ciblés sont aussi utilisés pour déterminer les dégâts face à l'événement prévu, mais cette information est réservée aux autorités pour ne pas doublonner les alertes qu'ils vont diffuser à destination de la population.

D'autres solutions résultent de partenariats public-privé. *MyPublicAlert*® (créée par la société *Deveryware*) et l'application *Notico*®, mise en ligne en 2014, sont par exemple les deux livrables d'un projet européen (ISAR+ FP7SEC2012-1). Elles répondent à trois objectifs : faciliter le dialogue entre les autorités et le grand public, fédérer dans une approche partagée les compétences des autorités, l'ingénierie technique et les interactions avec les individus, et fournir une application pluri-usages.

D'autres applications ont été mises en œuvre dans des structures publiques. La ville de Nice (Alpes-Maritimes) a par exemple déployé son application (*Risques Nice*®) en 2013. Elle s'inscrit dans une politique globale de gestion des risques, et elle émane d'un choix politique assumé par le maire de l'époque. Le but était de faire converger la sécurité, les risques (environnementaux) et la résilience autour d'une solution globale. Cette stratégie, qualifiée « d'hyper-vision » par l'équipe en charge du projet, a été déployée en lien avec d'autres risques (notamment lié à un attentat) depuis 2016. Des capteurs (distribués dans la ville) permettent d'authentifier une information émanant d'un habitant, et les messages sont diffusés en fonction d'un secteur géographique choisi par le maire. Compte tenu de la quantité importante des données remontées via l'application, une nouvelle application a même été créée pour traiter spécifiquement les désordres (« Service bleu »). Suite à l'attentat de juillet 2016, une connexion entre tous les services de secours a été mise en place. De son côté, la ville de Nîmes n'a pas créé sa propre application, mais elle fait appel à une notification *push* qui utilise les applications préexistantes sur les téléphones pour informer les administrés d'une vigilance en cours ou d'un niveau d'alerte atteints sur les cadereaux. Cette technologie permet de recevoir une information sans en être à l'initiative. La ville de Nîmes a défini sa propre échelle de vigilance (de 0 à 4), en lien avec le SDAL ESPADA, et les couleurs utilisées diffèrent du site www.vigicrues.fr pour éviter toute confusion.

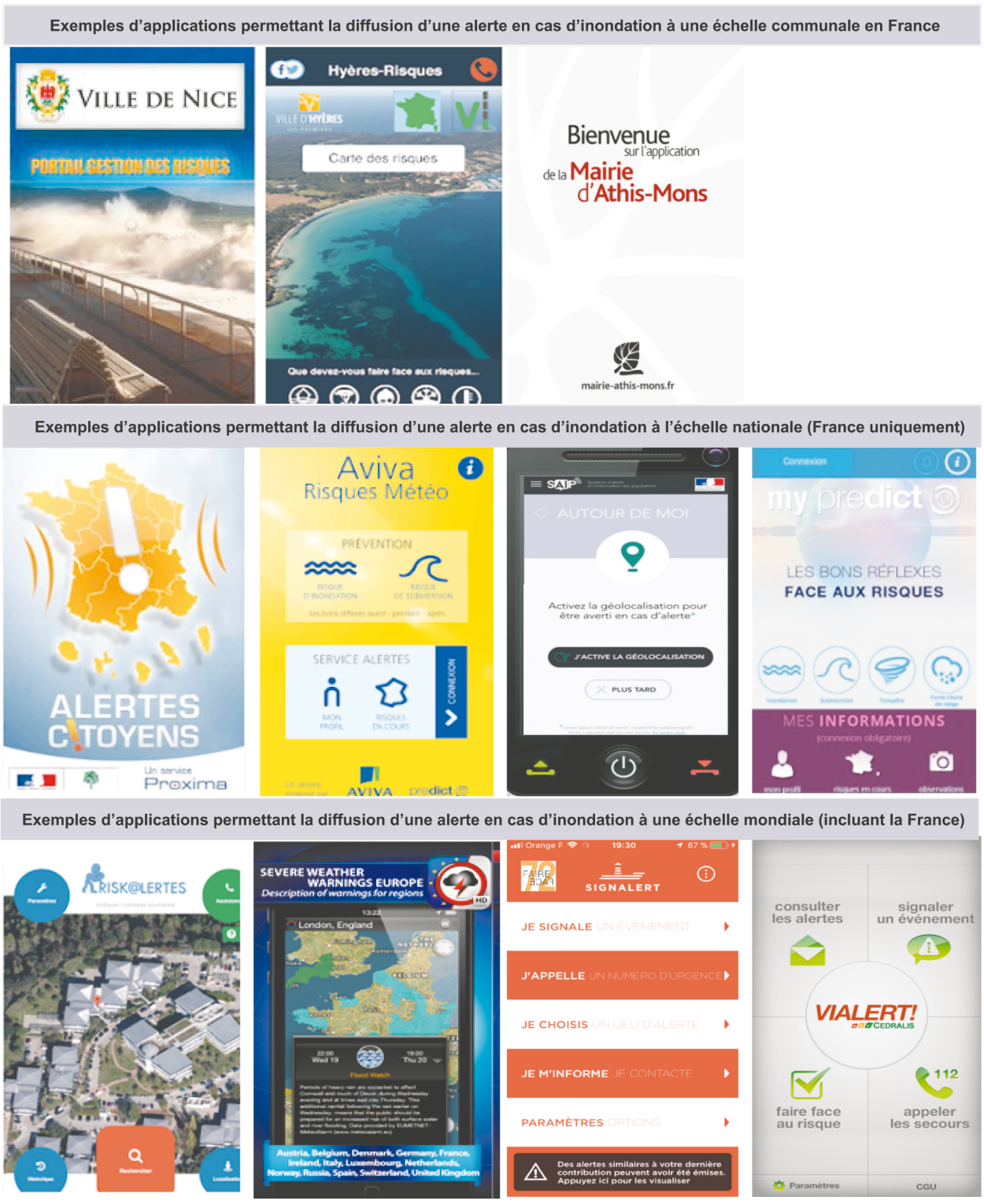


Figure 5.1. Interface de plusieurs applications smartphone, permettant d'émettre ou de recevoir une alerte en cas d'inondation, et dont le déploiement était effectif en France en mars 2018

De son côté, le ministère de l'Intérieur a lancé le 8 juin 2016 l'application *SAIP*®. Cette solution a été développée par la société *Deveryware*©, mais le déclenchement restait à l'initiative exclusive du ministère de l'intérieur et du COGIC. Dès à présent, on peut regretter que l'application porte le même nom que le projet d'harmonisation des sirènes auquel elle se réfère, car cela peut prêter à confusion. D'abord pensée dans une logique anti-attentat, SAIP® devait permettre d'être alerté de façon « rapide et efficace », avec un code couleur rouge (comme indiqué sur l'affiche de communication diffusée par

le ministère). A partir de juin 2018, la nouvelle version de l'application devait permettre de recevoir des messages différenciés en fonction de la nature du danger (**exemple 1**). Les phénomènes couverts en 2016 (attentat, nucléaire, produits dangereux, rupture d'ouvrage hydraulique) devaient être élargis à 7 autres aléas (crue rapide, feux de forêt, intempérie, submersion marine, cyclone, séisme et éruption volcanique). L'alerte était émise en fonction de la géolocalisation ou jusqu'à 8 zones préalablement définies par l'utilisateur, avec l'icône « Suivre un lieu ». En cas d'alerte, cet utilisateur était informé sur la nature de l'évènement (« Je m'informe ») et sur les comportements à adopter (« Comment agir »). Il était convié à confirmer la bonne réception et sa compréhension du message, en cliquant sur l'icône « J'ai compris ». Le mode de déclenchement devait aussi être enrichi en juin 2018, avec la possibilité d'établir des points de situation par les autorités à destination des utilisateurs concernés, et d'envoyer des messages complémentaires entre le déclenchement et la fin de l'alerte (§ 4.4.1). Le ministère de l'intérieur avait également pour ambition de positionner cette application comme outil de prévention, mais l'audit rendu le 29 mai et publié le 1er juin 2018, a finalement conduit à l'abandon de cette solution. Les écueils survenus le 14 juillet 2016 à Nice (avec un message qui est arrivé sur les smartphones à 00h33 alors que l'acte terroriste avait débuté à 22h la veille), l'absence d'utilisation de SAIP® lors des actes terroristes de 2017 survenus sur le territoire national, ou la fragilité de la procédure (le directeur du COGIC ou le ministre sont les seuls habilités à autoriser le déclenchement) sont autant d'éléments qui ont conduit le ministère à prendre une telle décision.

EXEMPLE 1. Dans la nouvelle version de SAIP®, le ministère de l'intérieur aurait pu envoyer un message d'alerte en cas de crues rapides, avec la mention ORSEC INONDATION RAPIDE. Les consignes auraient été diffusées dans un format unifié sur l'ensemble du territoire national : « Rejoignez immédiatement un point haut, si possible un étage élevé ; Coupez l'électricité ; N'utilisez pas votre voiture ; N'allez pas chercher vos enfants ; Pour vous informer, restez à l'écoute des autorités ; N'encombrez pas les réseaux téléphoniques ; Appelez uniquement vos proches ; N'évacuez que sur ordre des autorités ». Chaque consigne aurait aussi pu faire l'objet de compléments (exemple : pour l'item « N'utilisez pas votre voiture », l'utilisateur aurait pu avoir le message suivant : « N'utilisez pas votre voiture, ne revenez jamais en arrière chercher un objet oublié, et évitez les sous-sols »). Mais ce projet annoncé en juin 2016 a finalement pris fin 2 ans plus tard, lors du rapport d'audit publié le 1er juin 2018.

5.1.2. Traits communs et critères de différenciation des applications

Outre leur interface, les applications recensées (t**ableau 5.1**) peuvent vite s'opposer sur un certain nombre de paramètres. Les applications diffèrent tout d'abord en fonction du mode de diffusion. On peut ainsi opposer les applications à but consultatif (elles permettent à l'utilisateur de localiser les alertes et d'avoir accès à des consignes liées à un danger, comme SAIP® par exemple), fonctionnant uniquement dans une logique descendante, ou *« top-down »* (**figure 5.2**.), à celles qui ont un objectif participatif (l'utilisateur peut transmettre une alerte et/ou en être averti grâce aux autres usagers). Ces secondes applications peuvent faciliter les interactions verticales (vers les autorités) ou horizontales (entre les individus, en suivant le mode « pair-à-pair »). Elles donnent en tous cas un rôle à jouer aux individus, qui peuvent être à l'origine même d'un signal faible ; c'est le cas par exemple de l'application de la ville de Nice, qui a créé un système expert permettant la collecte (dans une base de données de référence), le traitement (par les centres de décision) et l'envoi de messages.

Les applications diffèrent aussi selon le système d'exploitation : la plupart sont développées sur les deux principaux systèmes d'exploitation (*iOS* et *Androïd*), dont *Androïd* qui regroupe plus de 81% des applications mondiales (Kouadio, 2016). La taille de l'espace mémoire est variable, même si elle garantit dans tous les cas un stockage élevé des données. Les centres de décision sont uniques (autorités ou utilisateurs seulement) ou multiples. Certaines font par ailleurs appel à une proactivité applicable (l'utilisateur est obligé d'ouvrir l'application pour savoir si une alerte est en cours) et d'autres ont une proactivité systématique (l'application peut déclencher l'alerte à partir du moment où certains seuils ont été dépassés au niveau de capteurs remontant une information automatique). On remarque également que plusieurs applications doivent être préinstallées sur les smartphones pour fonctionner (elles dépendent dans ce cas de l'état du réseau internet), alors que d'autres envoient des notifications *push* ou utilisent le mode *safe-secure* (elles ne dépendent donc pas de la batterie). Les données GPS

sont parfois associées à une cartographie intégrée, qui indique la position de l'utilisateur, sauf quand l'utilisateur a refusé l'accès à la géolocalisation (comme l'impose désormais le RGDP de mars 2018), et des photographies peuvent être jointes par l'utilisateur lorsqu'il transmet un message.

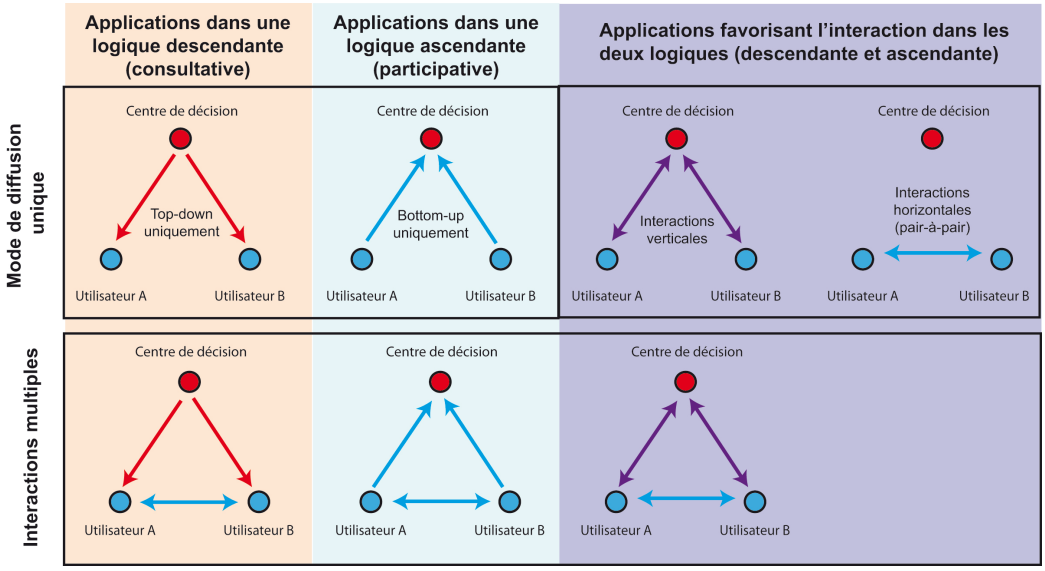


Figure 5.2. Distinction des applications selon le mode de diffusion

Nom de l'application	Nom du développeur	Système d'exploitation	Mode de diffusion	Espace couvert	Taille	Prix	Messages diffusés	Liens carto	Dépendance à Internet	Privé ou public	Centre de décisions
Alert EU	Elecont LLC	iOS	Consultative	Europe	23,9 Mo	Gratuit	SMS / Mail	Oui	Oui	Privé	Autorités seulement
Alerte Citoyens	SAS Oltys	iOS / Androïd	Consultative	France	8,7 Mo	Gratuit	SMS / Mail	Oui	Non	Privé	Autorités seulement
Alertes Citoyens	Ministère	Androïd	Participative	France		Gratuit	Push	Oui	Oui	Public	Autorités seulement
Disaster Alert	PDC	iOS / Androïd	Consultative	Monde	15,1 Mo	Gratuit	Push	Oui	Oui	Privé	Utilisateurs / autorités
Hyères-Risques	ISN Hyères	iOS / Androïd	Consultative	Ville	31,7 Mo	Gratuit	Push	Oui	Oui	Public	Autorités seulement
Inondations et catastrophes	Steff	Androïd	Consultative	Monde		Gratuit	Push	Oui	Oui	Privé	Autorités seulement
MyPredict	Predict Services	iOS / Androïd	Consultative	Monde	3,7 Mo	Variable	Push	Oui	Oui	Privé	Utilisateurs / autorités
Notico	Deveryware	iOS / Androïd	Consultative	France	34,1 Mo	Gratuit	Push	Oui	Oui	Privé	Utilisateurs / autorités
Risques Nice	Ville de Nice	iOS / Androïd	Participative	Ville	6 Mo	Gratuit	SMS / Mail	Oui	Non	Public	Utilisateurs / autorités
Signalert	Signalert Sarl.	iOS / A. / WP	Participative	Monde	20,7 Mo	Variable	SMS / Mail	Oui	Oui	Privé	Utilisateurs / autorités
SAIP	Deveryware	iOS / Androïd	Consultative	France	38,3 Mo	Gratuit	Push	Non	Oui	Public	Autorités seulement
Vialert!	CEDRALIS	iOS / Androïd	Participative	Monde	6,9 Mo	Gratuit	Push	Oui	Oui	Les deux	Utilisateurs

Tableau 5.1. Différences entre 12 applications smartphones déployées en France (mars 2018)

L'espace couvert par les applications est également un autre point de différence. Certaines applications permettent de collecter et/ou d'envoyer des alertes uniquement à une échelle communale (Nice, Nîmes ou Athis-Mons). D'autres couvrent exclusivement la France métropolitaine (*SAIP*, *Alerte Citoyen* ou *Predict*), ou sont disponibles en France mais aussi à des échelles plus petites : en Europe (*Alerte EU*) ou à l'échelle du monde (*Signalert* ou *Notico.)* La couverture spatiale des solutions répond en réalité à des besoins différents : à titre d'exemple, on peut opposer l'application *River and Stream Pro©* (qui couvre plus de 9 000 rivières composant le réseau hydrographique des États Unis) à celle la ville de Nice (qui assure une vigilance hydrologique sur quatre rivières seulement). Aux échelles locales, les applications résultent d'initiatives politiques qui émanent de communautés de communes ou de villes ayant décidé d'inclure ces outils dans leur politique intégrée de prévention des risques. Développer de telles solutions à échelle fine nécessite aussi la mobilisation de moyens (techniques, humains, matériels et budgétaires), et des autorisations spéciales (en lien avec la vidéosurveillance et la RGPD notamment). Ces applications ne sont plus fonctionnelles en dehors des limites couvertes, contrairement aux applications créées à l'échelle nationale ou internationale. Toutefois, ces dernières apparaissent épurées dans leur interface et elles concourent plutôt à diffuser une information générale sur les risques pour inciter à tel ou tel comportement, sans aucune spécification par rapport de l'échelle d'apparition des phénomènes en jeu (Lindsay, 2011).

Seul point commun : toutes les applications étudiées sont multirisques, et aucune ne porte de manière exclusive sur les inondations ou sur les crues rapides. Ce constat peut s'expliquer par des lacunes encore existantes sur le mode de fonctionnement de ces crues et sur la difficile précision des pluies intenses (Douvinet *et al.,* 2017) : alerter nécessite d'avoir un minimum de certitudes sur le lieu d'apparition du phénomène et l'intensité des pluies n'est pas un indicateur satisfaisant (Braud *et al.,* 2012 ; Le Coz *et al.,* 2016). Toutefois, ce premier argument n'est pas justifié car plusieurs cours d'eau sensibles aux crues rapides sont considérés dans des applications spécifiques créées dans d'autres pays (*FloodWatch*® aux Etats-Unis par exemple, avec des stations hydrométriques qui envoient des relevés en pseudo-temps réel dans un système de prévision élargi). Un second argument nous amène plutôt à penser que les applications sont multirisques pour garantir un nombre de téléchargements suffisamment élevé et pour couvrir une pluralité de phénomènes sur lesquels les concepteurs peuvent déployer leur stratégie de communication en fonction de l'actualité. Il suffit d'illustrer ce propos en analysant une campagne de communication établie sur l'application *Signalert*® (**exemple 2**) : un communiqué de presse publié en juillet 2015 présente cette application comme « nouvelle et innovante » (alors que la première version date de 2013), et l'article insiste sur la possibilité de signaler les incendies de forêts suite aux épisodes estivaux survenus un mois plus tôt en région PACA.

EXEMPLE 2. Les contributions des utilisateurs de l'application *Signalert*® alimentent un système de détection et d'analyse des incendies et ces données augmentent la capacité des services départementaux à mesurer leurs effets en temps réel. Chaque donnée d'alerte arrivée au serveur peut être visualisée ou exportée immédiatement vers les opérateurs en charge de la prévention et de la lutte contre les feux de forêt. Les réponses aux questions structurées en niveau d'intensité révèlent localement ce que perçoivent les citoyens de l'intensité et/ou de la gravité de l'incendie de forêt en cours, dont ils sont témoins ou victimes. Les informations sont conservées et le développement d'un ou de plusieurs feux peut être analysé à froid, puis comparé à d'autres informations sur le déroulement d'une crise. L'application contient aussi des outils pour mieux faire face à un évènement imprévu, comme des conseils de comportement face aux situations dangereuses, des liens vers les sites web du monde entier dédiés à la surveillance de chaque type de phénomène naturel.

5.2. Des bénéfices attendus considérables

En supposant que les réseaux de télécommunication ne soient ni saturés, ni perturbés ou ni coupés, les smartphones sont d'une utilité de plus en plus reconnue dans les trois cycles inhérents à la gestion des risques. Des actions d'anticipation peuvent être prises dans le cycle de la prévention, en vue de réduire ou d'éliminer les impacts probables sur les personnes et les biens avant qu'une crise soit avérée (Boyd et Ellison, 2007), ou pour venir renforcer la capacité des communautés locales à faire leur propre choix avant la survenue du phénomène (Ikeda *et al.,* 2008 ; Yuze *et al.,* 2013). Les smartphones peuvent aussi soutenir des actions de reconstruction : les acteurs du monde humanitaire ont d'ailleurs été les premiers (à partir de 2008) à utiliser les applications smartphones (*Ushaidhi, Geo-loc-112, HumanLife, Croix Rouge*) pour permettre à leurs personnels de faire des points de situation rapides et des évaluations sur l'étendue des dommages quelques heures après la catastrophe. Leurs bénéfices sont aussi considérables durant une alerte, et cette section est l'occasion de les mettre en avant, en choisissant notamment divers retours d'expérience menés suite à des inondations qui sont survenues en France au cours des dernières années.

5.2.1. Détecter plus rapidement les situations d'urgence

Les applications ascendantes peuvent d'abord servir à détecter plus vite les signaux faibles (qui englobent l'ensemble des signes annonciateurs d'une catastrophe qui, même visibles, resteront ignorés) observés à des échelles locales (Palen et Liu*.,* 2007 ; Yang *et al.,* 2009 ; Kook *et al.,* 2010), d'autant plus quand les zones concernées ne reçoivent pas d'alertes à cause du coût qu'implique la construction de réseaux scientifiques de surveillance. Des informations de différente nature (vidéos, photos...) peuvent remonter vers des centres de décision (Fienen et Lowry*,* 2012), et chaque individu devient alors un lanceur d'alerte sur des aléas qui se produisent à proximité de son lieu de vie ou de travail. Grâce à leur caractère « pervasif », les smartphones peuvent servir dans un grand nombre de

situations (Palmer *et al,* 2012) et à chaque nouvelle version, ces terminaux sont équipés d'un nombre de capteurs qui ne cessent d'augmenter (Kouadio et Douvinet, 2016). Dans le temps de la crise, les personnes impactées vont demander du secours ou rassurer leurs proches, mais aussi fournir des informations qui sont relayées par ceux qui se situent en périphérie de l'événement et qui seront alors détectés par les acteurs décisionnaires situés à distance (Vieweg *et al.,* 2010). Aussi, plus les données seront analysées rapidement, plus vite les institutions pourront coordonner leurs actions de terrain, et plus vite sera relayée l'alerte vers un nombre élevé d'individus (**exemple 3**).

EXEMPLE 3. L'application gratuite *Zello*® se présente comme une version moderne du « talkie-walkie ». Elle a été créée en 2011 à Austin, au Texas, pour permettre à de nombreuses personnes de discuter ensemble en direct, à la manière des *Citizen Bands*. Il faut pour l'utiliser se connecter à des chaînes thématiques (sélection de mot) et n'importe qui peut, tour à tour, prendre la parole en quelques secondes. Alors que l'application n'avait pas été fortement sollicitée jusqu'à maintenant, elle a connu un franc succès lors du passage de l'ouragan Harvey à Houston, puis d'Irma dans les Antilles françaises, avec près de 7 000 téléchargements par minute et plus d'1 million de nouveaux abonnés lors de la journée du mercredi 7 septembre 2017. L'application a des limites : elle nécessite une connexion Internet et est très consommatrice en termes de batterie. Toutefois, elle a permis à de nombreuses personnes d'avoir des informations sur l'arrivée imminente de l'ouragan, et la plupart des messages suggérant l'évacuation immédiate ont d'ailleurs été émis en dehors de la zone impactée (Floride et Porto Rico).

5.2.2. Etre mieux informé sur l'origine et la nature d'une alerte

Les premiers réflexes des personnes qui reçoivent un message d'alerte sur leur smartphone (qu'ils soient situés près de l'événement ou à distance) consistent à s'informer et à aller chercher des informations complémentaires sur le danger en cours (Barr *et al.,* 2015 ; Whitakker *et al.,* 2015). Aux États-Unis, les smartphones sont d'ailleurs devenus la première source d'information des individus en cas d'alerte (Bean *et al*., 2015). Le signal délivré est associé à un message qui peut (ou doit) contenir des indications sur la nature de l'aléa, sa localisation et son l'heure d'apparition, la source émettrice du message et les consignes formulées à destination des individus (**figure 5.3.**). Le message doit être clair, spécifique, rapide à lire, certain et percutant (Mileti et Sorensen, 1990). Dans tous les cas, le fait d'alerter *via* des applications smartphones est bien plus explicite que l'alarme des sirènes, et la rapidité de diffusion (à condition de ne pas avoir de problèmes sur les réseaux) est identique.

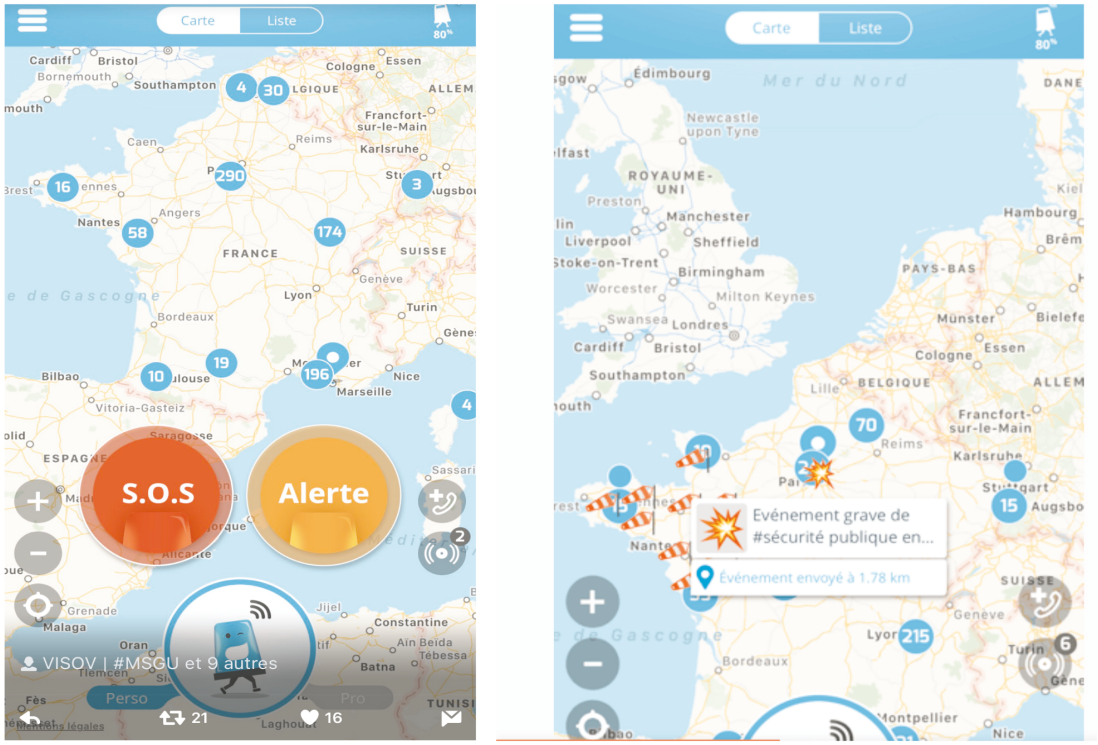


Figure 5.3. Exemples de messages d'alerte reçus sur l'application *Qwidam*®

5.2.3. Accroître les compétences comportementales individuelles

Connaître les comportements à adopter en cas de crise ne veut toutefois pas dire que l'on va les appliquer en cas de danger réel, et ce constat est notamment avéré lorsque des risques difficiles à anticiper tels que les crues rapides surviennent (Becerra *et al.*, 2012 ; Gisclard *et al.*, 2017). L'éveil psychologique associé à la peur empêche le traitement approfondi de l'information en cas d'urgence (Wilson, 2006). Mais en recevant un message d'alerte sur leurs téléphones, les individus peuvent se sentir plus en sécurité (surtout si le message est envoyé par les autorités), et cela limite leur isolement et les incertitudes associées à une situation qu'ils ne comprennent pas (**exemple 4**). Les applications peuvent aussi aider les individus dans leurs prises de décision et c'est tout le sens des messages qui sont inclus par défaut dans la plupart des applications. Elles cherchent en particulier à réduire certains biais cognitifs et perceptifs, notamment le sentiment d'invulnérabilité (il ne peut rien nous arriver), ou l'optimisme comparatif (qui revient à croire que les événements positifs vont probablement nous arriver plus qu'ils ne vont arriver aux autres et qu'inversement les événements négatifs vont plus arriver aux autres qu'à nous). *In fine*, grâce aux applications smartphone, on espère améliorer les motivations et les perceptions individuelles, qui dépendent d'une époque, d'une culture mais aussi des interactions sociales (Douglas et Mildavski, 1992 ; Slovij, 2004). C'est donc par le poids des liens sociaux que les individus pourraient avoir des comportements plus appropriés, alors même qu'on oppose, trop souvent et de manière simpliste, les « bons » aux « mauvais » comportements (Gisclard, 2017).

EXEMPLE 4. Le message d'alerte envoyé par l'application SAIP® affichait un écran rouge sur le smartphone quand l'utilisateur était à proximité directe d'une crise en cours (à condition toutefois qu'il ait bien téléchargé l'application en amont). La solution n'émettait ni son ni vibration, et les messages explicitaient la situation en cours. La solution a été fonctionnelle de juin 2016 à juin 2018 et au cours de cette période, 4 alertes ont été déclenchées (pour 85 activations de la cellule de crise).

5.2.4. Faire émerger de nouvelles pratiques sociales

Les smartphones autorisent aussi de nouvelles pratiques sociales, brouillant la séparation des sphères privée et publique, et rendant l'individu plus à même d'interagir avec son environnement social. Ces solutions encouragent et accompagnent les mobilités individuelles (Fen-Chong, 2012), et légitiment les demandes de la part de la population en matière d'applications urgentistes : alors qu'auparavant, les fabricants contrôlaient le contenu et le contenant des applications, les utilisateurs sont désormais en capacité de produire de nouveaux contenus, grâce à des interfaces plus intuitives et plus ergonomiques, et surtout grâce à une stratégie marketing efficace (Kouadio, 2016). Plusieurs auteurs (Ikeda *et al.,* 2008 ; Fienen et Lowry, 2012 ; Prpic *et al.*, 2015) montrent par ailleurs à quel point les applications utilisées durant l'alerte participent à la création d'une intelligence collective. De très nombreux projets comme *WeSensIt*® (**exemple 5**) en Europe (Laurila *et al.*, 2013), RAVEN© aux Philippines (**exemple 6**), ou *Agora*® au Brésil (Horita *et al.,* 2013), cherchent à maintenir une vigilance permanente entre tous les acteurs, et à intégrer le *crowdsourcing* dans la planification et la prise de décision en urgence. D'autres chercheurs développent par ailleurs des outils d'alerte à destination de personnes situées en dehors de leur maison mais où un risque d'inondation est confirmé : il s'agit par exemple des dispositifs *HouseAway ou Ogose*, qui alertent les propriétaires ou les locataires à l'aide de capteurs situés dans des zones sensibles à l'accumulation ou à la montée du niveau d'eau.

EXEMPLE 5. Issu d'un projet européen, l'application *WeSensIt*® a été créée pour « donner du sens » à la donnée, qui provient de capteurs passifs et actifs. La collecte passive se fait en deux étapes : 1) implantation de jauges graduées dans les cours d'eau pour une lecture visuelle des hauteurs atteintes ; 2) utilisation de l'application smartphone pour renseigner et transmettre ce niveau en scannant un QR-code situé sur la jauge. Ce QR-code contient des informations de description et la localisation de la jauge. De son côté, la collecte active se fait à l'aide de jauges numériques autonomes dédiées et de haute précision, qui transmettent les données via le réseau cellulaire, qui sont gérées par les autorités et installées à des endroits précis, et à l'aide de capteurs bon marché, conçus spécialement pour les besoins du projet à partir d'un dispositif appelé Respberry® Pi44. Ce dispositif est utilisé par les individus qui souhaitent contribuer au projet mais sans se servir de l'application.

EXEMPLE 6. Dans le cadre du projet RAVEN® (Palen et Liu, 2007), des applications ont été expérimentées auprès d'usagers au cours d'une alerte pour évaluer la pertinence de la collecte de données en situation d'urgence, avec une interface utilisateur plus intuitive et simple d'utilisation (par rapport aux standards classiques), sur une plateforme *Androïd*. Les utilisateurs peuvent créer une application de façon collaborative en quelques minutes, puis aider à identifier les zones dévastées, ou anticiper les premières actions d'urgence à mettre en place.

5.3. Un potentiel à ne pas surévaluer

Si les bénéfices des applications smartphone sont potentiellement nombreux, ces solutions présentent toutefois un certain nombre de limites techniques (l'utilisation libre et gratuite des données de géolocalisation par exemple), dont certaines sont très contestées (dépendance au réseau Internet ou aux réseaux de télécommunications), et les autorités restent encore peu enclines à leur usage.

5.3.1. Les données de géolocalisation : un usage controversé

Les technologies smartphone souffrent de divers problèmes de sécurisation (Xing *et al.,* 2014 ; Kouadio, 2016), qui posent tout d'abord la question de l'utilisation des données de géolocalisation en France. La protection des individus à l'égard de l'utilisation et du traitement de ces données est régie par les lois 2004-669 (du 9 juillet 2004) et 2004-801/182 (du 6 août 2004). Elle a surtout été renforcée par le *Règlement Général sur la Protection des Données* (RGPD), voté le 8 mars 2018 par l'Assemblée Nationale, et qui impose aux exploitants un consentement « tacite et explicite » des utilisateurs et des contrôles sur l'usage des documents déposés sur Internet. Pour éviter que des individus non autorisés n'accèdent aux données de géolocalisation, il est aussi obligatoire de prendre des mesures de sécurité (accès à un site avec un identifiant et un mot de passe), en respectant les normes 51 et 55 de la CNIL. Cet usage est aussi protégé par un ensemble de lois relevant du droit pénal en France (par exemple, dans l'article 226-1 et les suivants qui encadrent la protection de la vie privée, l'article 226-16, relatif aux droits des personnes résultant de traitements informatiques, ou la loi du 6 janvier 1978).

Lorsque les utilisateurs ont autorisé l'accès aux données de géolocalisation, ils peuvent suivre les traces émises par les capteurs inclus dans leur téléphone mobile (ex: *Runkeeper, Locationhistory, Killwitch* (Fen-Chong, 2012), et les concepteurs des applications peuvent dès lors utiliser ces données pour diffuser une alerte. Mais l'usage de ces données peut également se faire sans l'accord explicite de ces utilisateurs (**exemple 7**). Une fois traitées, les données de géolocalisation sont de véritables mines d'information dont les prestataires n'hésitent pas à se servir. Les données sont recueillies *« sur qui nous sommes, ce que nous savons, où nous avons été et où nous avons envie d'aller »* (Kouadio, 2016). La quantité et le type des données collectées sont alors diversifiés : nos profils, nos dossiers médicaux, nos déplacements, nos recherches effectuées sur les sites Web, nos goûts et dégoûts, nos tweets, nos courriels, nos photos et vidéos (etc.) peuvent vite se retrouver sur la toile. Et cette liste ne cesse de s'accroître. Alors qu'au niveau des empreintes digitales, il faut douze points pour identifier une personne (sans aucune équivoque), quatre données spatiotemporelles suffisent désormais pour nous distinguer dans la foule (Montjoye *et al.*, 2013). Aussi, ces données peuvent-elles être partagées en toute sécurité ? Sous quelle forme et vers qui ? Dans quelle mesure pouvons-nous développer un cadre approprié pour protéger la vie privée, et comment empêcher leur utilisation « abusive » ? Ces questions ont obtenu certaines réponses dans la mise en place de la RGPD depuis mars 2018, mais elles peuvent amener, de façon légitime, à ne pas concevoir des applications et à ne pas inciter les citoyens à participer à un système d'alerte, soi-disant ouvert et volontariste.

EXEMPLE 7. Une enquête de la *Commission Nationale de l'Informatique et des libertés* démontre que la majorité des applications accèdent en permanence (ou dès qu'elles en ont l'occasion) à la mémoire interne, à la liste de contacts, aux données GPS…, tout en transmettant ces informations via Internet (CNIL, 2014). Des chercheurs ont aussi montré que la société *Apple*© enregistrait (à leur insu) la localisation des détenteurs d'un smartphone grâce à un système de triangulation via les points d'accès Wifi et les antennes relais (Fen-Chong, 2012). Ces données sont téléchargées dans un fichier secret lors de la mise à jour du logiciel…

5.3.2. Des applications tributaires de l'état du réseau Internet

Étant donné que toutes les applications dépendent du réseau internet pour être fonctionnelles (**tableau 5.1**), leur utilité peut être sujette à caution quand la vitesse de connexion est faible. Même si les opérateurs estiment assurer une couverture cellulaire totale, force est de constater que celle-ci reste partielle dans certains territoires : les cartographies disponibles sur le site de l'ARCEP (2018) montrent que la connexion 2G couvre 97% de la population en France (87% pour la 3G) mais moins d'un tiers de la population a réellement accès à une connexion 4G. La qualité de la connexion reste un problème à l'échelle des communes rurales (**figure 5.4.),** et cela entraîne une plus forte défiance vis-à-vis de l'utilité des applications (**exemple 8**), sans oublier que les individus n'ont pas tous une bonne maîtrise d'Internet à cause de leur âge, de leur culture et/ou du niveau d'éducation (Agence du numérique, 2017). Il faut d'ailleurs éviter d'opposer, ou de fustiger, les *« non connectés et les exclus de l'architecture de données en réseau »* (Cardon, 2015) à tous les autres. Rappelons ainsi que plus de 10 millions de personnes n'utilisent pas internet (en mai 2018) en France ; ce chiffre atteint 20,9% à l'échelle européenne, et il s'élève même à 53% dans le monde (selon les chiffres de l'ICT, 2016).

EXEMPLE 8. Des questionnaires menés dans 4 communes rurales du Vaucluse (Mérindol, Ménerbes, Saint-Didier et Sablet) en 2016 (673 questionnaires collectés) confirment que 73 % des interrogés ont bien un smartphone (ce qui plus élevée que la moyenne nationale, qui était de 62 %). Mais beaucoup (45% à Mérindol, 25% à Sablet) estiment ne pas avoir accès à la 4G en continu, et 14% déclarent se connecter une fois par jour sur internet (contre 49% à l'échelle nationale). Les personnes ayant plus de 50 ans déclarent ne pas avoir une bonne maîtrise d'Internet (174 personnes sur 208) et elles estiment à 82% que les abonnements (5 €/mois en moyenne pour *Sosh*© ; 25 € pour un smartphone donnant accès à la 4G) ne servent à rien sur leur commune.

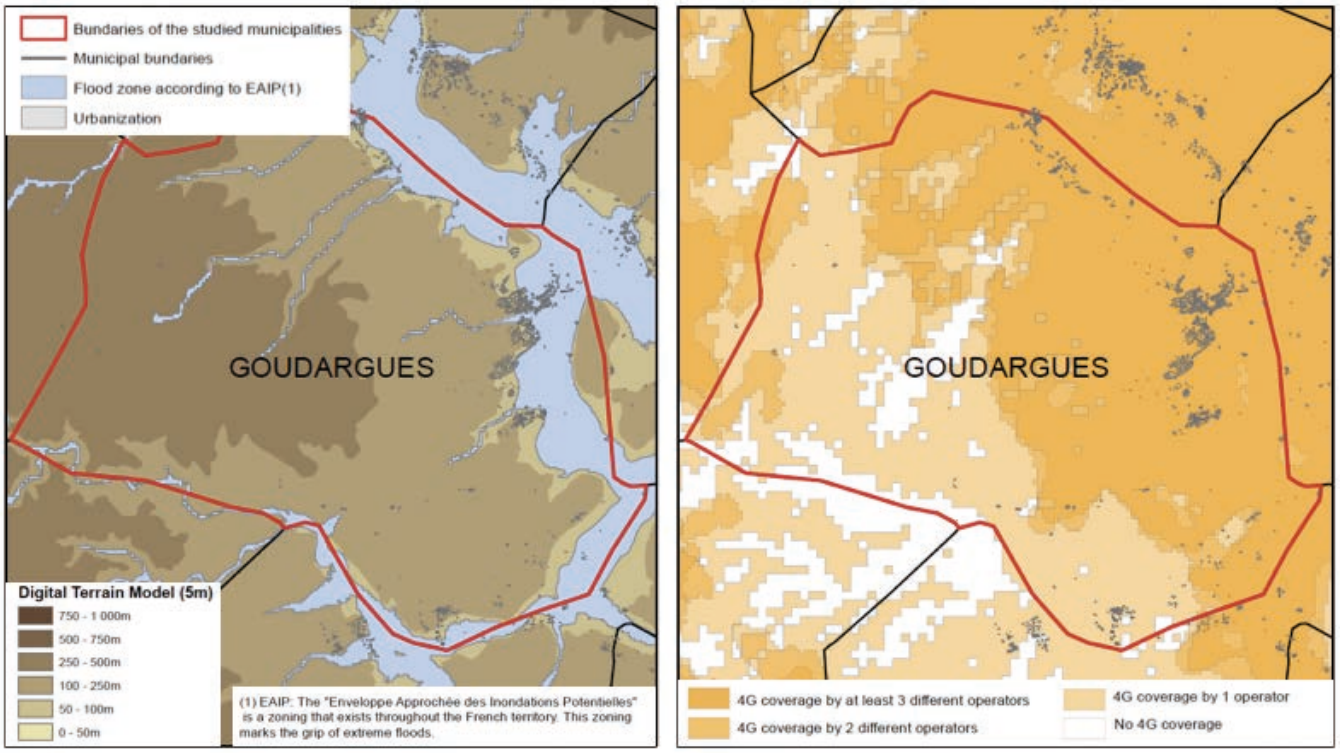


Figure 5.4. Couverture cellulaire à l'échelle d'une commune rurale où la population est exposée à une crue rapide : l'exemple de Goudargues, Gard (d'après les données de l'ARCEP ; Bopp et Douvinet, 2018)

Plusieurs études ont par ailleurs montré que les réseaux électriques pouvaient être coupés à cause des catastrophes naturelles, notamment en cas de tremblements de terre (Chen et Chan, 2010, Ning *et al.,* 2011 ; Kitamura *et al.,* 2017), d'inondations (Lhomme, 2017), de submersions marines (Yin *et al.,* 2012), d'ouragans (Strerbenz *et al.,* 2010), voire en cas de tempêtes de neige (Kudzys, 2006). Ces coupures sont plus rarement observées en cas de crues rapides localisées, car elles peuvent être

contournées si la crise a été anticipée et si l'alerte a été déclenchée suffisamment tôt (MEDDE, 2012). Néanmoins, quand elles se produisent comme au cours des inondations survenues dans la région de Draguignan le 15 juin 2010 (**exemple 9**), elles perturbent très fortement l'organisation des acteurs de secours. Pour des aléas touchant des surfaces importantes, et dont l'ampleur dépasse les prévisions dans des zones difficiles d'accès, les coupures électriques vont par ailleurs affecter la totalité des réseaux (communication, routes, alimentation en eau potable). En dépit du degré de sophistication de nos sociétés, cette vulnérabilité des réseaux revient alors pour les gestionnaires à être en mesure de déployer des dispositifs adaptés en fonction de la nature de la crise (Becerra *et al.,* 2013 ; Reghezza-Zitt, 2015 ; Grangeat, 2016). Cette dépendance mérite donc d'être considérée si on essaie de mesurer les potentialités des smartphones : sont-ils d'une réelle utilité, ou ont-ils un usage « incongru » ?

EXEMPLE 9. Durant les inondations survenues le 15 juin 2010 dans le Var, les sapeurs-pompiers ont dû intervenir (2 357 hélitreuillages entre 16h38 et 23h15) sur de nombreux secteurs (dans une zone de 35 km^2) alors que les transmissions étaient inexistantes : pas de téléphone filaire, pas de GSM, plus de radio analogique, et de rares SMS passaient de temps de temps (d'après le colonel E. Grohin, SDIS06). Autre exemple récent : le 3 octobre 2015, plus de 300 habitants sont restés injoignables pendant 2 heures (entre 22h et minuit), notamment dans le quartier du Hameau du Carimaï situé à Biot, et les sapeurs-pompiers ont eu connaissance des premiers décès dans cette zone à partir de minuit seulement (Préfecture des Alpes-Maritimes, 2016).

5.3.3. Des applications méconnues et peu téléchargées

Le nombre de téléchargements, le niveau de satisfaction ou les notes (entre 0 et 5) attribuées par les usagers sont des indicateurs (gratuitement disponibles sur les sites de téléchargement) qui ont été utilisés pour estimer la notoriété des applications smartphone. Le bilan réalisé sur les applications étudiées (**tableau 5.1.)** montre que ces solutions sont très faiblement téléchargées (**tableau 5.2.)** Si le nombre d'usagers est satisfaisant pour certaines (de 500 000 à 1 000 000 pour SAIP® ou *Disaster Alert*®), toutes les autres n'ont pas connu un franc succès (de 100 à 500 personnes ont l'application Risques de la ville de Nice, ville qui compte pourtant une population de 347 000 habitants en 2017 ; de 10000 à 50 000 pour *MyPredictServices*® qui est pourtant déployé à une échelle nationale…). Seul point positif : les utilisateurs sont globalement satisfaits de l'opérationnalité et de l'ergonomie de toutes ces solutions (même si ce chiffre ne veut rien dire quand on quantifie la fiabilité de la note).

Nom de l'application étudiée	Nombre de téléchargements (T)	Niveau de satisfaction (S)	Nombre de notes (N)	Fiabilité de la notation (N / T)	Nombre d'habitants potentiellement concernés (H)	Habitants potentiellement alertés (Tmax/H)
Alert EU	De 1 000 à 5 000	4,1 / 5	8	0,005	511 000 000	0,000%
Alerte Citoyens	De 50 à 100	4,9 / 5	3	0,030	67 000 000	0,000%
Alertes Citoyens	De 10 000 à 50 000	3,2 / 5	120	0,002	67 000 000	0,075%
Disaster Alert	De 500 000 à 1 million	4,1 / 5	4 119	0,004	7 500 000 000	0,013%
Hyères-Risques	De 1 000 à 5 000	4,2 / 5	6	0,001	55 000	4,545%
Inondations et catastrophes	De 10 000 à 50 000	4,1 / 5	122	0,002	7 500 000 000	0,001%
MyPredict	De 10 000 à 50 000	2,9 / 5	85	0,002	7 500 000 000	0,001%
Notico	De 500 à 1 000	4,4 / 5	11	0,011	67 000 000	0,001%
Risques Nice	De 100 à 500	3,2 / 5	5	0,010	347 000	0,144%
Signalert	De 1 000 à 5 000	3,7 / 5	25	0,005	7 500 000 000	0,000%
SAIP	De 500 000 à 1 million	3,3 / 5	2 449	0,002	67 000 000	1,493%
Vialert!	De 1 000 à 5 000	4,4 / 5	12	0,002	7 500 000 000	0,000%

Tableau 5.2. Indicateurs de succès de 12 applications utilisables en cas d'alerte en France

Ces données sont en revanche délicates à utiliser pour tirer d'autres enseignements. En effet, les utilisateurs peuvent avoir téléchargé l'application, puis l'avoir désinstallé aussi vite pour plusieurs raisons (gain de mémoire, désintérêt, aucune alerte reçue). Il faut alors dépasser une lecture simpliste de tous ces indicateurs pour aller vers une analyse plus fine des usages observés aux échelles locales. En poursuivant dans cette voie, nous avons créé dès 2014 un protocole d'enquête, que nous avons administré dans divers contextes géographiques et auprès de différentes catégories de population. Si

fragiles soient ces résultats (nous avons mélangé différentes expositions et différentes catégories de population), il est cependant intéressant de voir que sur 1 223 personnes interrogées dans 34 quartiers situés en zone inondable (et traversés par un cours d'eau intermittent potentiellement sujet aux crues rapides), 23% déclarent connaître une application smartphone développée pour être alerté en cas de risque inondation (**figure 5.5**.). A peine 3,2% arrivent ensuite à en donner le nom avec exactitude. Le manque de communication sur ces solutions, l'absence de tutoriel, ou encore le manque d'exercices impliquant ces outils sont autant d'éléments qui empêchent une vraie appropriation de ces innovations par les individus. Les inégalités relèvent plus des usages que de l'accès au numérique (Jauréguibérry, 2014), ce qu'Alexander (2014) appelle « l'illettrisme numérique ».

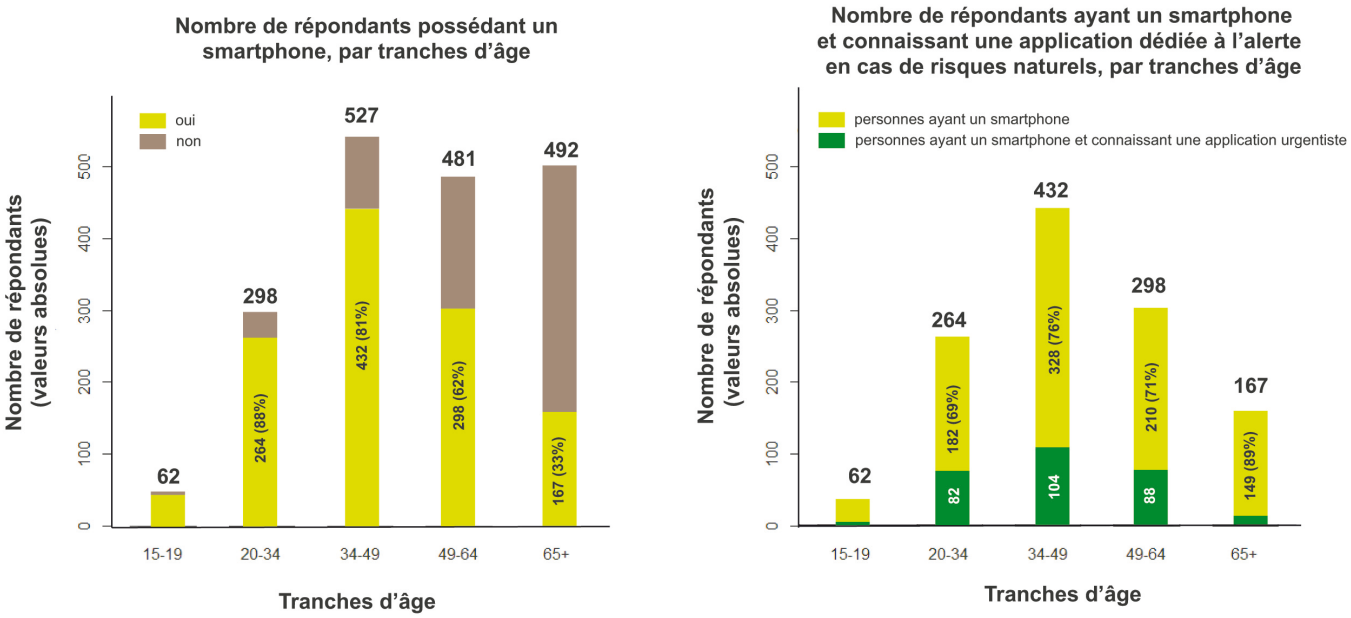


Figure 5.5. Taux de pénétration des smartphones (à gauche) et connaissance des applications dédiées à l'alerte en cas d'inondation dans 34 communes du Vaucluse (1 223 réponses, 2014-2018)

5.4. Quels besoins à moyen terme ?

Si les applications smartphone présentent plusieurs lacunes, il paraît toutefois nécessaire d'en promouvoir l'usage (Douvinet, 2018) : **1)** le nombre de personnes détenant ce type de téléphone est en constante expansion (3,7 milliards de personnes ont un téléphone mobile et 86% de la population mondiale est accessible par la couverture cellulaire, d'après Gentsson, 2015 ; 38 millions de français possèdent un smartphone en 2018, contre 11 millions seulement en 2011, d'après l'ICT, 2017) et ce sont (dans une vision utopiste) autant de personnes qui pourraient émettre ou recevoir une alerte ; **2)** de plus en plus de systèmes, à l'image des réseaux communautaires sans fil ou des réseaux MESH, contournent la dépendance à l'architecture au réseau Internet (Huguet, 2017) et pallient la faiblesse ou l'inexistence des connexions. La dynamique civique actuelle promeut une meilleure adéquation de ces systèmes aux attentes de la population, et elle vise à réparer la fracture digitale en posant les premières pierres de systèmes où participation, capacité d'action et engagement seraient au cœur de la démarche (Gisclard, 2017).

5.4.1. Des solutions qui doivent mieux s'adapter aux besoins des utilisateurs

Les politiques de prévention pensées et mises en œuvre dans une logique « top-down » (ou descendante) ont déjà montré leur inefficacité à de nombreuses reprises (Douvinet *et al*., 2011, 2013).

Dès lors, il faut éviter de rester dans les mêmes schémas : pour accroître l'usage des applications, il faut qu'il existe une sorte de *« terreau social propice à se saisir de ces outils pour la fertiliser »* (Villard, 2015 ; Douvinet *et al.,* 2017). Les pratiques doivent ainsi préexister en amont d'une crise (ce qui passe par exemple par des mises en situation ou des exercices d'entraînement) et les institutions doivent en faire la promotion (on peut ici craindre que l'abandon de SAIP® le 29 mai 2018 aura des conséquences négatives pour l'ensemble des autres applications et auprès de la population française).

Les niveaux de langage ne sont pas identiques selon (voire entre) les acteurs (individus et/ou autorités). Certaines applications ont alors essayé de mieux s'adapter aux utilisateurs en intégrant une sémantique plus appropriée et des termes plus simplifiés par rapport au contexte de crise, en réduisant le nombre de menus, ou en allégeant la description d'un phénomène (*Vialert®, Notico®* ou *Signalert®* par exemple). Des langages spécifiques ont même été développés, comme le *Humanitarian eXchange Language Situation and Response Standard* (HXL40) (Keßler et Hendrix, 2009) ou le *Management Of A Crisis Vocabulary* (MOAC). Ces initiatives sont toutefois globalement occultées dans les applications en France (car les niveaux de langage apparaissent pour les décisionnaires trop simplistes), alors que plusieurs applications déployées à l'échelle mondiale comme *DonateNRequest®* et *WeReport®* (Jain *et al*., 2015), ont démontré que les usages pouvaient être démultipliées quand l'ergonomie, le design ou les contenants étaient conçus avec les futurs utilisateurs (soit dès la phase de conception).

En parallèle, on doit aussi mieux comprendre les conséquences des messages reçus par les utilisateurs pour savoir si les applications répondent bien à leurs besoins en temps de crise. En France, les applications restent un outil supplémentaire sans réelle appropriation, avec des usages se situant « à la marge » ou qui suscitent de la défiance (**exemple 10**). Recevoir une alerte via la géolocalisation est une source d'inquiétude avérée (Aloudat *et al.,* 2014), et qui a des impacts négatifs car les individus ont besoin de le savoir avant pour ne pas ressentir une « perte de contrôle ». Les applications illustrent ainsi la théorie de la réactance (Brehm, 1966), connue en psychologie ou en marketing, et qui repose sur l'idée qu'une trop forte contrainte sur un individu (que l'on souhaite impliquer) le pousse à se comporter à l'opposé même de cette contrainte (par effet de rejet). Les applications smartphone pourraient alors disparaître à court terme si les concepteurs ne s'adaptent pas (à l'image du premier smartphone *Simon*, créé en 1992, qui a été un très net échec commercial à cause d'une difficile prise en main par les futurs utilisateurs) et les applications apparaissent ainsi fragiles à long terme.

EXEMPLE 10. Une enquête a été menée en avril-juin 2014 auprès de 25 élus de communes ayant une partie de leur territoire en zone inondable pour connaître les éléments de compréhension et leurs attentes vis-à-vis d'une application smartphone, qui a ensuite été développée (Kouadio, 2016). La plupart des élus (17 sur 25) confirment être abonnés au dispositif d'alerte mis en place par la préfecture, mais ils reconnaissent ne pas en être satisfaits car ils reçoivent des alertes aux pluies fortes alors que leur commune n'est pas concernée. Ayant à sa disposition une sirène communale, un PCS et un DICRIM, le responsable d'une commune déclare être averti bien trop tard par la préfecture, et avoir des difficultés pour la mise en place et la coordination d'une action appropriée. 21 élus (sur 25) sont favorables à faire remonter des informations *via* leur smartphone, mais 15 déclarent avoir peur de l'usage et d'une perte de contrôle qui pourrait y être associé.

Une solution serait de détourner la technique au service des individus (Gisclard, 2017) et les formes de réappropriation peuvent prendre différentes formes. Le *darknet* est par exemple un réseau internet parallèle au web classique, qui permet l'anonymisation des données et autorise à s'affranchir des « GAFA » (*Google, Amazon, Facebook, Apple),* ou de la surveillance des états « autoritaires ». Il regroupe à la fois le pire de la cybercriminalité et des réseaux d'activistes œuvrant pour *l'open source* et la protection des libertés individuelles (Guitton, 2013). Cette volonté de lutter contre les mésusages du numérique a vu, depuis le début des années 2000, surgir la génération de nouveaux *hackers*, qui détournent, créent ou améliorent des programmes en marge des prestataires, notamment en cas de catastrophes naturelles (**exemple 11**). Cette « culture du détournement » est aujourd'hui ancrée dans la société civile, dépassant les réseaux d'initiés et se prolongeant dans des espaces collaboratifs de partage tels que sont les *hackerspaces, hackatons*, *civictech* ou *makerspaces* (Gershenfeld, 2007). Ces ateliers partagés se développent à travers le monde depuis 2011, et ouvrent la voie à de nouveaux champs d'exploration dans des domaines variés (Bosqué, 2015). Là aussi, sans en faire la promotion, ces expérimentations incitent à la réappropriation par les individus de leurs capacités d'action sur les

objets et systèmes issus du numérique pour répondre à une question centrale : *« dans quel monde voulons-nous être connectés ? »* (Allard, 2015).

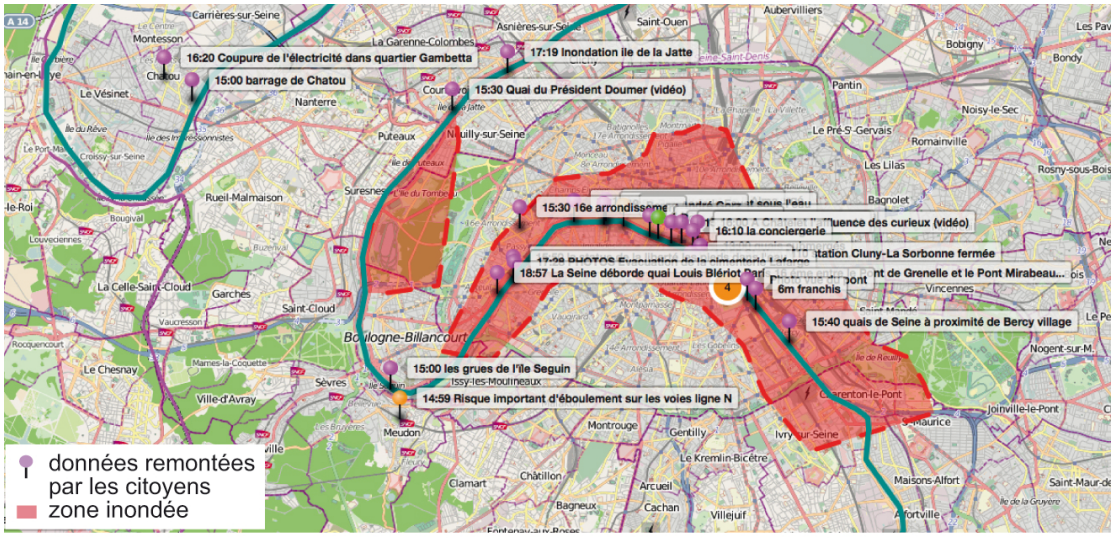
EXEMPLE 11. Le projet *CaribeWave*©, lancé par l'UNESCO et les États de la Caraïbe dès 2011, est un exercice international annuel de simulation du risque tsunami (qui a eu du 21 au 25 mars 2018 par exemple), auquel se joignent des concepteurs, des techniciens et/ou des citoyens qui s'intéressent au potentiel offert par les outils numériques. En 2015, un pont radio a ainsi été réalisé entre la Désirade et Saint-François (Guadeloupe) ; en 2016, une levée de fonds auprès de la communauté *geek* a permis d'acheter des drones, puis d'installer des capteurs météorologiques et sismiques dans des zones desservies par les outils d'alerte classiques ; en 2017, un réseau 4G a été déployé en l'absence de réseau internet ; en 2018, des SMS ont été envoyés sur plusieurs postes radios en simulant une rupture des ondes GSM. Ce projet est porté par G. Musquet, militaire et *hacker* de formation, qui est aussi le porte-parole du réseau *OpenStreetMap France* et qui a créé en 2017 l'association *Hackers Against Natural Disasters* (HAND). Le but de cette association est d'apporter un appui logistique durant les crises, en détournant les solutions classiques et en répondant aux besoins d'urgence des populations, tout en mettant en place des solutions alternatives plus efficientes que celles encadrées par les institutions.

5.4.2. Des liens à promouvoir avec les cartographies d'urgence en temps réel

Sans se limiter aux applications dédiées de façon spécifique aux risques naturels, de plus en plus de solutions (par exemple, *Qwidam*®, *Waze*®*, Ushaidi*® et *Crowdmap*®) permettent de visualiser, sur des plateformes cartographiques, les messages envoyés par les usagers en *pseudo temps réel* (i.e au plus près d'un événement). Ces initiatives renvoient au *crisis-mapping* (**exemple 12**). La qualité et la précision des données (coordonnées GPS), mais également la vitesse de la mise en ligne et les méthodes de filtrage et de traitement des données, restent les principaux verrous techniques auxquels font face ces services de cartographie (Christophe *et al*, 2016 ; Bonnet, 2015). Toutefois, ces initiatives offrent de nombreux avantages. Les informations (incidents, embouteillages, personnes en détresse, routes inondées, etc.) guident les planifications d'urgence quand un lien avec les acteurs de secours existe (Xing *et al.,* 2014), à l'image des données consultés sur l'application Waze® durant les inondations survenues début juin 2016 dans l'agglomération parisienne (**figure 5.6**.). La somme des données dépasse les connaissances d'une seule personne ou des institutions et chacun apporte finalement sa « pierre à l'édifice », en fournissant des idées, des conseils et/ou des solutions face à une crise, pour un usage avant tout opérationnel. Les plateformes renforcent aussi les relations entre les acteurs décisionnaires et les contributeurs (*Crowdmap*®), sans forcément contraindre le lieu, la temporalité ni la taille de la zone géographique ciblée, ce qui autorise une grande liberté de partage des informations. Ces plateformes offrent aussi des informations multithématiques (**exemple 13**) : les utilisateurs peuvent ainsi avoir des informations sur les inondations sans forcément avoir cherché ces données. Chaque partie prenante comble finalement les lacunes de l'autre, et ces projets fédérant les contributeurs, les collecteurs et les décisionnaires ont tendance à se multiplier, à l'image des solutions dédiées à la gestion d'urgence médicale, comme *MySOS*® ou *SoSafe*®.

EXEMPLE 12. *Qwidam*® est une application créée en France en 2014. Dans sa version gratuite, elle permet de signaler un danger ou de demander de l'aide aux utilisateurs situés à proximité (dans un rayon de 500 m). Les alertes ne contiennent que le prénom et la première lettre du nom de famille de l'émetteur. Elle est également transmise aux amis (via le carnet d'adresses) qui ont été enregistrés dans l'application. Des icônes spécifiques permettent de contacter la police, le Samu ou les pompiers. Dans sa version payante (nécessaire au *business model*), deux outils sont proposés aux entreprises : *Qzone*® permet de communiquer avec les utilisateurs dans des espaces publics où le trafic est élevé (gares, aéroports, stades par exemple) ; *Qpro*® permet de sécuriser les mouvements des salariés en mission en France ou à l'étranger (contact direct inter-entreprises).

EXEMPLE 13. *Waze*® est une application qui permet d'indiquer les incidents pouvant impacter les réseaux routiers (comme des objets tombés sur la voirie ou des accidents) ou d'être informé de la formation d'embouteillages en temps réel (un algorithme reconnaît un bouchon en se fondant sur la vitesse de déplacements des véhicules de ses utilisateurs). Depuis sa création (2008), de très nombreux projets ont été financés avec des partenaires très différents, et la thématique initiale s'est considérablement élargie. Deux projets français peuvent être cités en exemple sur la thématique du risque inondation : en 2016, la MEL (*Métropole Européenne de Lille*) a signé une convention avec *Waze*® pour avoir accès à des jeux de données de différente nature, notamment des alertes en cas de risque majeur (inondations) ; en 2018, une ANR (MASTIC), porté par *l'Institut des Télécommunications Mines Paris Tech*, a débuté en impliquant *Waze*®*,* dont l'objectif est de cartographier les risques de coupures de routes en cas d'aléas climatiques.



Document réalisé par J. Douvinet (captures d'écran prises le 6 juin 2016 à 9h45 sur le site www.waze.com/fr/livemap)

Figure 5.6. Géolocalisation des informations remontées lors des inondations de 2016 à Paris

5.4.3. Des autorités qui doivent clarifier leur position

Malgré ces évolutions observées depuis quelques années, les autorités restent très réticentes à utiliser ces solutions en France, aussi bien en cas de risques majeurs (inondations) que de menaces terroristes (**exemple 14**). Le projet SAIP® est à ce titre un « cas d'école » : lors de son lancement en 2016, le ministère de l'intérieur espérait toucher au mieux 5% de la population française (Vogel, 2017). Mais le déclenchement de SAIP® a suscité de nombreux controverses. Elle n'a été utilisée que 4 fois sur la période 2016-2018, alors que 85 événements ont nécessité l'activation d'une cellule de crise au sein du ministère de l'intérieur (d'après les informations fournies par le BASEP, 2018), et l'application a finalement généré plus d'hésitations et de contraintes que d'avantages, ce qui explique son abandon annoncée dans la presse le 29 mai 2018 (pour une mise en alerte des populations prônée, cette fois-ci, au profit des réseaux sociaux numériques et notamment des GAFA…).

EXEMPLE 14. Un événement (attentat) survenu le 21 avril 2017 à Paris illustre bien à quel point les institutions hésitent encore à avoir recours aux applications. *SAIP*® n'a pas diffusé la moindre alerte alors que la préfecture de police indiquait (à 21h06 puis à 21h20) qu'il fallait éviter le quartier des Champs Elysées sur *Twitter*©. De nombreux internautes recevaient au même moment une alerte *push,* diffusée par les médias et les télévisions faisaient état d'un premier décès à 21h12. Les personnes ayant téléchargé l'application (750.000 en janvier 2017) peuvent ne pas comprendre l'intérêt de *SAIP*®, d'autant plus que le ministère de l'intérieur justifie ne pas avoir utilisé cette application le lendemain car la situation a été rapidement maîtrisée (arrivée rapide de nombreux policiers en moins de 15 minutes sur place). Pour le porte-parole du ministère de l'intérieur de l'époque, l'alerte aurait été déclenchée alors que le danger avait disparu. Mais cette stratégie de communication est paradoxale : soit la situation nécessite de faire passer un message à la population, et l'usage de tous les moyens est dans ce cas-là nécessaire ; soit l'objectif est d'éviter tout phénomène de panique inutile, et dans ce cas, pourquoi conseiller d'éviter un secteur sur les réseaux sociaux ? Cette hésitation n'est pas nouvelle : lors de l'attentat du 14 juillet 2016 à Nice, l'alerte a été diffusée à 1h33 alors que l'attentat avait débuté dès 22h30 (certes, ce retard est lié à des problèmes techniques qui ont été résolus depuis) ; l'alerte est partie trop vite en septembre 2016 (attentat annoncé à tort dans une église de la rue Saint-Denis à Paris), mais n'a jamais été utilisée lors des inondations à Paris en juin 2016, et *SAIP*® est resté silencieux lors de l'attaque du Louvre le 3 février 2017.

5.5. Conclusions du chapitre 5

Ce chapitre a permis de mettre à jour les apports et les limites des applications smartphones pour alerter la population en cas de danger. Ces solutions pourraient venir en complément des outils

institutionnels car elles offrent la possibilité aux utilisateurs d'émettre ou de propager des informations (éventuellement associées à une situation d'urgence), d'être alertés dans un endroit en instance de subir un désastre, et d'être potentiellement plus réactifs si le danger est à proximité. Les applications peuvent aussi accroître la responsabilisation durant l'alerte (en faisant écho à la Loi de Modernisation de la Sécurité Civile instaurée en 2004 en France). Or, ces solutions sont sujettes à divers problèmes techniques, devenant notamment hors d'usage quand les réseaux internet sont de mauvaise qualité, saturés ou coupés. Rares sont les applications qui alertent lorsque le téléphone est éteint ou déchargé. Ainsi, le potentiel des applications est considérable, mais il ne doit pas être surestimé (**tableau 5.3.**).

Ce chapitre confirme par ailleurs que le fossé se creuse entre les demandes des populations, qui veulent des applications urgentistes opérationnelles mais qui ne connaissent pas leur existence, et les autorités, qui ont dû mal à les utiliser et qui considèrent « maîtriser » la situation en cours. Toutes les applications créées mais non utilisées seront occultées, et c'est la crainte que l'on peut avoir pour la majorité d'entre elles. Il est donc nécessaire de développer des solutions plus adaptées aux besoins, qui viendraient renforcer les capacités d'action individuelle et soutenir de nouvelles pratiques sociales. A ce titre, il faut saisir l'opportunité offerte par la téléphonie mobile, qui est l'une des pistes plébiscitées pour réduire les pertes humaines (Aloudat *et al.,* 2014). Il apparaît aussi que la notification « push » est la solution la plus efficace : le message est reçu par l'utilisateur, même si l'application est en veille (Charland et Leroux, 2011), et son utilisation ne dépend pas, au préalable, de la collecte des numéros de téléphone. Les individus n'ont ainsi pas besoin de télécharger une application spécifique ou dédiée à la thématique du risque, dont ils ne verraient l'intérêt qu'en cas de crise. A condition toutefois que les futurs utilisateurs autorisent l'accès aux données de géolocalisation, et les nouvelles contraintes imposées par le *Règlement Général sur la Protection des Données* depuis le 26 mars 2018 en France, ajoutent un niveau de complexité supplémentaire.

	Alerte (au sens large)			Alerte (en cas de crues rapides)		
Critères d'efficacité	**Application d'une ville (Nice)**	**Application nationale (SAIP)**	**Application Monde (Signalert)**	**Application.d'une ville (Nice)**	**Application nationale (SAIP)**	**Application Monde (Signalert)**
Ampleur de la portée spatiale	Réduite (< 5% des habitants)	Réduite (< 1% des habitants)	Réduite (< 0,001% des habitants)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (< 5% des habitants)	Réduite (< 5% des habitants)
Rapidité de diffusion du message	Satisfaisant (urbain dense)	Discutable (utilisation partielle)	Discutable (utilisation partielle)	Limitée (usage en cas de vigilance uniquement)	Réduite (aucune alerte crues rapides)	Réduite (aucune alerte crues rapides)
Capacité à toucher toutes les catégories de population	Réduite (peu de téléchargements)	Réduite (peu de téléchargements)	Réduite (peu de téléchargements))	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de téléchargements)	Réduite (peu de téléchargements)
Adéquation à la temporalité d'aléas à cinétique rapide	Très satisfaisant (couverture locale)	Faible (peu de réactivité)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Discutable (utilisation partielle)	Faible (peu de réactivité)	Discutable (aucune utilisation)
Capacité à inciter un changement de comportement	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (peu de connaissance des applications)	Faible (peu de connaissance des applications)
Réception et compréhension du signal par les individus	Très satisfaisant	Discutable absence de communication)	Faible (aucune évaluation)	Faible (peu de connaissance des applications)	Faible (peu de connaissance des applications)	Discutable (utilisation partielle)
Qualité de diffusion du signal	Très satisfaisant	Faible (problème de serveur en 2016)	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Faible (aucune alerte déclenchée en cas de crue rapide)	Discutable (utilisation partielle)
Dépendance aux actions de sensibilisation réalisées en amont	Très satisfaisant	Discutable (manque de communication)	Discutable (lié à des événements contextuels)	Très satisfaisant (plusieurs messages de vigilance)	Discutable (absence de communication)	Discutable (lié à des événements contextuels)
Appropriation sociale de l'outil par les bénéficiaires	Faible (aucune évaluation)	Faible (défaut de communication)	Faible (défaut de communication)	Faible (aucune évaluation)	Faible (défaut de communication)	Faible (défaut de communication)

Application supprimée le 29 mai 2018

Tableau 5.3. L'efficacité des applications smartphone évalué selon différents critères (juin 2018)

Chapitre 6. Les réseaux sociaux numériques : des médias à ne plus ignorer

Les Réseaux Sociaux Numériques (RSN) constituent eux aussi des outils d'alerte intéressants car la quantité de messages et la vitesse de circulation des informations partagées peuvent aider les autorités à détecter les signaux faibles, à récupérer des informations dans des zones non médiatisées et à avoir une meilleure idée des dommages sans être présent physiquement. Il ne s'agit pas dans ce chapitre de réaliser un état des connaissances sur les différentes approches menées à partir des RSN. En revanche, on souhaite explorer le potentiel de ces médias, mis en évidence dans le domaine des catastrophes naturelles suite au tremblement de terre survenu à Haïti en 2010, lors des inondations à Brisbane en 2011 ou lors du tremblement de terre de Christchurch en 2011 (Bird *et al.,* 2012). Grâce aux RSN, les citoyens connectés participent autrement à la gestion de crise et les échanges spontanés et volontaires aboutissent à la création de nouvelles structures sociales, éphémères et non formalisées en dehors de l'événement. Les RSN sont progressivement devenus des objets scientifiques (Seeger, 2006 ; Boyd et Ellisson, 2007 ; Williams *et al*., 2009 ; Horita *et al.,* 2013 ; Higonet *et al.,* 2014 ; Becker et Bendette, 2015 ; Liu *et al.,* 2017), et leur utilité est désormais reconnue en cas d'alerte (Houston *et al*., 2012 ; Jin *et* al., 2014 ; Guan *et al*., 2016). Même s'ils doivent encore être gérés avec précaution (pour éviter les phénomènes de rumeurs ou les « *bad buzz* »), les RSN ont impulsé un irréversible changement de rythme entre les informations et les actions requises en cas d'urgence. Les services de l'État ne sont plus les seuls à détenir de l'information, à en déterminer le contenu ni la temporalité de diffusion, et le plus gros risque serait finalement de *« faire l'erreur de s'en passer »*.

6.1. Etat des lieux : des pratiques en plein essor en France depuis 2014

Le recours aux RSN en cas d'inondations est une pratique scientifique et opérationnelle qui a tendance à se généraliser rapidement (Fernandez *et al.,* 2006 ; Middleton *et al*., 2014 ; Zhang *et al.* 2014 ; Smith *et al.,* 2015 ; Feldman *et al.,* 2016). Horodatées (i.e *geotagged*), les données permettent d'organiser les secours et de prendre conscience de l'ampleur de ces phénomènes (Bird *et al*., 2012). Si les premières études ont été menées à partir de 2010 à l'échelle mondiale, ces médias sont de plus en plus utilisés en France depuis 2014 (VISOV, 2015 ; Corack *et al.,* 2017). Ce constat peut d'expliquer par la plus grande occurrence des inondations survenues dans différents territoires, et c'est avant tout une année charnière car elle symbolise un engouement plus marqué du côté des opérationnels.

6.1.1. Des RSN utiles en cas de crues rapides : retours d'expérience

En 2014, plusieurs crues rapides se sont manifestées en France (notamment dans le sud-est) et divers retours d'expérience (Higonet *et al*., 2014 ; VISOV, 2015 ; Douvinet *et al.,* 2017) confirment que les services de secours ont utilisé les RSN pour répondre à des objectifs multiples (**figure 6.1.**) : informer sur les opérations en cours et sur la localisation des zones inondées ; relayer des messages sur les comportements attendus et sur la nature et la gravité de l'événement ; rassurer sur le traitement de l'urgence par les autorités (**exemple 1**). Ces services ont également utilisé les RSN pour détecter des situations dangereuses, et avoir accès à des remontées de terrain plus facilement (rejoignant des pratiques observées ailleurs, e.g. Liu *et al.,* 2015 ; Kim et Hastak, 2018), gagnant ainsi en réactivité et en interactivité avec la population : le partage des premiers *tweets* s'est fait en moins de 20 minutes lors des inondations du 19 janvier 2014 (**exemple 2**). De son côté, la population a aussi échangé sur les RSN, en produisant des vidéos ou en postant immédiatement des images ou divers commentaires

sur leur compte. Ces données ont été relayées de manière spontanée, pour informer en premier lieu des proches ou leur famille, mais elles ont aussi été utilisées par les autorités pour guider l'organisation de l'urgence. Le nombre de messages recensés durant ces crues n'atteint évidemment pas celui avéré lors de catastrophes ayant eu une ampleur spatiale et une gravité plus importantes, à l'image des 9,6 millions de messages sur *Google*® pendant les inondations du Chennai fin 2015, en Inde, ou des 11 millions de *tweets* lors du passage du l'ouragan Sandy aux États-Unis (pour la seule journée du 29 octobre 2012, d'après l'EENA, 2018), mais il témoigne d'un intérêt émergent en France.

EXEMPLE 1. Le 19 janvier 2014 la rivière Maravène (Var) entraîne des flots rapides et violents sur la commune de La-Londe-Les-Maures et le bilan humain (2 morts, 1 disparu) et matériel (600 logements inondés, 73 personnes relogées, 200 véhicules détruits) est lourd (CEREMA, 2014). En utilisant leur compte sur *Facebook*® et Twitter®, les services de la ville ont envoyé (durant la phase d'alerte) divers messages pour informer les citoyens sur les comportements à suivre, leur indiquer la localisation des zones sinistrées et organiser les aides (avant de faire appel aux bénévoles durant la gestion de crise via le compte @villelalonde sur Twitter® par exemple). La ville "tweet" et prodigue des conseils ; les *"tweetos"* ont indiqué avoir utilisé ces médias (Higonet *et al.,* 2014) à cause de la défaillance des réseaux de télécommunications, alors que le réseau Internet était, lui, resté actif.

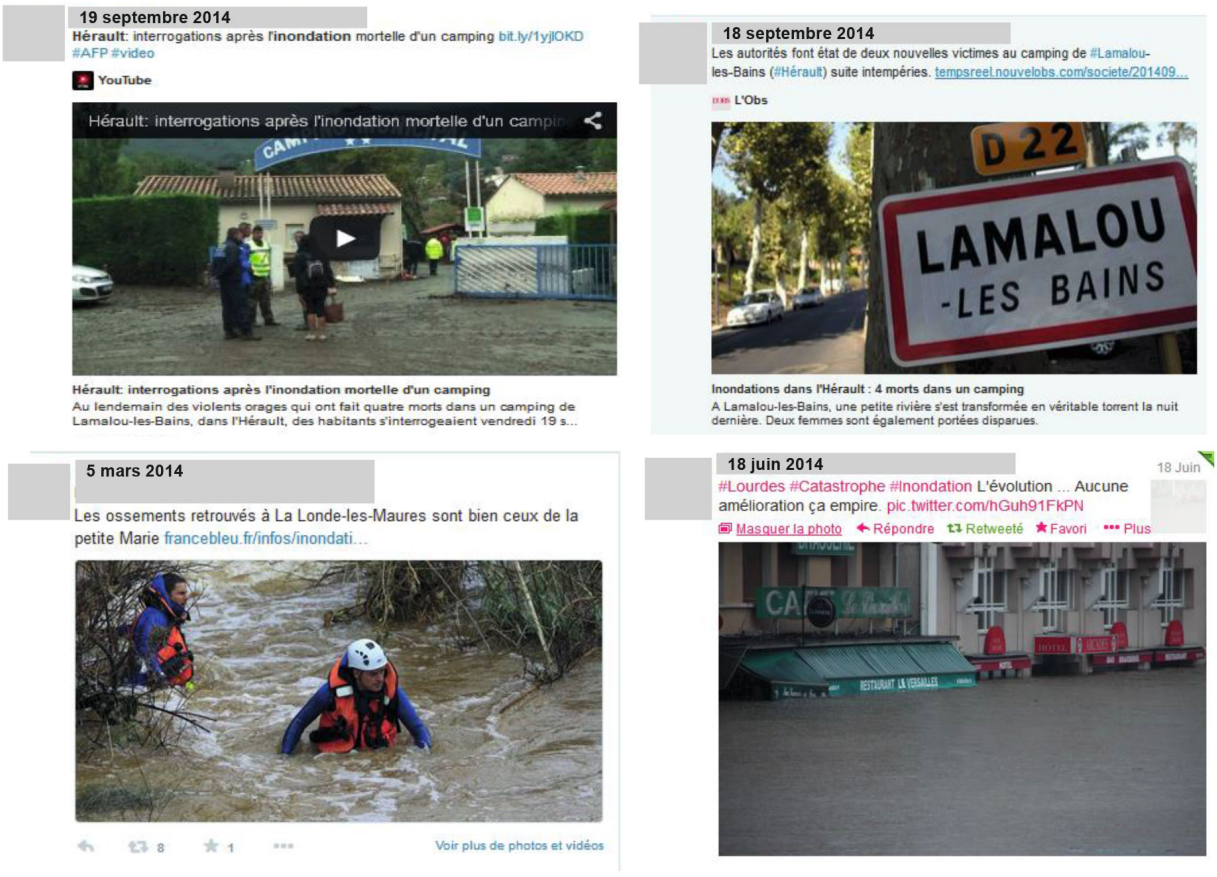


Figure 6.1. Exemples de tweets durant des inondations en France en 2014 (Douvinet *et al.* 2017)

EXEMPLE 2. Le 19 septembre 2014, les inondations de la rivière Bitoulet surviennent dans le bassin versant situé en amont de la commune de Lamalou-les-Bains (Hérault). Le bilan humain a été dramatique (4 victimes dans un camping situé en zone inondable) et les dégâts matériels très élevés (12 millions €). Diverses questions ont été relayées sur les RSN, notamment sur l'organisation des secours et pour comprendre le débordement d'un tel cours d'eau durant la phase de gestion de crise. Durant l'alerte, le SDIS34 (Hérault) a identifié 150 tweets et les a reclassés par catégorie (site d'hébergement, photos ou informations). Les agents rattachés aux services de la ville ont utilisé leur compte personnel pour pouvoir communiquer.

6.1.2. Des RSN en appui à l'alerte : le concept « MSGU »

Face à la recrudescence des catastrophes naturelles depuis quelques années, les acteurs de la gestion de crise (élus et maires) et les services de secours (pompiers, policiers) ou de sécurité civile

(urgentistes) se sont aussi saisis de l'utilité des RSN, en se référant notamment au concept de SMEM *Social Media in Emergency Management* (traduit en *MSGU Médias Sociaux en Gestion d'Urgence* en français). Ce concept est apparu en 2007 (suite à la localisation du preneur d'otage dans un lycée de Charleston, rendue possible grâce à certains messages relayés par plusieurs étudiants confinés) et il a montré son utilité à la suite de différentes catastrophes naturelles : le tremblement de terre survenu en 2011 à Christchurch (Hughes et Palen, 2009) ou à Haïti en 2010 (Yates et Paquette, 2011), ou lors des inondations survenues à Brisbane en 2011 (Bird *et al.,* 2012). Des organismes de défense civile ont rédigé le premier *Guide des bonnes pratiques des Médias Sociaux en Gestion d'Urgence* en 2012 (Rive *et al.,* 2012), en indiquant les niveaux juridiques, techniques et comportementaux à prendre en compte, et les premières initiatives valorisant les MSGU ont émergé dès 2014 (formation aux réseaux sociaux organisée par l'ENSOSP) en France, avant de se généraliser dès 2015 (formation aux MSGU par le Haut Comité Français de Défense Civile et organisation du colloque SMARS à Avignon).

Ces médias sociaux, qui renvoient à des activités intégrant à la fois la technologie, l'interaction sociale et la création de contenu, permettent de véhiculer des informations qui ne sont pas uniquement produites par des professionnels : des citoyens connectés y participent aussi et chacun interagit à tout instant. Les échanges s'insèrent dans les discussions « des personnes faisant société » (Ryan, 2018), mais ils n'ont pas toujours pour but d'aboutir à l'émergence d'une œuvre créative. Les citoyens vivant l'événement sont en situation de produire une information alors qu'ils n'ont pas accès aux médias de flux conventionnels, et plusieurs retours d'expérience (Higonet *et al.,* 2014 ; VISOV, 2015) démontrent qu'ils la partagent de façon spontanée (à destination des proches ou de leur famille), ce qui revêt un intérêt majeur pour les gestionnaires de crise. A titre d'exemple, la première vidéo montrant la tornade qui a endommagé la zone commerciale de *Plan de Campagne*, située au nord-ouest de Marseille, le 4 octobre 2012, a été mise en ligne 4 minutes seulement après l'événement…

La circulation instantanée des messages imposent des changements, à la fois dans le mode de fonctionnement des services opérationnels (qui ne sont plus les seuls détenteurs des informations sur une situation de crise en cours), et dans les rythmes de circulation entre les informations et les actions requises durant l'urgence. Les autorités ont alors dû s'adapter à ces temporalités plus courtes, et une grande variété d'outils est désormais disponible pour agréger ou analyser les médias sociaux afin de garantir une connaissance de la situation en temps réel (**tableau 6.1.**). Comme la complexité de ces outils varie, les décideurs doivent trouver un équilibre entre les avantages offerts par les MSGU et les moyens que permettent les réalités budgétaires et celles relatives aux ressources. Aussi, les organismes peuvent hésiter à utiliser les outils qui ne sont pas offerts par une entité publique (comme ceux conçus par le secteur privé ou par des organismes à but non lucratif). La variété et la disponibilité de ces outils peuvent vite dépasser les décideurs à cause d'un manque d'aide quant à l'acquisition, à l'intégration et à la mise en œuvre de ces solutions, ce qui nécessite alors un accompagnement.

Objectif général	Exemple de logiciels	Apports	Inconvénients
Outil de cartographie gratuits et open source	OpenStreetMap, MapQuest, Geofeedia, Google Earth, TweetDeck, Social Mention, Hoot suite	Capitalisation sur une carte des données collectées ; évaluation en "pseudo-temps réel" de la localisation des dommages	Démultiplication des canaux d'information différente nature ; Nécessité de graduer les données selon la réputation des influenceurs
Algorithmes analytiques	Calais, Zemanta, système TIGR (rapports tactiques au sol), Tineye, Talwalker Alerts (pour Twitter), Google Alerts	Association des données par mots clés (événements, villes) des messages ; envoi d'un message quand un flux important de données est mesuré	Changement des mises à jour trop rapide à cause de l'indexation en temps réel : on peut ainsi "passer à côté" d'une information pertinente
Outils de prédiction et de modélisation des résultats	Technologie SAGE (entreprise géospatiale de connaissance de la situation), projet RaptorX, IBM Infosphère	Prédiction de l'évolution de la situation ; Anticipation des opérations à organiser ; Suivi du flux et projection de la timeline	Absence d'indications sur les incertitudes des prédictions ; Faible période de collecte de données sur des épisodes passés

Tableau 6.1. Logiciels mobilisables pour analyser les informations circulant sur les RSN

C'est dans cette optique que des cellules MSGU ont été créées notamment au sein de certains SDIS (SDIS30 en 2015, SDIS84 et SDIS83 en 2017). Ces cellules sont composées de personnes aux profils divers (cartographes, sapeurs-pompiers, *community manager*), qui ont pour mission d'assurer une veille au quotidien sur les RSN, de diffuser de l'information dynamique et de guider les opérations à mettre en place, et de remonter en cas d'alerte des messages jugés pertinents au profit du CODIS. En retour, et en accord avec les préfectures, ils relaient des messages de prévention et des consignes de sécurité à la population. L'association VISOV créée en 2012 (**exemple 3**) est un exemple de relai efficace auprès des internautes. En mai 2018, l'association a ainsi signé des conventions avec divers partenaires : des SDIS (24), des préfectures (18), des mairies (25), des EMIZ (7) et la DGSCGC. Les membres de VISOV (50 permanents et plus de 200 bénévoles dans le monde) effectuent une veille permanente et viennent prêter main forte aux institutions en cas de phénomènes majeurs.

EXEMPLE 3. L'association VISOV (*Volontaires Internationaux en Soutien Opérationnel Virtuel*) a été créée fin 2012 par plusieurs membres volontaires issus de la sécurité civile. Elle a été mobilisée pour la première fois lors du passage du cyclone Aruna (février 2013) à Madagascar et durant les inondations de septembre 2014, elle a rappelé différents conseils pour accroître la mise en sécurité des personnes. En 2018, l'association recense près de 200 bénévoles (avec une grande diversité dans les profils des volontaires) et elle est intervenue durant plus d'une centaine d'événements. L'association développe des méthodes et des outils pour faire fonctionner une *Équipe en Soutien Opérationnel Virtuel* (VOST à l'internationale). Elle se réunit dans un espace numérique de travail, ce qui constitue une communauté dite « virtuelle » dans le langage des informaticiens. Elle peut alors demander des précisions sur une information (où a été prise cette photo ?), en démentir une autre (telle photo a été publiée il y a plusieurs années, à l'image des premières vidéos qui ont circulé suite à l'accident survenue à Bretigny-sur-Orge le 12 juillet 2013). Elle est actuellement impliquée dans l'ANR MACIV (2018-2021).

6.1.3. Des autorités progressivement présentes sur les RSN

Des différences culturelles subsistent encore dans l'intégration des RSN aux outils de gestion de crise. Aux États-Unis, ces usages sont observés dès la fin des années 2010 : la *Red-Cross*© et la société *Dell*© ont par exemple mis en place dès 2012 une plateforme de veille sur les médias sociaux (*Digital Operations Center)* pour l'aide humanitaire *(*Ryan, 2018). En France, les autorités semblent bien plus réticentes (Douvinet *et al.,* 2017), et elles ont du mal à s'en saisir pour de multiples raisons :

1) les protocoles ne sont pas dimensionnés pour gérer des temporalités aussi courtes ;

2) en cas de publication, les règles liées à la vie privée, au droit à l'image et à la propriété intellectuelle (en respectant la loi portant sur la liberté d'expression instaurée par la loi du 29 juillet 1981) posent un certain nombre de contraintes ;

3) l'utilisation d'un montage vidéo et sa rediffusion avec une personne n'ayant pas donné son consentement est passible d'une peine d'1 an de prison et 15000 € d'amende (selon l'article 226.8 du Code pénal) ;

4) le caractère public des données disponibles ne leur fait pas perdre le statut de données personnelles : si la consultation est possible, le traitement (enregistrement, utilisation…) est soumis aux conditions prévues par la loi *« Informatique et Libertés ».*

Malgré toutes ces contraintes, les autorités ont compris qu'elles étaient obligées d'informer la population en utilisant ce type de médias, quitte à ne les considérer que comme de simples relais d'informations. En juin 2018, toutes les préfectures ont une page *Facebook*® et 78 ont un compte *Twitter*®, alors que 11 préfectures seulement avaient un compte *Facebook*® en 2013. Autre exemple : peu de SDIS étaient présents sur les RSN en 2014 (11 comptes seulement sur *Facebook*®) alors qu'en janvier 2018, 92 SDIS (sur 101) ont désormais créé un compte sur *Facebook*®, 82 sur *Twitter*®, 67 sur *YouTube*® et 37 sur *Instagram*® (**figure 6.2**). Certains SDIS ont encore du mal à y être inscrits (comme dans les départements d'Indre-et-Loire ou du Loir-et-Cher par exemple), mais d'autres ont démultiplié les canaux et ils ont désormais un nombre d'abonnés intéressants (> 29 abonnés pour 1000 habitants sur *Facebook*® par exemple pour le département des Bouches-du-Rhône, d'après les informations collectées et publiées sur *Twitter*® par D. Maillefaud le 24 mars 2018).

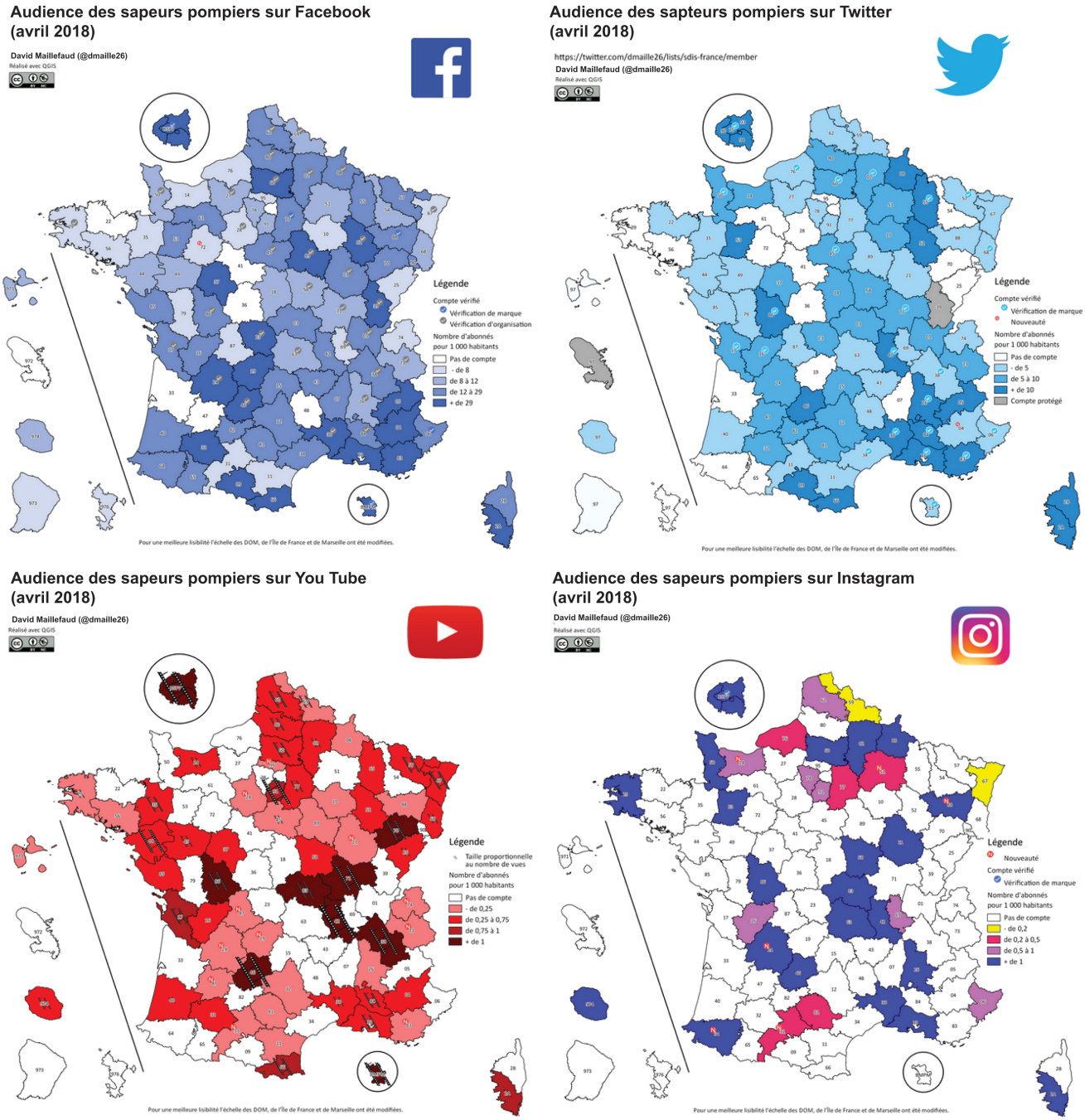


Figure 6.2. Cartographie recensant les comptes SDIS sur les RSN (d'après D. Maillefaud, 2018)

6.2. Des bénéfices attendus considérables

Les médias sociaux, définis comme étant des applications Internet permettant à des individus de communiquer et de partager des données ou des ressources (Lindsay, 2011), sont aussi bien des réseaux sociaux d'information que des médias (Kwak, 2010). Ils amènent inéluctablement à surfer sur les RSN (De Rosnay, 2012), ne serait-ce que pour optimiser la gestion de crise (Poorazizi *et al.,* 2015), pour aider à la reconstruction de la population (Aldrich, 2012), ou pour renforcer le capital social des internautes (Coleman *et al.*, 2009). En cas d'alerte, leur utilité est également de plus en plus reconnue car ils concourent à accroître la conscience situationnelle sur un laps de temps court, et la dynamique des contenus résulte des nombreux et imprévisibles échanges (Parameswaran et Whinston, 2007).

6.2.1. Détecter plus rapidement les signaux faibles

De façon similaire aux applications smartphone (§ 4.2.1.), les RSN offrent d'abord l'avantage de faire état d'un événement dangereux et de remonter différentes informations (vidéos, photos). Une fois capitalisées, ces données vont alors servir dans un grand nombre de situations : mieux évaluer la gravité d'un événement (sans être physiquement présent) et avoir une première approche de terrain, notamment dans des zones peu urbanisées et non médiatisées (Vieweg *et al.,* 2010 ; Cavalière *et al.,* 2015) ; détecter des situations d'urgence et envoyer une assistance (même si la réalité de la situation est parfois spéculative) ; aider les communautés à anticiper les conséquences d'un événement qui est en cours (en montrant par exemple le déploiement des équipes prêtes à intervenir ou l'importance des niveaux d'eau atteints, **figure 6.3.**). *In fine,* chaque individu apporte sa « pierre à l'édifice » (de façon similaire aux approches de type *crowdsourcing*), pour un usage opérationnel évident (Riccardi, 2016).

Si les individus se réfèrent aux RSN (sur lesquels ils interagissent de façon quotidienne), leurs motivations sont toutefois différentes en cas d'alerte. En dehors de la crise, les individus se connectent sur *Facebook*® pour partager des choses intéressantes (44%) voire importantes (30%), recommander un produit, un service ou un film (30%), ou soutenir une cause ou une croyance (26%) selon l'enquête IPSOS (2016). A contrario, durant des inondations, plusieurs travaux (Whittaker *et al.,* 2015 ; Kim et Hastak, 2018) ont montré que l'engagement individuel sur les RSN avait plus été motivé par la volonté de poster un message (77%) que d'écrire un commentaire (15%) ou partager un post (8%). Les mots les plus recherchés sont eau, inondations, dommages, aide et sinistrés (Lindsay, 2011). Les individus maintiennent donc leurs pratiques (ils se connectent), mais les raisons ne sont pas les mêmes.

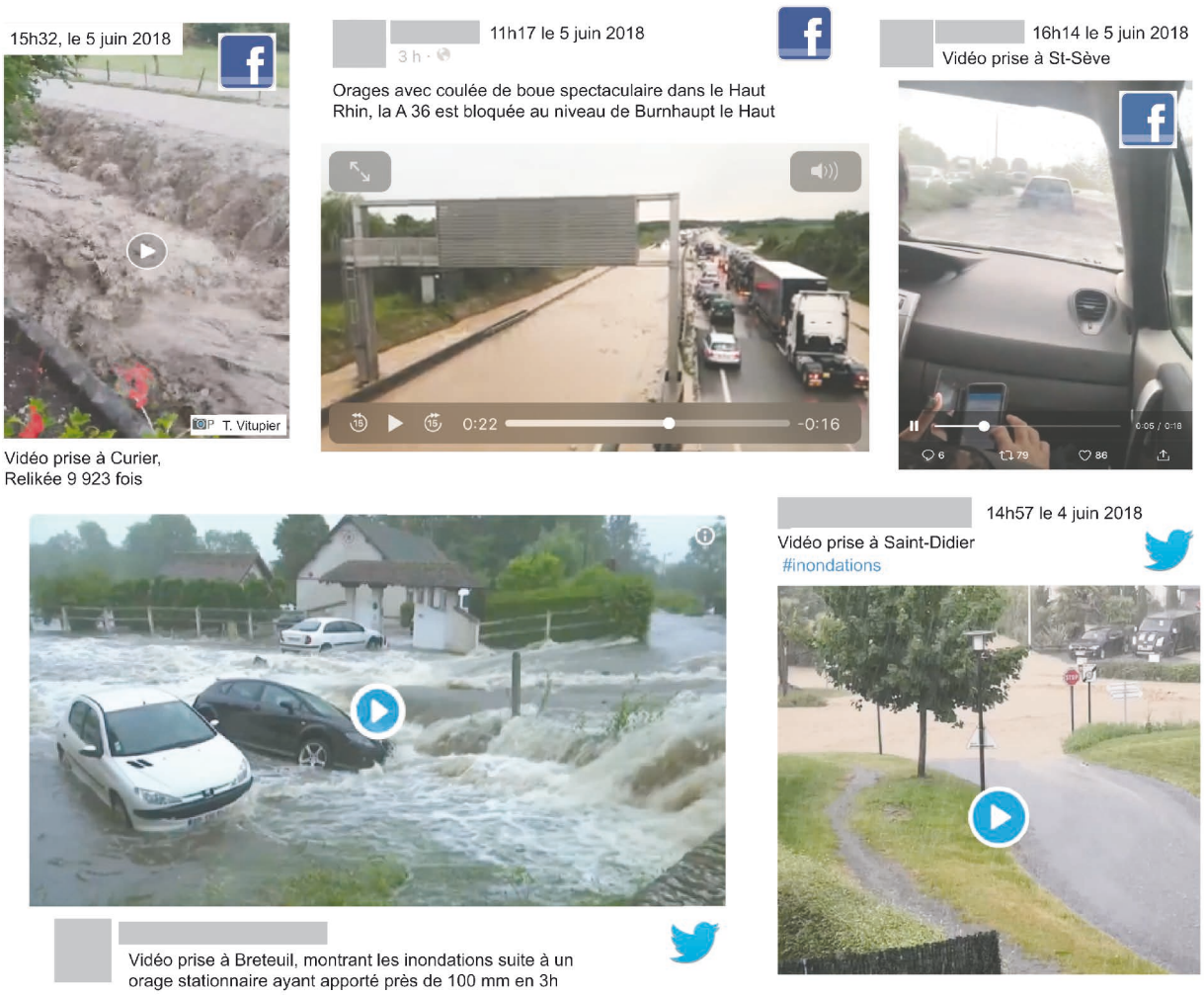


Figure 6.3. Extraits de vidéos mises en ligne lors des inondations des 5 et 6 juin 2018

La recherche d'informations dépend d'ailleurs des prérogatives des acteurs impliqués et des contextes sociaux. En France, les autorités ont tendance à privilégier les pages *Facebook®,* car les données partagées sont peu coûteuses, courantes et associées à un événement spécifique (Acar et Muraki, 2011), *Twitter®*, car les données contribuent à leur expertise scientifique, et *Instagram®*, pour consulter des vidéos potentiellement prises sur place. Des comptes *WhatsApp®* peuvent être créés de manière complémentaire (comme pour le SDIS30 par exemple) pour favoriser la coordination en cas d'opérations en cours de déploiement. De leur côté, les individus utilisent plutôt *Facebook®* car il est plus facile d'avoir accès à des données personnelles et donc d'avoir des nouvelles de proches. Ce RSN a aussi été l'un des précurseurs dans le déploiement de solutions d'urgence, à l'image du *Safety Check©* créé en 2012 et désormais activé en cas de crise majeure en France depuis novembre 2015. Et c'est encore le site privilégié par les internautes : à l'échelle mondiale, 70% des utilisateurs visitent une fois par jour *Facebook®,* contre 38% seulement pour *Twitter® (*Dungan, 2015). Ces références évoluent toutefois très vite dans le temps, ce qui oblige les autorités à avoir une très grande proactivité (**exemple 4**), et elles sont également différentes selon les pays : *Twitter®* a par exemple été privilégié durant les inondations en Indonésie en juillet 2015 (Carley *et al.* 2015), tandis que *Facebook®* a été préféré à *Twitter®* durant les inondations à Bâton-Rouge le 15 août 2016 (Landwher *et al.*, 2016).

EXEMPLE 4. Selon une étude de Médiamétrie (2017), 92% des 18-24 ans possèdent un smartphone (contre 54% en 2012), alors que la moyenne nationale est de 71%. 82% des 18-24 ans les utilisent pour se connecter à un RSN une fois par jour. S'ils utilisent *Facebook®* en premier (83%), ils sont aussi très présents (à 74%) sur d'autres réseaux (*Whatapps®, Viber®, Tango®, Instagram®, Snapchat®*). Les autorités doivent donc penser à s'adapter aux pratiques des différentes catégories de population, et aux évolutions contextuelles.

6.2.2. Favoriser les échanges et les interactions

En connectant les individus entre eux, les RSN favorisent les échanges et les discussions, en particulier entre des sinistrés (Munro, 2013 ; Carley *et al*., 2016). Ils facilitent aussi les rétroactions, et ce point est particulièrement utile lorsqu'une situation dangereuse est détectée : les conversations engagées entre les individus et les services de secours peuvent permettre à ces derniers de mieux adapter les moyens à mobiliser (tout en tenant compte des ressources matérielles et humaines dont ils disposent). A titre d'exemple, lors des pluies survenues dans différents secteurs dans le sud-est de la France le 11 octobre 2014, les acteurs de secours ont pu réajuster leurs réponses en tenant compte des éléments récoltés sur les RSN (**figure 6.4.)**. En totale cohérence avec la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004 instaurée en France, l'individu est alors un acteur de sa « propre sécurité » : c'est lui qui vit l'événement, qui partage ses informations ou formule de nouvelles attentes (Gisclard, 2017). Sur ce point, cela rejoint surtout l'idée défendue par C. Fugate (2011), qui considère les RSN comme des moyens contemporains et plus souples pour engager le dialogue avec le public, et qui ne souhaite pas les réduire à de « simples mégaphones » (**exemple 5**).

EXEMPLE 5. Suite au tremblement de terre d'Haiti (en 2010), C. Fugate, responsable de la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), suggère d'arrêter d'utiliser les RSN comme de « simples mégaphones ». Il faut en profiter pour engager des dialogues avec le public ("*we need to stop just using social media as a megaphone to broadcast information and instead use it to have a two-way conversation with the public*" cité par Holdeman, 2013), dans un but de communication interactive et non directive. Il demande ainsi au *Department of Homeland Security* de considérer le public comme une ressource et non comme un handicap durant la crise (Fugate, 2011).

En partageant un instant ensemble et sans pour autant se connaître avant ou rester en contact après un événement, les individus contribuent à l'émergence de nouvelles structures sociales, non formalisées et éphémères (Fienen et Lowry, 2012). De nouvelles communautés peuvent ainsi émerger en quelques heures autour d'initiatives citoyennes qui « font sens » (à l'image du tweet *#PorteOuverte,* créé quelques heures après les attentats survenus dans la région parisienne le 13 novembre 2015, et qui part de l'idée d'une lycéenne de 17 ans habitant à Besançon). On suit d'ailleurs plus des personnes que des institutions : si on regarde l'audience des sapeurs-pompiers sur *Twitter®* en France (**tableau 6.2**), le SDIS de la Loire (14 775 abonnés en 2018) est le plus suivi, et le SDIS du Var est le plus actif

(19 967 tweets recensés en 2018). Créé depuis 2009, le compte du Ministère de l'Intérieur indique un grand nombre d'abonnés, mais l'activité reste faible sur les 9 années (à peine plus d'1 tweet par jour). Ces chiffres sont certes discutables, car le nombre d'abonnés dépend du contexte et de la nature des informations diffusées. Mais des individus (appelés influenceurs) ont un nombre d'abonnés bien plus important (nous avons même indiqué le top 3 des influenceurs à l'échelle mondiale) et l'activité semble parfois démesurée (plus de 37 millions de tweets envoyés en 12 ans pour le compte @akiko_lawson). Il faut alors être actif (*tweeter*), mais aussi être connecté à ces influenceurs individuels (Guide *Twitter* pour les préfectures, 2014), notamment pour voir comment réagit une population, ce qu'elle comprend de la situation, ou comment elle interprète les mesures en cas d'inondation (Landwher *et al.,* 2016).

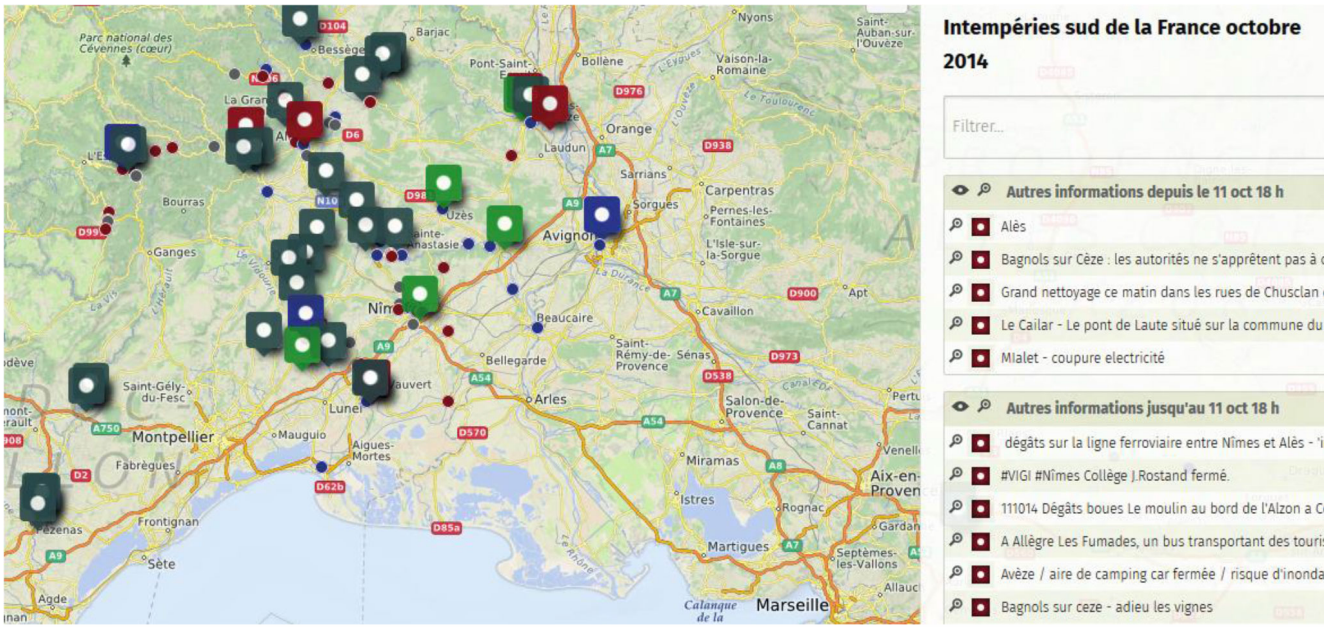


Figure 6.4. Un exemple d'informations géo-localisées et collectées sur les Réseaux Sociaux Numériques : chaque point représente une information validée par le centre de secours

Type de compte	Nom du compte	A : Nombre d'abonnés	T : Nombre de tweets	Ratio T / A
SDIS	@sdis42	14 775	7 712	0,52
	@SDIS13	13 194	5 692	0,43
	@sdis83	11 855	2 955	0,25
	@SDIS66	5 268	15 779	3,00
	@sdis84	6 341	3 544	0,56
Préfectures	@Prefecture42	5 987	2 282	0,38
	@Prefet13	7 887	4 308	0,55
	@Prefet83	18 710	19 967	1,07
	@Prefet66	4 287	2 900	0,68
	@Prefet84	2 265	4 105	1,81
Ministère	@Place_Beauvau	485 000	14 000	0,0289
VISOV	@VISOV1	14 700	8 958	0,61

Type de compte	Nom du compte	A : Nombre d'abonnés	T : Nombre de tweets	«Activité» (ratio T / A)
Individus (dans le domaine des inondations)	@MayaneFrance	474	1 723	3,64
	@emilien_briet	166	1 310	7,89
	@Meteovilles	41 000	14 100	0,34
	@MayaneFrance	1 817	418	0,23
	@AssoMeteoCentre	1 917	6 871	3,58
Individus (en dehors du domaine inondation)	@kateperry	110 000 000	9 212	0,0001
	@justinbieber	106 000 000	30 600	0,0003
	@rihanna	88 500 000	10 100	0,0001
	@PierreMenes	2 460 000	52 200	0,0212
	@akiko_lawson	3 142 015	21 930 120	6,98
	@VENETHIS	45 051	37 809 379	839,26
	@Love_McD	164 472	14 336 624	87,17

Tableau 6.2. Comparaison des audiences sur *Twitter*® de différents comptes (juin 2018)

6.2.3. Impulser des changements dans la manière de communiquer

La quantité et la rapidité des échanges sur les RSN favorisent une certaine dé-hiérarchisation de l'information (Douvinet *et al.,* 2018) : jusque-là cantonnée à des flux descendants et unidirectionnels (répondant à une logique verticale voire pyramidale), cette information est désormais dépendante des

flux ascendants (allant des individus aux autorités) et/ou horizontaux (entre les individus eux-mêmes) (Coyle et Meier, 2009). Chaque internaute peut produire du contenu et devenir un émetteur-récepteur de l'information, ce qui entraîne la dérégulation du marché des « produits cognitifs » (Liu *et al.*, 2017). En conséquence, le flux communicationnel est complètement bouleversé (**figure 6.5.),** et cela induit un changement de paradigme dans la gestion des risques (Douvinet *et al*., 2018) : chaque individu est capable d'agir sur le web social (Millerand *et al.,* 2010) et l'État et les autorités compétentes ne sont plus les seuls à contrôler la communication, à en déterminer le contenu ni à maîtriser la temporalité de diffusion. A titre d'exemple, lors du passage de l'ouragan Sandy en 2012 aux États-Unis, quand le maire de New-York, M. Bloomberg, s'est adressé à sa population, il a utilisé Twitter© pour relayer les messages de prévention et d'alerte, mais il s'est surtout positionné au milieu de ses concitoyens, parmi eux, pour ne pas altérer les actions des secours en cours (HCFDC, 2012). Cette posture traduit bien la façon dont les structures doivent désormais s'organiser : le rythme des échanges conduit la plupart du temps à ne pouvoir que « survoler les informations » (Smyrnaios, 2011), en vue d'une hypothétique consultation ultérieure. Si ce manque de temps contraint trop fortement les autorités, les médias, à l'inverse, en profitent pour « surcharger » *Facebook*® lors d'une crise afin d'être vite présents (Roshan *et al.* 2015), quitte à envoyer ou à relayer des messages approximatifs, imparfaits et non vérifiés.



Figure 6.5. Changement induit par les réseaux sociaux numériques sur le processus de communication (crédit Gérald Baron©, 2011, *in* Douvinet *et al*., 2017)

Parmi les contributeurs, on peut d'ailleurs distinguer deux « catégories » qui ne se situent pas dans les mêmes temporalités d'actions ni dans les mêmes lieux : les « veilleurs » agissent dans une temporalité qui va de la prévention à l'alerte, et ils vont informer au plus vite les « suiveurs », qui eux seront directement impactés par la crise et émergent durant l'alerte. Cette seconde catégorie doit être accompagnée et prise en charge : les retours d'expérience sur les crues rapides survenues en 2014 dans le Var ont ainsi confirmé que plusieurs personnes avaient posté des messages sur Twitter© sans connaître les numéros de téléphone d'urgence (15, 18, 112), alors que plusieurs relances avaient été postées par les services de secours qui leur avaient répondu (Higonet *et al.,* 2014). Et ces cas ne sont pas isolés ou spécifiques au risque inondation (**figure 6.6.).**

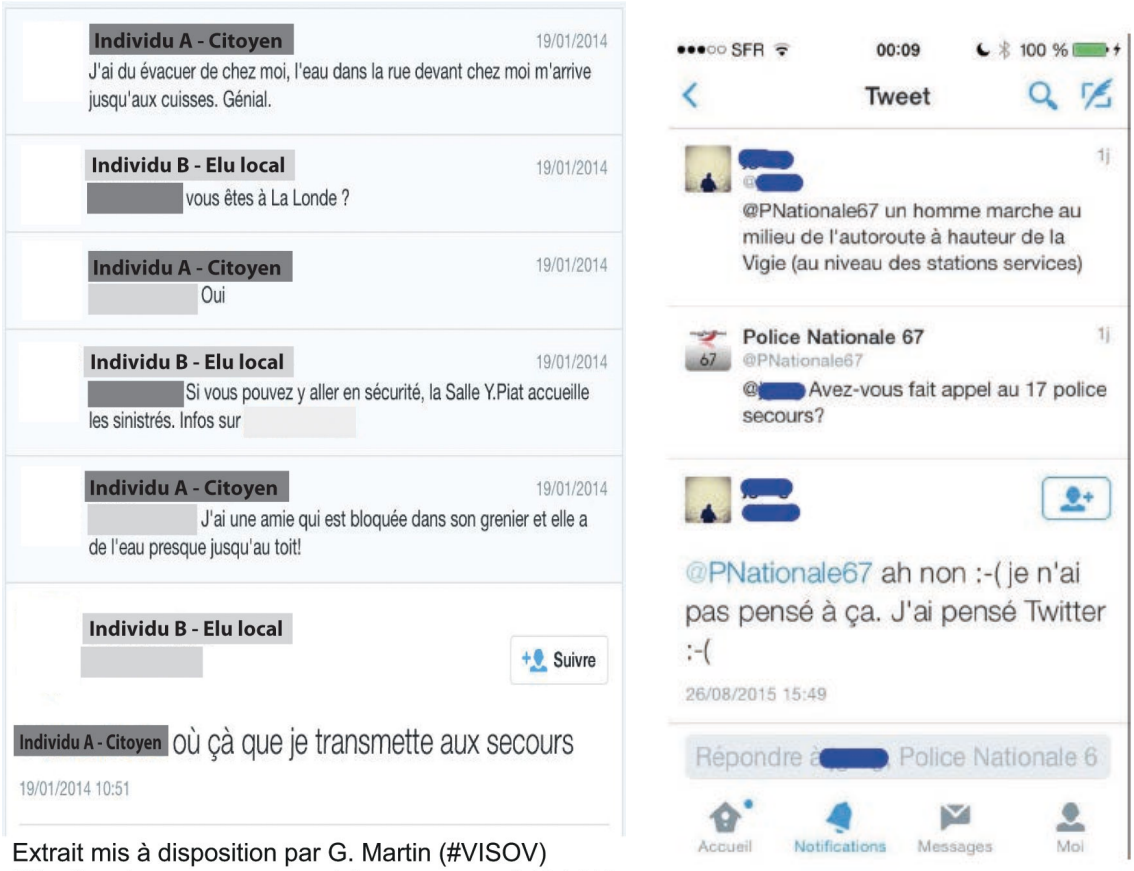


Figure 6.6. Situations d'urgence remontées sur les RSN et non suivies d'un appel 15, 18 ou 112.

6.3. Un potentiel à ne pas survévaluer

La grande quantité d'informations et la vitesse à laquelle elles sont diffusées peuvent toutefois créer une situation où ces renseignements se retrouvent inutilisés ou inutilisables s'il n'est pas possible de les identifier, de les confirmer, de les coordonner, de les agréger et/ou de les contextualiser (VISOV, 2015). Les RSN souffrent donc, eux aussi, de plusieurs limites, et plusieurs rapports rappellent à juste titre qu'il ne faut pas céder à l'illusion d'un *« déterminisme technologique »* (Aschieri et Popelin, 2017).

6.3.1. Des solutions techniques faillibles

Différentes failles techniques ont été observées lors du passage de l'ouragan *Sandy* en 2012. Les renseignements (*i.e* sont-ils utiles ?), les ressources (exploitables ?), le manque de normalisation des nomenclatures (par mots-clés ou par zones géographiques ?) et l'incapacité à contextualiser les données dans les structures de commandement (où chercher les informations dont j'ai besoin ?), sont des éléments qui restent, encore aujourd'hui, des verrous à lever. L'incapacité à répondre aux besoins (en fonction des moyens disponibles) et l'incapacité à agréger, à rechercher ou à vérifier la nature des messages sont aussi des contraintes souvent avérées (VISOV, 2015), qui renvoient à la finalité première de ces médias : ces outils sont mis en œuvre par des entreprises privées, et l'accès gratuit donne droit, en contrepartie, à la collecte de données et à leur revente à des fins commerciales (on peut rappeler la célèbre formule : « *quand c'est gratuit, c'est que c'est vous le produit* »). Pour atteindre l'ensemble de ses contacts, il faut alors payer, à titre d'exemple, *Amnesty International* estime qu'elle atteint au mieux 20 % de ses contacts sur sa page *Facebook*©. Cela limite les possibilités d'expression

des usagers, et cela contribue aussi à un effet d'« homophilie » (Grossetti, 2014) : on ne fréquente sur les RSN que celles et ceux qui nous ressemblent (par le milieu social, les études, les goûts…), et cette limite questionne évidemment les apports précédemment évoqués.

D'autres limites renvoient aux langages propres associés aux RSN : un compte peut être créé sur la base de fausses informations, ou être très proche d'autres comptes officiels (en 2010, le compte du ministère de l'intérieur, @Place_Beauvau, a ainsi été usurpé de manière temporaire par un compte proche, @PLace_Beauvau). Pour les institutions, il est alors nécessaire d'obtenir une certification (en faisant une demande au *Service Communication territoriale* du SIG), et il convient ici d'indiquer que seulement 20 comptes SDIS (sur 73 identifiés) ont jusqu'à maintenant été certifiés (en avril 2018). Il convient aussi de respecter les codes de communication. Sur *Twitter*©, lorsque l'on commence un tweet par un nom de compte, il faut absolument placer un point avant, sinon *Twitter*© va considérer qu'il s'agit d'une conversation privée, et les autres *twittos* ne verront alors pas le message (sauf s'ils sont abonnés aux deux comptes).

6.3.2. Des amplificateurs de rumeurs et de confusions

Le phénomène de rumeur (incluant les « fake news » et autres « bad buzz ») est souvent un des éléments mis en avant par les autorités pour justifier de leur absence sur les RSN (Gisclard, 2017). Ces rumeurs ne sont pas toutes fausses ou infondées, et encore moins nouvelles : elles sont en effet régulièrement observées en cas d'inondations, comme l'ont montré les événements en 2001 (avec la « rumeur d'Abbeville » ; Framery, 2003), en 2003, en 2015, en 2016 ou en janvier 2018. Ces rumeurs constituent des faits qui n'ont pas encore été vérifiés par une source officielle et c'est ce manque de communication qui en est à l'origine (Scarwell et Laganier, 2004). Les rumeurs sont aussi amplifiées par les écarts existant entre l'impact émotionnel (vécu par les personnes touchées par la catastrophe) et la couverture médiatique (**exemple 6**). En l'absence de communiqué officiel, les individus agissent souvent en fonction des renseignements reçus avant même qu'ils ne soient vérifiés.

La désinformation peut alors se répandre rapidement sur les RSN, surtout lors d'une situation d'urgence. En raison de la nature virale de ces médias, elle peut à la fois se répandre sur de nombreux réseaux, dans différents lieux et au sein de communautés disparates, ce qui peut mener à une prise de décision inefficace, à des actes dangereux et à des directives erronées (VISOV, 2015). Même si la propagation de rumeurs est parfois difficile à arrêter (**exemple 7**), les autorités ont tout intérêt à rectifier l'information inexacte en ayant une implication active et continue auprès du public et des partenaires d'intervention. Par chance, ces rumeurs peuvent être contredites par les internautes (à l'image de la première photo relayée lors de l'accident de Bretigny-sur-Orge le 12 juillet 2013 qui était une photo prise trois ans plus tôt en Russie, et qui a été retirée en moins de 20 minutes).

EXEMPLE 6. Le phénomène d'amplification observé suite aux inondations du Rhône en 2003 est dû au décalage entre 1) l'importance émotionnelle de la catastrophe (relatée comme événement par les médias : Arles, la ville d'art, ou Arles l'antique, dévastée par un cataclysme quasi pompéien) ainsi que l'ampleur des dégâts matériels, qui atteint près d'1 milliards € et 2) le faible nombre de victimes (1 décès). L'imaginaire collectif a réduit cet écart en augmentant le nombre de morts. Ce phénomène a aussi été observé en juin 2010 (pour plusieurs riverains, des personnes auraient été piégés dans la prison de Draguignan, alors inondée par plus de 2m d'eau) ou même 10 ans après les inondations survenues à Nîmes le 3 octobre 1988 (une étude menée par R. Domergue, dans le lycée Montaury, montre qu'en 1998, 35% seulement des élèves croient à l'exactitude du chiffre annoncé par les autorités ; 20% le pensent faux et 32% se disent sceptiques). On cherche souvent à comparer la catastrophe avec un cas récent plus dramatique, comme l'inondation de Vaison-la-Romaine en 1992 dans le sud de la France (avec un bilan de 43 victimes qui continue de « marquer les esprits »), d'autant plus que cet événement a eu un impact médiatique modeste (par comparaison à d'autres inondations comme celles de 2010, 2015 ou 2016).

EXEMPLE 7. Pour identifier des rumeurs, il existe certaines techniques, comme le fait d'enregistrer la photographie pour faire une recherche par image sur Internet (pour voir s'il s'agit d'une ancienne ou d'une nouvelle photo). Un outil comme *FotoForensics*© est particulièrement utile pour voir si des parties de l'image ont été modifiées. On peut également citer *Tineye*© et *Verify*© (vérification par *crowdsourcing*), de plus en plus utilisés durant les crises et par les acteurs opérationnels pour réduire le temps de validation institutionnelle.

Plusieurs aspects sémantiques méritent également qu'on y attache une grande vigilance : les niveaux de langage observés sur certains médias sociaux sont différents pour les individus, et ils ne correspondent pas forcément à ceux des autorités. Sur *Twitter©,* la prise en compte des déformations syntaxiques s'avère alors nécessaire pour recouper les informations relayées. Par exemple, en cas d'inondations, il est possible de manquer des messages contenant des fautes d'orthographe à certains mots (comme le classique « #innondations », **figure 6.7**.) et plusieurs études (Fischoff *et al.,* 1978 ; Slovic *et al.,* 1980, 2004; Sjöberg, 2000), consacrées à l'étude de la perception des messages par les individus, ont déjà démontré qu'il était crucial de tenir compte de ces dimensions cognitives.

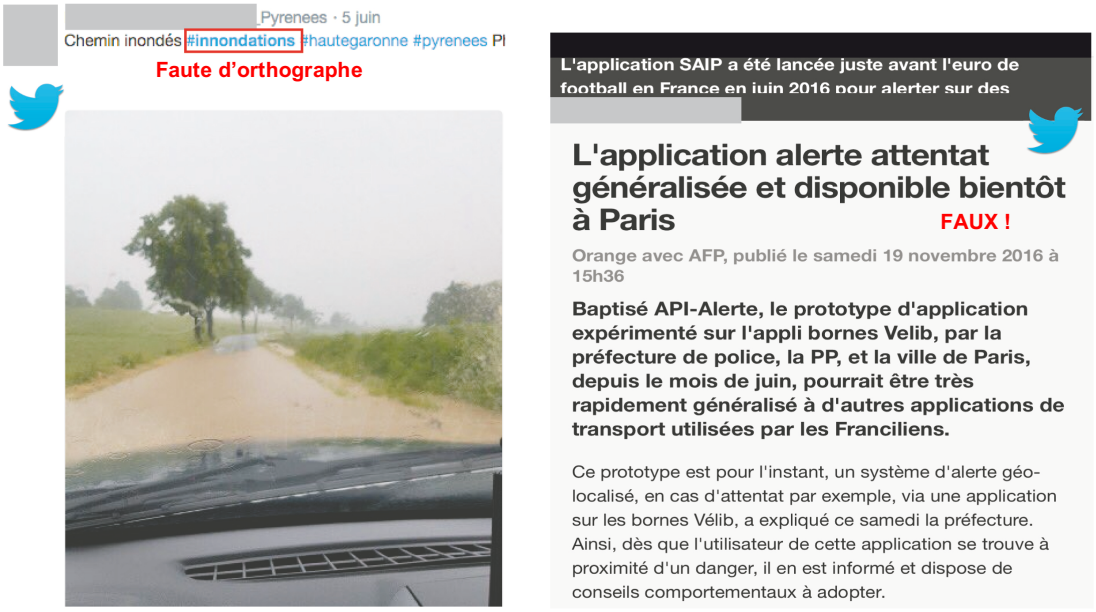


Figure 6.7. Exemples de messages pouvant poser problème en cas de gestion de crise

Dès lors, il est compliqué pour les autorités d'utiliser les vecteurs de communication classiques pour adresser des réponses ciblées en fonction des demandes et de la distance au territoire concerné. La confusion qui peut régner du côté des individus s'analyse à plusieurs niveaux. Avec la rapidité de circulation de l'information sur les RSN, des personnes non concernées par l'alerte peuvent relayer des messages « inadéquats » : par exemple, lors des passages de cyclones, des familles résidant en métropole et cherchant à prévenir leurs proches dans des territoires d'Outre-Mer. La multiplication des sources d'informations météorologiques (autres que Météo France), qui ne sont pas tenues de suivre les codes couleurs officiels ou qui communiquent sur des niveaux d'information différents (par exemple lorsque les bulletins du site *Keraunos©* informe sur une activité climatique avec un niveau de vigilance violet) rend peu lisible les information officielles. Le manque d'expertise scientifique de certains médias « non spécialisés », également peu au fait de la complexité des instances institutionnelles en charge de la gestion de crise, contribue à brouiller les messages pertinents. Enfin, l'absence de considération des biais cognitifs conduit à négliger la réception d'un message par les publics concernés (Gisclard *et al.,* 2017). Des consignes comportementales ciblées en fonction du contexte sont nécessaires, plus que des consignes généralistes qui manquent de pertinence.

6.3.3. Des médias pouvant inciter à la mise en danger des individus

Les RSN peuvent aussi conduire à mettre en danger la vie des personnes qui les utilisent. Le recours aux RSN plutôt qu'aux services de secours a déjà été souligné, mais d'autres écueils ont été observés ces dernières années. En cas d'inondations, certaines personnes n'hésitent pas à se mettre en danger pour obtenir une vidéo ou faire un cliché au plus fort de l'événement (plusieurs personnes

ont d'ailleurs perdu la vie en voulant faire un « selfie » dans de telles situations ; Kouadio, 2016). Les contenus une fois diffusés peuvent ensuite inciter d'autres utilisateurs à reproduire ces comportements (traverser la route inondée et s'en sortir de justesse, à l'image des vidéos relayées à nouveau lors des inondations de juin 2018 à Morlaix). Mais un des écueils est d'amorcer un détachement progressif vis-à-vis de la réalité, jusqu'à aboutir à une sous-estimation du danger (**figure 6.8.**). Ce détachement est appuyé par l'importante masse d'informations relayées en temps réel, jusqu'à s'approcher d'une sorte de "tourisme noir" virtuel autour des territoires inondés (**exemple 8**).

EXEMPLE 8. Lors des inondations du 29 septembre 2014 dans l'Hérault, un kayakiste a fait le tour de l'actualité en se filmant progressant dans les rues de Montpellier à bord de son embarcation en pleine inondation. La vidéo a été vue plus de 24 300 fois et elle a été partagée sur Facebook par plus de 6 000 personnes (CEREMA, 2014).



https://www.youtube.com/watch?v=Dinj79VCZYY



https://www.youtube.com/watch?v=bIX44KLbcgU

Figure 6.8. Exemple de vidéos traduisant une prise de risque par des individus lors les inondations du Lay le 29 septembre 2014 (postées sur les RSN et reprises par les médias…)

6.3.4. Des pratiques marginales et surestimées

Même si le nombre de vidéos ou de messages postés en cas d'inondation semble augmenter, les pratiques des RSN semblent rester marginales en France. Pour être proactif sur les RSN (et ainsi gagner en audience et en crédibilité), il faut intervenir au bon moment et sur des sujets qui concentrent les attentions de l'opinion publique (Guide *Twitter* pour les préfectures, 2014). Or, les utilisateurs des RSN ne sont pas représentatifs du reste de la population et ils ont une sociologie particulière : la moitié des *twittos* sont âgés de moins de 35 ans (et 33% vivent dans la région parisienne) ; 74% des comptes *Instagram*© ont été créés par les 15-25 ans. Les cadres et les professions libérales (en particulier des professions en lien avec la communication et le numérique) sont plus représentées que les ouvriers et les employés, constat que l'on retrouve dans le domaine de la politique (Boyadjian, 2016).

Être actif sur un RSN revient aussi à avoir une grande réactivité dans la reprise d'informations : un rythme de publications insuffisants va se traduire par une faible audience et une faible portée des messages (avec un effet «babillage »), alors qu'une activité élevée aura plus d'impacts (effet « boule de neige » pour une audience réduite et effet « géant » quand le compte est suivi par un grand nombre d'abonnés ; Arif et Kanwal, 2016). Sur ce point, si 21,8 millions de français ont un compte *Twitter*© (juillet 2017), 53% n'ont émis aucun message et seulement 8% ont envoyé plus de 8 tweets au cours du dernier mois. Ce chiffre est proche de ceux obtenus sur l'ensemble des RSN, et 10% des usagers produisent finalement 90% du contenu. Il convient par ailleurs de partager des contenus « exclusifs » (ou des choses que les internautes ne peuvent découvrir ailleurs) et de s'abonner à d'autres comptes pour être averti en retour. En partageant les contenus d'autres pages, c'est aussi un moyen de signaler son existence à d'autres communautés, qui viendront éventuellement renforcer sa propre audience. Mais il convient de rester prudent : il existe près de 20 millions de faux comptes sur *Twitter*© !

Les inégalités d'accès ne doivent pas non plus être occultées (Vodoz *et al.,* 2005 ; Brotcorne et Valenduc, 2009). A la fracture spatiale, induite par les différences dans la couverture en matière de téléphonie mobile et d'internet haut débit, s'ajoute une fracture en termes d'usage (Aschieri et Popelin, 2017). On évalue à 15% le nombre de personnes étant en difficulté face aux usages du numérique en France (en 2017) et l'origine de ces difficultés est d'abord sociale puis générationnelle. En cas d'alerte, le nombre de personnes prêtes à utiliser les RSN est par ailleurs faible : en lien avec le protocole déjà présenté (§ 3.3.4), sur 1 223 personnes interrogées, 54% (661 personnes) déclarent se connecter sur un RSN une fois par jour, mais 4% seulement iraient chercher de l'information sur un tel canal en cas d'alerte. Très peu sont donc conscients de leur utilité dans une telle situation (**figure 6.9.**).

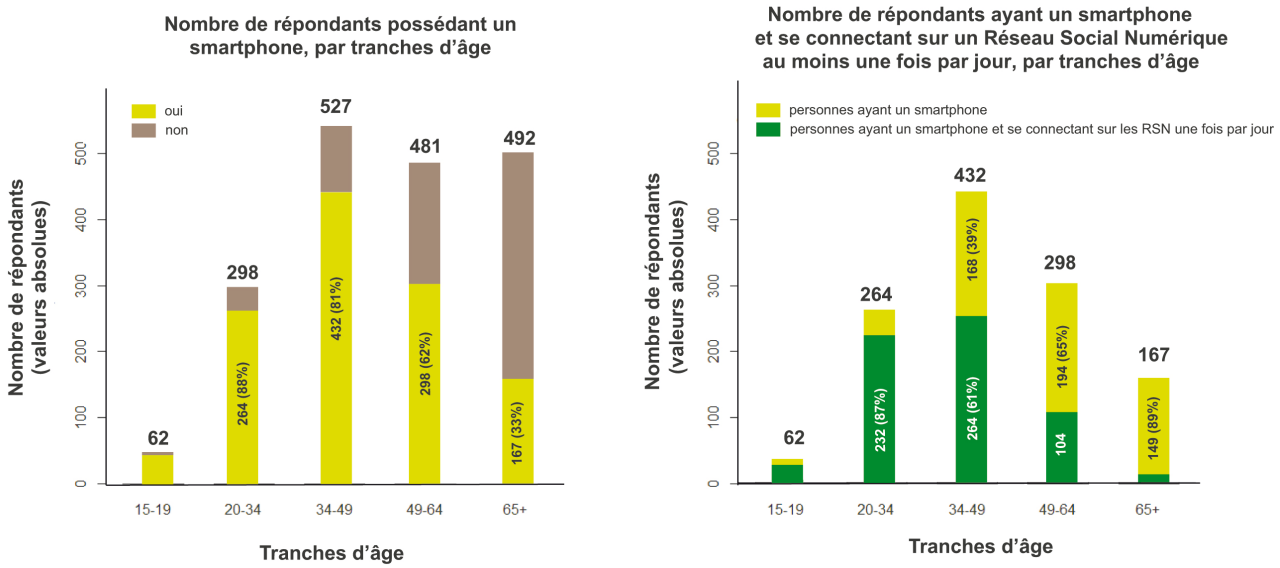


Figure 6.9. Taux d'utilisation des RSN au quotidien pour 1 223 réponses (lien avec la **figure 5.5**., p. 103)

6.4. Quels besoins à moyen terme ?

L'adoption, le déploiement et l'intégration des RSN (et MSGU) dans les systèmes traditionnels doivent faire l'objet d'une réflexion pour les années à venir, notamment en France puisque le ministère de l'intérieur, en annonçant l'abandon de l'application smartphone SAIP® le 29 mai 2018, a également indiqué que son choix se tournerait désormais vers les *GAFA*, en lien avec le volet sirènes. Le potentiel d'utilisation ne cesse par ailleurs de s'accroître : en janvier 2018, 33 millions de français ont une page sur *Facebook*®, 30 millions consultent *YouTube* chaque jour, 16,4 millions ont un compte *Instagram®,* 15,6 millions sur *Twitter®,* et 12,2 millions (53% ont moins de 25 ans) sur *Snapchat* (Agence Digitale, 2018). Et les RSN ont aussi induit des changements dans les besoins : après une catastrophe, l'accès à l'information est devenu tout aussi important que l'accès à l'eau ou à la nourriture (d'après le *World Disasters Report*, 2013), et en cas d'alerte, on pourrait donc profiter de la présence des individus sur ces réseaux car ils y sont désormais de façon quotidienne (pour 45% des français en janvier 2018).

6.4.1. Des pratiques à co-construire en dehors de la crise

La temporalité de la communication institutionnelle (imposée par le processus traditionnel de validation de la communication) est de plus en plus mal comprise par les populations, et cela accentue le recours à d'autres interlocuteurs, pas nécessairement légitimes. C'est donc l'ensemble du mode de validation de la communication institutionnelle qui est à adapter. Outre-Atlantique, différents types de structures sont d'ailleurs apparues, notamment les *Virtual Opérator Support Team* (VOST) reposant sur des acteurs bénévoles. Mais un « copier-coller » de ces structures aux particularités de la société

française n'est pas envisageable, essentiellement pour des raisons culturelles. Il faut donc développer des réponses adaptées à nos spécificités tout en s'en inspirant (Douvinet *et al.,* 2018). Afin d'atteindre un usage plus opérationnel des RSN, il convient (comme pour les applications smartphone) de créer un *« terreau favorable »* à leur utilisation en dehors de la crise (Villar, 2015). Or, dans le domaine de la prévention, on constate un usage restreint et dilué de ces outils : les individus ne voient pas l'intérêt d'échanger entre eux des informations relatives à des mesures de prévention et les autorités peinent à trouver la formule « *ad-hoc* » (**exemple 9**). Tous se heurtent au phénomène « d'infobésité », propre à l'envahissement communicationnel des RSN dans le quotidien (Vulbeau, 2015), et les individus sont amenés à prioriser des informations qu'ils jugent utiles sur le moment, mais le risque est virtuel et non actualisé (Caeymaex, 2007), ce qui en réduit très rapidement le potentiel.

EXEMPLE 9. L'exemple du compte *@gendarmerie83* démontre qu'il devient possible de communiquer de façon pertinente et de conserver l'attention des populations dans le temps de la prévention. Les gendarmes du Var ont ainsi utilisé l'humour décalé pour sensibiliser les internautes aux limitations de vitesse sur les routes et informer sur la localisation des radars. Cette stratégie leur a permis de gagner un nombre élevé de *followers* tout en se positionnant en tant qu'interlocuteur crédible. Cette reconnaissance dans le temps de la prévention leur permet ensuite d'être légitimes dans le temps de la crise. Une telle expérimentation a ensuite été reprise par le compte @gendarmerieNationale, qui totalise plus de 368 000 *followers* au 1er janvier 2018.

Après un événement, on peut distinguer deux temporalités : la post-crise et la reconstruction. La recherche de victimes, l'acheminement des secours et/ou le lancement des premières réparations (remise en état du réseau d'eau ou d'électricité par exemple), gagnent en efficacité en misant sur une collaboration entre les citoyens (détenteurs d'informations comme la connaissance du terrain ou des relais humains locaux) et les services institutionnels (qui ont les compétences et les moyens d'agir). Ce mode de partage d'informations géographiques s'effectue grâce aux citoyens-capteurs (Goodchild, 2007). Dans le temps de l'immédiate reconstruction, l'organisation de l'aide, la collecte de dons et le recours aux volontaires pour nettoyer s'appuient aussi sur les RSN. Des groupes *Facebook©* se créent spontanément, permettant de fédérer de l'aide ou de s'organiser en collectifs de sinistrés.

6.4.2. Des liens à promouvoir avec les cartographies d'urgence en temps réel

Plusieurs outils permettent aussi d'associer les contenus des messages circulant sur les RSN à des cartographies d'urgence, notamment grâce à des plateformes participatives développées avec des solutions opensource (comme *Qwidam©, Waze©*, *OpenStreetMap©*, *GoogleMap©)*. L'importance des flux peut faire l'objet d'une veille attentive de la part des autorités et des partenariats existent dans différents services de secours pour une plus grande cohérence interservices et une plus forte proximité avec les citoyens (**exemple 10**). Le logiciel *Ushahidi©*, développé à l'origine dans un contexte de crise géopolitique au Kenya pour avoir des informations géo-localisées durant les élections présidentielles, a été précurseur dans ce domaine et il a montré toute son utilité lors du tremblement de terre survenu en Haïti (Yates *et al.*, 2011). Les utilisateurs laissent des traces digitales intéressantes à analyser (Fen Chong, 2012 ; Luccini *et al,* 2016), notamment en cas de crise (Preis *et al.*, 2013), et d'autres initiatives ouvrent la voie dans ce domaine. A titre d'exemple (**figure 6.10.**), l'application *SnapMap©,* créée en juin 2017, est une interface cartographique collectant en temps réel des snaps envoyés au sein de la rubrique *Notre Story* de l'application *SnapChat©*. Si la plupart des vidéos consultables renvoient à des éléments factuels ou à des situations quotidiennes (ce qui peut vite devenir dérangeant car on consulte des vidéos que les utilisateurs eux même n'ont pas conscience d'envoyer sur la toile, **figure 6.10.**), les zones rouges signalent que de nombreux *snaps* ont été envoyés en quelques secondes, et en cas d'inondation, elles peuvent alors correspondre à des signaux faibles qu'il convient de détecter.

EXEMPLE 10. Le SDIS du Gard a signé une convention depuis juin 2016 avec *Qwidam©* afin de pouvoir signaler un incident dans une zone géographique étendue (les utilisateurs ne peuvent pas envoyer d'informations dans un rayon dépassant 5 km). En cas d'inondation, l'intérêt (d'après C. Tarantino, responsable MSGU au sein du SDIS30) est de pouvoir informer les automobilistes qui arriveraient dans la zone concernée, tout en informant un maximum de population. Le SDIS est également connecté en permanence sur *SnapMap©*

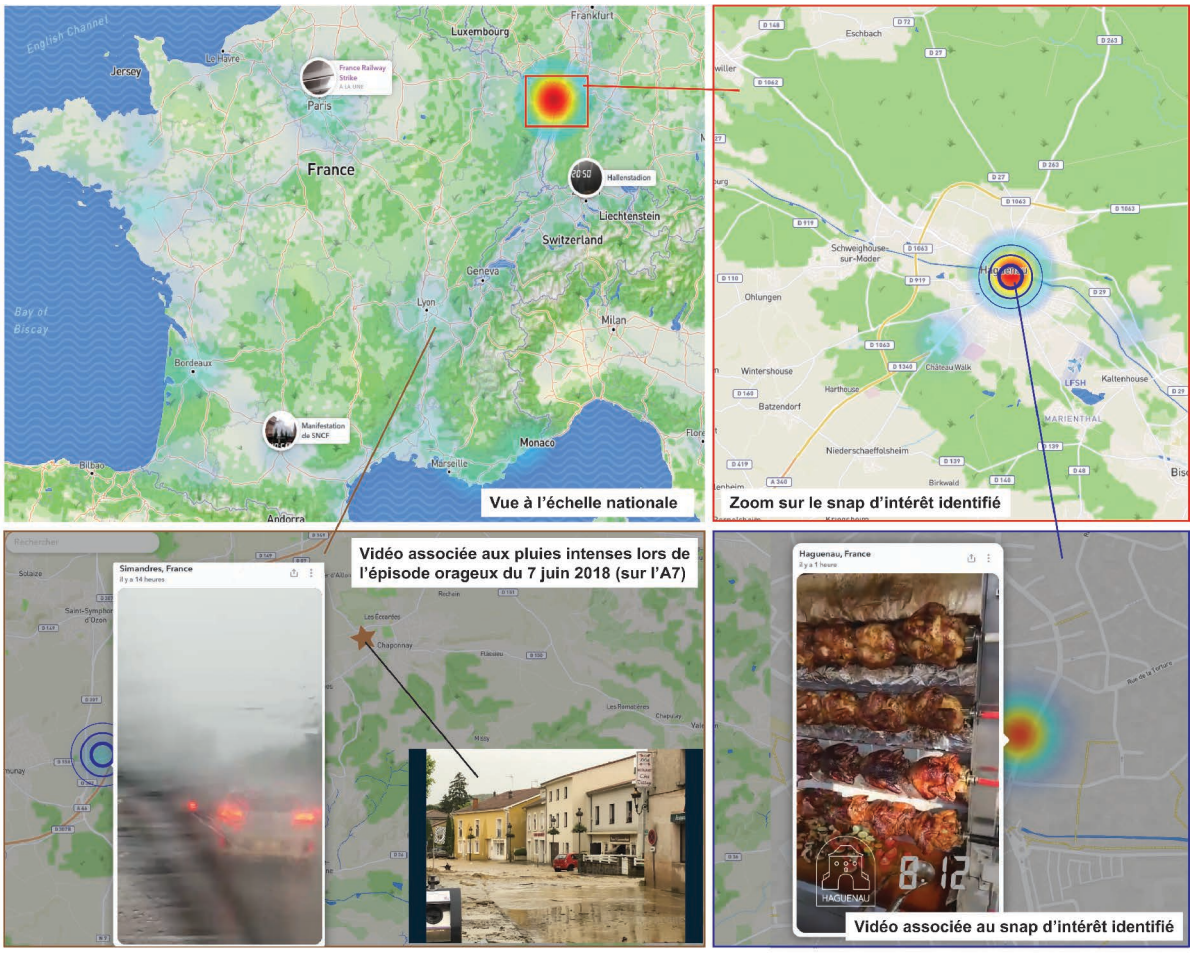


Figure 6.10. Exemple de vidéos consultées le 8 juin 2016 à 07:15 UTC sur *SnapMap*©

On comprend alors que l'un des enjeux est la fiabilité accordée à la remontée d'informations, ce qui induit des besoins majeurs en termes de précision, de complétude, d'actualité, de volatilité, de cohérence, de compréhensibilité et/ou de traçabilité, sujets sur lesquels de nombreuses disciplines se penchent, notamment en informatique (Douvinet *et al.,* 2017). Ces approches sont menées durant la phase de post-traitement et elle reste donc délicate à réaliser en cas d'alerte, notamment quand la cinétique des crues rapides est très courte : plus les informations remontées par des bénévoles sont rapidement mises en ligne, plus les délais pour les vérifier sont réduits, et donc plus les risques d'erreur s'accroissent (sans parler du bruit que contiennent les rumeurs).

6.4.3. Un facteur humain à ne pas occulter !

Les analyses statistiques des réseaux sociaux (SDA), qui ont pour but d'automatiser le travail de recherche, de traitement et de création de bases de données exhaustives, semblent par ailleurs limitées pour de multiples raisons. Il faut souvent demander des précisions au citoyen « émetteur » de l'information, car les algorithmes basés sur l'analyse sémantique n'apportent pas la finesse qualitative et l'exactitude recherchée dans la démarche MSGU. L'interaction, la détection des signaux faibles et la souplesse organisationnelle ne sont pas susceptibles d'être automatisées (VISOV, 2015), et c'est alors l'occasion d'inviter virtuellement les citoyens dans les salles de crise, le rendant de manière enfin concrète et utile, acteur de leur propre sécurité civile.

Toute communication autocentrée est par ailleurs à bannir : peut-on garder des amis pendant 10 ans sans leur parler une seule fois ? A ce titre, seulement 11% des *twittos* inscrits en 2012 tweetent encore en 2018 (Landwher *et al.,* 2016). Les évolutions sociétales et technologiques sont aussi très

rapides entre les « générations », à l'image des booms observés pour *SnapChat*© et *Instagram*©, qui sont les RSN arrivant en tête chez les 18-25 ans (Agence du numérique, 2017), et qui font craindre, par « effet boule de neige », la disparition d'autres RSN, comme *Twitter*© par exemple.

Le suivi de la *timeline* est aussi un indicateur intéressant, qui peut être corrélé à des facteurs géographiques (comme la chute de la pression atmosphérique en cas d'ouragan, **figure 6.11**), mais là aussi, il faut distinguer la nature et le contenu des photos remontées : une photo indiquant un coup de vent ou des éclairs ne nécessitera pas la moindre réponse de la part des autorités, contrairement à une vidéo montrant des personnes ou des voitures emportées par un écoulement rapide. En l'état, cette vidéo reste masquée par le flux incessant des informations remontées, et il faut alors garder une expertise humaine derrière les algorithmes, si parfaits sur le plan technique soient-ils.

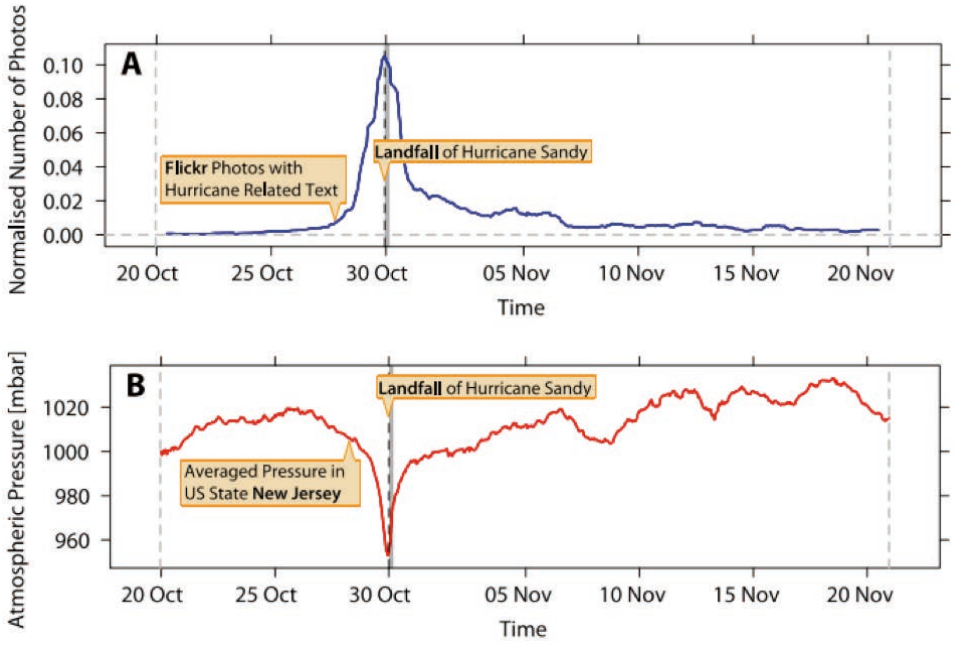


Figure 6.11. Corrélation entre le nombre de photographies postées sur *FlickR*© et la pression atmosphérique lors du passage de l'ouragan *Sandy* aux Etats-Unis (Preis *et al.,* 2013)

6.5. Conclusions du chapitre 6

Entre des gestionnaires qui coordonnent des opérations d'alerte et de secours des populations à distance (sans contact physique avec le terrain), et des populations en prise avec l'événement mais sans compréhension systémique, il est normal que des divergences existent (Starbird et Palen, 2010). Ces différences de points de vue se retrouvent aujourd'hui au premier plan quand on évoque les RSN. Durant l'alerte, la crédibilité de la source du message devient alors déterminante, et la communauté a désormais tendance à devenir plus crédible que les autorités et les médias traditionnels (par manque de réactivité ou d'adaptation au langage qu'elle comprend). *Facebook*© bénéficie d'ailleurs d'un taux de confiance supérieur aux autres sites (Bird *et al*., 2012). Dès lors, il semble nécessaire de se saisir de tels outils (malgré quelques réserves), car les échanges entre individus et les discussions vont vite, pouvant générer des rumeurs, des confusions, mais aussi de la réactance face à des moyens moins souples et moins dynamiques tels que les outils de l'alerte institutionnelle.

Toutefois, il ne faut pas percevoir les RSN comme « une fin en soi » : la réalité sociale et les pratiques qu'ils recouvrent doivent être pris en compte, tout comme les aspects contextuels, culturels, cognitifs et territoriaux. Le signal, tant dans sa portée spatiale que dans la qualité de sa diffusion, pose

aussi question (ce point est d'autant plus critique face aux crues rapides, **tableau 6.3**). Il est également utopique d'être « partout en même temps » et « sur tous les canaux ». Dès lors, puisque les RSN ont induit un irréversible changement de paradigme dans l'information et dans la gestion des risques, il faut les intégrer le plus vite possible dans les outils institutionnels, ne serait-ce que pour leur viralité et leur plus grande dextérité. Reste à savoir comment faire (et pourquoi faire !) puisque ces moyens, si puissants et modernes soient-ils, n'ont pas pour priorité d'être utilisé pour diffuser une alerte adaptée aux personnes qui s'y connectent, même si c'est une voie demandée par certains (Vogel, 2017).

	Alerte (au sens large)			Alerte (en cas de crues rapides)		
Critères d'efficacité	**Facebook©**	**Twitter©**	**Snapchat©**	**Facebook©**	**Twitter©**	**Snapchat©**
Ampleur de la portée (spatiale)	< 50% de la population (potentiel)	< 22% de la population (potentiel)	> 18% (53% ont moins de 25 ans)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)	Réduite (peu de couverture dans les zones à risque)
Rapidité de la diffusion du message	Satisfaisant (réseau de connaissances personnelles)	Satisfaisant (grande dextérité +proactivité)	Très satisfaisant (communautés, vidéos)	Limitée (usage en cas de vigilance uniquement)	Relative (inter-services + liens individus / autorités)	Réduite (aucune alerte crues rapides)
Capacité à toucher toutes les catégories de population	Satisfaisant (sémantique + mots clés)	Satisfaisant (milieu professionnel)	Limitée (jeune génération + vidéos personnelles)	Satisfaisant (sémantique + mots clés)	Réduite à certains (milieu professionnel principalement)	Limitée (jeune génération + vidéos personnelles)
Adéquation à la temporalité d'aléas à cinétique rapide	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Très satisfaisant (diffusion en masse)	Très satisfaisant (diffusion en masse)
Capacité à inciter un changement de comportement	Faible (évaluation difficile à généraliser)	Faible (évaluation difficile à généraliser)	Faible (évaluation difficile à généraliser)	Faible (évaluation difficile à généraliser)	Faible (évaluation difficile à généraliser)	Faible (évaluation difficile à généraliser)
Réception et compréhension du signal par les individus	Faible (réseau d'informations personnel)	Satisfaisant (échanges et interactions)	Limitée (différentes communautés)	Faible (réseau d'informations personnel)	Satisfaisant (échanges et interactions)	Faible (réseau d'informations personnel)
Qualité de diffusion du signal	Satisfaisant (Safety check + données personnelles)	Dépendance au nombre d'abonnés	Faible (pas de lien entre différentes communautés)	Dépendance au nombre d'abonnés	Dépendance au nombre d'abonnés	Faible (pas de lien entre différentes communautés)
Dépendance aux actions de sensibilisation réalisées en amont	Discutable faible communication)	Discutable (lié à des événements contextuels)	Discutable faible communication)	Discutable faible communication)	Discutable (lié à des événements contextuels)	Discutable faible communication)
Appropriation sociale de l'outil par les bénéficiaires	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)	Faible (aucune évaluation)

Tableau 6.3. L'efficacité des applications smartphones évaluée selon différents critères

Synthèse et perspectives de recherche

Toute la réflexion menée dans cette partie II permet d'aboutir à d'autres conclusions. Si divers et variés soient les moyens créés pour alerter la population, l'offre est pourtant très mal coordonnée en France, et la priorité donnée à certains outils (au détriment d'autres) relève d'héritages et de choix politiques régaliens. Les gouvernements successifs ont accordé une grande confiance aux sirènes électroniques depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, et le gouvernement actuellement en place en 2018 maintient leur modernisation, actée en 2010 et attendue pour 2022. En revanche, l'envoi des SMS géo-localisés, le recours au *CBC*, ou la diffusion d'une alerte *via* les RSN ou *via* des applications smartphone apparaissent comme secondaires, comme le montre l'exemple de *SAIP©*, créée en juin 2016 puis définitivement abandonnée le 29 mai 2018. Cette partie confirme aussi que la population méconnaît très largement la diversité des canaux d'alerte, ce qui a pour effet d'accroître la confusion et la cacophonie en cas de danger, et de conforter une *« polyphonie de l'ignorance »* (Cardon, 2005). Ce second constat est d'autant plus inquiétant que les habitants, en ne comprenant pas ce que l'on attend d'eux, ne peuvent pas adopter des réflexes ou des automatismes si le signal censé y contribuer est, dès le départ, illisible. C'est donc l'ensemble de l'offre qu'il faudrait repenser, voire réinventer…

Des outils d'alerte en quête d'amélioration

Depuis une quarantaine d'années, de nombreux progrès ont été faits pour améliorer l'alerte à la population en cas de danger. Les solutions créées se différencient dans leurs caractéristiques, leur mode de fonctionnement, l'ampleur des couvertures spatiales et dans leur appropriation de la part des utilisateurs (individus et/ou autorités). Aux outils institutionnels (alertes et tocsins) sont venus se greffer d'autres moyens plus contemporains (applications smartphones, réseaux sociaux numériques, SMS, géo-localisés, Panneaux à Message Variable), qui se veulent plus souples et plus pervasifs et qui sont apparus suite à d'importants progrès techniques.

Chaque solution offre des avantages indéniables : parmi les outils étudiés et explorés dans la partie II, la sirène (en combinant le RNA / SAIP) reste le moyen le plus connu de la population (même si le chiffre de 22% peut sembler insatisfaisant) et le signal se veut univoque pour laisser peu de temps à la réflexion et à la moindre hésitation. Les automates d'alerte d'appel ont été développés pour gagner en rapidité, et les solutions profitant de la téléphonie mobile (associant ici les applications smartphones et les RSN) permettent de mieux tenir compte des déplacements quotidiens des individus, de favoriser les échanges en situation d'urgence et de gagner en proactivité et en dextérité.

Toutefois, chaque outil présente également des faiblesses. Les sirènes envoient un signal qui n'est pas si explicite pour les habitants, et ces derniers n'y prêtent guère attention, le son étant un bruit de plus parmi tant d'autres, notamment en contexte urbain dense. Il faut alors y associer un message vocal complémentaire, ce qui est le cas aux États-Unis ou en Belgique par exemple, et non en France. L'efficacité des messages envoyés sur les smartphones ou les réseaux sociaux numériques est limitée selon l'heure à laquelle ils sont diffusés et selon l'audience, voire même selon l'importance du flux de communications en temps réel, chaque nouveau message ayant tendance à remplacer le précédent. Quant aux haut-parleurs, leur usage reste fortement contraint par le nombre de personnes disponibles pour disséminer le signal, et selon l'ampleur de la zone à couvrir.

Si les progrès techniques sont indéniables, l'efficacité réelle de ces solutions reste néanmoins mal connue (Sorensen, 2000). Afin de lever ce verrou, une grille d'évaluation synthétique a été testée. La quantification de certains indicateurs doit être affinée, notamment l'appropriation des moyens à des petites échelles, ou leur usage en cas de crise. Mais une chose est sûre : concevoir et déployer des

solutions techniques sont des étapes qui, aujourd'hui, ne suffisent plus, tant il est nécessaire de créer le *« terreau social propice à les fertiliser »* (Villar, 2015), et tant il faut s'adapter aux niveaux de langage des futurs utilisateurs. Les failles techniques (la dépendance à Internet ou une absence d'information associée au signal envoyé) rajoutent, par ailleurs, de la « complexité » dans un processus qui, en lui-même, doit déjà faire face à de nombreuses contraintes (cf. conclusions de la partie I).

Une offre inadaptée face aux crues rapides

L'inadaptation des moyens d'alerte actuels face à la temporalité des crues rapides a aussi été confirmée à plusieurs reprises. Les secteurs potentiellement touchés par des crues rapides sont très mal couverts par les sirènes (RNA et SAIP) ; les automates d'appel sont rarement existants dans les communes rurales, par manque de moyens budgétaires, et dans celles qui n'ont pas été affectées par un événement dramatique au cours des trente dernières années ; les médias sociaux (en incluant ici les applications et les RSN) peuvent être défaillants à cause d'une connexion internet lente, qui devient même inexistante dans les « zones blanches », ou suite à une coupure du réseaux de communication. Force est aussi de constater que les gouvernements réagissent au *« coup par coup »,* à l'image des 120 sirènes SAIP rajoutées suite aux crues survenues le 3 octobre 2015 dans le Var par exemple.

Les outils d'alerte existants en France ne sont pas non plus adaptés aux « espaces des crues rapides » : les zones urbanisées touchées sont très souvent déconnectées, spatialement, des zones de production des aléas, qui émergent dans les zones amont et au sein de bassins versants souvent moins peuplés, et le transfert des crues dans les lits des cours d'eau est trop rapide pour être associé à un quelconque signal. Sans outil de détection automatique, il est alors illusoire d'espérer alerter cette population exposée aux exutoires, qui doit souvent se « débrouiller par elle-même ». Quand les pluies sont très intenses, il est également difficile d'être attentif à un autre signal sonore (tel que celui véhiculé par les sirènes) ou d'être réceptif à un message d'alerte envoyé sur son téléphone, d'autant plus quand l'alimentation électrique dans sa propre maison est coupée. Il faut par ailleurs prendre en compte les biais (perceptifs, émotifs et cognitifs) des individus, et comprendre ce qui influence leur comportement durant de tels phénomènes (Ruin *et al.,* 2013), si on veut améliorer l'efficacité de l'offre actuelle.

La complexité de ce risque place les autorités ou les services de secours dans des situations inédites d'incertitude (Reghezza-Zitt, 2015). Seules solutions pour eux : anticiper les dégâts probables le plus rapidement possible et mettre en place des moyens d'intervention appropriés, quitte à évacuer par anticipation certains territoires. Les exemples illustrant ce propos sont nombreux, comme nous le démontre régulièrement l'actualité : le 5 août 2018, suite à la mesure avérée de fortes pluies sur les hauteurs de Mansu (en Corse) et face au risque probable d'une crue rapide du Fangu estimée arrivant une heure plus tard, les services de secours ont procédé à l'évacuation par anticipation d'environ 420 personnes le long du cours d'eau. Aucune alerte à la population n'a toutefois été diffusée. *A contrario*, les personnes informées peuvent refuser d'évacuer : le 9 août 2018, suite aux fortes pluies estimées entre 150 à 170 mm dans le nord du Gard, une colonie de vacances et plusieurs campings (environ 1600 personnes) n'ont pas été évacuées à temps à Saint-Julien-de-Peyrolas, malgré une demande des autorités locales, et les services de secours ont dû intervenir en urgence (près de 130 personnes ont été hélitreuillées) et une victime a malheureusement été déplorée (un touriste de 62 ans).

Aussi, il faudrait reconsidérer les besoins associés à ce type d'aléa dans l'offre actuelle, quitte à définir des priorités dans certains territoires. Le plus efficace serait, pour moi, l'envoi d'un message automatisé, associé au dépassement d'un seuil ou à plusieurs capteurs situés dans les cours d'eau, indiquant de façon simplifiée et courte les consignes à adopter. Il ne faut pas pour autant développer un outil d'alerte spécifique (dans la lignée du *Protocole d'Alerte Commun*), car cela pourrait à l'inverse nuire aux autres phénomènes (Mileti et Sorensen, 1994), et la population serait encore plus perdue en cas de réception de messages venant de différents canaux.

Une offre essentiellement conditionnée par le politique

Croire que les moyens d'alerte sont « apolitiques » (comme la procédure…) relève par ailleurs du « mythe » : d'un côté, les institutions les plébiscitent pour justifier des budgets qui leur sont alloués, indépendamment de leur portée réelle auprès des publics visés (Matveela, 2006) ; d'un autre côté, ce n'est pas parce que les outils existent qu'il seront sollicités, et ce constat, observé au début des années 2000 (Sorensen, 2000), se retrouve encore aujourd'hui, en 2018. L'usage qui en résulte dépend d'une décision politique acceptée par l'ensemble des acteurs impliqués dans la longue chaîne institutionnelle (cf. partie I), mais la lenteur du processus de validation, ainsi que la rigidité des rouages administratifs, sont des freins à l'efficacité de tous ces outils. Pour illustrer ce propos, il suffit de citer deux exemples : les exercices opérés avec les automates d'appel se fondent souvent sur le nombre d'appels acquittés, dépassant un taux de succès de 90%, mais aucun chiffre n'est toutefois fourni sur le délai nécessaire à l'activation de l'envoi des messages, et rares sont les tests réalisés en condition réelle, notamment en mode « dégradé » ; pour activer l'application smartphone *SAIP©*, le préfet de zone à l'origine de la demande devait être physiquement présent au sein du CODIS (tel qu'écrit dans le cahier des charges), mais cet acteur-clé a bien d'autres urgences à manager en temps de crise, et c'est donc aussi à cause des contraintes d'utilisation que cette solution a été abandonnée le 29 mai 2018…

Des évolutions sont attendues à court terme pour l'alerte institutionnelle, avec notamment un lien plus étroit avec les principaux RSN et l'activation du système unique dans le cadre du projet SAIP. Un arrêté a d'ailleurs été publié le 29 août 2018, pour *« mettre en œuvre un traitement de données à caractère personnel, dont la finalité est de permettre la diffusion des mesures d'alerte et d'information à destination de la population, à la demande d'une autorité de police administrative »* (soit les agents du Ministère de l'Intérieur, mais aussi le CODIS, le COZ ou les SDIS après conventionnement). Tous ces progrès doivent toutefois être replacés dans le cadre d'une réflexion globale et systémique. Or, à l'heure actuelle, les services de l'État, et en particulier les hauts-fonctionnaires, restent très réticents aux autres solutions, tels que le recours aux applications smartphones ou aux Panneaux à Messages Variables, qui restent considérés comme de simples relais techniques d'informations supplémentaires.

Il convient par ailleurs de ne pas oublier que derrière ces décisions politiques se cachent des lobbying économiques et des enjeux financiers non négligeables. A titre d'exemple, il suffit de chercher à comprendre l'origine de l'annonce faite par la Commission Européenne le 5 juin 2018, à savoir qu'elle a trouvé un accord provisoire avec la majorité des opérateurs de télécommunication pour que soit mis en place, dans les 28 pays de l'Union européenne, un « *système d'alerte par SMS en cas d'attaque terroriste et de catastrophe* », alors qu'une telle solution n'a jamais pu être déployée en France, malgré des discussions menées entre le ministère de l'Intérieur et trois opérateurs (*SFR*, *Orange, Bouygues*) dès 2005. Cette annonce fait suite à des pressions exercées par l'EENA (*European Emergency Number Association*), qui prône l'utilisation d'un seul numéro d'urgence, le 112, et le recours aux téléphones mobiles en cas d'urgence (sur le principe du *Cell Broad*Cast, déjà mis en œuvre dans plusieurs pays, § 1.4.3). Si cette initiative semble louable, il faut toutefois regarder la liste des membres du Conseil d'Administration de l'EENA et les firmes impliquées : parmi elles, on retrouve en effet de grands groupes privés, comme Ericsson, Esri, Ford, Huawei, Microsoft, Motorola, UMS ou Voxbone par exemple (http://www.eena.org/pages/corporate-members#.W260G46_Q6g).

Réinventer l'offre actuelle : une orientation à poursuivre

Plusieurs pistes ont été explorées dans cette partie II pour améliorer l'efficacité des outils mis en place. Pour promouvoir les applications smartphone, il est nécessaire d'accompagner les usages, tant du côté des individus que des institutions, et de s'adapter aux niveaux de langage des utilisateurs (Douvinet, 2018). Il convient aussi de mieux évaluer le « potentiel d'alertabilité » de ces solutions, tant l'offre est foisonnante et tant il est illusoire d'imposer de tels outils sans en assurer l'accompagnement. Afin de promouvoir les réseaux sociaux numériques, il convient de ne pas occulter le facteur humain dans le traitement et la remontée des informations y circulant, et de favoriser les pratiques en dehors

de la crise. La quantité d'informations remontées doit aussi être traitée d'une façon plus proactive, tant l' « infobésité » nuit à l'efficacité de la communication en temps de crise. On peut d'ailleurs rappeler une célèbre formule : une bonne communication de crise peut masquer une mauvaise gestion, tandis qu'une mauvaise communication de crise nuira dans tous les cas à une bonne gestion de l'événement. Des liens avec les cartographies d'urgence en temps réel ont aussi été explorés, et ces initiatives sont en plein essor, à l'image par exemple de l'application *SnapMap*© apparue en septembre 2017.

Il convient toutefois de poursuivre toutes ces investigations, notamment en sortant du cadrage institutionnel dans lequel nous nous sommes restreints dans cette partie II, pour tenter d'« innover par désobéissance » (pour reprendre une citation de Millot, un designer industriel). Il faut explorer d'autres pistes pour pallier l'absence d'interopérabilité entre les outils, promouvoir les connexions interservices et entre les individus et les autorités, mais aussi pour réfléchir à des outils plus adéquats, qui pourraient être multicanaux, multimodaux, multirisques, agiles ou *low-tech* (à faible coût financier) par exemple. Il faut également réfléchir aux moyens de communiquer plus efficacement à la population exposée à des aléas rapides, pour optimiser les effets de l'alerte, et identifier les principes qui permettraient une refonte de l'offre actuelle. C'est dans cette direction que nous avons rédigé la partie III de ce volume.

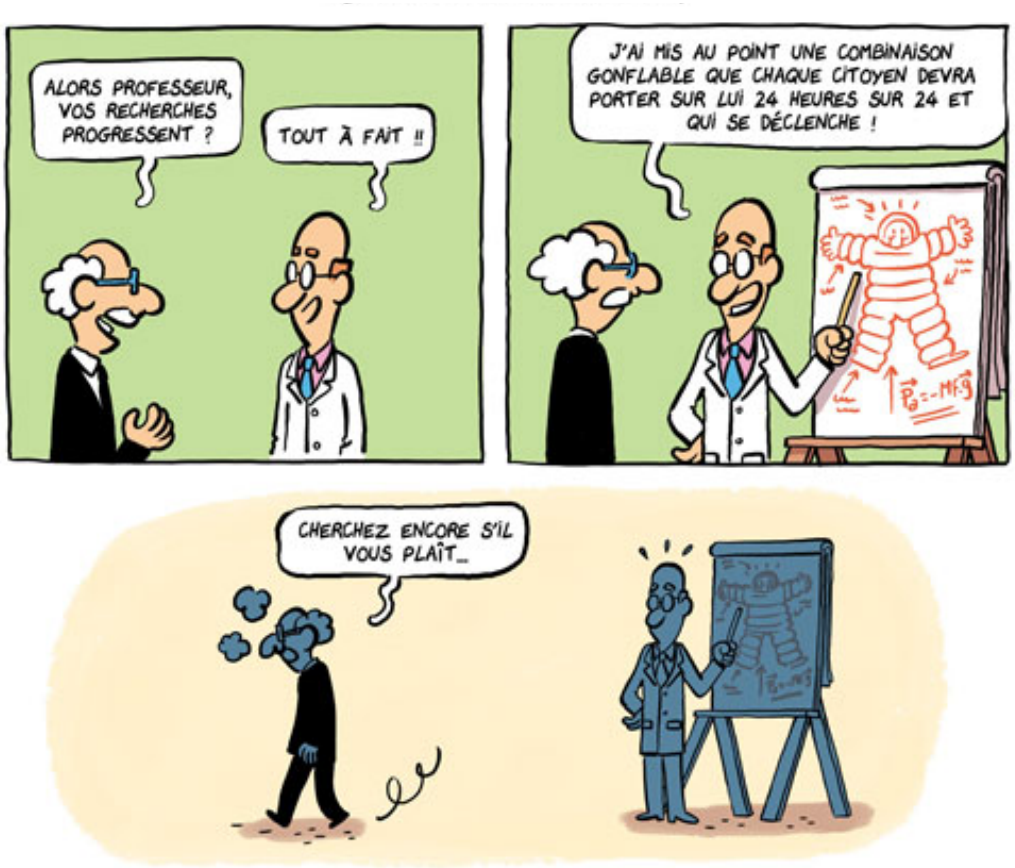
Perspectives de recherche

Il est encore nécessaire de poursuivre l'analyse de l'efficacité des moyens d'alerte, d'autant que certaines solutions n'ont pas été étudiées ici. A titre d'exemple, on pense notamment au système embarqué dans les véhicules, dénommé *eCall* (pour *emergency call*), et qui permet de générer un appel de détresse de manière automatique (grâce aux capteurs du véhicule), ou de façon manuelle (directement envoyé par les occupants). Ce dispositif est déployé en France depuis 2003 chez certains constructeurs (comme Peugeot et Citroën par exemple). Toutefois, depuis le 1er mars 2018, tous les véhicules en sont désormais obligatoirement équipés. Ce système offre la possibilité d'envoyer une notification indiquant la localisation précise de l'incident, grâce à une carte SIM embarquée, dans le respect de la norme NF EN 15722, et un centre de traitement assure le filtrage et la mise en relation des occupants avec les services de secours. En cas de crues rapides, il serait intéressant de collecter les appels émis automatiquement par les véhicules emportés, pour ensuite générer des alarmes à la population environnante, par exemple dans un rayon d'1 km.

Il semble par ailleurs important d'améliorer la quantification des coûts et des bénéfices induits par chacun des moyens d'alerte existants en France, afin de mieux mesurer leur efficience. Le montant de certaines solutions est connu (à l'image des 83 millions € injectés dans le projet SAIP, ou des coûts de fonctionnement et d'investissement requis pour installer une sirène, les automates d'appels d'alerte ou les services d'alerte locales) et pourtant, comment estimer les bénéfices générés ? Si le coût des indemnisations est fourni par les assurances, qu'en est-il du nombre de dégâts (matériels et humains) évités (Garcia, 2012) ? Comment quantifier le nombre de personnes qui ont reçu un signal d'alerte et qui ont été sauvées d'une « mort certaine » ? Comment évaluer l'efficience de ces moyens génériques alors que certains phénomènes ont des temporalités et des gradualités spécifiques ? Plusieurs travaux ont été menés, de façon assez proche, sur l'efficience des outils de vigilance à l'échelle internationale : les bénéfices des vigilances hydrométéorologiques aux États-Unis ont par exemple rapporté environ 31 milliards $, pour un coût de l'ordre de 5,1 milliards $ sur une période de 10 ans (Lazo et Chestnut., 2002) ; la Banque Mondiale avance des ratios coûts/bénéfices de 70 au Mozambique, de 35 en Chine et compris entre 2,1 à 14 en Europe et en Asie (selon les chiffres issus de la Banque mondiale, 2008). Mais pour l'alerte, ces données semblent difficiles à obtenir, et il faut mener à bien cette quantification, en travaillant avec des économistes ou les services assurantiels par exemple. Il conviendrait aussi de travailler sur des événements durant lesquels l'alerte a été déclenchée, ce qui réduit toutefois un peu plus le champ des possibles.

Partie III

Penser l'alerte différemment



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

Introduction de la partie III

Face aux dysfonctionnements avérés dans les parties I et II, il semble nécessaire de réfléchir à la façon dont on pourrait améliorer l'offre actuellement mise en œuvre en France. Pour cela, j'ai tout d'abord mené une sorte de *benchmarking,* en étudiant des solutions déployées dans d'autres pays ou mises en place pour faire face à des aléas présentant une cinétique proche de celle des crues rapides (séismes, tsunamis, tornades, glissements de terrain). Trois questions constituent le fil conducteur de mon questionnement : est-ce que les outils déployés ailleurs sont aussi peu connectés qu'en France ? Est-ce que le délai d'alerte, qui inclut la durée de l'événement déclencheur, le délai de prévisibilité des aléas et la période de temps avant d'observer les premiers impacts, est une variable suffisante pour déterminer les solutions mobilisables ? Et comment considérer l'indétermination spatiale et temporelle des crues rapides, qui est l'une des caractéristiques qui reste « immuable » (cf. chapitre 1) ? Ce regard extérieur m'a permis d'envisager certaines évolutions pour le système français actuel, et de les tester en variant les échantillons pour dépasser une lecture monographique.

J'ai ensuite expérimenté différentes solutions, pour dépasser une vision isotropique et stato-centrée qui prévaut en France depuis de trop nombreuses décennies, ce qui m'a amené à « remailler le territoire » en prenant en compte d'autres critères (en particulier géographiques), pour optimiser les effets des signaux d'alerte escomptés auprès de la population. D'autres approches ont également été testées ou sont en cours de développement, comme le recours aux réseaux opportunistes pour alerter les habitants en dépit de tout réseau internet, ou proposer des capteurs automatisés au sein de cours d'eau qui renverraient aussi des signaux aux riverains les plus fortement exposés.

Certains choix sont parfois discutables, voire inaudibles pour les autorités, comme admettre qu'une partie de la population devrait être alertée en cas de danger en cours, ou qu'il faut rationaliser les besoins selon les moyens. Toutefois, ce positionnement me donne plus de liberté dans mes futures orientations scientifiques, et les résultats présentés doivent être perçus comme étant les prémices de recherches que je voudrais poursuivre à plus ou moins long terme. Quelles que soient les solutions empiricisées, il est à chaque fois nécessaire de réfléchir en termes de « territoire d'alerte », pour sortir des primats solutionnistes et politiques, et pour donner la priorité aux populations qui devront être de plus en plus résilientes à long terme, notamment dans le contexte actuel du changement climatique.

Dans cette partie III, de nature plus réflexive, on cherche aussi à définir les grands principes sur lesquels on pourrait s'appuyer pour proposer une refonte de l'offre actuelle, tout en testant d'autres approches pour savoir si on pourrait alerter, autrement et différemment, la population exposée à un danger imminent ou en cours. Les pistes investiguées donnent une idée des travaux de recherche sur lesquels je souhaite travailler à plus long terme : mieux connaître les outils d'alerte déployés dans d'autres pays et/ou face à d'autres aléas (**chapitre 7**) ; questionner l'efficacité des outils par rapport aux particularités des territoires ciblés (**chapitre 8**) ; concevoir et expérimenter de nouveaux protocoles, en dépit de toute contrainte réglementaire ou politique (**chapitre 9**).

Chapitre 7. Regarder ailleurs pour impulser une dynamique de changement

Les outils d'alerte et les signaux envoyés à la population diffèrent selon les héritages (culturels, politiques ou militaires) et selon la nature des dangers considérés dans chaque pays. Si on fait un très rapide tour d'horizon sur les sirènes étatiques, symboles des vecteurs traditionnels, leur nombre varie de façon singulière : on en recense par exemple 1 250 en Norvège (2016), 1 496 en Slovénie (2015), 3 100 en Israël (2017) ou 8 500 en Suisse (2016). Des différences sont observées dans les jours des tests (le Danemark teste les sirènes de manière silencieuse toutes les nuits, et un test audio est réalisé auprès du grand public le premier mercredi du mois de mai, tandis que la Suisse teste ses sirènes le premier mercredi du mois de février), et dans la tonalité des alarmes, avec des sons modulés variables selon l'ampleur des dangers (Autriche, Chine, Norvège, Suède) ou la nature de l'aléa (Royaume-Uni). Certaines villes peuvent aussi être équipées de façon spécifique : la ville de Mumbai, en Inde, dispose de 450 sirènes réparties dans toute la ville ; 2 000 sirènes électroniques sont déployées à Singapour... D'autres pays ont, à l'inverse, décidé de supprimer les sirènes (les Pays-Bas depuis 2015, la Belgique depuis 2016), au profit d'un système unique qui intègre des outils d'alerte plus contemporains tels que les RSN, le CBC ou les applications smartphones. Il n'est pas nécessaire de poursuivre cet inventaire et de lister l'ensemble des sirènes déployées à l'échelle internationale car cela reviendrait à en occulter l'origine et les fondements politiques. Les acteurs en ayant la responsabilité n'interviennent pas non plus aux mêmes échelles. Aussi, j'ai préféré cibler mon regard sur quatre pays seulement, choisis au titre de leur exemplarité. J'ai ensuite analysé différentes solutions conçues pour faire face à des aléas ayant une gradualité proche de celle des crues rapides. Le but de ce chapitre est de mieux connaître ce qui existe ailleurs, pour mieux comprendre les particularités du système français, et pour proposer ensuite des idées de changements à justifier dans un avenir proche.

7.1. Des choix différents dans d'autres pays : quelques exemples

Quatre pays ont fait l'objet d'une plus grande attention pour différentes raisons : la Belgique, car les sirènes, abandonnées en 2016, sont en cours de démantèlement au profit du système unique *BeAlert©*, instauré par décret royal fin 2017 ; les États-Unis, où une plateforme numérique unique et multicanaux est mise en place depuis 2006 ; l'Australie, où les gouverneurs de chaque État sont libres de définir leurs stratégies, multimodales et adaptables aux caractéristiques des territoires ; l'Indonésie, où les RSN sont de plus en plus plébiscités pour améliorer l'alerte en cas d'aléas naturels. Ces pays ont été choisis eu égard à leur exemplarité, et cette étude avait aussi pour but de regarder l'offre dans des pays ayant des indicateurs de développement hétérogènes.

D'autres pays, comme l'Allemagne (où les sirènes étatiques ont été abandonnées dès le début des années 1990, suite notamment à la chute du mur de Berlin en 1989, et où certaines municipalités, comme Düsseldorf, Dresde ou Hambourg, les ont remises en fonctionnement pour faire face à des aléas du type inondation ou feux de forêts, tout en sachant qu'une application urgentiste (*Katwarn©)* est suivie par plus de 3 millions de personnes, et que des véhicules équipés de mégaphones restent fortement mobilisés en cas d'inondation), le Canada (où les sirènes ont été laissées à l'abandon dans les années 1970, pour des questions de propriété, sauf dans certaines villes, comme Toronto, qui les a modernisé et qui peut les activer de manière coordonnée), Israël, la Norvège, l'Italie ou le Chili (...) auraient pu être ajoutés dans cette analyse, mais ils ont été écartés par souci de parcimonie. Cette étude devra être poursuivie à plus long terme : si les enseignements nourrissent de nombreuses pistes de réflexion, l'origine et le fondement de certaines solutions apparaissent parfois trop résumés.

7.1.1. La Belgique : l'abandon des sirènes au profit d'un système unique

L'exemple de la Belgique illustre à quel point les moyens d'alerte peuvent être repensés dans leur globalité, à condition cependant que la prise de décision soit politique. Dans ce pays, l'alerte à la population relève de la responsabilité des autorités (bourgmestres, gouverneurs, ministre), au titre de leur pouvoir de police administrative (comme en France), et elle est légalement instaurée à travers les missions de la Discipline 5, comme rappelé dans l'alinéa 1er de l'article 14 de la loi du 16 février 2006, relative aux plans d'urgence et aux interventions en situation d'urgence. Pourtant, l'opérationnalisation de l'alerte est envisagée de manière plus globale, avec un ensemble de missions pouvant être exécuté par d'autres acteurs (comme les médias ou les services autoroutiers par exemple), comme le rappelle l'annexe D5 de la circulaire ministérielle NPU-4. Aussi, plusieurs canaux d'alerte peuvent être sollicités mutuellement : les sirènes, les voitures de police avec haut-parleurs, les panneaux autoroutiers (gérés par le *Centre PEREX* et *Vlaams Verkeerscentrum*), ou les médias par exemple (IBZ, 2017).

Depuis la loi relative à la sécurité civile et à la planification de crise (1963), plusieurs sirènes ont été déployées dans les zones à risque, notamment situées autour d'usines pouvant générer des risques industriels importants (Seveso seuil haut) ou associées à des activités nucléaires (à Doel, Mol-Dessel, Tihange, Fleurus, Chooz en France, ou Borssele aux Pays-Bas). La logique des risques NBC a principalement conditionnée la répartition des 560 sirènes sur l'ensemble du pays (**figure 7.1**.), qui étaient gérées par le Service Alerte du SPF Intérieur. Jusqu'en 2016, les sirènes étaient testées tous les premiers jeudis de chaque trimestre auprès du grand public, et actionnées entre 11h45 et 13h15. Au moment de l'essai, la sirène diffusait un son modulé, répété après une interruption de 5 secondes, et un message parlé (« Signal d'essai ») était ensuite diffusé par les haut-parleurs des sirènes. Mais suite aux attentats survenus à Bruxelles le 22 mars 2016, les autorités fédérales ont pris conscience des limites des sirènes : elles restaient peu efficaces (avec un signal incompris par la population), peu audibles (le son n'était plus entendu au-delà d'un rayon de 1,5 km) et onéreuses à entretenir, aussi bien sur le plan technique qu'humain. Les tests produisaient des effets de stress et de panique, plus qu'une réactivité de la part des habitants, et le signal n'était plus adapté aux évolutions des bâtiments (les matériaux utilisés pour isoler les maisons réduisant la propagation du son *indoor*), ni même à l'augmentation du bruit ambiant (*outdoor)* dans les tissus urbains les plus denses. Il n'existait pas non plus d'alerte multirisques, et les effets dominos n'étaient jamais pris en compte (IBZ, 2017).

Face à ce constat, les sirènes ont finalement été abandonnées fin 2016, et le démantèlement est en cours, pour une fin d'opération prévue fin 2019. Au lieu des sirènes, le pouvoir fédéral a décidé de déployer un système unique, appelé *Be-Alert©*, et le Centre de gestion de crise avait déjà initié les réflexions sur ce système dès 2011 (**exemple 1**). Entre 2013 et 2015, un projet pilote avait été testé et évalué sur 33 communes, notamment à travers une plateforme web sécurisée d'alerte multicanale. Plusieurs pistes d'amélioration ont été apportées au cours des deux années d'expérimentation, pour arriver à l'élaboration d'un outil performant destiné à tous les services et aux autorités (en allant de la commune jusqu'au pouvoir fédéral), opérant dans le domaine de la sécurité civile. Depuis le 13 juin 2017, *Be-Alert©* est opérationnel et depuis le 24 décembre 2017, un décret royal a même mis fin à la convention préexistante avec l'Institut National des Télécommunications pour intégrer les principaux opérateurs (*Proxima®, Télémet®, Orange®*) dans *Be-Alert©.* Ces opérateurs restent propriétaires de leurs infrastructures, mais ils doivent diffuser un message d'alerte si le Centre de gestion de crise leur demande sur les 200 communes qui se sont inscrites à ce service (moyennant un abonnement annuel de 1100 €). Le Centre de gestion de crise finance ensuite les opérateurs selon le nombre de messages envoyés (9 500 € pour 100 000 appels) et selon le nombre d'alerte engagée. Grâce à la détection des cartes SIM situées à proximité des antennes, *Be-Alert©* estime couvrir 67% des habitants fin 2017.

EXEMPLE 1. Le système *Be-Alert©* (qui trouve sa signification dans la contraction de Belgique-Alerte et dans le sens premier donné à cette formulation : être alerté) a été pensé suite au passage d'une tornade le 18 août 2011, lors du festival *Pukkelpop* qui accueillait près de 60 000 personnes. Deux chapiteaux se sont effondrés et cinq personnes sont décédées (avec 3 blessés graves supplémentaires), mais aucune évacuation n'a été ordonnée et le roi Albert II a rejoint dès le jour de l'événement la cellule de crise localisée à Hasselt, dans la ville voisine.

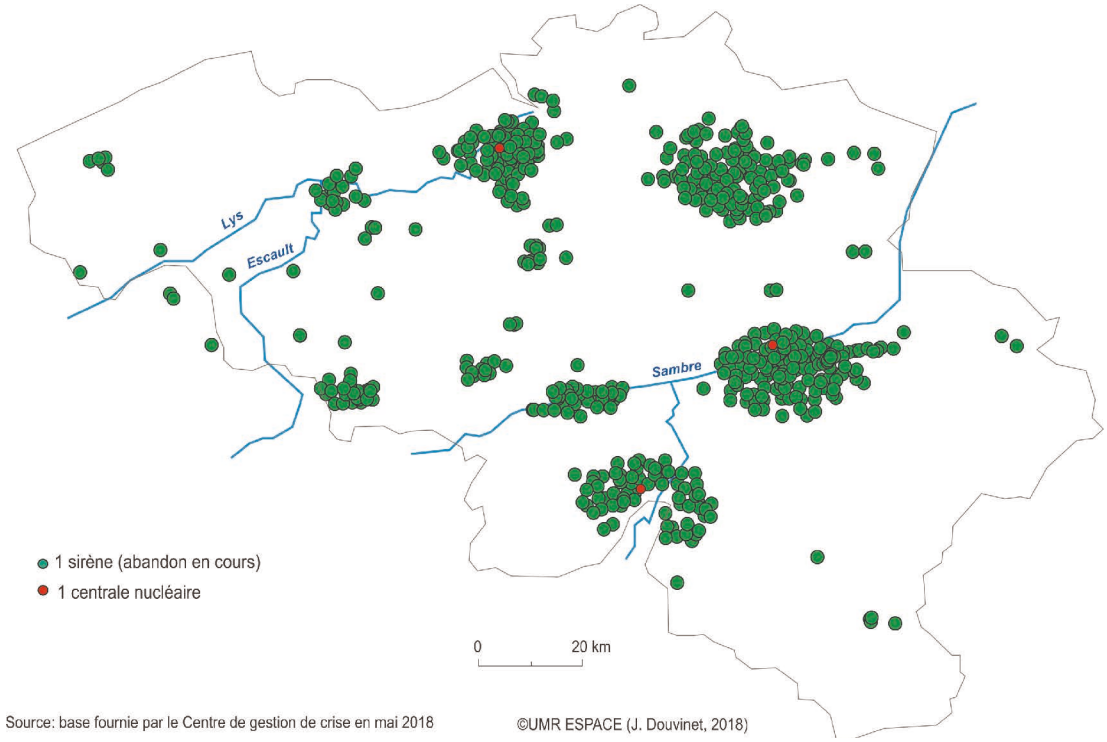


Figure 7.1. Localisation des anciennes sirènes communales en Belgique, en cours de démantèlement en 2018

En cas d'alerte, des messages du type SMS (100/s), des appels téléphoniques (600/s) et des mails (jusqu'à 10 000/s) peuvent être envoyés de façon simultanée par le Centre de gestion de crise, et l'activation peut se faire à la demande d'une commune, d'un bourgmestre ou des autorités fédérales dans un délai restreint (**exemple 2**). La procédure est également associée à une plateforme SIG gérée par *Gedicom*®, ce qui permet de suivre la diffusion spatio-temporelle des messages et leur réception par les destinataires. En 2018, le Centre de gestion de crise est désormais composé de 28 personnes, qui ont pour mission de coordonner les situations d'urgence et d'informer au plus vite les autorités. En complément, une convention a été signée avec plusieurs RSN (W*hat'sApp*©, *Twitter*© et *Instagram*©), pour démultiplier les canaux d'information. A titre d'exemple, le compte *Twitter*© du Centre de gestion de crise (*@Crisiscenter BE*) est suivi par 130 000 abonnés (soit 1,1% de la population), et 3 227 tweets ont été envoyés depuis 2014 (voir **tableau 4.2.** pour comparaison, p. 74). Des exercices impliquant la population sont également réalisés pour vérifier la conformité de la procédure, et pour communiquer sur ce système, à l'image de celui réalisé le 30 juin 2017 lors du festival *Rock Werchter* (40 000 appels réceptionnés sur 44 000 festivaliers) à Rotselaar, ou celui du 8 juillet 2018 à Huy Waremme.

EXEMPLE 2. Le système *Be-Alert*© a été activé lors de plusieurs incidents, à la demande de certains bourgmestres et du pouvoir fédéral, tout en respectant leurs compétences en matière d'alerte. Le 11 novembre 2017, *BeAlert*© a envoyé un message SMS à toutes les personnes situées dans un rayon de 20 km aux alentours de la ville de Drogenbos, pour leur indiquer qu'un conteneur avec des batteries de lithium était en feu sur le site d'Electrabel ENGIE. Suite au dégagement de fumée légèrement toxique, les habitants de Bruxelles ont été conviés à fermer portes et fenêtres. Le 15 mars 2018, *Be-Alert*© a aussi été activé pour indiquer aux habitants d'Andoy, de Wierde, d'Erpent, de Naninne, de Dave et de Jambes, qu'une coupure d'eau potable les concernait et que la panne allait prendre quelques heures. Le message a été envoyé à 21h30, et plusieurs messages ont permis de rendre état de la situation, revenue à la normale à 17h le lendemain.

Le choix opéré en Belgique est très proche de celui acté fin 2015 aux Pays-Bas, où les 3 800 sirènes étatiques ont été supprimées, pour mettre en œuvre le système unique *NL-Alert*©, qui permet l'envoi de SMS sans dépendre de l'infrastructure cellulaire. Cela apporte plusieurs atouts :

1) L'alerte n'est plus exclusivement activée par les autorités, et la synergie entre les différents acteurs (qui ont un appui juridique et une assistance 24h/ 24 et 7j/7) rend plus rapide et plus efficace la diffusion du signal d'alerte ;

2) La population informée par différents canaux peut mieux identifier l'origine du danger ;
3) La concertation permanente entre le Centre de gestion de crise et les acteurs de terrain rend plus harmonisées les actions d'information et de sensibilisation auprès du grand public ;
4) La diffusion de *Be-Alert©* prend à la fois en compte le cadre géographique (alerter les individus situés au plus proche de l'événement, en déterminant des cercles concentriques), situationnel (alerter tout le monde par précaution grâce à une répartition optimale des canaux utilisés) et temporel (mobilisation des canaux variables selon l'heure et le jour de la semaine) de la crise, pour gagner en dextérité **;**
5) Aucune application smartphone n'a été déployée car le fait de devoir l'installer au préalable a été jugé très contraignant (IBZ, 2017), et le taux de pénétration (66%) est l'un des plus faibles à l'échelle des 28 pays de l'Union Européenne (selon une enquête de l'iVOX en 2015).

7.1.2. Les Etats-Unis : une plateforme numérique unique et multicanaux

L'exemple des États-Unis est doublement intéressant : **1)** Dans ce pays, l'alerte à la population est une compétence partagée entre différentes autorités (allant des administrations locales, tribales et territoriales, jusqu'aux gouverneurs des États et le pouvoir fédéral, sauf à Hawaï, où ce dernier est le seul habilité à activer une alerte). Cette responsabilité est encadrée par *le Disaster Relief Act,* instauré en 1970 par le président R. Nixon (Zunkel, 2015), qui a depuis été amendé le 23 novembre 1988 par le *Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act*. Le *National Response Framework* (NRF) fournit une vue d'ensemble du *Stafford Act,* qui impose aux agences fédérales d'apporter assistance aux élus locaux affectés en cas d'urgence ou de désastre majeur. **2)** Depuis le 1er juin 2006, suite aux dysfonctionnements observés lors du passage de l'ouragan Katrina (en 2005) à la Nouvelle-Orléans (Louisiane), et par décision du président G.W. Bush, une plateforme unique a été créée pour fusionner plusieurs solutions préexistantes : l'EAS (*Emergency Alert System*), qui couvre 90% de la population et qui est issu d'une longue tradition fédérale (**exemple 3**) ; le WEA (*Wireless Emergency Alerts*), qui permet d'envoyer un SMS de 90 caractères sur les téléphones mobiles et les bi-peurs en utilisant les antennes relais ; la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) *Weather Radio*, qui est l'organisme en charge de diffuser les bulletins de vigilance et d'alerte face aux aléas hydro-climatiques potentiellement dommageables. Ce système, dénommé IPAWS (*Integrated Public Alert and Warning System*), permet d'agréger dans un seul serveur les différents messages et de les relayer *via* différents canaux d'information. Il est administré par la FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), mais son activation émane exclusivement du président ou du ministère de la sécurité intérieure.

EXEMPLE 3. *L'Emergency Alert System* est un système national d'alerte permettant au Président des États-Unis de s'adresser à l'ensemble de la population en moins de 10 minutes, en passant par les radios et les télévisions, et d'alerter localement le public en cas d'aléas climatiques sévères (tornades, crues rapides ou orages violents). Il est opérationnel depuis le 1er janvier 1997, après avoir été validé par la *Federal Communications Commission* (FCC) en novembre 1994, et a été intégré en 2006 dans l'IPAWS. 77 stations sont définies comme prioritaires, et celles-ci doivent ensuite distribuer le signal aux autres stations. Lors du test du 9 novembre 2011, le rapport de la FCC montre que 18% des stations n'ont pas reçu le signal, pour des problèmes de réseau et de réception. Après avoir apporté certaines améliorations, le test du 28 septembre 2016 donne de meilleurs résultats, après un taux de succès de près de 90%, mais le système reste faillible, à l'image par exemple de l'utilisation de l'EAS par des hackers en 2013 pour indiquer une attaque de zombies dans les comtés du Montana et du Michigan. L'EAS vient remplacer *l'Emergency Broadcast System* (EBS), qui était fonctionnel depuis le 5 août 1963 et qui a permis la création d'un réseau de communications unique, en fédérant différents canaux indépendants (ABC, CBS, NBC). L'EBS diffuse un message sur des ondes particulières (entre 853 et 960 Hz), et il a été activé plus de 20 000 fois entre 1976 et 1996, principalement pour alerter la population face à des aléas majeurs. L'EBS fait suite au projet CONELRAD (*Control of Electromagnetic Radiation),* acté à la demande du président H. Truman en 1951, qui permettait d'alerter la population en cas d'attaque aérienne (en plein contexte de guerre froide). Ce projet permettait l'émission continue d'information de défense passive à la radio et sur les stations de télévision, en commutant rapidement les émetteurs entre eux, tout en empêchant à des acteurs extérieurs de s'y connecter.

Il existe également d'autres outils d'alerte mis en place aux États-Unis, à l'image par exemple des sirènes, déployées sur l'ensemble du territoire américain dès le début des années 1900, mais qui ont été démultipliées suite à l'entrée de ce pays dans la Seconde Guerre mondiale (Sorensen, 2000).

La plupart des modèles sonnaient à cette époque presque une octave plus haut que leurs homologues européens, avec un son modulé unique. Ensuite, à partir des années 1950, des sirènes à son double ont progressivement remplacé leurs ancêtres et des signaux standards ont été définis et utilisés durant la guerre froide, sous couvert d'une défense passive. En parallèle, les services de secours, en charge de la surveillance des feux de forêts notamment, ont déployé leurs propres modèles, qui sonnent avec un signal différent (défini par le *National Fire Alarm Code*, NFPA 72). Beaucoup de villes, notamment en Californie et en Nouvelle-Angleterre, ont conservé les anciennes sirènes, qui complètent le signal des mégaphones, des tocsins ou des cornes de brume, appelant à la mobilisation des réservistes.

Les sirènes sont testées une fois par mois, diffusant un premier signal d'alerte ("*steady tone*") pendant une minute, suivie par une minute de silence, et émettant un autre signal (*"fast wail"*) pendant une minute. Cela permet de vérifier l'alimentation électrique et le bon fonctionnement des sirènes sans qu'un grand nombre d'habitants puissent interpréter le signal comme étant synonyme d'un danger ou d'une menace réels. Dans certaines villes, les sirènes sont testées chaque week-end, chaque année ou à des heures précises, qui sont définies par les autorités locales. Afin de sensibiliser la population à l'importance de cet outil d'alerte, notamment en cas de tsunamis, la ville d'Honolulu a, en 2011, créé un site internet pour *« adopter une sirène »,* en s'inspirant d'une précédente initiative qui avait permis aux sapeurs-pompiers volontaires travaillant dans la ville de Boston (en 2008) de mieux connaître la localisation des bouches d'incendie *(« Adopt-an-hydrant »),* et de les ouvrir plus rapidement si besoin.

En revanche, les signaux sont définis par les autorités locales et par chaque État, et ils peuvent donc être variables d'une région à une autre. En général, les deux tonalités les plus connues renvoient à un danger ("*steady tone")* ou à une menace aérienne (f*ast wail*) (**tableau 7.1**.), mais d'autres sons peuvent aussi être émis, à l'image par exemple des carillons de Wetsminster (utilisés pour le test des sirènes). Chaque État peut les utiliser de manière différenciée selon les aléas en jeu : dans le Midwest, par exemple, les sirènes sonnent en cas de risque de tornades, et elles se situent dans un rayon de 5km autour des installations nucléaires. Dans *l'East Coast*, elles sont plus utilisées en cas d'ouragans (*hurricanes*), comme en août 2017 lors du passage d'Harvey. Dans l'État de Washington et du *Pierce County,* les sirènes situées le long des vallées du Puyallup et de la Carbon River peuvent sonner en cas de risque d'éruptions volcaniques ou de lahars provenant du Mont Rainier (Sorensen, 2000). Des universités se sont par ailleurs équipées elles aussi de sirènes, notamment depuis l'attaque de Virginia en 2007, et elles diffusent un signal *("fast wail*") censé inciter au confinement des étudiants.

Nature du signal	Caractéristiques du son	Nature du danger	Champs d'utilisation
Attack warning / fast wail (menace)	Son modulé de 3 à 5 minutes, ou série répétée de cornes de brume, répété autant de fois que nécessaire	Détection d'une attaque réelle ou lancement d'un missile ballistique	Son restreint à ce type de menace (même si ce son peut être utilisé par certains Etats pour alerter en cas de risque de tornades ou de feux). Il est plus souvent entendu dans les films de guerre.
Attention or alert warning / steady tone (danger)	Son régulier et constant de 3 à 5 minutes, diffusé par les sirènes, les haut-parleurs ou les cornes de brume, et répété autant de fois que nécessaire	Détection, en temps de paix, d'aléas hydro-climatiques (tornades, ouragans, crues rapides, tsunamis par exemple)	Son indiquant à la population de mettre en place un comportement adapté, et les invitant à allumer les postes de radios et de télévisions, pour avoir des informations complémentaires
Local fire signal (feux de forêts)	Cycle de 3 impulsions répétées selon un cycle prédéfini (alarme de 5 secondes puis interruption de 5 secondes, puis son de 5 secondes…). Ce signal peut toutefois varier d'un Etat à un autre.	Indication à la population locale d'un feu. Dans certains communautés, ce son peut être diffusé lorsqu'un feu se situe à moins de 5km d'une ville.	Son restreint à ce type de danger. Les habitants sont invités à évacuer le plus vite possible, et dans les régions arides, les habitants doivent au préalable couper les réseaux d'eau pour assurer une pression suffisante pour les opérations des sapeurs-pompiers.

Tableau 7.1. Caractéristiques et champs d'utilisation des sons diffusés aux États-Unis

Si les vecteurs d'alerte sont variables selon les États et si leur utilisation peut différer selon les aléas ou les menaces en cours (**exemple 4**), la stratégie numérique mise en œuvre par les États-Unis n'en reste pas moins remarquable. Depuis le début des années 2000, les autorités ont ainsi développé

à divers niveaux (institutions fédérales, États, comtés, villes) un important dispositif de communication (Hecker, 2014), et elles ont pris conscience de la nécessité d'organiser une stratégie numérique pour que les informations diffusées au public soient le plus clair possible (Rubin, 2012). L'IPAWS met en application le *Common Alerting Protocol* (CAP), un standard international qui facilite la construction et les échanges entre plusieurs outils, et qui peut être mobilisé entre différents pays. La FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) a également développé des applications smartphones (Steff, 2012) tout comme d'autres services de secours (la Croix Rouge ou les compagnies des sapeurs-pompiers). D'autres progrès numériques sont d'ailleurs en cours, puisque des cartographies d'urgence en temps réel seront prochainement intégrées dans les messages diffusés par le WEA (Liu *et al.,* 2017).

EXEMPLE 4. Avant la survenue de l'ouragan Sandy, en 2012, la ville de New York avait déjà plusieurs comptes sur divers RSN (*Twitter©, Facebook©, Google+©,* Flickr©, *YouTube©*), suivis par près de 3 millions d'internautes avant l'arrivée de l'ouragan. Les pompiers et la police étaient eux aussi très présents, et au moment de la crise, ces efforts menés durant la prévention ont été mis au profit pour communiquer en continue, et faire en sorte que les habitants adoptent la meilleure conduite possible (Hecker, 2014). En 7 jours, de fin octobre à début novembre, près de 2 000 tweets ont été envoyés pour prodiguer des conseils, annoncer les coupures d'électricité et/ou les fermetures d'axes routiers, ou indiquer les lieux de distribution de nourriture et d'autres renseignements utiles.

7.1.3. L'Australie : des approches multimodales et multiscalaires

En Australie (et dans tous les pays rattachés au *Commonwealth*), l'alerte à la population relève de la compétence fédérale, qui acte les lois et définit les principes d'application dans ce domaine, mais également des autorités gouvernementales, qui sont chargées dans chaque État d'organiser la gestion des secours et de sélectionner les moyens d'alerte (et de les activer quand elles le veulent), en toute indépendance. Chaque État doit respecter les protocoles nationaux, comme par exemple *l'Emergency Alert (EA)* mis en place en 2009 (**exemple 5**), et les standards internationaux approuvés, à l'image du *Standard Emergency Warning Message (SEWM)*, qui encadre les appels vocaux *« Stop and listen »* depuis 2004 en Australie, ou du *Common Alerting Protocol (CAP),* appliqué depuis 2012. Chaque État met en application sa propre législation, et il doit sensibiliser et préparer ses administrés en amont, en tenant compte de la diversité culturelle et linguistique et des facteurs de vulnérabilité.

EXEMPLE 5. *L'Emergency Alert* est un système national d'alerte multi-aléas qui se fonde sur la téléphonie. Il est opérationnel depuis le 1er décembre 2009, et a été mis en place suite aux incendies survenus durant la canicule de 2009 dans l'État de Victoria, notamment dans la région de Kinglake, avec des dommages (231 morts, 650 000 ha. brulés et plus de 1 000 maisons détruites) principalement recensés durant le « Black Saturday » du 7 février 2009. En cas d'événement grave, un message vocal est diffusé sur toutes les lignes fixes, et un message SMS est envoyé aux téléphones mobiles détectés dans un rayon sélectionné par les autorités compétentes. En 2013, le gouvernement australien a amélioré la portée de l'EA, en utilisant l'adresse des habitations des utilisateurs et la dernière position connue du téléphone mobile au moment du déclenchement de l'alerte. Si ce système a connu un franc succès à plusieurs reprises (en particulier durant les inondations à Brisbane en 2011), sa dépendance aux infrastructures de télécommunications n'est reste pas moins sujette à caution (Handmer et Ratajzak-Juszko, 2011 ; Choy *et al.,* 2016). L'EA devient inefficace dans les secteurs où le réseau est sporadique ou inexistant, et en particulier dans les zones rurales, et cela limite l'efficacité de l'organisation des services de secours, comme l'ont montré les feux survenus à Dareel (16 maisons et 18 immeubles détruits) le 7 octobre 2013.

Chaque État définit alors sa propre stratégie d'alerte. Les autorités peuvent décider d'utiliser des vecteurs traditionnels, comme les radios ou les télévisions (tel qu'instauré en 1992 par la section 123 du *Broadcasting Services Act),* qui vont diffuser des messages prédéfinis avec l'ACMA (*Australian Communications Media Authority*). Elles peuvent aussi implanter des sirènes (**exemple 6**), en fonction des choix politiques locaux ou selon les moyens qui leur sont allouées. Elles peuvent également faire appel à d'autres moyens plus contemporains, comme l'envoi de SMS ou la diffusion de messages *via* les RSN, qui rassemblent près de 15 millions d'utilisateurs en 2017. Suite aux crues par débordement observées dans la région de Brisbane, survenues de décembre 2010 à janvier 2011, les autorités ont d'ailleurs pris conscience de l'utilité des RSN pour alerter les populations. Les pratiques se sont depuis généralisées, et elles sont même en pleine expansion, à l'image de l'accord signé le 22 juin 2017 avec *Facebook*® et AMBER® pour diffuser de manière encore plus rapide les alertes « enlèvement ». Le

porte-à-porte et les réunions publiques offrent aussi l'avantage de relayer certaines alertes, comme le rappelle la Stratégie Nationale pour accroître la résilience, adoptée par le pouvoir fédéral en 2011.

EXEMPLE 6. La densité des sirènes est très disparate sur le territoire australien. De nombreuses villes et certains États en sont totalement dépourvus, par manque de moyens et de volonté politique, alors que d'autres villes en sont très fortement équipées. Le centre financier et économique (CBD) de Sydney dispose, par exemple, de son propre système d'alerte à la population, avec 98 sirènes (installées en janvier 2007 à cause de l'organisation du sommet de l'APEC, en charge d'assurer la coopération économique Asie-Pacifique) qui peuvent émettre un son modulé associé à 13 messages prédéfinis. De leur côté, les centres de secours peuvent utiliser des sirènes pour alerter en cas d'incendie sévère ("bushfire" ou "grassfire"), et elles diffusent un signal sonore spécifique appelant la population à mettre en œuvre les consignes de sécurité, tout en appelant les sapeurs-pompiers volontaires. Les installations industrielles peuvent également disposer de leurs propres sirènes (comme les ICPE en France), comme par exemple l'usine de Kwinana (au sud de Perth), qui teste sa sirène tous les lundis, et qui peut l'utiliser pour évacuer l'usine et pour informer l'ensemble de la population environnante en cas de tornades ou tempêtes.

7.1.4. L'Indonésie : la voie des RSN de plus en plus plébiscitée

L'exemple de l'Indonésie illustre à quel point il est opportun de compléter les moyens d'alerte traditionnels par des outils plus contemporains. Dans ce pays, l'alerte est une compétence étatique et les services de l'État et leurs représentants, les préfets (*bupati*) et les maires (*wakikota)*, sont chargés de la diffuser auprès de la population exposée. Une fois la menace identifiée, les préfets informent les centres de gestion de crise de chaque district (Satlak PB, pour *SATuan peLAKsanan Penanggulangan Bencana*), qui définissent un budget par anticipation selon le niveau de l'alerte et les reconstructions à attendre. Ces derniers relayent l'alerte vers les centres d'opération d'urgence locaux (Unit OPS) puis vers les autorités locales, qui doivent mettre en œuvre les plans de secours (quand ils existent). Ces élus locaux ont aussi pour mission de réaliser des cartographies détaillées des dommages pour affiner les prévisions futures, et ils doivent accompagner les missions d'évacuation (Ai *et al.,* 2016).

Si cette structuration est proche de celle observée en France, les institutions font pourtant face à de nombreux problèmes, en particulier dans la connaissance sur l'occurrence spatiale et temporelle de certains aléas rapides (crues rapides, éruptions volcaniques ou *lahars*). Certains habitants refusent d'évacuer pour de multiples raisons (De Bélizal *et al.,* 2012). Les cartographies sur lesquelles reposent les plans de secours manquent, par ailleurs, d'exactitude, comme le démontra par exemple l'éruption historique du volcan Mérapi en 2010, qui a dépassé les éruptions recensées au cours du XX^{e} siècle (Mei *et al.,* 2016). Les moyens d'alerte sont surtout variables selon les territoires, avec des différences marquées entre les villes et les zones rurales. En ville, la population peut être alertée par les médias, les radios, les fax et les téléphones mobiles. Certains districts (Bali, Aceh, Padang) ont également été équipés par plusieurs sirènes, notamment suite au tsunami dramatique survenu le 24 décembre 2004 et qui a fait près de 220 000 victimes, dont près de 130 000 dans la région de Banda Aceh. Toutefois, dans les zones rurales, ces outils ne sont guère présents. Dès lors, les autorités locales font appel à un outil traditionnel, les gongs en bois (*kentogan*), qui étaient traditionnellement mobilisés pour avertir le grand public, et qui trouvent pleinement leur utilité en cas de coupure d'électricité. Or, aujourd'hui, les *kentogan* envoient des tonalités différentes selon les territoires, et ils ne sont plus présents partout.

Face à ce constat, divers travaux ont plébiscité l'utilisation d'outils plus contemporains comme les RSN (Carley *et al.,* 2015 ; Landwehr *et al.*, 2016), en particulier *Twitter*©, pour améliorer l'alerte à la population (**exemple 7)**, et ce constat s'explique pour plusieurs raisons :

1) l'Indonésie fait partie des pays les plus investis à l'échelle internationale (avec 29,4 millions d'utilisateurs en 2012), à tel point que la chaîne CNN surnomma d'ailleurs l'Indonésie comme la « nation de Twitter » en 2013 ;

2) même si le taux de pénétration est faible (11,9%), si on compare ce chiffre avec le nombre d'individus ayant un accès à internet (15,4% en 2012, contre à peine 1% en 1998), cela signifie que 77,3% des Indonésiens se connectent au moins une fois par jour sur les RSN ;

3) Jakarta est la ville mondiale la plus active sur *Twitter*©, avec des tweets qui représentent près de 2% du volume total de messages écrits durant une année dans ce pays (Poblete *et*

al., 2011), et elle détient le ratio nombre de tweets / nombre d'usagers le plus élevé au monde (1 813,53), devant le Japon (1 617) et le Brésil (1370).

EXEMPLE 7. Le projet PetaJakarta.org a été mené entre l'Université de Wollogong (Australie), l'Agence de Gestion des Catastrophes de Djakarta (AGC) et *Twitter*© pour démontrer que les citoyens peuvent aider les agences gouvernementales en améliorant la qualité et la rapidité de la réponse en cas d'inondation, bien avant que celle-ci ne commence à entraîner des dégâts. Les tweets sont agrégés en temps réel et ils alimentent une carte de situation. Cet outil est présenté comme un système sociotechnique auto-organisé, où les citoyens sont libres de consulter, contribuer ou quitter le réseau à tout moment. Seuls les tweets pertinents (adressés à @petajkt avec #banjir) sont agrégés grâce à un système expert (CogniCity) afin de minimiser les erreurs. Le dispositif fonctionne sur la base de la confiance : il faut prendre ce qui est posté comme vrai, même si des erreurs restent possibles.

Les pouvoirs politiques se sont saisis de cette question depuis quelques années, à l'image de l'utilisation de *Twitter*© par les institutions durant le tremblement de terre survenu sur l'île de Sumatra en 2012 (Ishino *et al.,* 2012) ou lors de la nouvelle éruption du volcan Kelud en février 2014 (Anggunia et Kumaralalita, 2014). Le *National Disaster Management Agency* (NDMA), travaillant conjointement avec le *Meteorological, Climatological and Geophysical Agency of Indonesia* (BMKG) relaie désormais les alertes sur *Twitter*©. Le nombre de *followers* du compte *@BMKGIndonesia* (suivi en 2012 par près de 300 000 individus, contre plus d'1 millions en 2015 ; Carley *et al.*, 2015) est très loin devant d'autres comptes recensés jusqu'à présent, en France en particulier (§ 6.2.3.). Certains travaux ont également démontré l'intérêt de connecter les réseaux physiques (capteurs) avec les RSN, pour réduire le temps de validation et pour diffuser un message plus rapidement auprès des communautés locales (Ai *et al.,* 2016) en cas d'alerte face à un aléa naturel, en particulier face à un tsunami. Cependant, les pratiques des RSN doivent encore être mieux coordonnées entre les différents services impliqués, qui ne sont pas les mêmes selon les aléas. Ce manque d'interopérabilité crée des défis que seule la technologie ne peut surmonter (Chatfield *et al.,* 2014), ce qui rejoint l'idée qu'il faut effectivement co-construire les pratiques en dehors de la crise (conclusions de la partie II).

7.2. Une offre qui s'est adaptée à la cinétique des aléas considérés

Si on compare, sur une matrice spatiale et temporelle, les crues rapides par rapport à d'autres aléas naturels (**figure 7.2.**), on remarque que certains phénomènes ont une cinétique proche de celle

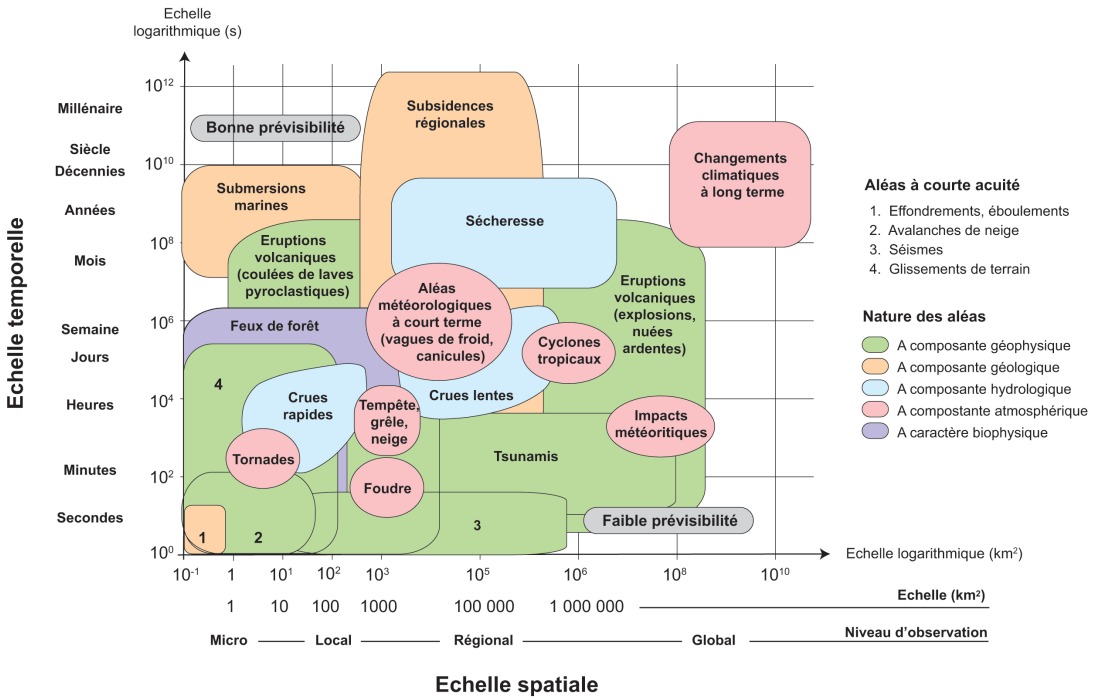


Figure 7.2. Matrice spatiale et temporelle des aléas (modifié d'après Gill et Malamud, 2014)

des crues rapides, notamment les tornades, les tempêtes et les épisodes de grêle ou de neige. D'un point de vue spatial, des séismes localisés présentent des ordres de grandeur proches, tandis que sur le plan temporel, les tsunamis semblent eux aussi pouvoir laisser un petit laps de temps pour que les autorités puissent déclencher l'alerte. Dès lors, il s'agit ici d'étudier les moyens d'alerte s'y afférant, en rappelant les principales caractéristiques de ces aléas et quelques consignes de sécurité à adopter.

7.2.1. Les sirènes : des outils privilégiés pour alerter en cas de tornades

Les tornades sont caractérisées par des vents extrêmement violents (qui ont une vitesse allant de 60 à 120km/h pour le niveau EF1 et entre 450 et 610 km/h pour le niveau EF5), une soudaine chute de la pression atmosphérique, un faible diamètre (la base de l'entonnoir, dénommé tuba, peut mesurer de 15 à 30 m.) et une très courte durée de vie (comprise entre 10 et 30 min.). Elles prennent naissance à la base d'un nuage d'orage (*cumulonimbus*), et plus rarement sous un *cumulus congestus*, à cause d'un important cisaillement dans les basses couches. Lorsqu'elles apparaissent au-dessus de la mer ou des océans, les tornades deviennent des « trombes marines », mais elles sont plus violentes quand elles se manifestent sur les continents. Leur intensité est mesurée à partir de l'échelle de Fujita, créée en 1971 puis améliorée par le *National Weather Service* en 2007, avec six niveaux qui tiennent compte de l'ampleur des dommages occasionnés (arbres déracinés, maisons détruites, nombre de personnes décédées, impacts au sol, voitures renversées…, mais aussi nature des matériaux mobilisés, qualité des constructions et type des structures soulevées), mais qui ne considèrent pas la dimension spatiale du phénomène. Ces aléas peuvent naître, changer de trajectoire ou disparaître brusquement, et il faut donc appliquer les consignes de sécurité (**exemple 8**) le plus tôt possible. Les tornades sont à l'origine de 300 à 400 décès par an à l'échelle internationale, dont 80 aux États-Unis (Zunkel, 2015). Toutefois, leur détection s'est considérablement améliorée au fil des années : depuis que les réseaux de radar Doppler (3ème génération) ont été mis en place aux États-Unis, le délai d'alerte, estimé à une trentaine de minutes dans les années 1980, a en effet été réduit à 13 minutes en moyenne (Stokoe, 2016).

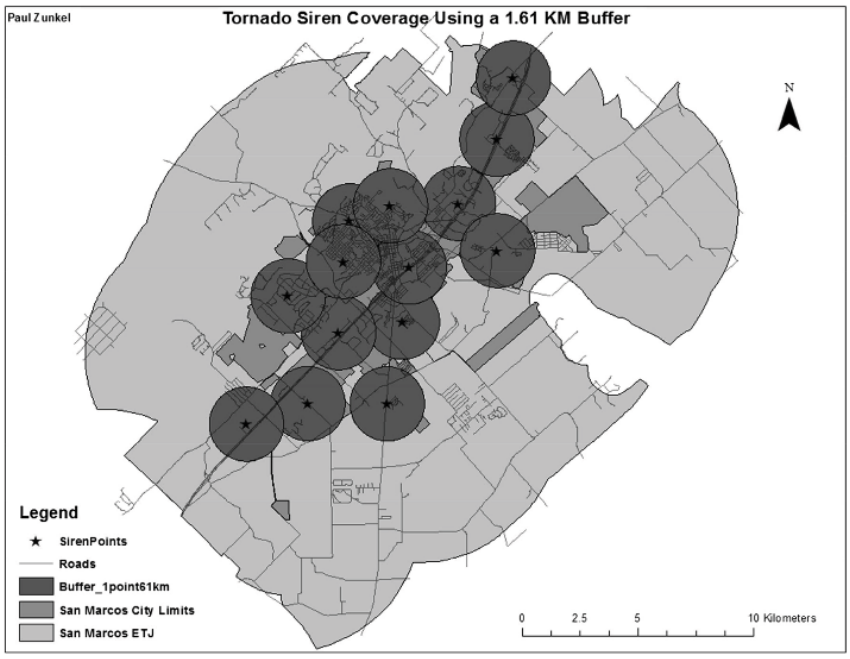


Figure 7.3. Portée sonore théorique des 14 sirènes déployées à San Marco, Texas (Zunkel, 2015)

EXEMPLE 8. En cas de tornade, certains lieux sont à éviter : les voitures, les maisons fragiles, les bâtiments ayant un toit immense, comme les gymnases, les églises ou les granges. A l'intérieur d'un bâtiment, il faut se protéger dans un espace restreint et entouré par des murs solides (les toilettes par exemple), ou s'abriter sous un meuble lourd, et ne pas rester près des fenêtres ou des portes. A l'extérieur d'un bâtiment, s'il est impossible de rejoindre une structure solide, il faut se réfugier dans un fossé ou sous un pont, et se protéger du mieux possible.

Les outils d'alerte déjà évoqués précédemment peuvent être utilisés pour alerter la population en cas de tornades. Les sirènes, la télévision, les emails ou les radios font partie des moyens qui sont les plus utilisés aux États-Unis (Stokoe*,* 2016). Depuis 2013, la Croix-Rouge (*Red Cross*) a aussi créé une application spécifique, *Tornado*©, qui permet aux utilisateurs de visualiser la trajectoire de la tornade, d'en mesurer l'ampleur, et de visualiser les abris par rapport à leur géolocalisation. Certaines villes (notamment localisées le long de la *Tornado Alley*) peuvent aussi décider de déployer un réseau de sirènes spécifiques (*Tornado Sirens*) pour faire face à ces aléas, à l'image des 14 sirènes installées en 2013 dans la ville de San Marcos, située au Texas (**figure 7.3.)**, ce qui permet aux autorités locales d'alerter potentiellement 95% de la population résidente (Zunkel, 2015).

Rares sont toutefois les exemples attestant de leur réelle utilisation. Si les sirènes ont bien été déclenchées lors de certains épisodes (le 29 août 2009 à Chicago, le 19 août 2013 à Toronto), l'offre actuelle présente cependant de nombreuses contraintes. La plupart des vecteurs d'alerte aux tornades nécessitent d'avoir une démarche volontaire et une pratique en temps réel de la part des personnes concernées : être attentif au signal d'alerte, autoriser les notifications push sur son smartphone, avoir acheter une radio qui reçoit les alertes météorologiques émises par la NOAA, ou surveiller les médias sociaux (Mathews et Ellis, 2008). La diffusion de l'alarme peut aussi être perturbée si les tornades se situent au-dessus des sirènes (Mathews *et al.,* 2017). Le délai d'alerte ne doit pas non plus dépasser 15 minutes (Simmons et Sutter, 2008), car au-delà, la population locale n'en mesure plus l'utilité. L'un des verrous identifiés dans ce domaine est l'amélioration de la prévision des aléas, et la réduction du nombre de fausses alarmes : 80% des alertes déclenchées entre 1992 et 2010 n'ont pas été suivies par des événements réels (tornades) à l'échelle des États-Unis (Douglas et Edwards, 2016).

7.2.2. Une alerte aux glissements de terrain variable selon les surfaces surveillées

Le terme « glissement de terrain » est un terme générique qui regroupe en réalité un ensemble de processus diversifiés (*i.e*. glissement-coulée, coulée de boue, coulée de débris ou lave torrentielle). Tous ces phénomènes se caractérisent par le transport en masse d'un mélange très concentré d'eau et de particules solides, avec une concentration volumique > 0,60 du point de vue rhéologique (Malet, 2003), conférant au mélange la consistance d'un sol, qui va se liquéfier sous certaines conditions. En général, on distingue les glissements présentent une vitesse de déplacement lente, ce qui donne lieu à une déformation plastique en terrain sec (*creeping*) ou en terrain saturé (*solifluxion)*, et ceux dont la vitesse de déplacement est bien plus rapide, avec des glissements en planche (si la surface de rupture est plane) ou rotationnel (si la surface de rupture est courbe). L'effet destructeur (et potentiellement catastrophique) de ces écoulements gravitaires rapides résulte de leur vitesse de propagation (allant de 1 $m.min^{-1}$ à 10 $m.s^{-1}$) et du volume mobilisé (5.10^6 m^3 pour le glissement survenu en 1992 à Tessina, en Italie par exemple). Les teneurs en eau élevées favorisent la propagation des matériaux, qui vont se répandre sur des surfaces dépassant de 10 à 100 fois la taille de la zone source. Et lorsqu'ils se raccordent à un chenal torrentiel, ces écoulements peuvent se transformer en laves torrentielles (avec des vitesses > $2m.s^{-1}$), à l'image de celle survenue le 8 août 2018 dans le village de Grugnay (Suisse).

Ces aléas causent un grand nombre de dégâts, matériels et humains, à l'image par exemple des glissements survenus le 8 juillet 2018 au Japon après d'importants cumuls pluviométriques (110 personnes sont décédées et plus d'1,5 millions ont été évacués). A l'échelle mondiale, les coûts des dommages sont estimés à plus de 6 milliards € par an, mais les chiffres varient ensuite selon les pays et l'exposition des populations (Bousquet, 2017) : aux États-Unis, les glissements coûtent 1,2 milliards € par an ; en Chine, c'est plus de 600 millions €, et en Espagne, le chiffre dépasse 220 millions € par an. Face à de tels enjeux, de nombreux glissements de terrain sont surveillés : on en compte près de 712 000 à l'échelle de l'Union Européenne (selon les chiffres de l'IPSRA en 2012), et les méthodes de veille et de surveillance sont souvent accompagnées de plans d'évacuation (**exemple 9**).

EXEMPLE 9. En France, un certain nombre de glissements de terrain font l'objet d'une surveillance accrue et divers outils d'alerte ont été déployés, de manière continue ou temporaire, ou de façon plus ou moins récente. On peut citer deux exemples : le glissement de la Valette (près de Super-Sauze), qui s'est réactivé en 1992, est équipé

d'un vaste dispositif (relevés topométriques bi-mensuels de l'ensemble de la zone et caméra infrarouge placée au pied de la coulée) et un plan d'urgence d'évacuation du lotissement situé en contrebas sur le cône de déjection a été mis en place (Malet, 2003). Depuis fin 2017, le glissement du Pas de l'ours, situé en amont du Guil, sur la commune d'Aiguilles, est fortement surveillé, depuis la réactivation du flanc ouest. La route située en contrebas a été coupée, et une voie provisoire a été aménagée (en sens unique) sur la berge opposée. Un système d'alerte équipé de fil de rupture, d'un radar, de deux panneaux lumineux et de deux sirènes (pour un montant global de 46 000 €) a été installé pour déclencher une alerte en cas d'avancée brutale. La commune envisage par ailleurs de construire un tunnel pour évacuer les eaux du Guil, car en cas de blocage des écoulements puis de débâcle, toute la vallée située en aval pourrait être dévastée (risque considéré comme à Séchilienne, par exemple).

Un très grand nombre de travaux (*e.g.* Malet, 2005 ; Guzzetti *et al.,* 2008 ; Berti *et al*., 2012, Martelloni *et al.,* 2012 ; Staley *et al.,* 2013) ont permis d'améliorer les connaissances sur les seuils de rupture de tels aléas. Les méthodes (e.g. résistivité électrique, capteurs GPS, représentations 3D des volumes à l'aide des technologies LIDAR, imagerie infra-rouge) pour les quantifier, de même que les paramètres étudiés (e.g. l'intensité des pluies, les antécédents pluviométriques, la nature lithologique des couches, la teneur en eau), sont eux aussi hétérogènes. Cruden et Masoumzadeh (1987) ont par exemple proposé trois seuils de vélocité qui correspondent à trois étapes d'accélération du *creeping*, et le niveau le plus élevé indique qu'il faut commencer l'évacuation dans la zone exposée. De leur côté, Crosta et Agliardi (2003) ont estimé des seuils critiques sur des périodes à j-30, j-15 et j-7 sur le glissement du Ruinon. Les efforts doivent cependant encore être poursuivis, tant les approximations dans les mesures *in situ*, la structuration des modèles (devenant parfois compliqués), la disponibilité des données, la précision des informations utilisées ou la prise en compte des effets d'échelle (entre les points de mesure, la maille des modèles et l'instabilité des versants) rendent difficiles le calage et la validation des modèles, et assortissent les simulations d'incertitudes nombreuses et très délicates à évaluer (Crosta *et al.,* 2014).

Afin d'alerter la population face à ces aléas, qui présentent des cinétiques délicates à anticiper tant les vitesses et les volumes diffèrent d'un glissement à un autre, les solutions mises en œuvre sont très hétérogènes. Des stratégies d'alerte précoce, nommées LEWS (*Landslide Early Warning System*) existent à différentes échelles spatiales (**figure 7.4.**). Calvello (2017) les recense aussi bien à l'échelle nationale (au Japon, à Taïwan, en Malaisie ou au Bangladesh par exemple), ou régionale (Californie, Columbia ou Washington aux États-Unis), qu'à l'échelle d'une ville (à Rio de Janeiro, au Brésil, depuis 1996 par exemple) ou à des échelles locales : sur le bassin versant d'Illgraben en Suisse (Badoux et al., 2009), sur les Monts Aknes en Norvège, depuis 2004 (Blikra *et al*., 2013) ou sur les versants amont de la ville de Cardina, en Italie (Cardinaletti *et al*., 2010). Le système le plus ancien a été déployé pour Hong-Kong en 1977 (**exemple 10**). Mais les autorités gestionnaires, les signaux utilisés, les méthodes de calcul et les paramètres utilisés pour les prévisions sont alors variables : aux échelles nationale ou régionale, les outils d'alerte sont gérés par les institutions, et les glissements de terrain sont intégrés avec les autres aléas. A l'inverse, les LEWS locaux se focalisent sur un versant ou un flanc de colline, et ils sont gérés de manière indépendante par les autorités locales. En revanche, tous les LEWS ont pour point commun d'associer les méthodes de prévision aux moyens permettant la mise en vigilance et la diffusion de l'alerte (Sättele *et al.,* 2012, Stahli *et al*., 2015). Si on se focalise sur le déclenchement de l'alerte, les radios et les télévisions sont les outils les plus recommandés pour alerter la population. Aux échelles locales, le signal peut être activé depuis le versant sensible (s'il est surveillé), suite à un dépassement de seuils, ou par des lumières rouges, qui accompagnent le son des sirènes. Dans tous les cas, si la prédiction est certaine, le temps de réactivité est en revanche bref (Calvello, 2017).

EXEMPLE 10. Le premier LWES mis en place à l'échelle régionale a été créé à partir de 1977 à Hong-Kong, suite à la survenue de deux glissements dramatiques, et il est toujours opérationnel en 2018. Il est coordonné de façon conjointe par le *Hong Kong Observatory* et le centre de recherche *Geotechnical Engineering Office* (GEO). La susceptibilité de plus de 10 000 glissements a été collectée dans une base de données, et l'exposition a été quantifiée, notamment pour définir des plans d'évacuation dans les secteurs les plus densément peuplés, et pour informer les populations des risques et des dommages potentiels (Dai *et al.,* 2002). Depuis 2003, les seuils de rupture ont été estimés et cartographiés à l'échelle régionale (Stahli *et al*., 2005), et une mise en vigilance est diffusée lorsque la survenue de plus de 15 glissements de terrain est attendue, en lien avec plusieurs retours d'expérience passés. Cette vigilance annonce que, pour une situation donnée, au moins un glissement de terrain entraînera des conséquences substantielles pour la population. Les vecteurs d'informations sont multiples : la

télévision, les radios, internet et une ligne téléphonique dédiée (Calvello, 2017). Depuis 2006, un système radar surveillant les pluies a aussi été intégré dans le LWES, pour augmenter le délai nécessaire à une diffusion de la mise en vigilance plus rapide, et pour permettre l'anticipation de plans d'urgence (Cheung *et al.*, 2006).



Figure 7.4. Localisation des principaux *Landslide Early Warning Systems* (LEWS) régionaux et locaux à l'échelle mondiale (Calvello, 2017)

7.2.3. Des outils d'alerte de plus en plus réactifs face aux séismes

Les séismes sont des vibrations du sol (i.e tremblement de terre) causées par une cassure en profondeur de l'écorce terrestre. Cette cassure provient des mouvements relatifs de la roche, qui sont conditionnés par le processus de convection mantellique (Péroche, 2016), qui entraine un mouvement perpétuel et inexorable des plaques tectoniques. Cependant, aux limites des plaques, les failles offrent une résistance mécanique à ce déplacement. Aussi, les séismes se produisent lorsque la résistance des roches est atteinte ou lorsque le seuil des contraintes exercées sur le plan de faille est franchi. La rupture libérée d'énergie se propage sous la forme de plusieurs trains d'ondes sismiques dont les plus connues sont les ondes de volume (P et S) et les ondes de surface (Roger, 2011). En fonction de la profondeur du foyer (qui est le lieu de rupture situé en profondeur, également qualifié d'hypocentre) et de sa magnitude, un séisme peut entraîner une déformation du sol en surface. L'épicentre (qui est la projection verticale du foyer à la surface) peut aussi bien se situer sur un continent que dans l'océan. Si cette déformation a lieu en mer ou à proximité des côtes, l'énergie libérée est transmise à la colonne d'eau sous-jacente, et elle va provoquer la formation d'un tsunami (Roger, 2011).

Des séismes se produisent tous les jours à l'échelle internationale, mais la plupart ne sont pas ressentis par la population : sur les 100 000 séismes recensés en un an dans le monde (USGS, 2013), moins de 5 % dépassent la magnitude de 6 sur l'échelle logarithmique de Richter (qui est l'échelle de mesure de référence, définissant l'amplitude maximale de l'onde de surface générée par un séisme). Pour distinguer les séismes, le nombre de victimes est d'ailleurs rarement pris en compte, car celui-ci dépend de la densité de population, des types de construction, ou de l'heure d'apparition puisque les habitants sont plus occupées la nuit que le jour (Bousquet, 2017). Les décès sont essentiellement liés à l'effondrement des bâtiments, et dans certains cas à des effets indirects (feu, tsunami ou glissements de terrain). En France, très peu de dommages ont été recensés depuis 1982 (date de la mise en place du régime CatNat), et l'événement le plus coûteux est celui survenu en Martinique en 2007 (70 millions € d'indemnisations). Mais des séismes bien plus violents se sont déjà manifestés dans un passé plus lointain, comme en 1909 à Lambesc (magnitude de 6.2), événement durant lequel 106 décès ont été

recensés et plus de 16 000 personnes se sont retrouvées sans abris, ou à Nice en 1887. A l'échelle internationale, et notamment dans certains pays, les séismes causent bien plus de dégâts : de 2000 à 2010, les séismes ont provoqué plus de 700 000 morts à l'échelle mondiale (USGS, 2013), à cause de deux événements en particulier (le 26 décembre 2004 en Indonésie et le 12 janvier 2010 à Haïti).

Dans l'état actuel des connaissances, la prédiction des séismes et de leur intensité n'est pas encore possible (BRGM, 2009). Cependant, différentes stratégies d'alerte ont été déployées à l'échelle internationale. Des systèmes d'alerte précoce (*EEWS*) ont par exemple été mis en place pour informer le public et réduire, de manière significative, les pertes humaines. On peut aussi bien recenser de tels outils à des échelles nationales (au Mexique depuis 1993 ou au Japon depuis 1990), ou régionale (en Californie depuis 2008, ou dans la région du Campania, Italie, depuis 2009), qu'à l'échelle de certaines agglomérations (à Mexico depuis 1991 ou à Tokyo depuis 1995). Ces EWS se fondent sur la détection et l'enregistrement des mouvements sismiques, notamment dus aux ondes de cisaillement (ondes S) et aux ondes de surface qui les suivent (**figure 7.5)**. Les progrès dans ce domaine sont remarquables : le temps d'alerte, défini comme la durée séparant la diffusion de l'alerte de l'arrivée des ondes S, était supérieur à 5 minutes pour les premiers EWS, mais il est désormais compris entre 25 et 60 secondes (Espinosa-Aranda *et al.,* 2012). Si les zones impactées sont éloignées de l'épicentre, l'alerte peut être émise plusieurs dizaines de secondes avant l'arrivée des premières ondes (**exemple 11**). A l'inverse, si l'épicentre est proche (*i.e* zone d'ombre), le temps d'alerte est impossible à activer. Si les approches régionales ou nationales peuvent diffuser une alerte sur une surface large, et déterminer la magnitude du séisme, les approches localisées, réservées à des sites ponctuels, ne procèdent qu'à l'analyse des premières secondes du signal pour prédire les ondes S à venir, sans pour autant prédire l'événement (Kanamori, 2005). Il est d'ailleurs important de souligner qu'une des différences significatives entre les approches régionales et spécifiques » est une différence d'objectif : elle provient de l'acceptabilité des fausses alertes et des alertes manquées. En effet, les erreurs relatives aux alertes sont d'autant moins acceptables qu'elles impliquent des mesures automatiques de prévention à grande échelle.

EXEMPLE 11. Après le séisme survenu en 1985 à Michoacàn (magnitude de 8.1), les autorités gouvernementales du Mexique ont développé, en collaboration avec le *Centro de Instrumentacion* y Registro Sismico *(*CIRES), un système d'alerte qui se fonde sur 15 stations, équipées d'accéléromètres et situées à près de 320 km de la ville de Mexico, le long de la zone de subduction située le long de la côte Pacifique. Ce système, dénommé WASMEX, a été testé en 1991, et il a été déployé auprès du grand public à partir de 1993. Il offre la possibilité d'alerter plus de 280 établissements (écoles, centre de secours ou institutions). Il détecte l'arrivée des ondes S dans un délai très court (entre 30 et 74 s. au maximum ; Espinosa-Aranda *et al*., 2012). Un signal audio est envoyé dans toute la ville, et la radio et les chaînes de télévisions relaient l'alarme en cas d'alerte certifiée.

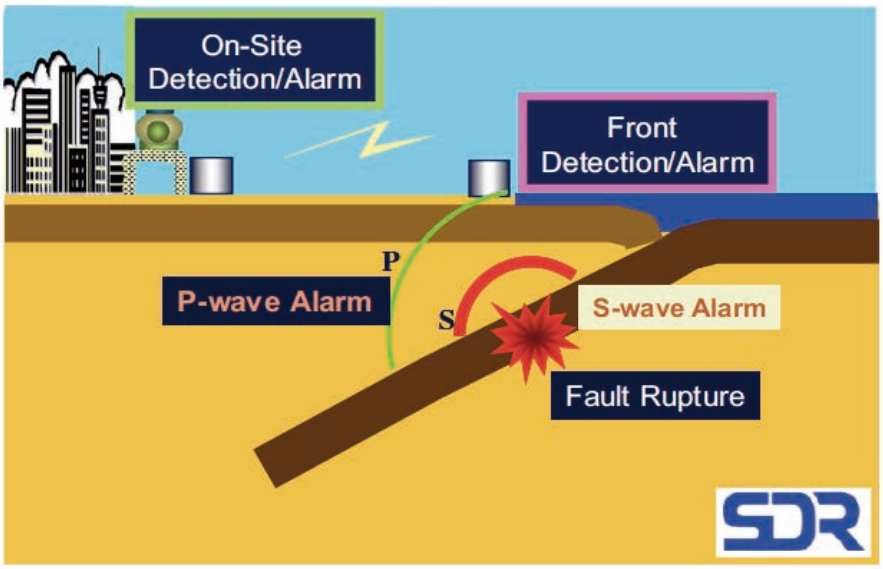


Figure 7.5. Deux fonctionnements différents pour les EEWS (*Earthquake Early Warning System)* ; certains se fondent sur des stations situées au-dessus des épicentres probables ("*front detection*") ; les autres équipements ("on-site $") se localisent à proximité de sites spécifiques (Kanamori, 2005).

D'autres systèmes, notamment locaux, utilisent la vitesse de déplacement des ondes dites de compression (ondes P), qui sont considérées comme « porteuses d'informations », contrairement aux ondes S, « porteuses d'énergie » (Kanamori, 2005). A Tokyo, par exemple, les stations détectant les ondes P se situent à quelques mètres des lignes ferroviaires, et l'alerte déclenchée lors du séisme de 2005 a permis d'arrêter les trains, suffisamment à temps pour éviter un nombre de décès important. Il existe aussi d'autres alternatives, plus contemporaines, comme des applications smartphones telles que *QuakeUp*© (mise en ligne dès 2008), *QuakeAlert*© (qui a envoyé une notification aux utilisateurs 38 secondes avant la survenue du séisme du 5 avril 2018 en Californie ; **figure 7.6**), ou *LastQuake*©, qui est opérationnel en Europe depuis 2013 (**exemple 12**). Certains EWS nationaux se tournent par ailleurs depuis quelques années vers des approches multimodales, comme l'illustre le projet SAFER (*Seismic eArly warning For EuRope*), lancé en 2006 entre 23 partenaires issus de 14 pays différents. Ce projet a permis de développer des algorithmes automatisés, pour détecter et localiser les sources sismiques à l'échelon européen, mais aussi pour réduire le délai d'alerte aux infrastructures exposées et à la population dans certaines villes (Istanbul, Le Caire, Bucarest, Naples et Athènes).

EXEMPLE 12. L'application smartphone *LastQuake*© a été conçue à partir de 2011 par le CSEM (Centre Sismique Euro-Méditerranéen) pour permettre d'impliquer les témoins d'un séisme (pour partager notamment leurs photos des dommages et des destructions en ligne) et leur donner un rôle d'acteur dans la gestion de crise (pour mieux définir les moyens d'interventions à mettre en œuvre). Elle est opérationnelle depuis 2013, et vient compléter les réseaux d'alerte qui n'existent que dans les grandes villes à cause de leur coût et de leur haute technicité. Suite au séisme survenu au Népal en 2015, les consignes de sécurité post-séisme ont été intégrés dans l'application. Plutôt que de rester focalisé sur les seules données sismologiques, le CSEM surveille également les réactions du public sur *Twitter*® (en appliquant une méthode développée en collaboration avec l'USGS aux États-Unis), et il cartographie sur son site Internet (https://www.emsc-csem.org/#2) en pseudo-temps réel le pic des connexions.

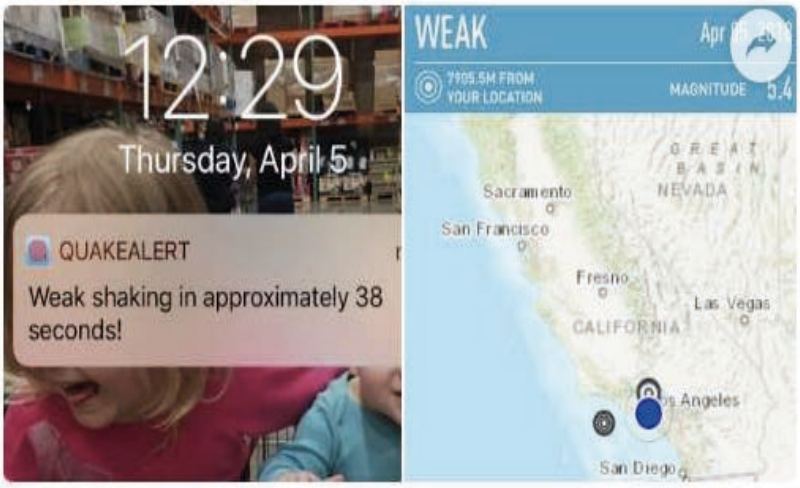


Figure 7.6. Message mis en ligne (sur *Twitter©)* par une utilisatrice de l'application *QuakeAlert*© 5 avril 2018 : l'alerte a été envoyée 38 secondes avant les premières secousses ressenties.

Tous ces outils servent essentiellement à déclencher des mesures de protection automatiques (arrêt de l'alimentation électrique des trains, fermeture des réseaux de transport sensibles, arrêt des ascenseurs en position de sécurité, changement des propriétés dynamiques des bâtiments), ou semi-automatiques (mise en sécurité des individus dans les aéroports ou dans les établissements de santé). Mais dans tous les cas, leur efficacité est conditionnée par trois paramètres : la proximité à l'épicentre, la distribution du réseau de capteurs et leur nombre (les alertes manquées sont par exemple bien plus élevées autour du Mont Whitney et dans la partie est de l'État de Californie, que sur la côte Pacifique, car les capteurs sont inégalement distribués dans l'espace ; Brown *et al.*, 2011), et les zones exposées à protéger. Ainsi, plus le réseau de détection est proche des sources, et plus les enjeux sont éloignés de celles-ci, plus le système d'alerte fournira des résultats fiables et des délais d'alerte importants. En revanche, il n'y pas d'alerte possible et efficace pour des séismes proches (moins de 30-40 km). Les EWS (à l'exception du Japon, qui bénéficie désormais d'une longue période d'observations) n'existent pas non plus depuis une période suffisamment longue, pour avoir un bilan exhaustif de leur efficacité,

et il faut donc poursuivre les efforts pour diminuer les fausses alertes ou les alertes manquées, sans oublier d'intégrer dans ces systèmes plusieurs facteurs humains (**exemple 13**).

EXEMPLE 13. Le séisme survenu à Haïti le 12 janvier 2010 a entraîné la mort de 230 000 personnes, occasionné près de 300 000 blessés, et 1,3 millions de personnes se sont retrouvées sans abris. La plupart des survivants n'avaient plus Internet, mais beaucoup pouvaient encore utiliser leur téléphone mobile pour indiquer une situation d'urgence ou un besoin particulier. Un numéro unique (4636) a été mis en place pour faire remonter des besoins du terrain par SMS. Ces messages ont été traités par des étudiants de certaines universités américaines (comme la *Tufts University*), notamment parce que des étudiants, membres de la diaspora haïtienne, pouvaient interpréter plus rapidement les messages consultés ou remontés par des proches vivant sur place (Hecker, 2014).

7.2.4. Des outils d'alerte tsunamis en plein essor depuis 2004

Le terme « tsunami » est employé, à l'échelle internationale, pour désigner des phénomènes caractérisés par des trains d'ondes gravitaires de très longue période, et se déplaçant dans un milieu aquatique (Péroche, 2016). Chaque train d'onde se forme par « l'agitation brutale » d'un grand volume d'eau, suite à des mouvements verticaux ou horizontaux de matière solide. Les tsunamis sont souvent produits par un déplacement du plancher océanique en limite de plaques tectoniques et au niveau des zones de subduction les plus actives (Arcas et Segur, 2012), mais des éruptions, des glissements de terrain sous-marins ou des éboulements côtiers, peuvent aussi en être à l'origine (**exemple 14**).

EXEMPLE 14. A l'échelle du bassin méditerranéen, l'activité sismique la plus élevée en termes de magnitude se concentre dans quelques secteurs, qui sont donc favorables au déclenchement de tsunamis géants et dangereux à grande distance : le sud de l'Italie, l'arc hellénique et le côte algérienne (Tinti *et al.,* 2006). Mais des séismes peuvent également engendrer des tsunamis le long de la marge méditerranéenne du Maghreb. Appliquée aux tsunamis passés, les outils de modélisation ont permis de définir les littoraux exposés, et de confirmer ou infirmer certains témoignages (à l'image du tsunami survenu à Lisbonne en 1755). Les modèles intègrent également le déplacement des ondes du tsunami, construits en fonction de la bathymétrie et de la morphologie des côtes. La comparaison aux observations et relevés recueillis permet de voir quel modèle s'approche le plus de la réalité.

Une fois générée, l'onde du tsunami se propage sur l'ensemble de la masse d'eau, dans toutes les directions depuis sa source. Au large, l'amplitude initiale de l'oscillation en surface ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres ; le phénomène est alors imperceptible pour les navires en mer. Sa période varie de plusieurs minutes à plusieurs dizaines de minutes, en fonction de la source d'origine, et sa longueur d'onde peut dépasser 200 km (Lavigne et Paris, 2011). En fonction de l'énergie initiale libérée et de la profondeur de la colonne d'eau, un tsunami peut parcourir de très grandes distances, à une vitesse pouvant dépasser 900 km/h, comme par exemple lors du méga-tsunami enregistré dans la baie de l'Alaska en 1958 (qui semble avoir généré un *run-up*, soit la hauteur d'eau maximale atteinte par la vague à l'intérieur des terres, à plus de 560 m !). En eau peu profonde, la vitesse de propagation de l'onde diminue à cause de la rugosité du fond. Dès lors, il se produit un bref transfert entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle (Péroche, 2016), ce qui a pour effet corollaire de diminuer la longueur d'onde (la distance entre deux vagues) et d'augmenter l'amplitude des vagues à l'approche de la côte. Les vagues peuvent atteindre plusieurs mètres, ou plusieurs dizaines de mètres, comme par exemple à Banda Aceh, ou le *run-up* le plus haut a été mesuré à 37 m (Lavigne et Paris, 2011). Plusieurs autres facteurs influencent l'amplitude des vagues, comme la bathymétrie locale, la morphologie littorale ou le niveau de la mer. Ces facteurs ont une répercussion sur la puissance d'impact du tsunami : plus l'épicentre du séisme se situe à proximité des côtes, plus le délai d'alerte sur le continent sera court, et plus les populations devront rapidement rejoindre les points les plus hauts.

Le tsunami survenu en 2004 (à l'origine de plus de 230 000 décès en Indonésie, dont 90 000 uniquement dans l'agglomération d'Aceh, située sur la partie la plus septentrionale de l'Ile de Sumatra) a suscité une prise de conscience internationale face à ce type d'aléa, longtemps sous-estimé au profit des séismes (Bousquet, 2017). Certains pays ont surtout mesuré à quel point leur population pouvait être fortement impacté, d'autant qu'aucun système d'alerte n'existait avant 2004 en dehors de la zone Pacifique, et que les bases de données existantes n'étaient sollicitées que par les chercheurs. Depuis,

de nombreux projets ont été mis en place (**figure 7.7)** : en Méditerranée (Terrier, 2007), aux Caraïbes (Péroche, 2016), sur la côte orientale du Japon (Naylor *et al.,* 2018), ou à l'échelle de l'océan indien (Hettiarachchi, 2018). L'UNESCO s'est chargé de la coordination de tous les EWS développés dans les différents océans à travers le programme NEAMTW (*Tsunami Early Warning and Mitigation system in the north-Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas).* Il existe ainsi différents centres d'alerte nationaux, à l'image de ceux qui existaient déjà aux États-Unis et au Japon (créé en 1990), et qui sont par exemple opérationnels depuis 2015 en France (**exemple 15**), en Espagne, au Portugal, en Italie ou en Grèce. Ces centres permettent d'envoyer des messages d'alerte détaillés et d'indiquer les consignes de sécurité à mettre en œuvre par la population.

EXEMPLE 15. Le CENALT (*Centre National d'Alerte aux Tsunamis*) a été créé suite à la convention entre le CNRS, le Service Hydrographique de la marine (SHOM), deux ministères (intérieur et écologie) et le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Il est opérationnel en permanence 24h / 24 et 7 jours / 7 depuis 2012. Il a pour mission d'alerter les autorités français, ainsi que divers centres nationaux et régionaux étrangers, lors de la détection de séismes « tsunamigènes » en Méditerranée occidentale et dans l'Atlantique nord-est. Une fois que les données des sismographes et des marégraphes indiquent qu'un tsunami est possible, un premier message d'alerte est communiqué au bout de 17 minutes : il indique le temps d'arrivée et le niveau d'alerte. Une confirmation ou une infirmation est envoyée au bout de 42 minutes, précédée de 6 minutes par un second message d'alerte précisant l'amplitude et la période de retour du phénomène, en s'appuyant sur des modélisations déjà réalisées et sur de nouvelles simulations effectuées à partir des données arrivées depuis la première alerte.

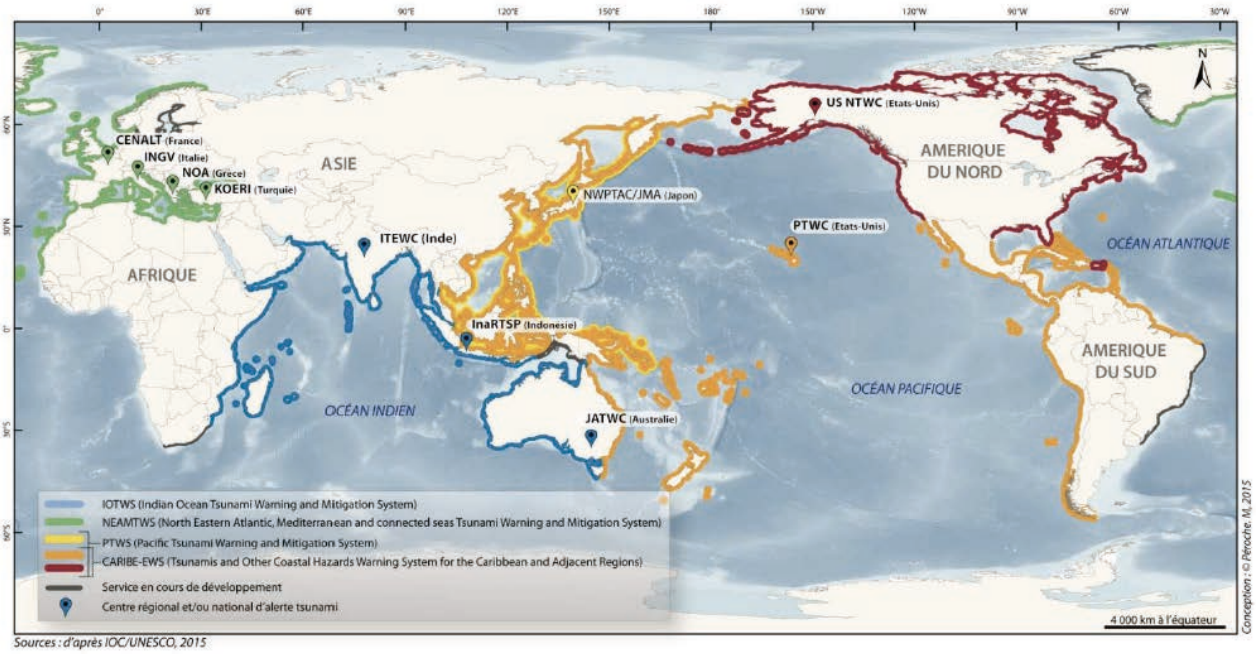


Figure 7.7. Littoraux couverts par les *Tsunami Early Warning System* (TWES) (Péroche, 2016)

Le temps disponible pour l'alerte aux populations en cas de tsunamis est très bref, et l'alerte descendante (qui prévaut dans l'ensemble des systèmes) doit donc se faire au moyen de systèmes automatisés connectés aux différents capteurs de détection, tels que les balises en mer ou les stations installées sur les différents littoraux (BRGM, 2009). Les moyens de communication semblent toutefois très diversifiés selon les pays, notamment parce que certains outils sont priorisés au détriment d'autres solutions. A titre d'exemple, les sirènes diffusent un signal spécifique à Hawaï ou au Japon, alors que les radios et les télévisions sont plus souvent sollicités aux États-Unis. En Indonésie, les RSN sont là encore mobilisés, avec des tweets d'individus impliqués qui indiquent sur *Twitter*© les routes pouvant être utilisées pour évacuer une zone sensible dans les plus brefs délais (Ai *et al*., 2016). Si un tronçon est coupé, le chemin de l'évacuation est même recalculé en temps réel. En Martinique, en revanche, c'est la *« débrouille »* (Deloitte, 2014) : alors qu'un automate d'appel d'alerte (géré par Orange) envoie des SMS aux autorités, seuls les médias et les télévisions diffusent l'alerte à la population (Péroche, 2016), et parfois, l'alerte est même directement affichée sur les portières des hélicoptères.

Il convient alors d'améliorer l'efficacité de ces différents vecteurs d'alerte :
1) Les outils ne sont pas toujours redondants, et certains moyens peuvent être inefficaces en cas de survenue trop rapide du phénomène (les sirènes ou les SMS) ou, comme rappelé dans le chapitre 6, être inutilisables en cas de coupures d'électricité.
2) Il faut interconnecter toutes les solutions et les harmoniser sur un territoire donné.
3) Les messages diffusés doivent être fiables et précis pour éviter l'effet « voyeur » qui s'est produit par exemple lors du tsunami annoncé à Hawaï en juin 1960 : les messages indiquaient une vague de 3m, et bon nombre d'habitants ont été voir le phénomène, alors qu'en réalité, la vague a atteint plus de 20 m. à divers endroits (Linham *et al.,* 2016).

7.3. Des solutions à transposer en France ?

Le *benchmarking* réalisé confirme que l'offre existante à l'échelle internationale est diversifiée. Néanmoins, elle n'est pas aussi déconnectée qu'en France (première réponse à un postulat de départ) et certains pays disposent désormais de solutions uniques, multimodales et multicanaux. Le délai avec lequel il est possible d'alerter la population conditionne par ailleurs le choix des moyens mobilisables (réponse à la deuxième question), mais ce facteur explicatif n'est pas exclusif puisque l'occurrence de catastrophes et les décisions politiques prises à la suite d'événements dramatiques jouent également un rôle primordial. Dès lors, comment le système français actuel pourrait-il évoluer ?

7.3.1. Elargir le champ de compétence de l'alerte : une piste à prioriser

Pour rappel, en France, seuls l'État et ses représentants aux échelles locales (préfets, maires) sont autorisés à déclencher l'alerte à la population. Toutefois, le délai de validation institutionnelle pour activer les signaux prend un certain temps, et il paraît totalement inadapté face à des aléas survenant de manière brutale. Prenons un exemple : si un séisme est détecté à 100km des côtes, et si les ondes S se déplacement à 600 km/h, les premières vagues arriveront logiquement sur le littoral en 10 minutes. Or, dans son mode de fonctionnement actuel, le CENALT indique qu'au plus tôt, l'alerte à la population sera activée seulement au bout de 42 minutes ! Ce délai d'alerte est donc inadapté, et c'est d'ailleurs pour cette raison que des solutions bien plus rapides sont expérimentées, par exemple dans le cadre du projet *Caribe-Wave*, porté par G. Musquet, et déjà évoqué dans le chapitre 6 (p. 105).

Pour diminuer le temps d'alerte, il faudrait donc assouplir les contraintes étatiques, et partager la responsabilité de l'alerte avec d'autres acteurs ou certains services, qui sont impliqués au quotidien et qui bénéficient d'une certaine légitimité, au moins scientifique, pour l'assumer. Dans plusieurs pays, c'est d'ailleurs dans cette direction que certains systèmes ont été mis en œuvre. En Australie, en cas de pluies intenses et d'inondations probables, chaque gouverneur travaille en liaison permanente avec le BOM (*Bureau of Meteorology)* et le pouvoir fédéral. Dans le respect du *Meteorology Act* approuvé en 1955, le BOM émet des bulletins de vigilance et il fournit des consignes de sécurité à la population visée par l'événement en jeu sur internet. Mais en cas d'alerte, le BOM peut directement solliciter les radios et les médias, voire aller faire des interviews sur les chaînes de télévision (**figure 7.8.**), tout en coordonnant les vecteurs avec les autorités et en respectant le standard national *EA* (**exemple 5**). Et les autorités, dans ce cas-là, ne sont alors pas exclusivement détentrices du « pouvoir d'alerte ».

En Belgique, l'*I'Institut Royal Météorologique* (IRM) peut également solliciter le déclenchement de *Be-Alert©* auprès du Centre de Gestion de crise, tout en informant en parallèle les autorités et les centres de secours, quand une situation critique le nécessite (ex : pluies intenses très probables dans moins de 3 h). Aux États-Unis, les autorités gouvernementales se coordonnent à chaque fois avec le *National Weather Service* (NWS) et ils peuvent tous les deux demander l'utilisation du système IPAWS (depuis 2006) pour alerter la population dans une zone qu'ils auront définis au préalable.

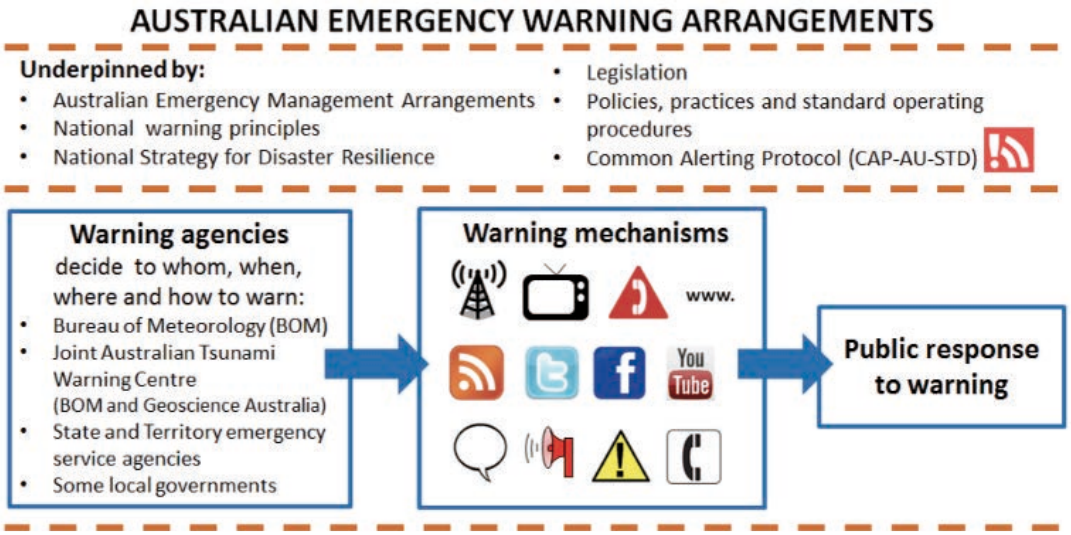


Figure 7.8. Grands principes définissant l'*Emergency Alert*, déployé en Australie (Attorney, 2011).

Deux options sont alors envisageables pour faire évoluer le système actuel français : **1)** élargir la compétence de l'alerte et la confier à certains services spécialisés, qu'ils soient publics (comme par exemple le SCHAPI, les SDIS, les Services de Prévision des Crues) ou privés. Dans le cadre du projet SAIP (attendu pour 2022), les SDIS pourront demander l'activation des sirènes dans une zone ciblée, et une telle option semble donc prise en compte par les institutions, même si le nombre d'acteurs reste encore limitée. **2) I**ndépendamment de la nature de l'aléa, il faudrait créer un service d'alerte unique, indépendant des autorités, en charge de coordonner les vecteurs d'alerte et de fédérer l'ensemble des acteurs potentiellement compétents. Il faut toutefois sortir de l'esprit jacobin, et arrêter de démultiplier les organismes selon les aléas : le CENALT s'occupe des tsunamis, le CSEM surveille les séismes, le SCHAPI se charge de la vigilance crues, etc. Si des plateformes d'urgence commencent à être mutualisées, à l'image de celle qui centralise les appels 15, 17 et 18 à l'échelle du Grand Paris, il faut donc aller bien plus loin dans cette logique de plateforme interservices.

7.3.2. Adapter l'offre aux délais d'alerte

En fonction des aléas en jeu, les services en charge de l'alerte disposent de plus ou moins de temps pour activer les outils dont ils disposent (Péroche, 2016). Leur réactivité est aussi conditionnée par le délai de prévisibilité des aléas, et par la période de temps avant les premiers impacts. De façon schématique, les séismes nécessitent des systèmes automatisés puisque le délai d'alerte est limité à quelques secondes, voire à quelques centièmes de secondes (**figure 7.9.**). En revanche, les tornades, les tsunamis ou les crues rapides surviennent en quelques heures. Lorsque certains événements sont prévus, ils peuvent donc être anticipés, et il convient de déclencher l'alerte à partir du moment où les seuils de déclenchement sont dépassés, pour laisser du temps à la mise en place de comportements de protection *ex nihilo*. A titre d'exemple, le système développé face aux tornades par le NWS, mis en œuvre aux États-Unis, alerte la population par SMS avec un délai moyen de 19 minutes, ce qui laisse du temps avant l'arrivée des premiers impacts (McLaughin et Mayhorn, 2014). Par opposition, ce délai d'alerte est plus délicat face à des glissements de terrain, des cyclones ou des éruptions volcaniques : ces aléas peuvent durer plusieurs semaines, et il est vain d'alerter quotidiennement la population.

La nature des risques joue aussi un rôle prépondérant, en particulier le caractère naturel des aléas qui s'oppose à la dimension matérielle d'autres risques (Brun, 1992). On retrouve d'ailleurs cette différenciation dans différents travaux (November, 2010 ; Lévy, 2013) : les risques « territorialisés », dont font partie les crues rapides, ont une métrique territoriale, fondée sur la continuité de l'espace qu'ils affectent. Ils peuvent être circonscrits dans des périmètres relativement bien bornés, alors que

d'autres risques (désignés comme « diffus ») sont plus difficilement insérables dans le cadre de limites nettes. De leur côté, les risques « réseau », caractérisés par une métrique réticulaire, sont impossibles à limiter spatialement et il faut alors se focaliser sur leur connexité (Reghezza-Zitt, 2015).

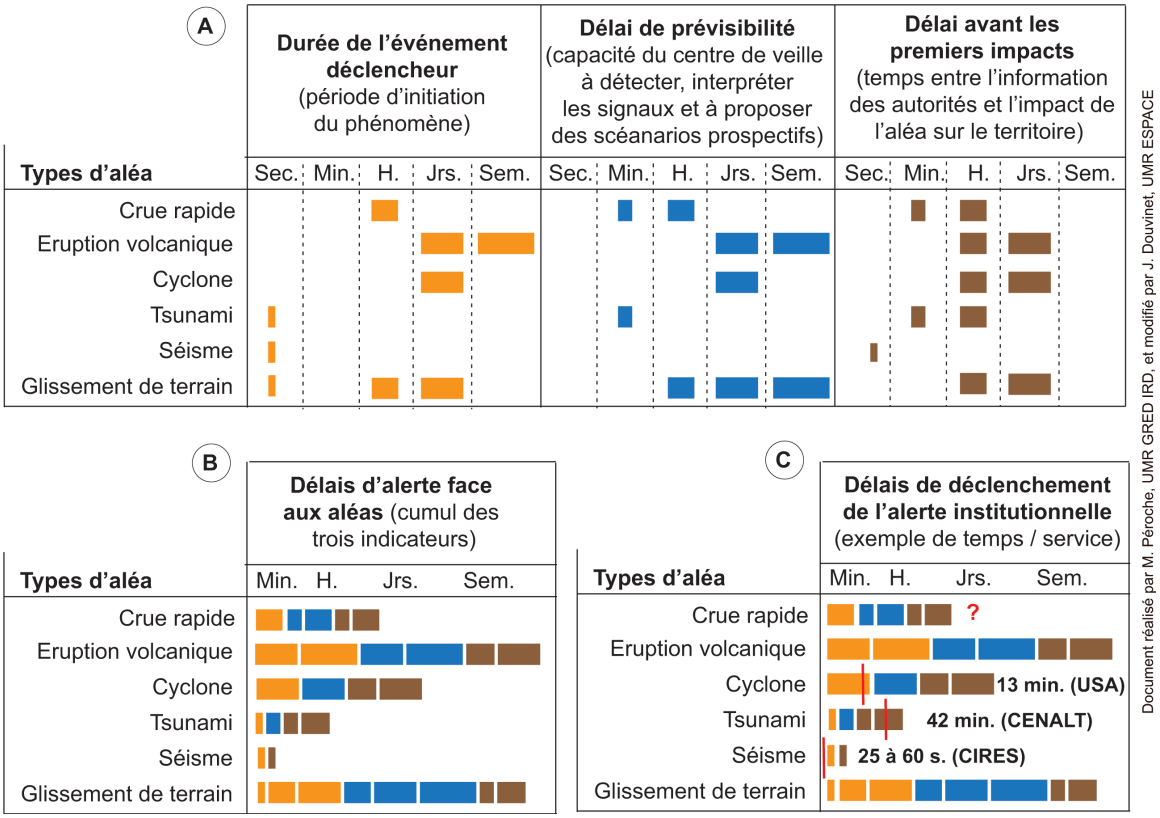


Figure 7.9. Estimation des délais d'alerte face aux principaux aléas naturels

Pour autant, le délai d'alerte aux crues rapides est variable spatialement. Il fluctue notamment en fonction de la taille des bassins versants. Sur les très petits bassins (< 5 km^2), le temps de réaction hydrologique est très court (quelques minutes seulement), alors que le temps de parcours de la crue dans le réseau hydrographique est compris entre 1h et 3h dans des bassins de 50 et 100 km^2 (Collier, 2007 ; Alfieri *et al.,* 2012 ; Sun *et al.*, 2016), et entre 3h et 10h pour des bassins de 100 à 1000 km^2 (Georgakakos, 2006 ; Marchi *et al,* 2010 ; Creutin *et al.*, 2013). Certains travaux ont démontré que l'efficacité de l'alerte diminuait lorsque le délai d'alerte dépassait 15 minutes, à cause du nombre plus élevé de fausses alarmes (Simmons et Sutter, 2008 ; Mathews et Ellis, 2016). Dès lors, il faut adapter l'offre selon les délais d'alerte, et s'inspirer des solutions discutées précédemment (**figure 7.10**.). Si le temps d'alerte est inférieur à 30 minutes, on devrait déployer des réseaux de capteurs automatisés (certains existent à coût réduit, comme les capteurs Rasperry©, qui détectent la hauteur d'eau critique et envoient des SMS aux personnes intéressées pour un prix moyen de 50 € par sonde), qui pourraient connectées en temps réel à des sirènes, qui sonneraient à la suite d'un dépassement de seuils. Si le temps est compris entre 30 minutes et 1h, on pourrait mobiliser les outils de diffusion massive. Pour les temps dépassant 1h, il serait utile de déclencher une pré-alerte ou un avertissement, puis d'activer l'alerte *via* un système unique 15 minutes (voire 30 minutes) avant l'arrivée des débits de pointe.

Or, pour envisager cette solution, un certain nombre de verrous doivent être levés. D'un côté, il faut considérer la capacité du centre de veille à détecter puis à interpréter les signaux faibles (*i.e.* le délai de prévisibilité), et tenir compte du temps entre l'information des populations et l'impact des crues sur un territoire. D'un autre côté, il faut estimer et quantifier ce délai d'alerte sur l'ensemble des bassins versants sensibles à de tels aléas, puis évaluer l'exposition des populations et leur vulnérabilité (Vinet, 2007), et distribuer les réseaux de capteurs en conséquence.

Plus les enjeux exposés sont importants, plus il faut déclencher les signaux en avance car les évacuations ou les mises en protection *ex nihilo* nécessiteront plus du temps. A titre d'exemple, on pourrait tester et expérimenter la philosophie suivante : là où les enjeux sont minimes (moins de 100 personnes potentiellement résidentes), on pourrait déclencher l'alerte 15 minutes avant les premiers impacts, tandis que dans les zones plus densément urbanisées (plus de 5 000 habitants), on pourrait activer l'alerte 1 h avant l'arrivée probable des impacts. Cette solution suppose d'anticiper l'exposition et la vulnérabilité des populations face aux aléas, et d'avoir la possibilité de suivre la « propagation spatiale » des crues rapides en tout point de l'espace. Dans cette optique, les RSN et la simulation par automate cellulaire (cf. chapitre 2) pourraient venir appuyer les mesures locales, d'autant que de plus en plus de vidéos montrant la cinétique des crues rapides sont mises en ligne et qu'elles offrent des pistes de validation contemporaines (Le Coz *et al.,* 2016). Ce constat rejoint un autre besoin déjà identifié dans le chapitre 3, à savoir afficher l'emprise spatiale des crues rapides, et éviter d'urbaniser les secteurs les plus à même de subir des dommages…

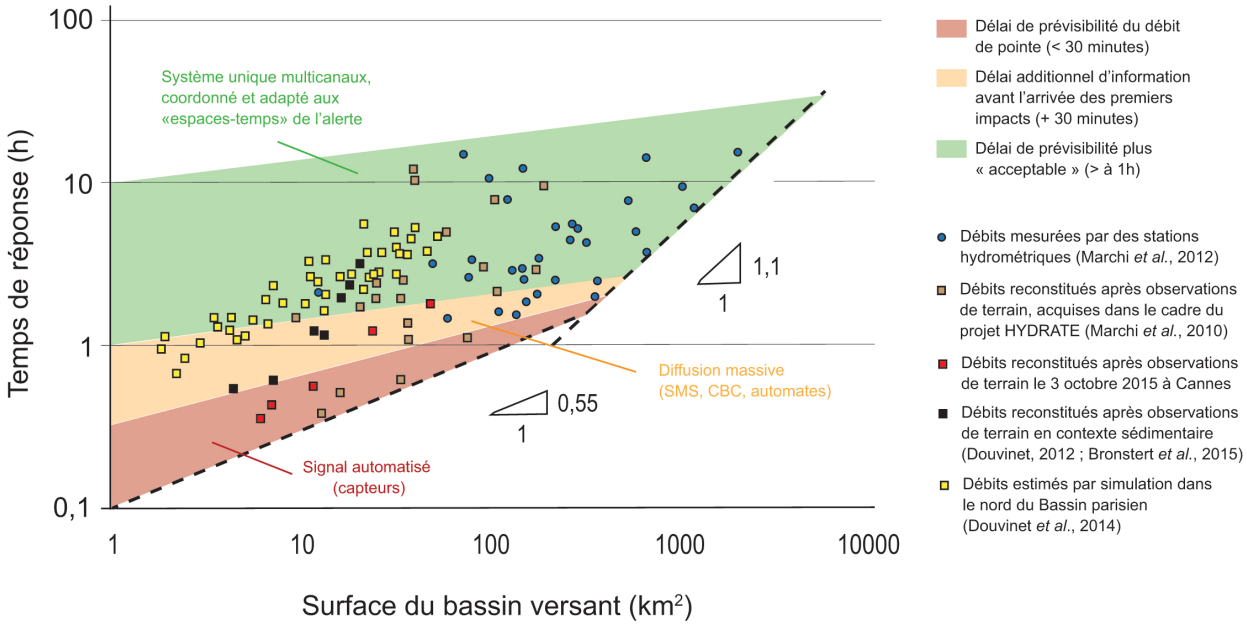


Figure 7.10. Sélection des outils d'alerte selon un éventuel délai d'anticipation des réponses hydrologiques et en fonction de la taille des bassins face aux crues rapides

7.3.3. Adapter l'alerte à la spatialisation de la prévisibilité

La solution précédemment imaginée suppose également que des capteurs soient installés sur un très grand nombre de cours d'eau sujets aux crues rapides (qui représentent près de 110 000 km de linéaire de cours d'eau en France). Toutefois, cela représente un coût financier important, puisqu'il faut équiper ces cours d'eau (en priorisant les zones densément peuplées), mais également entretenir les capteurs, vérifier leur état de fonctionnement et les remplacer en cas de sinistres, tout en informant et en formant la population aux signaux diffusés. Si cette solution n'est pas envisageable en l'état, il faut alors réfléchir à d'autres stratégies pour reconsidérer l'indétermination spatiale de ces aléas. A ce titre, les outils d'alerte mis en place pour faire face aux séismes ou aux tsunamis ne sont plus adaptés, tout comme les systèmes locaux déployés sur des versants équipés pour alerter la population en cas de glissements de terrain. En revanche, les LEWS nationaux ou régionaux pourraient être intéressants à tester. En effet, les secteurs susceptibles de générer les crues rapides sont connus à petite échelle (dans le sud-est de la France notamment), et il serait alors possible de déclencher des alertes sur ces secteurs déjà identifiés. Il faudrait pour cela accepter un nombre élevé de fausses alertes et d'alertes manquées, et mettre en place des mesures de prévention adaptées, donc améliorer les liens entre la prévention et l'alerte, point sur lequel nous avons déjà longuement insisté dans le chapitre 3.

Il faudrait aussi prendre en compte d'autres facteurs géographiques, comme les changements d'occupation du sol ou l'évolution des territoires. La survenue des crues rapides dommageables doit par ailleurs être replacée sur une longue période historique, à cause de leur faible répétitivité dans le temps, pour progressivement parfaire la spatialisation de la prévisibilité. Cette proposition fait écho à divers projets de recherche, menés en France (Vinet, 2010 ; Boissier, 2013), au Royaume-Uni (Archer et Fowler, 2015), en Espagne (Llasat *et al.,* 2013) ou en Europe (Gaume *et al*., 2017 ; Borga *et al.,* 2015), qui ont pour objectif de constituer des bases de données intégrant un grand nombre d'épisodes. Afin d'en montrer l'utilité, on peut prendre l'exemple d'un projet réalisé en Belgique. L'ensemble du pays est sujet aux crues rapides, qui ont des caractéristiques communes avec celles survenant dans le nord du Bassin parisien (Douvinet, 2008), dans le Wessex (Boardman, 2003) ou dans la région du Limburg aux Pays-Bas (Bielders *et al*., 2003) par exemple. Ces aléas ont une courte extension spatiale et une faible occurrence (Campenhout *et al.,* 2015), mais les dégâts, sur le plan matériel et humain, sont parfois considérables (**exemple 15**) : le coût des sinistres estimé pour 367 crues rapides ayant affecté 207 communes oscille entre 16 et 172 millions € par épisode (Evrard *et al.,* 2007).

Nom du vallon sec	Taille du bassin versant (km2)	Nom du point de mesure	Localisation de la section mouillée	Débit de pointe minimum (m3/s)	Débit de pointe spécifique (m3/s/km)	Puissance spécifique (W/m2)	Vitesse maximale (m/s)
Sordeye	0,61	SO1	zone intermédiaire	9,8	16,07	2 650	2,6
	0,73	SO1	exutoire final	9,7	13,29	2 919	2,9
Blanc Gravier	1,32	BG1	zone intermédiaire	25,7	19,47	4 795	4,3
	2,08	BG2	amont confluence	34,8	16,73	4 655	4,5
	2,35	BG3	exutoire final	15,3	6,51	710	2,5
Fond du Moulin	0,57	FM1	zone amont	3,3	5,79	315	3,3
	1,00	FM2	amont confluence	6,4	6,40	987	6,4
Renory	0,95	RE1	aval Meurthe	12,6	13,26	2 838	2,8

Tableau 7.2. Valeurs estimées pour les crues du 29 mai 2018 (d'après Campenhout *et al.,* 2015)

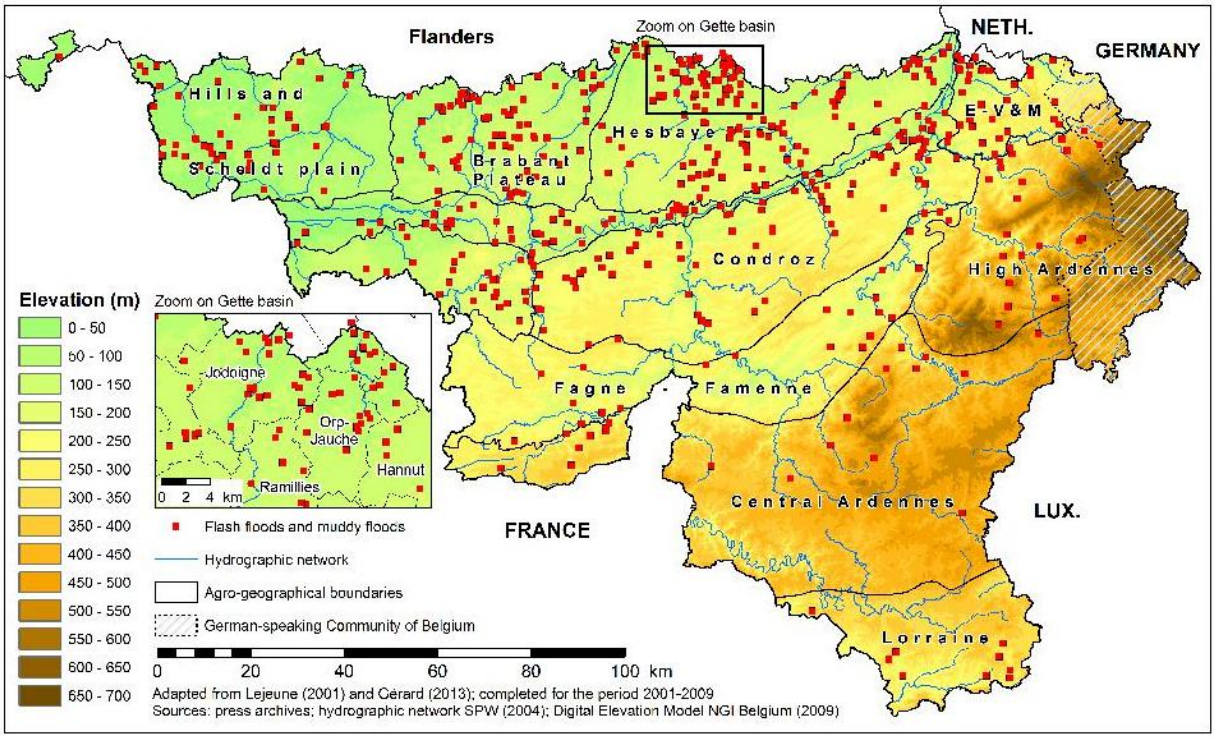


Figure 7.11. Distribution des crues rapides recensées de 1906 à 2003 en Wallonie (Gérard, 2013)

EXEMPLE 15. Dans la matinée du 29 mai 2008, la station du plateau Tiltman (située à 5km au sud-ouest de Liège) a enregistré un cumul de 92,5mm entre 6h et 9h30, avec une intensité maximale horaire de 76,7mm/h. Les fortes pluies ont entraîné la réaction de nombreux vallons secs, comme le Fond du Moulin (2,5km^2), le Blanc Gravier (2,5km^2), le Renoty (1,1km^2) ou la Sordeye (0,65km^2). Les valeurs estimées (**tableau 7.2.**) confirment que les débits spécifiques ont été exceptionnels (atteignant au maximum15,3 m^3.s^{-1}.km^{-2}), et les puissances spécifiques (entre 315 et 4 795 W.m^{-2}) expliquent l'ampleur des incisions, dépassent par exemple 2,5m sur le Blanc Gravier.

Un saut d'ordre est à nouveau démontré : ces bassins ont des ordres de 2 à 3 (Blanc Gravier) dans l'ordination de Strahler, et ils se raccordent à des rivières ayant un ordre bien plus élevé : l'Ourthe (8) et la Meurthe (10).

Si on fait un focus sur la région de la Wallonie, plus de 1200 événements ont été recensés sur la période allant de 1906 à 2013 (Gérard, 2013). Plusieurs communes situées dans le bassin du Gette ont une grande sensibilité **(figure 7.11.**) : Jodoigne (28 crues en 107 ans), Orp-Jauche (24), Hélécine (14), Lincent (10), ou Rémicourt et Wasseiges (9). Même si les incertitudes sont fortes pour la première moitié du XXème siècle (les événements relatés dans la presse incluent un degré d'endommagement notoire qui sous-estiment le nombre d'aléas réels), plus de 12 événements liés à des dommages ont été recensés en moyenne par an depuis 1991, avec un pic en 2008 (plus de 200 événements !). La plupart des communes en Wallonie ont été affectées par un événement au moins, et le plan PLUIES (*Prévention de Lutte contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés*) est d'ailleurs mis en œuvre depuis 2003 pour engager des actions pour limiter l'érosion et le ruissellement concentré, processus en grande partie à l'origine des dépôts de sédiments accumulés aux exutoires des petits bassins en cas de crues rapides (**tableau 7.2.)**. Et étant donné que les prévisions climatiques indiquent que les pluies décennales vont survenir plus fréquemment d'ici 2100 (IPCC, 2007 ; Ulman et Sabatier, 2000), on peut craindre une recrudescence de telles crues.

7.4. Quels grands principes retenir pour l'avenir ?

A la lecture de ces éléments, un certain nombre de principes à respecter apparaissent comme déterminants pour améliorer l'efficacité de l'alerte face aux crues rapides pouvant survenir en France. Certains sont d'ailleurs évoqués dans les principaux standards internationaux (CAP ou EWSM).

Trois principes généraux

D'après le guide publié par le gouvernement australien (*Emergency warnings – Choosing your words)* en 2008, trois principes de bases sont à respecter afin de créer un système d'alerte efficace : être cohérent dans la diffusion des signaux et ne pas laisser de zones d'ombre ; confirmer les signaux faibles, énonciateurs du danger, par des autorités ou des services compétents, qui doivent relayer une information précise et complète à une échelle élargie, sans faire d'hypothèses ; utiliser des références communes et impulser un dialogue avec la population.

Une offre interopérable et coordonnée

Un système interopérable doit favoriser les interactions entre les technologies (Landwehr *et al.,* 2016) et coordonner les communications, en tirant profit de leurs avantages tout en palliant leurs insuffisances (à l'image de l'IPAWS mis en place depuis 2006 aux États-Unis). Si un vecteur présente peu de liens avec les autres, il faut accepter de le modifier ou de le supprimer (comme les sirènes qui ont été abandonnées aux Pays-Bas en 2015 ou en Belgique depuis 2016). Chaque outil doit constituer un morceau de puzzle qui, une fois assemblé, constitue un système imbriqué et coordonné.

Une plateforme unique pilotée par un seul gestionnaire

Un centre unique doit éviter la duplication des outils d'alerte et centraliser la totalité de l'offre. Les messages doivent être identiques, même à travers des vecteurs différents pour le grand public, d'autant que des messages contradictoires ou différents selon les services créeront des incertitudes et des hésitations quant aux actions à mener. Un système unique évite par ailleurs la démultiplication des services d'alertes, parfois spécifiques à certains aléas. Cette plateforme unique doit être déployée à l'échelle nationale, mais elle pourrait être proposée à l'échelle d'un continent ou à l'échelle mondiale : elle présenterait l'avantage d'être facilement compréhensible par l'ensemble de la population (sous réserve que les messages soient traduits en plusieurs langues) et cela faciliterait la mutualisation des coûts de fonctionnement et de maintenance. Si cette solution serait à promouvoir pour des questions financières, elle doit cependant être adaptée aux facteurs culturels, sociaux et/ou économiques, tant les pratiques et les automatismes diffèrent d'un État à un autre.

Une logique multi-aléas, voire multi-phénomènes

Ce système doit aussi être multi-aléas, en référence à des combinaisons complexes de risque (Nadim *et al.,* 2013 ; Liu *et al.*, 2017), même s'il ne sera jamais fiable à 100% tant les aléas probables sont parfois imprévisibles (Lagadec, 2005 ; Reghezza-Zitt, 2015). Il doit aussi fait état des interactions entre les aléas, à l'image par exemple de la crue rapide survenue dans la vallée du Bagmati (au Népal) le 26 avril 2015, suite à une rupture d'embâcle en amont du village de Dusel, le barrage dans la vallée ayant été généré par un glissement de terrain, lui-même faisant suite au séisme (magnitude de 6.7) de la veille, et dont l'épicentre est situé à 80km de la capitale de Katmandou (Marahatta et Parajuli, 2015). Si le système unique est extensible, il serait aussi intéressant d'intégrer d'autres événements nécessitant une alerte (enlèvement, pic de pollution atmosphérique, acte terroriste, pandémie, etc.).

Une alerte à adapter aux « espace-temps »

Pour être efficace, une alerte doit être ciblée, dans le temps et dans l'espace : les informations doivent arriver au bon moment et aux bonnes personnes. Si des personnes reçoivent une alerte alors que l'événement ne se produit pas, ou qu'il se manifeste ailleurs, cela va décrédibiliser l'offre existante. Aussi, il faut définir une échelle d'alerte, avec des systèmes déclinés à différents niveaux d'observation (de l'échelle locale jusqu'à l'échelle nationale par exemple) selon les aléas et les territoires considérés. Il faut aussi définir un temps d'alerte : les phénomènes brefs nécessitent des capteurs automatisés et des signaux courts (les sirènes par excellence), tandis que les phénomènes survenant sur une période plus longue peuvent faire l'objet d'une alerte modulable, selon la localisation des impacts par exemple. Et plus les indicateurs de susceptibilité seront précis, plus les espaces d'alerte pourront être affinés.

Un système multicanaux compatible avec l'existant

Un système multicanaux doit toucher un maximum de personnes en peu de temps et là où ils sont connectés, mais sans pour autant perturber le fonctionnement normal existant. Il faut donc veiller à ce que les canaux d'alerte soient uniques (à l'image de l'allocation de bandes de fréquences dédiées à l'alerte sur les ondes radios, aussi bien sur les canaux RDS, HDS ou UDS), et qu'ils soient prioritaires en cas d'alerte (à l'image du *SafetyCheck* activé par Facebook© qui s'affiche sur le fil d'actualité des usagers localisés dans le secteur touché, mais sans affecter le fonctionnement du site pour les autres utilisateurs). Cette solution offre également l'avantage d'envoyer des messages redondants, très utiles en cas de coupure d'électricité, même si cela entraîne des redites chez les personnes connectés sur les différents canaux. Il faut pour cela y consacrer le budget nécessaire, à l'image de l'État du Maine (aux États-Unis), qui a alloué 45 millions de $ à la mise en place de technologies standardisées, et qui a encouragé la collaboration entre plusieurs organismes gouvernementaux pour créer des systèmes de communication communs.

7.5. Conclusions du chapitre 7

Ce chapitre a permis d'étudier des solutions déployées dans d'autres pays ou mises en place pour alerter la population face à des aléas ayant des caractéristiques proches des crues rapides. Force est de constater que l'offre a systématiquement évolué suite à des défaillances lors de catastrophes survenues dans un passé proche, mais les changements de posture ont parfois été opérés de manière brutale par rapport à l'existant, avec des ruptures techniques (création d'un système unique, abandon d'outils devenus rudimentaires) ou sociales (privilégier les RSN sur lesquels la population est présente en dehors de la crise, comme en Indonésie). Les décisions politiques ont toujours impulsé de telles innovations, et le primat politique observé en France est donc aussi déterminant dans les autres pays. Les solutions déployées pour faire face aux séismes, aux glissements de terrain, aux séismes ou aux tsunamis, montrent aussi que l'offre s'est progressivement adaptée aux caractéristiques des aléas en jeu, et les signaux émis varient selon les échelles (à la fois de temps et d'espace) considérées.

Sans attendre qu'une catastrophe survienne, il est important de faire évoluer le système actuel français, et trois évolutions ont notamment été discutées : élargir le champ de compétence de l'alerte,

pour pallier la lenteur du processus de validation institutionnelle ; adapter l'offre aux délais d'alerte aux crues rapides, notamment en mettant en place des actions automatiques indépendantes de la moindre action humaine dans les secteurs les plus réactifs, sous réserve que cette connaissance soit produite sur de nombreux bassins versants ; anticiper les espaces impactés, pour réduire les incertitudes liées à l'indétermination spatiale des aléas et pour limiter le nombre de fausses alertes. Il faut évidemment poursuivre de telles réflexions, en dialoguant avec l'ensemble des services impliqués en France pour avancer dans la même direction, d'autant que le regard proposé est tel que je le vois, et non tel qu'il est perçu ou pensé par les autres acteurs…

Chapitre 8 – Rationaliser l'offre pour optimiser les effets de l'alerte

Afin d'améliorer l'efficacité de l'alerte, nous avons aussi expérimenté différentes solutions pour couvrir, de façon plus optimisée, un territoire donné. Dans ce chapitre, le débat porte sur les bénéfices qu'une rationalisation de l'offre pourrait apporter : une diminution des coûts, une suppression des outils qui ne répondent pas aux objectifs fixés et qui empêchent les autres d'avoir une plus grande efficacité, une concentration des ressources (techniques, humaines et matérielles), et une meilleure lisibilité de la plus-value perçue par les destinataires finaux, à savoir la population. La rationalisation permet aussi de mettre l'accent sur un certain nombre de notions géographiques, comme le rôle joué par la distance, l'équité spatiale, l'isotropie de l'espace, ou l'organisation d'un réseau (par exemple, des sirènes). Elle amène par ailleurs à questionner l'échelle (nationale, départementale ou locale ?) à laquelle ces outils seraient les plus opérants. Pour cela, trois niveaux d'observation et différents outils ont été discutés : à l'échelle métropolitaine, la réduction du nombre d'applications smartphone sonne en résonance avec leur profusion et leur méconnaissance par les individus ; à l'échelle départementale, la localisation des sirènes sera questionnée car c'est un choix prioritaire pour le gouvernement français ; il semble, pour finir, nécessaire de raisonner à l'échelle du bassin versant pour les crues rapides, et ce choix implique un compromis entre les besoins, l'offre actuelle et des solutions émergentes qui pourraient connecter l'ensemble. Au final, il apparaît nécessaire « d'ancrer » l'offre à l'échelle des territoires, et de chercher un *« optimum territorial »* (Baudelle et al., 2011), qui traduirait une parfaite adéquation entre territoire de gestion et territoire de vie, et qui permettrait de tenir compte de la *« complexité territoriale »,* témoin et ferment de la vitalité des territoires (Giraut et Vanier, 1999). Le succès d'initiatives citoyennes menées à ces échelles confortent cette idée, et les résultats présentés ici doivent alors être considérés en lien avec les expérimentations et le débat suscité dans le chapitre suivant.

8.1. Faire un tri dans le « monde des applis » pour gagner en lisibilité

La profusion des applications smartphones (chapitre 5) crée une logique concurrentielle entre les acteurs socio-économiques et quand ils les connaissent, les individus ne savent pas quelle solution choisir, par manque de clarté ou de cohérence. La plupart d'entre eux ne les connaissent surtout pas à cause d'un défaut de communication et d'un manque d'intérêt porté à leur égard. Face à ce constat, nous avons alors testé et expérimenté différents protocoles pour savoir comment ces outils pourraient être optimisés pour mieux répondre aux besoins des usagers et aux contraintes de certains espaces.

8.1.1. Supprimer les applications au faible potentiel d'alertabilité

Une première approche a été menée dans le cadre des recherches doctorales d'E. Bopp. Le but était de classer, puis hiérarchiser, un large panel d'applications smartphones déployées en France pour alerter la population face aux risques majeurs, pour ensuite proposer de ne conserver que celles qui obtiennent les « scores les plus élevés ». Pour répondre à cet objectif, quatre indicateurs ont été définis : **1)** le potentiel d'une application à diffuser une alerte vers les usagers **; 2)** sa capacité à faire remonter des informations émises par les utilisateurs vers les centres de décision ; **3)** sa logique multi-aléas ; **4)** son attractivité (ce terme est préféré au « design », qui renvoie à la conception et au choix des couleurs, mais aussi à l'appropriation sociale ; Weinlich, 2014). Chaque indicateur a été évalué à partir de plusieurs paramètres (**figure 8.1.**). Certains ont un poids plus élevé dans la notation (**exemple 1**), en référence à des résultats précédemment avérés. Une note globale (sur 4) a aussi été calculée, pour comparer les applications entre elles, et pour pouvoir les classer dans un ordre croissant.

EXEMPLE 1. La pondération des paramètres est toujours une étape délicate et sujette à caution. Après avoir testé différentes méthodes, notre choix s'est finalement orienté vers une pondération par scores, en suivant le principe suivant : quand un paramètre est satisfait, il obtient la valeur de 1. Si le paramètre est à moitié satisfait, le score est de 0,5. S'il est nul ou absent, le score est de 0. Six paramètres ont un poids deux fois plus important que les autres, et deux paramètres ont un poids trois fois plus important, car leur rôle a été mis en avant précédemment. Les deux paramètres aux scores potentiellement très élevés répondent à la logique suivante : si la « réception du message d'alerte » est « poussée vers l'utilisateur » (en mode *push*), le score obtenu sera équivalent à 3, car cette notification, intrusive, provoque l'émission d'un son par l'appareil, fait apparaître un message interruptif, et est associée à une vignette signalétique. La gratuité joue aussi un rôle majeur, car c'est une condition essentielle à la démocratisation des applications smartphone : en 2012, 11% des applications téléchargées étaient payantes (Sanyas, 2012) et ce chiffre est descendu à 7% en 2016. Attention toutefois à ne pas tomber dans la naïveté : il existe des applications gratuites, mais qui font appel à la publicité comme principale ressource de financement, ce qui diminue, en conséquence, la facilité d'utilisation et la clarté générale de l'application.

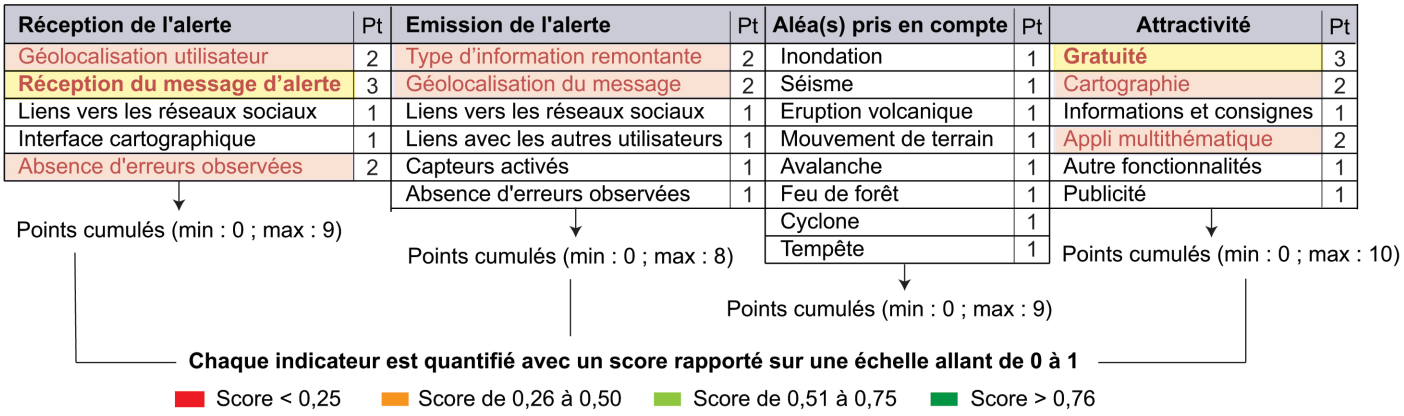


Figure 8.1. Indicateurs permettant de comparer le potentiel d'alertabilité des différentes applications smartphones étudiées

Cette méthode a été expérimentée sur 50 applications, créées à différentes échelles spatiales (couvrant des communes ou déployées à l'échelle internationale), et choisies pour divers raisons (par connaissance personnelle ou par tâtonnement sur les sites de téléchargement). Les résultats qui sont obtenus (**figure 8.2.**) montre des écarts importants. Certaines applications ont des scores faibles voire nuls pour leur « potentiel de réception » (*La-Croix-Rouge®, Alerte-inondation®*), car l'usager n'est pas géo-localisé, les messages d'alerte ne sont pas identifiables sur la page d'accueil, et des problèmes techniques ont été observés durant les expérimentations. D'autres applications (à but consultatif) ont des valeurs faibles (< 0,25), voire nulles, pour « l'émission » : les capteurs du téléphone ne sont pas mobilisables en cas d'alerte, et aucun lien n'est possible vers les RSN ni vers les autres utilisateurs. Si les scores sont plus satisfaisants pour l'attractivité, qui obtient une médiane de 0,47 et une moyenne de 0,48, les écarts sont toutefois plus élevés pour l'indicateur « multi-aléas » : la médiane (0,25) est bien plus faible que la moyenne (0,48), ce qui illustre la grande disparité des scores obtenus. Sur les 50 applications, seulement 5 applications ont finalement des indicateurs qui ne descendent jamais au-dessous de 0,50, tandis que 35 applications ont au moins un indicateur < 0,25. Il existe donc bien des applications qui semblent efficaces pour alerter la population (*Elert©, Vialert©* et *Spotlight©* en tête), mais leur nombre est limité car elles « cochent rarement toutes les cases ».

Si on décide de faire un tri entre toutes ces applications, les résultats obtenus pourraient servir un tel objectif. Une grande majorité d'applications, déployées à l'échelle communale ou pour faire face à un seul aléa, ne présentent pas d'intérêt, qui se traduit par un plus faible nombre de téléchargements, et il faudrait accepter de les laisser de côté. La position de SAIP© (26ème sur 50) est assez satisfaisante et son abandon annoncé le 29 mai 2018 est davantage lié à une question d'usage, qu'à une mauvaise conception. Selon Adoue (2015), l'usager sera de toute façon en mesure de déterminer dès le premier usage si une application donnée peut lui être utile ou non : *« en présence de deux applications offrant des fonctionnalités similaires, l'usager opère un tri qui repose sur la qualité et la quantité d'informations fournies, et sur des critères d'ergonomie et de facilité d'utilisation »* (Adoue, 2015).



Figure 8.2. Notation des applications smartphone (ordre croissant de la note globale)

8.1.2. Déployer des réseaux opportunistes pour couvrir les « zones blanches »

Pour optimiser l'usage des applications en cas d'alerte, il est donc nécessaire de ne conserver que celles qui sont les plus à même de satisfaire les besoins des populations. Il reste néanmoins un problème : les connexions Internet n'existent pas partout. On peut rappeler que les « zones blanches » concernent un grand nombre de communes situées en contexte rural ou montagnard (Fléty et Pradel, 2005 ; Obono, 2017), et en 2018, 11 millions de Français n'ont toujours pas accès (selon les chiffres de Médiamétrie en juin 2018). Il faut donc trouver des solutions alternatives, et non dépendantes des réseaux (télécommunications, électriques), si l'on veut couvrir ces espaces de manière équitable.

A ce titre, les réseaux opportunistes nommés DTN (*Delay Tolerant Network*) ont été explorés : les DTN offrent la possibilité de créer un réseau sans fil indépendant d'une infrastructure de type filaire ou d'un point central, avec des nœuds qui ne sont pas connectés dans le temps de façon continue et qui peuvent se connecter à n'importe quel autre source de communication (Chenji et al., 2012 ; Chen *et al.,* 2013 ; Ochoa et Santos, 2015 ; Santos *et al.,* 2016). Dans ce cas, on parle de MANET, pour *Mobile Ad-Hoc Networks* (Brownlee et Liang, 2011), ou de réseau *mesh* (Takahashi *et al.,* 2008). Étant un nœud souvent privilégié, le smartphone devient un relais pour établir un réseau « pair-à-pair » (*peer-to-peer*) avec d'autres smartphones (Zhang *et al.*, 2014). Des systèmes de routage opportuniste, comme par exemple BATMAN (*Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking*) ou AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*), ont justement été développés pour être opérationnels dès que réseaux sont déclarés comme hors service (Wirtz *et al.,* 2011).

Différents scénarios existent pour tester la résistance ou la robustesse de l'architecture du réseau cellulaire, notamment en cas de crise. Des applications spécifiques (à l'image de *ProximAid*©, **exemple 2**) proposent de se fonder sur un mécanisme de balises *wifi* pour créer une solution complètement distribuée et localisée. L'alerte est ainsi basée sur une expédition des messages vers les parties du réseau contenant le plus d'appareils localisés, en vue de réduire la consommation d'énergie des batteries. D'autres scénarios sont aussi imaginés au cas où l'infrastructure supportant le réseau cellulaire resterait fonctionnelle. Les appareils mobiles peuvent servir de distribution des opérations de sauvetage et de secours dans les zones sinistrées, mais on doit s'attendre, dans ce cas là, à une saturation du réseau, et donc à une réduction de la qualité des communications. En pareille situation, la connectivité totale ne peut pas rester continue dans le temps, notamment entre la source et la destination d'un point à l'autre au sein du réseau. Dans le cadre d'un tel scénario, Do-Duy et Vázquez-Castro (2015) ont proposé une architecture pour pallier les difficultés que peuvent engendrer cette situation : elle repose sur les appareils existants dans les réseaux classiques, où la livraison de contenu à partir du centre de commandement est garantie à tous les utilisateurs *via* une connectivité intermittente. L'architecture permet de transformer les terminaux en appareil de multidiffusion interconnecté qui peuvent directement communiquer entre eux. Le modèle de réseau se compose dès lors de deux groupes. Le premier est composé des utilisateurs directement connectés à la station de base avec des antennes relais, et pour pallier les éventuelles perturbations dans la qualité du signal, le second groupe d'utilisateurs est utilisé comme source indirecte pour relayer le contenu multimédia demandé, sur la base de liens wifi, créant ainsi un réseau *ad-hoc*. Ce schéma peut aussi être adapté à la situation, en remplaçant par exemple la station de base par une station sans fil portable équipée d'une liaison radio de courte portée.

EXEMPLE 2. *ProximAid*© (*Proximal adhoc networking to Aid emergency response*) est une application développée par des chercheurs de l'université de Chipre (Koumidis *et al.* 2015) dans le cadre du projet COncORDE. Elle se base sur un mécanisme de balises wifi, pour une solution de réseaux ad hoc complètement distribuée et localisée pour l'aide aux d'interventions d'urgence. Les balises émettent deux métriques, l'une pour connecter les appareils (*Local Connectivity*), et une autre pour les connecter via un pont réseau (*Browl Connectivity*), qui sont utilisés par l'ADS (*Alert dissemination strategy*). Il s'agit en fait d'une stratégie intelligente de diffusion des alertes, basée sur l'expédition des messages vers les parties du réseau contenant le plus d'appareils localisés en vue de réduire la consommation d'énergie des batteries.

Malgré ces différentes solutions, divers problèmes subsistent : des interruptions peuvent survenir et donner lieu à une connectivité saccadée ; les téléphones mobiles peuvent se décharger rapidement s'ils recherchent le signal en continu ; plus les fréquences d'émission sont élevées, plus la consommation est

forte. La performance d'un DTN dépend aussi de la densité et la distribution spatiale des nœuds. Sans apporter les réponses à tous ces problèmes, une thèse avait été initiée sur ce sujet (débutée en septembre 2016, mais arrêtée en février 2018). Le but est d'expérimenter un réseau DTN en procédant par étapes :

1) analyser les traces collectées après des catastrophes naturelles à partir de la plateforme ONE ;

2) créer des routages wifi (**figure 8.3.**), en faisant l'hypothèse que le réseau reste homogène (en termes de densité, de mobilité, de communication…) tout en testant différentes mobilités ;

3) trouver un équilibre entre l'énergie dépensée (la consommation) et les fréquences (l'émission). Sur ce point, nous avons fait appel à des mécanismes de coopération basée sur l'analyse du comportement de nœuds, et nous avons adapté des schémas venant des développements de l'algorithmique distribuée, de la théorie des jeux et des algorithmes d'apprentissage (El Azouzi *et al.,* 2013 ; Douvinet *et al.,* 2017). Des solutions se sont révélés intéressantes (**exemple 3**), et des expérimentations sont prévues dans le cadre du projet européen POIA (fin 2019 normalement).

EXEMPLE 3. Après avoir calculé le temps de contact « théorique » entre deux nœuds (i.e *inter-contact time*), la durée de diffusion du message et la fréquence des communications ont été calculées mathématiquement. Si les formules sont très difficiles à comprendre, les premières expériences ont cependant permis de voir qu'il fallait un distance euclidienne maximale pour qu'un nœud puisse accuser réception d'un message, d'autant qu'un nombre élevé de nœuds ajoute des interférences et du bruit dans la propagation (idée confirmée par le modèle dénommé SIRN, qui a permis de définir des ratios d'émission en fonction du nombre de nœuds émetteurs et de source).

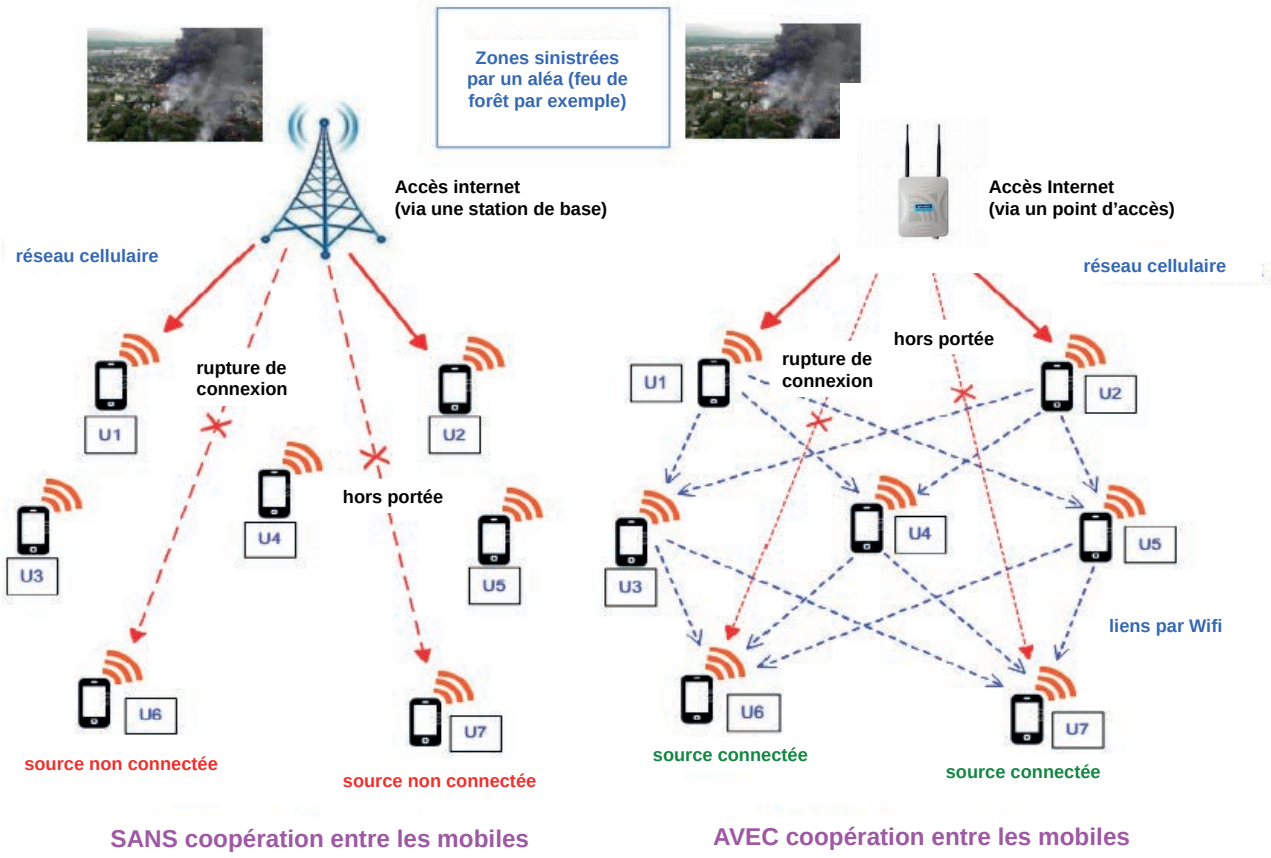


Figure 8.3. Architecture pour pallier l'absence de connectivité avec l'antenne relai, en passant par des appareils mobiles connectés via le réseau *wifi* (d'après Do-Duy et Vázquez-Castro, 2015)

8.1.3. Promouvoir des interfaces intuitives pour parfaire l'usage des smartphones

Un autre travail a été finalisé dans le cadre des recherches doctorales de J. Kouadio (2016). Le but était de concevoir et de tester un prototype différent des applications consultatives, en intégrant en amont les besoins des futurs utilisateurs (collectés à l'aide de 325 questionnaires dispensés dans

32 communes du Var et du Vaucluse), et en adoptant un niveau de langage simplifié. Les premières interfaces ont été consacrées au risque lié aux crues rapides, mais elles seront développées pour faire face aux avalanches de neige ou aux glissements de terrain. Nous avons aussi défini la transmission de l'information *via* un réseau *mesh* (que l'on retrouve dans le projet *Mesh Bukavu* en République Démocratique du Congo par exemple), ce qui fait écho aux idées précédemment discutées.

L'application *AL'in* (*Alerte Inondations*) a vu le jour de manière expérimentale. Elle cherche à valoriser l'individu en tant que « citoyen capteur », capable de faire remonter et de relayer l'alerte dans son réseau de connaissances. Le principe finalement retenu est le suivant : l'utilisateur de l'application remonte ses propres observations sur une crue en cours et sur les dégâts qu'il voit, en remplissant un formulaire avec des questions simplifiées et non scientifiques (par exemple, l'eau arrive aux genoux ou aux chevilles de l'utilisateur ; le ciel est gris, gris foncé ou venteux). En fonction de la gravité de la situation, l'utilisateur peut détailler les informations, ou envoyer un appel d'urgence aux services de secours. Disponible sur un serveur, chaque message est consultable par toutes les personnes qui font partie des contacts de l'utilisateur (même par ceux qui n'ont pas installé l'application au préalable). L'administration entre ensuite en jeu, en validant ou non les informations remontées sur le serveur afin d'éviter les fausses informations. Une fois la donnée certifiée, une alerte est diffusée aux utilisateurs, dans un rayon autour du point d'émission fixé par le décisionnaire (**figure 8.4.**).

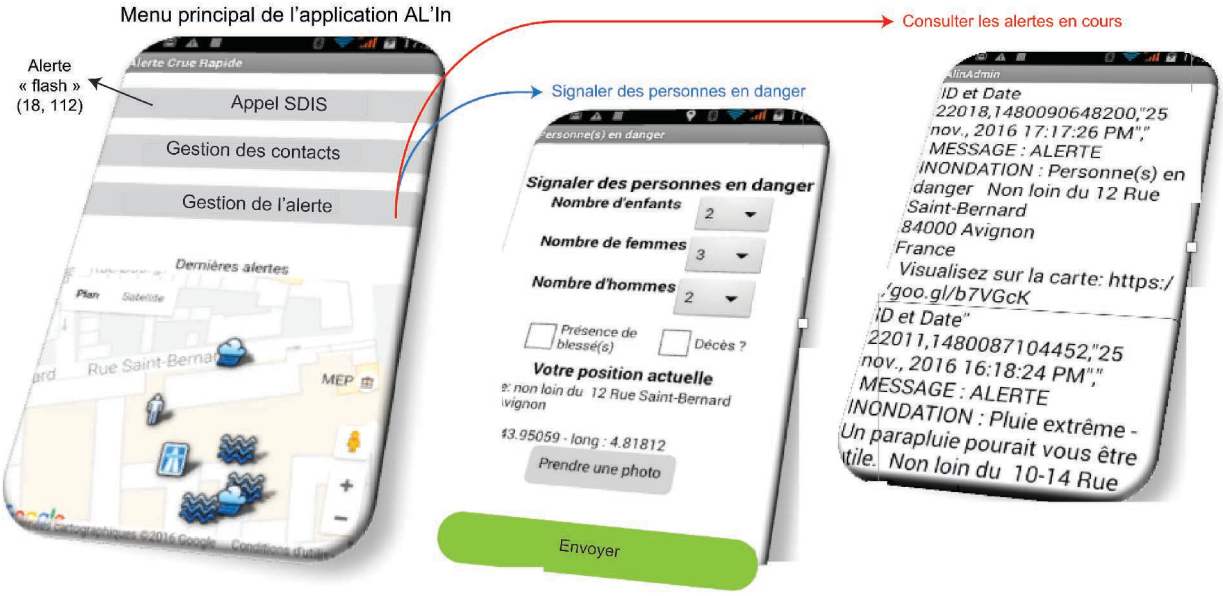


Figure 8.4. Page d'accueil et exemple de menus prototypés dans l'application *AL'In* (Kouadio, 2016)

Sans détailler la conception d'*Al'In* et les différents diagrammes (interactions, comportements, structures, classes, déploiement et vue d'ensemble) réalisés dans le respect du langage UML (*Unified Modelling Langage*), il est intéressant de souligner plusieurs points (Kouadio, 2016) :

1) La plateforme utilisée (i.e. *App Inventor*©), qui favorise l'apprentissage et la programmation intuitive, a permis d'exploiter tous les capteurs d'un smartphone, de créer une communication vers des ressources web externes, et de manipuler et stocker des bases de données distantes ou stockées sur l'appareil (Wolber *et al.*, 2014). L'interface permet de conserver les blocs (des portions de code ou de programme) qui peuvent être réutilisés lors de futurs développements ;

2) En cliquant sur le bouton « Ajouter un contact », l'utilisateur peut sélectionner les personnes qu'il veut alerter ou dont il veut voir les alertes émises. La liste est donc modifiable ;

3) L'utilisateur peur renseigner le genre et le nombre d'individus qu'il considère comme étant en danger, et signaler la présence de personnes blessées ou des décès **(figure 8.4.)**. Dans ce cas, le système affiche automatiquement la localisation, en se servant du capteur GPS, et l'utilisateur peut être localisé s'il a autorité l'application à le faire dès le départ ;

4) Pour apprécier l'intensité de l'aléa déclencheur, l'utilisateur utilise des symboles avec trois niveaux d'appréciations (pluie intense, très intense ou extrême), sans données scientifiques ;
5) Les dommages sont détaillés avec des informations préinscrites dans le menu, par exemple en dissociant les fissures ou les portes cassées (endommagement partiel) d'une destruction plus conséquente, en se basant sur des grilles d'évaluation éprouvés (Léone et Vinet, 2008) ;
6) Les données collectées sont conservées dans *TinyDB*© (même si l'application n'est pas ouverte), de même que les images associées aux informations saisies.

Le prototype a ensuite été testé, en observant d'abord les points d'exécution pour détecter les anomalies (Barr *et al.*, 2015), puis un guide pour mener les expérimentations sur le terrain a été rédigé (Kouadio, 2016). Plus de 150 alertes ont été suivies, notamment sur deux communes (Cabrières-du-Vaucluse et Pourrières dans le Var). Aucun souci technique n'a été détecté, mais la connexion Internet et la disponibilité du réseau de télécommunication ont très souvent rallongé les temps d'émission des alertes, avec un laps de temps compris entre quelques secondes à plus de ' minutes. Afin de rendre cette application plus opérationnelle, les autorités ont estimé qu'il fallait trouver les personnes les plus à même d'avoir une « culture smartphone ». Ces tests seront poursuivis en contexte montagnard dans le cadre du programme européen POIA. Il sera intéressant, là aussi, d'affiner ces retours d'expérience.

8.2. Relocaliser les sirènes pour réduire les inégalités spatiales

Le futur parc des sirènes, tel qu'acté en 2010 par le gouvernement français et théoriquement opérationnel en 2022, doit aboutir à la délimitation de 1 743 bassins de risque, dotés de 5 531 sirènes (**tableau 4.3.**, p. 92). Toutefois, la distribution physique du réseau SAIP reste entachée par des choix politiques car la localisation des anciennes sirènes RNA fait partie des critères de cotation. Il est alors intéressant de questionner la répartition spatiale des sirènes, indépendamment des critères politiques. Les différentes expérimentations testées sont présentées ici à l'échelle du département du Vaucluse, pour deux raisons : ce territoire sert de site pilote depuis 2010 et différentes bases de données ont été capitalisées ; il est intéressant de questionner la réorganisation des sirènes à une telle échelle, car les préfets ont un rôle important dans le système institutionnel français. A court terme, il serait intéressant de travailler dans d'autres départements, notamment avec des niveaux de risques hétérogènes.

8.2.1. Prioriser l'équité spatiale ou la densité de population ?

Divers travaux (Current et O'Kelly, 1992 ; Murray et O'Kelly, 2002 ; Stimers, 2006 ; Webster, 2014 ; Mathews et Ellis, 2016) ont déjà été menés pour relocaliser les sirènes de façon plus optimisée. Deux approches SIG (basées sur des Systèmes d'Information Géographique), s'opposent :

1) répartir la couverture des sirènes en considérant la distance euclidienne maximale que le son peut supporter, avec des « buffers » de 1 à 2 km autour du point d'émission (ce que nous avions réalisé dans le chapitre 4), tout en respectant l'équité spatiale d'un territoire donné ;

2) changer la distribution des sirènes en se basant sur la densité de la population couverte, en exploitant les données de population issues des recensements.

Ces approches sont toutes les deux imparfaites. Dans la première approche, les « buffers » définissent des portées sonores théoriques (§ 4.1.2.), et ils ne prennent pas en compte la complexité liée à la propagation du son dans l'espace, ni ses interactions avec l'environnement (la température, la force et la direction du vent, la végétation ou le type de matériaux utilisés pour les bâtiments). Pour la seconde méthode, l'échelle à laquelle les individus sont agrégées renvoie au problème du MAUP (*Modifiable Areal Unit Problem*), tel que proposé par Openshaw et Taylor en 1979, et qui est source de biais statistiques pouvant affecter les résultats (Dark et Brahm, 2007). Le nombre d'habitants pourra varier selon l'échelle à laquelle on va les considérer (habitations, IRIS, quartiers, ville, communes...). Il faut donc utiliser différentes méthodes de désagrégation, et mesurer la sensibilité des résultats en fonction de la maille et des données de population initialement obtenues.

Conscient de leurs imperfections, nous avons néanmoins choisi de mettre en œuvre ces deux approches pour comparer les résultats obtenus avec la distribution des sirènes du réseau RNA (seules données disponibles en l'état, puisque le projet SAIP est en cours de déploiement).

Dans un premier temps, nous avons modifié la distribution spatiale des sirènes RNA à l'échelle du Vaucluse, en utilisant une maille régulière puis en optimisant la relocalisation à partir de la densité de population (**figure 8.6.**). En relocalisant de façon uniforme dans l'espace, la part de la population couverte par les 85 sirènes chute de manière assez importante : on ne couvre plus que 23,7% de la population à 1 km (- 45% par rapport au réseau RNA), 31,6% à 2km (- 54%), et 47,3% à 3 km (- 45%) et on augmente encore plus les « trous dans la raquette ». En revanche, la relocalisation optimale, qui cherche à maximiser le nombre d'individus à une distance donnée, donne de « meilleurs » résultats : on couvre 54,2% de la population à 1 km (avec 317 957 personnes sur une population totale de 593 048 habitants), 81,4% à 2 km (482 994 habitants) et 92,7% à 3 km, contre 42,8% à 1 km, 69% à 2 km et 83 % à 3 km avec le RNA (**figure 4.3.,** p. 82). La part de la population couverte augmente avec la relocalisation optimale car on se focalise sur les zones densément urbanisées, avec une amélioration significative à 1 km (+ 26 %). Cependant, le réseau RNA respecte une plus grande équité spatiale qui tient compte de la réalité physique des espaces et de la construction sociale des territoires (Casteigts, 2013), mais aussi de choix politiques qui apparaissent donc ici en partie légitimes. Si on décide de relocaliser, il faut donc accepter ces inégalités, et les implications territoriales ne sont pas univoques.

Nous avons également calculé le nombre de sirènes nécessaire pour couvrir l'ensemble de la population du département du Vaucluse : il faudrait 2 117 sirènes pour couvrir les 593 048 habitants (en 2016) avec une portée sonore théorique d' 1 km, 610 sirènes à 2 km, et 297 sirènes à 3 km… Autant dire que l'on se pourra jamais couvrir 100% de la population, dans ce département ou ailleurs.

Dans un second temps, nous avons cherché à optimiser, pour un nombre croissant de sirènes, la part de la population couverte (**figures 8.5 et 8.7.**). Les résultats apportent d'autres enseignements :

1) il n'existe pas de rupture brutale dans la couverture de la population, mais l'optimisation est d'autant plus efficace que le nombre de sirènes est faible **(exemple 4**) ;

2) les sirènes actuellement en place couvrent 42,8% de la population avec 85 sirènes, alors qu'il suffirait d'en distribuer seulement 52 de façon optimale (ce qui fait 33 sirènes en moins, soit une potentielle économie de 990 000 € si l'on considère qu'une sirène coûte 30 000 €) ;

3) une fonction logarithmique est proposée (avec un coefficient de corrélation de 0,997) pour calculer la population couverte selon un nombre de sirènes donné ;

4) si on considère qu'il est inutile d'installer une sirène pour couvrir moins de 5 000 habitants, on pourrait décider de s'arrêter à installer 47 sirènes dans le Vaucluse **(figure 8.5.)**.

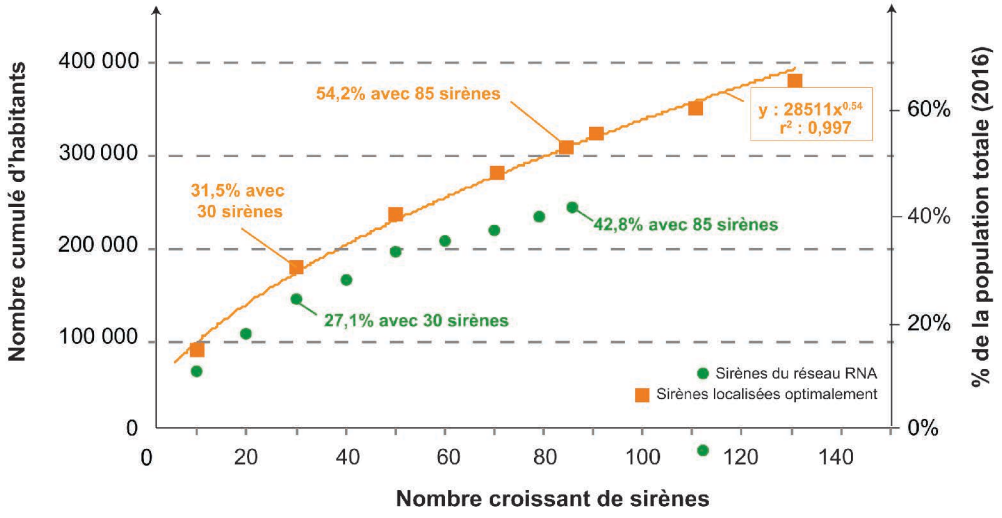


Figure 8.5. Comparaison de la part de la population couverte dans le département du Vaucluse pour un nombre croissant de sirènes (portée d'1 km), obtenue avec différentes méthodes de relocalisation

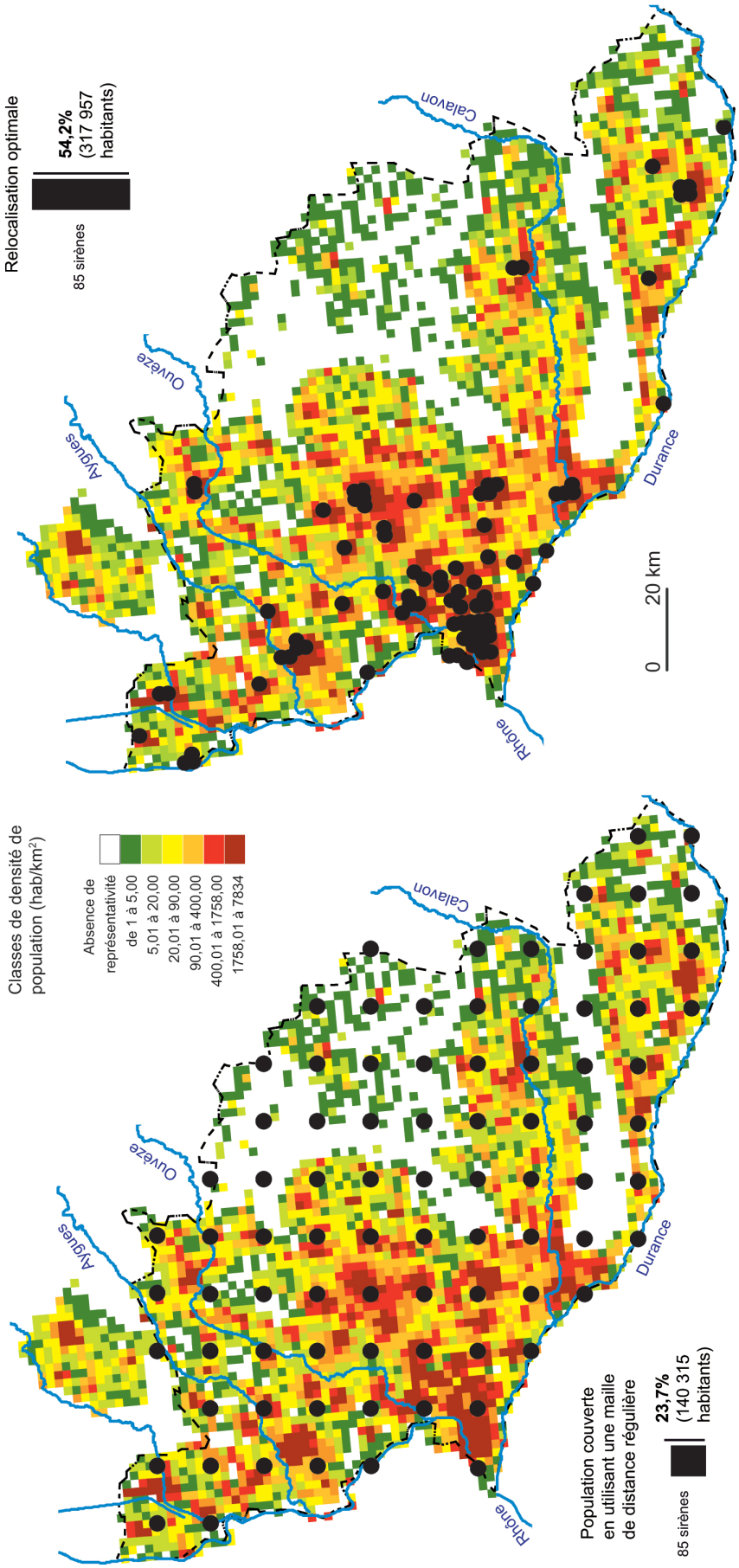


Figure 8.6. Redistribution des sirènes selon une maille régulière (à gauche) ou en optimisant la densité de population avec 85 sirènes dans le Vaucluse (pour le RNA, voir la **figure 4.2.**)

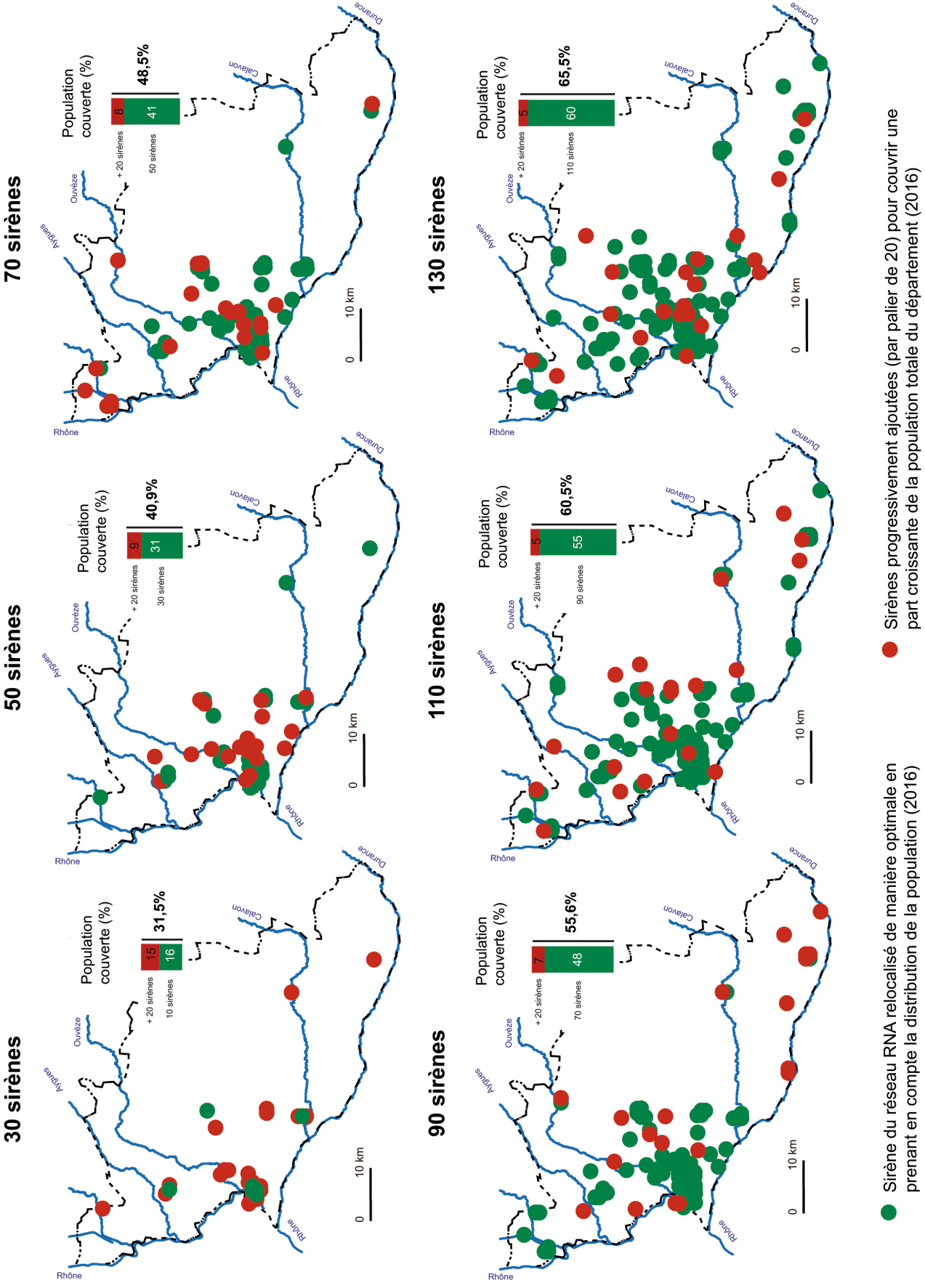


Figure 8.7. Optimisation de la population couverte à 1km dans le Vaucluse, par palier de 20 sirènes

EXEMPLE 4. En spatialisant la distribution des sirènes progressivement implantées (**figure 8.7**.), on observe que les sirènes sont tout d'abord implantées sur les mailles carrées les plus denses : 10 sirènes permettent de couvrir 16% de la population du Vaucluse. Avec 30 sirènes, on couvre ensuite 31,5% de la population, et la distribution se fait en grande partie autour d'Avignon. En passant à 50 sirènes, le déploiement se fait principalement dans les 20 km autour d'Avignon. Avec 70 sirènes, la couverture est spatialement plus dispersée sur les marges du département. Avec 90 sirènes, la densification se poursuit entre les zones urbaines, mais elle devient importante dans les communes situées le long de la vallée de la Durance (8 sirènes y sont ajoutées). Au-delà de 110 sirènes, la part de la population couverte par sirène est inférieure à 3 000 habitants.

8.2.2. Redistribuer pour répondre à une logique multi-aléas ?

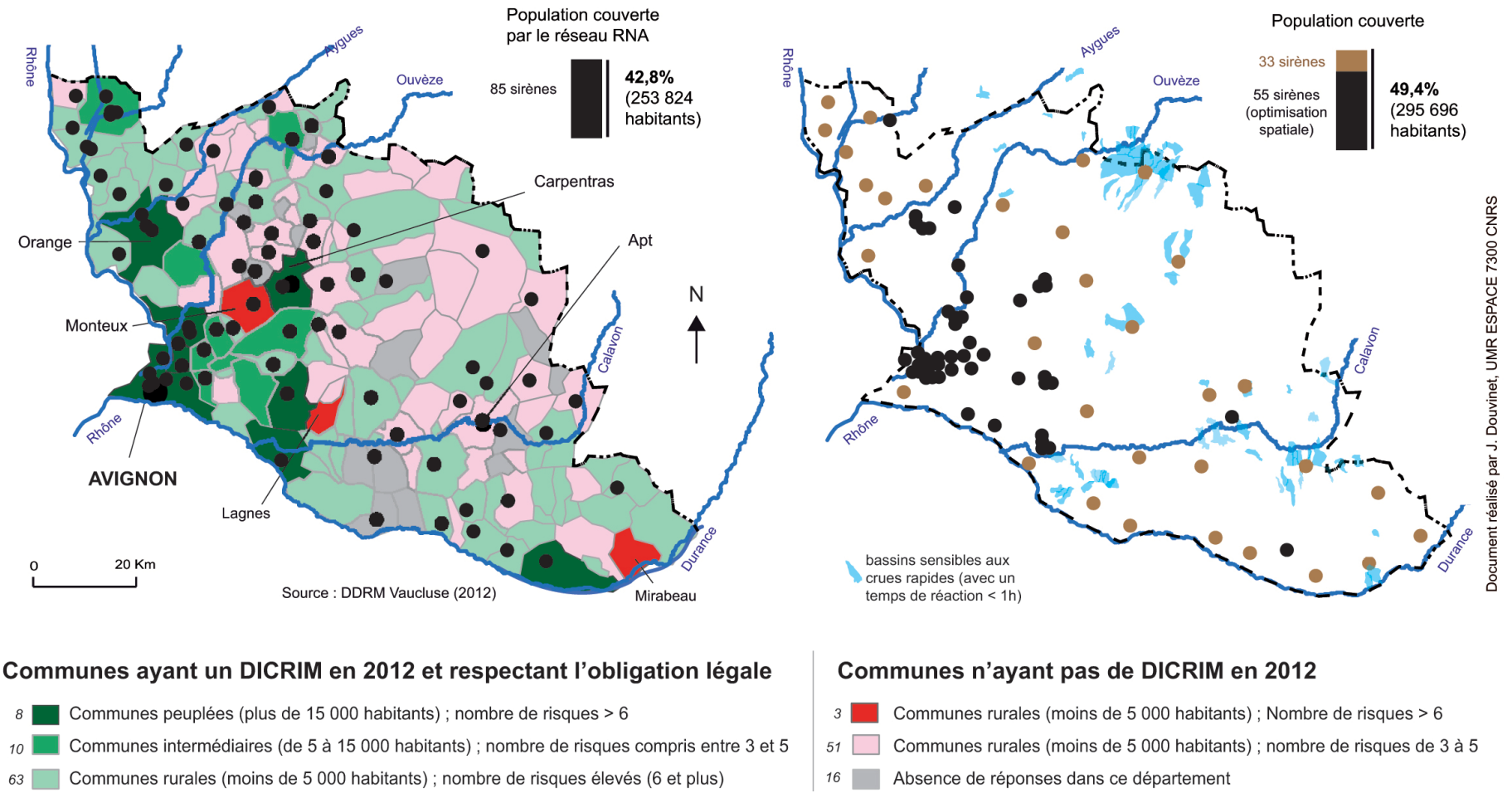
En lien avec les approches menées précédemment et pour donner du sens à un grand principe identifié dans le chapitre 7, nous avons aussi poursuivi nos expérimentations dans le Vaucluse pour voir s'il était utile de redistribuer les sirènes en réponse à la logique multi-aléas (**figure 8.8.**). Plusieurs données ont été compilées : **1)** les communes exposées à des risques majeurs, et identifiées dans le DDRM (*Dossier Départemental des Risques Majeurs*) mis à jour en 2012. Les 8 communes exposées à plus de 6 risques (et ayant plus de 15 000 habitants) ont une partie de leur territoire couvert par les sirènes RNA, alors que sur les 66 communes rurales (< 5 000 habitants) exposées à plus de 6 risques, 14 en sont totalement dépourvues (et 2 n'ont pas de DICRIM) ; **2)** la localisation des bassins ayant un temps de concentration bref en cas de crues rapides (p. 89), en ciblant les secteurs où la population exposée dépasse un nombre arbitraire de 100 personnes ; **3)** la localisation des industries à risque et des ICPE (*Installations Classées au titre de la Protection de l'Environnement*). La liste donnée ici n'est pas exhaustive : une telle recherche est aussi en cours avec les travaux de recherche d'E. Bopp.

Malgré des imperfections connues (le nombre de risques n'est pas un facteur pertinent, car deux aléas peuvent avoir des effets moindres qu'un seul par exemple), nous avons abouti au scénario suivant : les 52 sirènes qui couvrent optimalement la population pourraient été conservées (puisqu'on couvre la même part de la population qu'actuellement) et les 33 sirènes « à notre disposition » ont été relocalisées manuellement. Ce choix permet de couvrir 49,4 % de la population et de conserver une certaine équité territoriale face aux risques, en particulier dans certains territoires peu peuplés mais exposés. 17 sirènes (sur 33) sont situées à moins d'1 km de sirènes déjà existantes. On pourrait donc les conserver temporairement. Les 16 « nouvelles » sirènes représenteraient un coût d'installation que nous estimons à 500 000 € (sans compter le coût additionnel, non connu, pour démanteler les sirènes à abandonner). Par la suite, il serait intéressant de trouver une « solution optimale », qui répondrait à l'ensemble des facteurs définis comme prépondérants, puis de voir si la couverture des sirènes SAIP (fondée sur une cotation différente) donne des résultats éloignés d'un tel scénario.

Le choix à opérer dans la redistribution spatiale des sirènes peut finalement tenir compte des particularités de chaque territoire. Aussi, si ces expérimentations ont été appliquées au Vaucluse, cela ne signifie pas que les résultats seraient similaires ailleurs, dans un autre département ou à une autre échelle. De plus, l'hétérogénéité du territoire français rend des espaces plus exposés à certains aléas que d'autres (Meschinet de Richemond et Reghezza, 2010), tout en rappelant que les territoires sont soumis à des risques qui peuvent avoir des interactions entre eux (Marzocchi *et al.,* 2012).

8.2.3. Relocaliser en considérant l'impact d'autres facteurs environnementaux ?

Différents facteurs environnementaux peuvent également perturber la propagation de l'alarme (idée déjà évoquée p. 88) et l'estimation de la part de la population couverte par des « buffers » risque alors d'être surestimée lorsque ces effets externes se cumulent. La vitesse de propagation du son va dépendre de certaines propriétés du milieu dans lequel il se propage, comme la pression, la chaleur ou la compressibilité. La célérité du son diminue quand la densité du gaz augmente, par effet d'inertie, et lorsque sa compressibilité (*i.e.* l'aptitude à changer de volume sous l'effet de la pression) s'accroît. L'existence d'un gradient (de relief ou de température) peut par ailleurs provoquer une incurvation des



Communes ayant un DICRIM en 2012 et respectant l'obligation légale

- *8* Communes peuplées (plus de 15 000 habitants) ; nombre de risques > 6
- *10* Communes intermédiaires (de 5 à 15 000 habitants) ; nombre de risques compris entre 3 et 5
- *63* Communes rurales (moins de 5 000 habitants) ; nombre de risques élevés (6 et plus)

Communes n'ayant pas de DICRIM en 2012

- *3* Communes rurales (moins de 5 000 habitants) ; Nombre de risques > 6
- *51* Communes rurales (moins de 5 000 habitants) ; nombre de risques de 3 à 5
- *16* Absence de réponses dans ce département

Figure 8.8. Relocalisation des sirènes en réponse à une logique multi-aléas dans le Vaucluse

rayons sonores, vers le haut ou vers le bas. Ces gradients varient selon l'importance de la couverture nuageuse ou la période de la journée : quand le ciel est dégagé en été, les températures augmentent plus rapidement au sol qu'en altitude ; en hiver et quand le ciel est nuageux, le gradient de température sera nul. La nature des matériaux utilisés pour les constructions, la hauteur des arbres, la densité du couvert forestier, ou les bruits préexistants, sont aussi des facteurs perturbants (Zunkel, 2015).

Afin de mesurer les effets de ces autres composantes environnementales sur le signal sonore envoyé par les sirènes (Webster, 2014), nous avons tenté d'utiliser le plugin *SPreAD-GIS*© (Reed *et al*., 2012 ; Proto *et al*., 2016). Cette application SIG open-source avait été développée par l'U*.S. Forest Service* (USFS) et l'*Environnemental Protection Agency (EPA*) au début des années 1980 pour prédire l'impact acoustique des activités humaines et pour délimiter des zones récréatives. En l'appliquant de manière spécifique au département du Vaucluse, plusieurs paramètres ont été implémentés : le relief, avec un Modèle Numérique de Terrain ayant une résolution de 50 m. ; l'occupation du sol (2014) ; différentes variables climatiques (température de l'air, humidité relative, vitesse et direction du vent, **exemple 5**). Nous avons ensuite défini les caractéristiques générales du son en décibels (120 pour la puissance maximale moyenne des sirènes, avec une fréquence de 380 hz).

Le logiciel additionne les pertes acoustiques « pas à pas ». Il calcule ainsi les pertes liées à : **1)** la diffusion sphérique, avec une fonction qui baisse le niveau du son en fonction de la distance au point source (S) ; **2)** l'absorption atmosphérique, qui va dépendre, selon les heures de la journée, de la température de l'air, de l'humidité relative et du relief ; **3)** l'absorption par la végétation, en fonction de la densité du couvert végétal et de la distance au point S ; **4)** la direction, la force et la vitesse du vent dominant, considéré comme homogène sur la surface étudiée ; **5**) la topographie et les effets de barrière orographiques, qui peuvent atténuer le son sous le vent ou accélérer la propagation dans les fonds de vallée ; **6)** la présence d'un bruit ambiant plus important que le signal envoyé.

EXEMPLE 5. Le vent est fréquemment observé dans le département du Vaucluse : il souffle près de 100 jours par an, avec des pointes régulièrement mesurées à 100 km/h. Deux vents sont très souvent mesurés : **1)** le Mistral, qui naît de la différence de pression entre une dorsale anticyclonique, positionnée soit sur le proche Atlantique, soit en Europe du nord, et un centre dépressionnaire qui aspire le vent et qui se situe sur la Méditerranée, au niveau du Golfe de Gênes. Le flux de nord-est à nord-ouest s'accélère dans le canal rhodanien avec une direction dominante nord-sud (d'où le qualificatif de vent froid et sec). Le mistral souffle plus fréquemment en hiver et au printemps, et dans la tradition provençale, c'est l'un des trois fléaux de la région, les deux autres étant la Durance (et ses inondations) et le Parlement de Provence (insaturé à Aix-en-Provence en 1501, à la suite de l'union perpétuelle du comté de Provence au Royaume de France en 1487). **2)** La tramontane souffle de secteur ouest à nord-ouest ; elle circule entre les Pyrénées et les monts du sud du Massif Central (Schaeffer, 2010). Ces deux vents présentent d'importantes variations temporelles (de quelques heures à quelques jours) et spatiales (de 10 à plus de 1 000 km2), et ils interagissant aussi avec les brises thermiques.

Les résultats n'ont toutefois pas pu être disponibles à temps, à cause d'un problème lié à des bugs dans le langage informatique *Python* du logiciel. Nous tenterons de trouver une solution, car les résultats obtenus ailleurs montrent que les pertes acoustiques sont comprises entre 17 et 36 % dans un rayon d'1 km, avec une température de 23 °C, et ce sans vent (Reed *et al*., 2010).

8.3. Raisonner à l'échelle du bassin versant pour les crues rapides

En poursuivant nos efforts de rationalisation et en lien avec les grands principes énoncés dans le chapitre précédent, nous avons ensuite cherché à savoir si l'offre d'alerte aux crues rapides pouvait être réduite de façon opérante à l'échelle du bassin versant. Cette unité hydrologique n'est certes pas homogène du point de vue de son fonctionnement (chapitre 2), mais différentes initiatives citoyennes, dont le succès n'est plus à démontrer, nous conforte dans cette voix. Ces dispositifs ont conditionné l'offre déployée et ont recréé du lien entre les habitants d'un même territoire, notamment à la suite de catastrophes qu'ils ont « mal vécues » aux échelles locales. Il semble alors nécessaire de territorialiser l'alerte à cette échelle, en allant au-delà d'une simple réduction de l'offre du point de vue spatial.

8.3.1. Deux dispositifs exemplaires en termes de cohérence et d'implication

Deux initiatives citoyennes sont emblématiques de le domaine de l'alerte aux inondations : le *Réseau Sentinelles*, déployé dans le bassin versant de Brévenne-Turdine (**exemple 6**), et *Les Gens de Garonne* (**exemple 7**), mis en place à l'initiative des communes du *Val de Garonne* et l'office de tourisme, et hébergé à Couthures-Sur-Garonne (356 habitants en 2014). L'alerte à la population reste diffusée par les autorités, mais les citoyens sont à l'origine des signaux faibles, et ils peuvent s'appeler entre eux sans qu'une alerte officielle ne soit activée. Dans le bassin de Brévenne-Turdine (440 km^2), en amont de la commune d'Arbresle (6 300 habitants en 2014), la crue rapide survenue dans la nuit du 1er et 2 novembre 2008 est à l'origine du *Réseau Sentinelles* : les hauteurs d'eau ont dépassé plus de 2 m. dans certaines maisons, et la population a été « traumatisée » (**exemple 8**). Pour *Les Gens de Garonne*, les inondations ont été englobées dans une approche large et systémique pur changer le rapport avec le fleuve au quotidien (la montée de la *Garonne* en 1981 est survenue en moins de 5 heures, malgré le fait que la Garonne soit plus sujette à générer des inondations par débordement). Les RCSC (*Réserves Communales de Sécurité Civile*) ont permis d'inscrire l'engagement des citoyens dans la durée, et elles constituent une suite logique sous-utilisée lors de la mise en place des PCS : il existe 389 RCSC au 1er janvier 2018, contre plus de 10 200 PCS à l'échelle nationale à la même date.

EXEMPLE 6. Créé en 2008, le SYRIBT (*Syndicat de rivière Brévenne-Turdine*, près de Lyon, France) a mis en place à partir de 2011 un « réseau humain de sentinelles d'alerte ». Conscients d'une solidarité nécessaire entre l'amont et l'aval du bassin, des riverains surveillent la montée des eaux des deux rivières, notamment en cas de vigilance hydrométéorologique orange ou rouge (**figure 8.9.)**. En se fiant à des échelles limnimétriques graduées par anticipation (portant les termes de « vigilance » ou d' « alerte », lorsque le niveau atteint certaines valeurs), ces sentinelles informent leurs élus référents, qui transmettent à leur tour les messages dans des communes dites « centres de vigilance ». Celles-ci propagent ensuite cette information vers les communes situées en l'aval, et déclenchent les mesures adéquates (mise en sécurité des biens et des personnes, déclenchement du PCS, activation de l'alerte communale, etc.). A la différence des canaux institutionnels (Météo France et Préfecture), les alertes n'ont pas d'assise officielle, mais l'un des objectifs de ce réseau est de mobiliser un grand nombre de personnes pour les sensibiliser à une conscience participative du risque, tout en les impliquant de manière proactive, notamment en leur demandant de faire remonter des informations de bonne qualité.

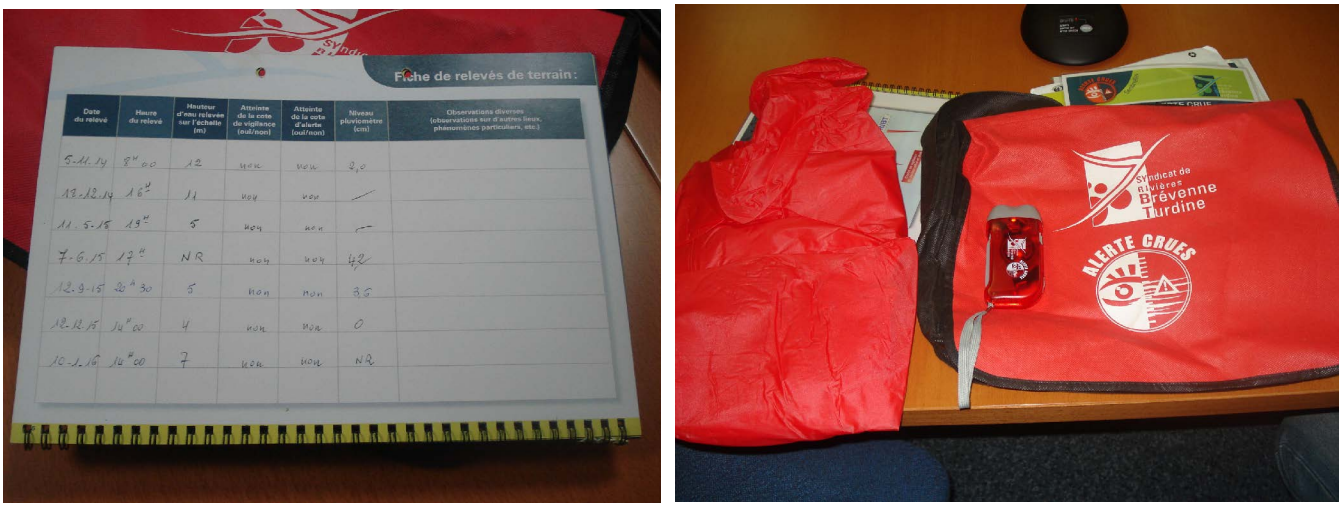


Figure 8.9. Matériel dont disposent les acteurs du réseau *Sentinelles* (Gisclard, 2016)

EXEMPLE 7. Le village de Couthures-Sur-Garonne est situé entièrement dans la zone inondable de la Garonne, qui a une « forte probabilité » d'occurrence. Suite à la crue du 15 décembre 1981, qui a inondé toute la commune, se créée l'Association des Sauveteurs de Couthures (ASC), dont une partie des membres constituera la *Réserve Communale de Sécurité Civile* (RCSC) mise en place en 2007. En 2014 la RCSC compte 14 membres (pour un nombre d'habitants estimé à 356). Elle intervient en cas de grosse inondation, notamment auprès des 40 fermes isolées. Le rapport des habitants au fleuve est si particulier qu'ils le nomment « Garonne », à l'instar des riverains du Vidourle, qui le personnifient en omettant l'article « la » (Durand, 2014 ; Gisclard, 2017) Loin d'être vécues comme des catastrophes, les inondations construisent l'identité culturelle du village et développent le lien social. En 2006, sous l'impulsion des communes du Val de Garonne et de son office de tourisme se créée l'association

Gens de Garonne qui a pour but la valorisation du fleuve et de ses territoires. La *Maison des Gens de Garonne* est naturellement accueillie à Couthures-Sur-Garonne : site de découverte, écomusée et centre d'interprétation des crues, c'est un projet qui perdure et qui accueille entre 15 et 20 000 visiteurs par an. Le bâtiment situé en bord de Garonne est orné en façade de poteaux orange marqués par les repères des différentes crues passées. Il abrite plusieurs espaces permettant de diffuser des spectacles, des films en 3D (**figure 8.10.**), une maquette de simulation de la crue sur la commune, mais également des espaces consacrés au fleuve, ses richesses, son histoire et sa géographie. La plupart des habitants s'accordent à dire que les inondations ne les gênent pas dans leur quotidien, et ils en font la publicité sur les RSN : en juin 2017, 2 500 personnes suivent la page Facebook nommée « *Maison des gens de Garonne* », et 151 personnes sont abonnés sur le fil *Twitter© @gensdegaronne*, des réseaux qui sont alors mobilisables pendant le temps de l'alerte dans ce territoire.



Figure 8.10. Affiche du spectacle à *La Maison des Gens de Garonne* tous les ans (Gisclard, 2017)

D'autres initiatives existent (Gisclard *et al*., 2007) et certaines ont déjà été évoquées dans le chapitre 3 (§ 3.4.1.). Pour rappel, par ces initiatives*, l'individu tend à passer du statut de veilleur passif à l'acteur, capable de se défendre* (**exemple 3**) *en réaction à un événement, sans attendre que l'État ou ses représentants locaux s'y investissent plus.* Le portage est politique (sous la responsabilité d'une autorité ou une institution) ou provient d'un acteur extérieur (chercheur, syndicat de bassin), qui pointe son attention sur tel ou tel aspect du risque. Si cela démontre que la population peut s'auto-organiser, en amont puis dans le cycle de l'alerte, les accepter est pourtant une position difficile pour les autorités, car cela suppose un certain « lâcher-prise », qui ne fait pas partie de la culture de la sécurité civile en France. Mais d'autres formes d'innovation sociale (les AMAP, les crèches parentales, etc.) sont autant de formes d'expression qui légitiment la voie à de telles demandes (Gisclard, 2017).

EXEMPLE 8. Le terme de « sentinelles » est très explicite : dans un contexte militaire, cette terminologie renvoie soit aux éclaireurs (qui sont placés en avant des troupes, et qui obtiennent une information avec les autres), soit aux personnes qui sont au milieu du reste de la troupe (qui, elles, sont mieux informées que les autres ou munies des meilleurs instruments, et dont l'efficacité dépend de leurs positions). Ce sont donc deux qualités (Velleron *et al.,* 1994) qui définissent de manière univoque les individus impliqués dans le bassin de Brévenne-Turdine.

8.3.2. Une piste expérimentée à travers les « Veilleurs de crue »

Rassembler des habitants pour les faire réfléchir collégialement et les impliquer collectivement dans leur commune correspond à la mise en pratique d'une véritable démarche d'« innovation sociale territorialisée », que nous avons expérimenté dans le cadre des recherches doctorales de B. Gisclard, en particulier à Sauve (dans le Gard). Cette commune (1 974 habitants en 2014) est connue pour ses

nombreuses « Vidourlades » (Créton-Cazanave, 2010 ; Gaume et Borga, 2013), dont la plus ancienne et la plus sévère date de 1907. L'appui de l'équipe municipale et la dynamique du tissu associatif ont contribué à retenir ce territoire comme lieu d'expérimentation (Gisclard, 2017). Étant entendu que dans le contexte d'une alerte, l'importance du référentiel spatial de l'individu et de ses dimensions cognitives et affectives nécessitent de multiplier les angles de vue, une attention a été portée de façon spécifique aux supports de communication diffusés en amont du projet (**exemple 9**).

Le dispositif mis en place a permis aux habitants de participer à un jeu sérieux (*serious game)* et d'initier des réflexions sur la manière dont ils pourraient intervenir, à leur niveau, en cas de crue du cours d'eau situé sur leur commune. Dans la mise en œuvre du jeu, le design interpelle *l'homo ludens* (Huizinga, 1988), créant un espace de liberté cadré (un jeu a des règles et un espace définis), mais où l'imagination se déploie. « Lorsque l'on joue, on joue sérieusement », c'est-à-dire avec attention et sans désinvolture aucune. Ce parti pris s'appuie sur la feintise ludique (Schaefer, 2005), doublée d'une mise en situation par le projet. Les participants matérialisent les idées imaginées collectivement et les expérimentent, et l'individu s'engage dans une dynamique dont il devient partie prenante, et où il peut développer ses capacitations (Gisclard et Douvinet, 2018). D'ailleurs, le nom de l'atelier « les Veilleurs de crues » n'est pas non plus anodin : il permet de parler de la crue et non de l'inondation, en mettant à distance le phénomène social du phénomène pour se concentrer sur l'aléa. Le pluriel renvoie à la communauté des habitants et la veille s'envisage sur le temps long (à l'instar du voyant de veille sur les appareils électriques, signifiant par sa présence discrète un « toujours prêt »).



Figure 8.11. Affiches pour l'atelier « *Les Veilleurs de Crues »* testé à Sauve (Gisclard©, 2016)

EXEMPLE 9. Les compétences des designers de *La Bobine* ont été mises à profit dans l'aboutissement d'une identité visuelle cohérente pour mobiliser les habitants de la ville de Sauve. Dans les supports (**figure 8.11.**), la bienveillance, la légèreté et l'humour devaient caractériser l'esprit de l'ensemble du dispositif afin d'appuyer la stratégie globale sous-tendue au cours de l'atelier, à savoir construire des stratégies partagées vis-à-vis de l'inondation, et fédérer une dimension collective plutôt qu'individuelle (Gisclard et Douvinet, 2018).

Plus concrètement, l'atelier créatif a été organisé selon deux dispositifs immersifs, et proposé à quatre équipes participantes (20 habitants répartis en 8 femmes et 12 hommes, avec une moyenne d'âge de 63 ans). Le premier dispositif appelé « Sauve en 2030 », propose aux participants d'imaginer les actions entreprises sur leur commune, pour réduire leur vulnérabilité aux inondations survenant en 2030. Différents éléments sont proposés pour construire les scénarios, dont des articles de journaux fictifs (qui relatent des catastrophes survenant en 2030 dans les territoires du Gard, et s'inspirent de

thématiques telles que la prévention météorologique, la rupture de barrage, le système assurantiel liés aux catastrophes naturelles, la mémoire sociale des évènements). Un des résultats marquant est que, sans se concerter, l'ensemble des participants a choisi le sujet de la rupture de barrage, en lien avec la présence de deux barrages écrêteurs de crues situés en amont de Sauve.

Le second dispositif, les « 24 h de la crue », invite les équipes à expliquer de manière spatiale et temporelle comment se sont passées les 24 h d'une « Vidourlade », et à décrire les actions menées, à titre individuel et/ou collectif (**exemple 10**). Ces modalités, permettant d'inclure les individus en leur allouant un statut d'acteur et pas simplement de récepteur d'une information sur les risques, participent d'une forme d'engagement et d'appropriation de l'objet (Weiss *et al.,* 2011). En liant des actions à des attitudes, la personne tend à réduire la dissonance cognitive qui existe quand il sait que le risque existe mais qu'il ne fait rien pour limiter ses effets (Girandola, 2003). Engagés dans des routines, les individus n'intègrent pas la possibilité d'une catastrophe : seul l'évènement ou la réactivation de son souvenir permettent de faire surgir cette éventualité, et de lui montrer ce qu'il ferait, pour son bien ou non.

EXEMPLE 10. Une partie de jeu des « 24h de la crue » est matérialisée par un plateau, avec des cartes à jouer et une règle donnée. Chaque équipe pioche des cartes précisent un contexte particulier (une personne à mobilité réduite, un jour férié, etc.), un moment (la nuit, le matin, etc.) ainsi que l'état des réseaux de communication (hors réseau, réseau disponible, etc.). Les cartes étant uniques, chaque équipe part donc d'une situation différente. Ce dispositif permet de jouer sur des contextes de crues différents, afin de susciter des réponses variées. Bien que le scénario de la crue soit situé dans le futur, ces cartes donnent un cadre réaliste aux actions, sans brider l'imagination. De là, les participants matérialisent leurs déplacements et leurs comportements (heure par heure) à partir de supports divers. Deux équipes disposent de cartographies précises de la commune, les deux autres ont un support vierge pour dessiner, une de ces deux équipes ayant néanmoins à disposition la carte fournie par l'Office du Tourisme et connue des habitants. Ils doivent représenter l'emprise de la crue, soit avec des papiers bleus préalablement découpés (**figure 8.12.**), soit avec d'autres objets à leur disposition. Les zones inondables ne sont volontairement pas indiquées. C'est donc aux joueurs de les déterminer, selon leurs souvenirs des crues passées ou leur connaissance du village.



Figure 8.12. Plateau (une carte IGN au 1/25 000è imprimée dans un format A0) utilisé comme support de base par les joueurs pour « *Les Veilleurs de Crues* »

La logique voudrait ensuite que les participants poursuivent cette démarche, ce qui relèverait alors d'une action réellement autonome et citoyenne, à l'image des deux initiatives présentées juste avant. Il est trop tôt pour analyser les retombées réelles d'une telle action, et les effets peuvent rester invisibles pour un chercheur qui ne réside pas en local. La parution dans le bulletin municipal à cette occasion participe *a minima* au maintien d'une conscience collective du risque, tout en ouvrant la porte aux potentielles initiatives habitantes. En tous cas, dans ce travail, l'implication individuelle peut être réellement effective, à condition toutefois de ne pas faire l'économie du contexte territorial concerné.

8.3.3. Dépasser une vision isotropique de l'offre

Les initiatives précédentes amènent à un constat évident : il faut, dans la mesure du possible, inscrire l'alerte aux crues rapides à l'échelle du bassin versant, indépendamment de sa taille, et la considérer, non pas comme une simple solution technique, mais comme l'opportunité de générer des réactions appropriées chez les habitants. Plusieurs études ont prouvé l'intérêt de développer une conscience et une appropriation du risque à travers un projet qui permet une inscription dans le temps quotidien (Langumier, 2008 ; Rode, 2009 ; Durand, 2014 ; Dournel *et al.*, 2015). Par le développement de l'action, une population intègre et rend peu à peu acceptable l'alerte, et une meilleure analyse des enjeux permet de faire évoluer la compréhension de l'alerte, géographiquement, socialement et culturellement. Partir d'un territoire et non d'un espace, c'est alors vivre avec l'alerte d'une façon responsable et lucide, en se réappropriant les dangers qui nous entourent au quotidien (Becerra et Peltier, 2009 ; Becerra *et al.,* 2013 ; Daupras, 2015 ; Gisclard, 2017).

Pour répondre à cet objectif, il faut donc éviter de se limiter à une vision isotropique de l'offre, qui s'appliquerait de façon invariante dans l'espace, indépendamment de la métrique territoriale des aléas ou des besoins des populations. A titre exploratoire, une autre étude a été menée en mars 2018 sur le bassin à risque de l'Ouvèze. Les 389 personnes interrogées, habitant toutes en zone inondable, ont été incités à répondre à un questionnaire en lien avec l'alerte. A la lecture des résultats (**exemple 11**), la solution suivante a été imaginée : il serait intéressant de disposer, dans les talwegs principaux et secondaires, des balises équipées de capteurs sans contact (**exemple 12**), connectées directement chez certains riverains exposés , dans des bâtiments publics ou aux sirènes étatiques, pour raccourcir le délai de prévisibilité, et donc le délai d'alerte. Il s'agit d'une piste à consolider, mais nous pourrions ainsi proposer une « stratégie globale d'alerte » collaboratif et peut être plus opérante.

EXEMPLE 11. Nous avons répondu à une action (5.1.) du PAPI (*Programme d'Action et de Prévention du risque Inondation*) dans le bassin à risque de l'Ouvèze en 2018. Les 389 réponses aux questionnaires collectés dans 8 quartiers situés en zone inondable dans 8 communes) montrent des différences dans la connaissance du délai de réaction hydrologique en suivant une logique avant (de 1 à 3h en amont, contre 6 à 9h dans les parties aval), et dans la confiance allouée aux aménagements (54% font confiance aux digues ou aux ouvrages de rétention en aval – là où leur nombre est plus élevée –, contre 28% dans la partie amont, à Roaix et Buis-les-Baronnies en particulier). Si 167 personnes (44 %) arrivent à nommer un outil d'alerte sur leur commune (sirènes, automate ou mégaphones), 265 seraient toutefois intéressés par un système d'alerte global déployé sur ce bassin, ce qui confirme une demande de cohésion et de lien dans ce territoire hydrologique très marqué par l'inondation du 22 septembre 1992 (91% des répondants se souviennent de l'année et du mois de cet événement, alors que 45% d'entre eux habitent dans ce bassin à risque (et en zone inondable) depuis moins de 10 ans).

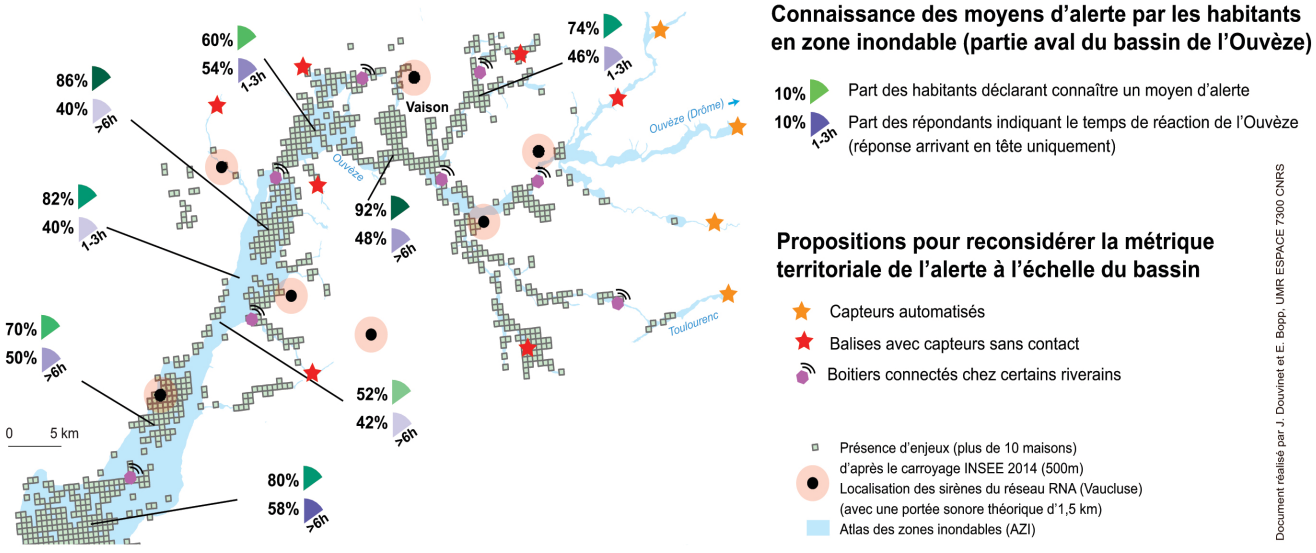


Figure 8.13. Proposition pour déployer une stratégie d'alerte adaptée à la métrique territoriale des crues rapides dans le bassin à risque de l'Ouvèze

EXEMPLE 12. Sans vouloir en faire la promotion, la société Ogoxi propose, depuis 2017, un dispositif spécifique d'alerte aux inondations (Ogoxe©), qui associe différentes données géographiques et hydrauliques modélisées à des relevés provenant d'un réseau de balises équipées de capteurs sans contact. La hauteur d'eau est évaluée par une mesure ultra-son (pour éviter les problèmes de remous et de charriage des sédiments dans la mesure). Toutes ces données sont envoyées dans un outil d'aide à la décision, géré par les collectivités territoriales, qui peuvent s'en servir pour activer leur PCS ou déclencher les procédures d'évacuation. Les riverains exposés sont eux aussi équipés d'un boitier connecté, qui informe en permanence du niveau de danger grâce à des voyants lumineux, et qui peut être utilisée pour transmettre des messages d'alerte en cas de décision officielle, par sms, mail ou messagerie vocale. Le système fonctionne aussi en mode dégradé, *via* la radiofréquence, quand Internet, les réseaux électriques ou les réseaux de télécommunications sont coupés (selon G. Delai, le président).

8.4. Quels grands principes retenir pour l'avenir ?

A la lecture de ces éléments, complémentaires, d'autres principes peuvent être proposés pour améliorer l'efficacité de l'alerte au sein des territoires. Leur importance est reconnue dans la littérature scientifique et pourtant, ils sont rarement considérés comme tels dans les protocoles internationaux (CAP ou EWSM). Nos expérimentations permettent aussi de préciser les principes précédents (§ 7.4.).

Dépasser une vision isotropique de l'offre

Une alerte doit être capable de répondre aux besoins des populations concernées. Elle doit à la fois être adaptée au contexte géographique, démographique, social, économique ou technologique du secteur touché, mais aussi à la perception et à la compréhension qu'ont les individus du danger en cours. Aussi, pour une alerte multi-aléas, il est nécessaire de privilégier un service national, qui pourra coordonner les messages et éviter les confusions entre acteurs. Pour une alerte aux crues rapides, il faut en revanche raisonner à l'échelle d'un bassin versant. Ces deux niveaux d'observation ne doivent pas être déconnectés l'un de l'autre : un système sera considéré comme opérant à partir du moment où il génère des réactions opportunes, qui permettent de mettre les individus en danger hors de celui-ci. Le message ne doit laisser aucune place aux doutes ou aux hésitations : si les incertitudes sont fortes, il convient de le mentionner dans les messages et être le plus honnête possible.

Une offre à rationaliser

A moyen constant, une alerte doit être capable d'informer une part importante de la population avec une offre plus lisible et optimisée. En l'état actuel, les sirènes doivent être mieux déployées dans l'espace pour atteindre cet objectif, et il est possible d'en diminuer le nombre sans pour autant perdre en efficacité. Les applications smartphones les plus pertinentes doivent, de leur côté, être plébiscitées par les pouvoirs publics pour gagner en lisibilité et en opérationnalité, à condition toutefois de faire un « tri » dans le « monde des applis ». Toutes les solutions ne sont pas forcément « bonnes à prendre », et il faut alors assumer un système qui n'intègreraient pas toutes les techniques possibles.

Une culture de l'alerte à inscrire dans les territoires

Tous ces travaux présentés dans ce chapitre confortent aussi l'idée (avancée sommairement dans le chapitre 1) qu'il faut consolider les liens entre la prévention et l'action (à l'image de l'initiative qui connaît un franc succès sur certains bassins versants). L'alerte n'est pas une étape dans la chaîne de la prévention, qui intervient au moment d'une crise et qui se clôture quelques heures plus tard : elle doit être considérée comme l'un des piliers fondamentaux de la gestion globale des risques.

Se mettre d'accord sur les objectifs à atteindre

Il est nécessaire d'ajuster l'offre à la métrique territoriale des aléas, et fédérer l'ensemble des acteurs dans une optique partagée et constructive. Pourtant, le débat sur les outils d'alerte ne doit pas masquer le débat qu'il faut avoir sur les objectifs visés par l'alerte : quels sont les publics réellement touchés ? Peuvent-ils mettre en œuvre des comportements réellement adéquats (comme évacuer ou ne pas évacuer) ? Est-on sûr que les capacités d'action, de réaction ou de prise de décision soient les mêmes chez tous les individus ? Afin de répondre à ces questions, nous avons poursuivi nos travaux sur les effets à attendre d'une optimisation de l'alerte, ce qui nous amène au chapitre suivant.

8.5. Conclusions du chapitre 8

Ce chapitre a permis d'expérimenter différentes stratégies pour remailler le territoire de façon plus optimisée, et certains choix conduisent à des situations paradoxales : si la redistribution spatiale était cohérente au nom de l'équité spatiale, elle ferait toutefois fortement chuter la part de la population couverte par le réseau RNA (- 47,8% dans le Vaucluse). Par opposition, en priorisant les zones les plus densément peuplées, l'optimisation spatiale améliore le taux de couverture à 1 km (+ 26 %), mais cela revient à occulter les très petites communes, alors qu'elles doivent déjà face à des vulnérabilités additionnelles (Gisclard, 2017). Il faudra évidemment poursuivre ces investigations, en comparant par exemple la part de la population française couverte dans le projet SAIP, attendu en 2022, avec la part estimée en utilisant les méthodes d'optimisation spatiale. Il faut aussi mesurer les effets du MAUP de manière plus fine : en changeant la discrétisation de la maille à laquelle la population est agrégée, est-ce que les résultats seront différents à l'échelle d'une ville, d'une région ou du pays ?

Toutes ces propositions vues sous un angle éminemment géographique sont imparfaites, car relocaliser les sirènes entraînerait un coût économique non négligeable, sans oublier que les risques NRBC (Nucléaires, Radiologiques, Bactériologiques et Chimiques) ou liés à des actes terroristes sont des priorités pour l'État et ses représentants aux échelles locales. Toutefois, cela contribue à alimenter les discussions. Si le coût pour installer les 1 756 « nouvelles » sirènes de l'État (dans le projet SAIP) représente un montant que nous estimons à 52 millions € (en utilisant une moyenne de 30 000 € par sirène), certaines économies auraient pu être faites, en intégrant par exemple dans la cotation l'équité spatiale ou la vulnérabilité des enjeux les plus exposés. Cela aurait pu permettre de financer d'autres initiatives, relatives à d'autres outils d'alerte (Vogel, 2017), comme l'usage du *Cell-BroadCast* (§ 1.4.2), ou l'aide à la création de communautés sur les RSN.

Si l'offre doit être adaptée aux besoins du territoire, elle doit surtout être ancrée dans celui-ci, à l'image des initiatives citoyennes présentées et qui sont des exemples en matière de cohésion et de participation. Cette idée entraîne deux conséquences majeures :

1) si les exercices d'entraînement, proposés par et pour les habitants, peinent à s'imposer (cf. synthèse de la partie I), il faut alors trouver les ressources pour les sublimer ;

2) il faut considérer l'alerte, non pas comme une contrainte, mais bien comme une opportunité pour mettre en pratique des automatismes, coordonnés entre tous les acteurs, dans un esprit de solidarité. Ce second constat induit un changement de postures, car l'alerte reste en France rapidement connotée à un événement néfaste pour les sociétés.

Chapitre 9. Alerter tout le monde : un objectif impossible

En dépit d'une rationalisation de l'offre, d'autres verrous doivent être levés : l'accessibilité aux moyens d'alerte n'est pas la même partout ni pour tous, et la perception de l'alerte peut aussi changer en fonction de différentes variables, en particulier son inscription dans un contexte donné. Ainsi, il faut poursuivre nos efforts pour progressivement intégrer certains facteurs sociaux, individuels et collectifs, et remailler à l'échelle d'un territoire et non pas simplement dans un espace donné. Le territoire est ici considéré comme un espace vécu, avec des formes spatialisées de la quotidienneté et une certaine appropriation, à distance, des pouvoirs (Vulbeau, 2015). Nous laisserons donc volontairement de côté les aspects politiques (comme énoncé en introduction de cette partie III). On entend aussi le territoire comme un espace enrichi par des populations, qui agissent et le construisent continuellement (Di Méo, 1998), et qui caractérise un style d'occupation de l'espace pour ceux qui s'y trouvent (Weiss et Rateau, 2018). Trois questions sont plus spécifiquement posées ici : comment peut-on espérer qu'une solution unique, multi-aléas et multicanaux soit performante en France, et être certain que la rationalisation de l'offre soit efficace, si on estime que les besoins sont spécifiques aux territoires, voire propre à chaque individu ? Serait-il acceptable d'alerter de manière différenciée ces territoires, ou de n'informer qu'une partie de la population, en sachant qu'une telle décision n'est guère audible pour les autorités, qui ont leur devoir d'alerter tout le monde, sans faire la moindre distinction ? Par ailleurs, comment évaluer et mesurer l'influence du contexte géographique, démographique, social, économique ou technologique (ce qui est l'un des principes retenus précédemment) sur les effets de l'alerte ? Afin de répondre à ces questions, différentes pistes d'expérimentation sont ici présentées, et certaines idées constituent des axes de recherche sur lesquels je voudrais axer mes travaux dans les prochaines années.

9.1. L'individu : une entité sociale dont il faut tenir compte

Selon la loi de 2004, l'individu est le premier acteur de sa sécurité en cas de danger avéré, et on attend de lui qu'il ait des comportements adaptés. Mais à quoi doit être « adapté » un comportement individuel ? Entre une vision technique de l'offre et une compréhension sociale de l'alerte (Becerra *et al.,* 2013 ; Daupras, 2015 ; Gisclard *et al.,* 2018), comment les individus perçoivent-ils les messages d'alerte (voire même de vigilance) ? Comprendre les dimensions psychosociales qui sous-tendent ces perceptions variables et les mettre en perspective des temporalités non linéaires de l'évènement doit, à notre avis, permettre un meilleur cadrage des messages de prévention et d'alerte, à destination des populations, et surtout d'éviter l'écueil d'une stigmatisation des « mauvais » comportements.

9.1.1. La perception individuelle : une dimension psychosociale négligée

Dans un premier temps, nous avons essayé de comprendre un peu plus finement les facteurs qui influençaient la perception de l'alerte. Cette variable, cognitive, conditionne les attitudes déclarées en cas de crise (Kouabenan et al., 2006 ; Weiss et Rateau, 2018), et c'est l'une des conditions qui est retenue comme l'un des principaux facteurs aggravant la vulnérabilité (D'Ercole, 1994 ; Wisner *et al*., 2012). Toutefois, cette dimension psycho-sociale est souvent occultée : différents courants de pensée s'opposent à ce sujet (Garcia, 2012), tant les paramètres sous-jacents sont « complexes » (…).

La perception individuelle intervient à plusieurs niveaux, que ce soit dans la prise de décision, des gestionnaires comme des particuliers, et sur l'acceptabilité, l'adhésion aux mesures de protection

et de prévention (Weiss *et al.,* 2011 ; Ruin *et al.*, 2013). La richesse de la littérature scientifique traitant de ce facteur, en particulier en psychologie, renseigne à la fois sur des facteurs intra-individuels et intergroupes, dont l'importance évolue en fonction des époques et des facteurs socioculturels. Le paradigme de « l'utilité espérée » (Morgenstern et Von Neumann, 1944) et la théorie des perspectives (Kahneman et Tversky, 1979), issus de la théorie des jeux, montrent la détermination de l'acceptabilité du risque par l'individu à travers un prisme probabiliste, mais le calcul sous-jacent implique que l'on puisse disposer des informations *ad-hoc*, ce qui est rarement le cas en situation d'alerte. Le paradigme psychométrique (Slovic *et al.* 1980) avance une autre hypothèse, en mettant à jour des déterminants différents entre des « risques effrayants » ou des « risques inconnus ». Le paradigme cognitif (Cadet et Kouabenan, 2005), en mobilisant des heuristiques de jugement, permet quant à lui de mieux cerner la façon dont les personnes traitent les informations, quelles que soient les situations, sans toutefois s'affranchir des biais de perception qui peuvent conduire à des estimations erronées. Ces biais sont la cause de la variabilité des perceptions (Sjöberg, 2000 ; Cadet, 2006), qu'il s'agisse par exemple du sentiment d'invulnérabilité, d'optimisme irréaliste (Weinstein, 1987) ou du biais de disponibilité. Par ailleurs, les émotions (*affects)* jouent un rôle prépondérant dans la perception et l'évaluation (Finucane et Holup, 2006) : comme évoqué dans le chapitre 5, en cas d'évènement déstabilisant l'individu, l'éveil physiologique associé à la peur empêche un traitement approfondi de l'information (Wilson, 2006).

Le traitement de l'alerte dépend lui aussi de facteurs additionnels : des variables individuelles, des interactions sociales et l'inscription des risques dans un contexte culturel (Douglas et Wildavsky, 1982) et social. Il suffit, à titre d'exemple, d'analyser le baromètre sur la perception des risques, publié par l'IRSN, pour voir que les perceptions évoluent fortement dans le temps (**figure 9.1.),** et qu'elles sont corrélées avec le contexte sociétal et médiatique du moment (**exemple 1**).

EXEMPLE 1. Dans le rapport publié par l'IRSN (*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire*) en 2017, on remarque que la préoccupation vis-à-vis de la sécurité en France a drastiquement augmenté suite aux attentats du *World Trade Center* le 11 septembre 2001, que celle concernant le risque nucléaire connaît un pic en 2011, dans le contexte de la catastrophe de Fukushima au Japon, et que le risque terroriste devient le premier sujet de préoccupation des Français en 2015, alors qu'il était le dernier en 2009. Ces éléments montrent à quel point les perceptions doivent être contextualisées pour être mieux comprises, et qu'une grille de lecture envisagée uniquement sous l'angle de la rationalité de l'offre ne peut être suffisante.

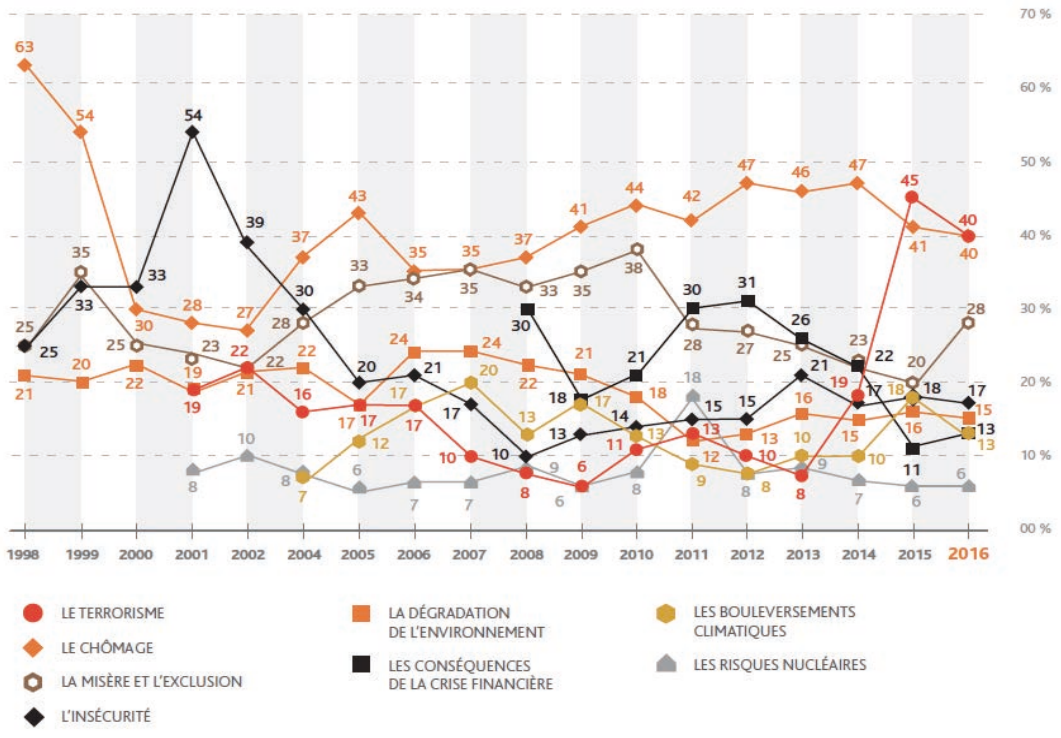


Figure 9.1. Évolution de la perception des risques en France de 1998 à 2017 (d'après IRSN, 2017)

Un autre paramètre dont on mesure encore mal les effets sur les perceptions est l'infobésité (Sauvajol-Rialland, 2014). Cette surcharge informationnelle (cf. chapitre 6) laisse l'individu désarmé pour traiter correctement l'information qui lui arrive. L'excès d'informations, manifeste dans le secteur tertiaire, tend à gagner l'ensemble des secteurs professionnels. Mais il conduit à des troubles cognitifs, diagnostiqués sous le terme de *Cognitive Overflow Symptom* (Finucane et Holup, 2006), la personne ne parvenant plus à faire le tri correctement parmi tous les messages qu'elle reçoit. Or, *« il existe un nombre optimal d'informations à obtenir pour prendre une décision. Une fois dépassé ce seuil, on observe une dégradation de la qualité du processus décisionnel »* (Sauvajol-Rialland, 2014).

Un tel décalage, entre les capacités attentionnelles du cerveau humain face à l'invasion des informations reçues en permanence issues de l'internet mondial, crée une dissonance qui peut aussi se manifester par des troubles neuro-développementaux, regroupés sous le terme *Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité* (TDAH). Kushlev *et al.* (2016) montrent par exemple que les notifications des smartphones contribuent à augmenter l'inattention et les symptômes d'hyperactivité. Les informations arrivant durant une alerte viennent s'insérer dans ce flux informationnel quotidien et ininterrompu. Le défi à relever consiste ainsi à faire émerger une information pertinente, qui fasse sens pour l'individu, qu'il parvienne à l'identifier et à l'analyser, notamment si le délai d'action est bref. Cet enjeu est d'autant plus important au sein des versants qui ont des réponses courtes (< 30 minutes), voire soudaines (survenant en quelques secondes).

D'autres facteurs interviennent aussi dans l'appréhension individuelle de l'alerte ou du risque, comme la représentation, qui permet d'apprivoiser une menace en adoptant des conduites préventives (Perreti-Wattel, 2000), les stress environnementaux, qui induisent une réaction (gestion du problème) ou une émotion telle que le déni (Colbeau-Justin ; 2002), ou la capacité à faire face à un événement (*coping apraisal)*, la croyance en l'efficacité des mesures de protection, tous interagissant de manière cumulative ou continue dans le temps (Beccerra *et al.,* 2013).

En définitive, les « profanes », que l'on oppose aux « experts » des risques, ne sont pas des êtres « irrationnels » (Slovic, 2000 ; Peretti-Watel, 2000). Les logiques qui président à leurs prises de décision ne renvoient pas aux logiques que leur prêtent les autorités ou les acteurs de secours, mais les différences de modèles mobilisés ne légitiment pas les uns par rapport aux autres. La vision du public se révèle plus complexe et qualitative, tandis que celle des experts semble moins large et plus quantitative (Chauvin, 2014). Les individus auront tendance à intégrer plus facilement de l'incertitude, du manque de connaissance et des jugements sensibles, tandis que les experts semblent plus soumis à des biais de jugement liés à leur travail, qui les enferme dans des cadres préétablis. Une personne utilise tour à tour, de façon variable, un système expérientiel basé sur l'affect et un système analytique basé sur la raison dans le traitement de l'alerte (Finucane et Holup, 2006). De façon schématique, on peut considérer les modèles proposés pour l'appréhension du risque selon deux courants distincts, relevant de l'affect *« risk as feeling »,* ou relevant de l'analyse *« risk as analysis »* (Chauvin, 2014 ; Weiss et Rateau, 2018). Et ces deux approches, loin de s'opposer, sont complémentaires.

9.1.2. Un individu peut-il être « autonome » en cas d'alerte ?

La réponse à cette question doit être étudiée avec précaution. Un individu conscient du danger est censé appliquer les consignes et des comportements adéquats : il n'a pas fallu attendre que l'État s'investisse dans ce domaine pour que les habitants prennent les bonnes décisions. Mais le lien entre la formation et les comportements observés en cas d'alerte est bien plus « complexe » qu'il n'y paraît. Face à l'imprévu de l'attaque terroriste sur les tours du *World Trade Center* en 2001, la population non formée a eu des comportements adéquats dans l'ensemble (**exemple 2)**. A l'opposé, les victimes des crues rapides concernent très souvent des résidents (**exemple 3**), qui sous-estiment la violence des aléas en se fondant sur leurs expériences passées : sur les 206 victimes recensées suite à des crues rapides survenues en zone méditerranéenne (Boissier, 2013), 90 % (soit 186) sont des individus vivant dans les territoires touchés, et 44 % des décès ont été recensés à domicile.

EXEMPLE 2. Kuligowski (2011) fait état d'une quasi-absence de « panique » des populations dans le contexte des attentats du 11 septembre 2001 à New York. Il souligne la place prise spontanément par les individus dans l'aide apportée aux victimes. En complément, l'étude de Fredrickson *et al.* (2003) montre que les personnes ont ressenti différents sentiments négatifs (haine, peur, stress) plusieurs mois après l'événement (notamment ceux qui ont perdu un proche). Sur l'échantillon suivi pendant plusieurs semaines (133), certains (26) ont développé des sentiments positifs (joie, bonheur) et ils sont sortis d'un état dépressionnaire plus rapidement que d'autres.

EXEMPLE 3. L'un des comportements observés en cas d'inondation est celui qui consiste à récupérer des biens que l'on redoute de perdre, en dépit des appels à évacuer. Dans son étude, Wilson (2006) évoque des situations diverses et variées : des individus ont refusé d'évacuer lors des inondations survenues en 1997 en Pologne pour ne pas laisser leurs maisons sans surveillance (évoqué par Rosenthal et Bezuyen, 2000) ; à Dresde (Allemagne), un homme est mort dans sa cave lors des inondations de 2002 car il inspectait, une dernière fois, les lieux avant d'évacuer son domicile. Ces deux exemples renvoient au « biais de la normalité » : des personnes soumises à un stress intense auront tendance – à tort – à interpréter des données totalement inédites en termes de choses connues et régulières (Drabek, 1999). Si la perception de perdre quelque chose est familière, alors cette situation se situe dans le champ de l'expérience. Les conséquences sont aisées à comprendre, donc connues, alors que le risque vital émanant d'une inondation relève lui de l'inconnu, voire de l'impossible (« c'est pour les autres »).

L'inquiétude suscitée par des situations inhabituelles et ressenties comme menaçantes par l'individu pousse ce dernier à multiplier les sources d'information, afin d'affiner son opinion sur le sujet (§ 8.3.1.). Ainsi, certains biais cognitifs peuvent intervenir dans le jugement qu'il se fait de l'évènement à venir. Ils peuvent être liés soit à l'information elle-même et à la façon dont elle est présentée, soit à l'émetteur et à son statut, soit au récepteur. La plupart de ces biais ne sont d'ailleurs pas spécifiques à la communication sur les risques. On connaît bien les effets de primauté ou ancrage (Lewandowsky *et al.*, 2008), correspondant au fait que la première impression perçue influence l'impression générale qui suit, et ce d'autant plus que l'effet de primauté assure une « bonne » mémorisation des premières informations reçues : lorsque la première information minimise le risque, la personne aura du mal à imaginer que la situation va beaucoup empirer, la réciproque étant également vraie. A ce type de biais vient s'ajouter le rôle joué par l'émetteur, avec notamment l'effet de « halo », ou « effet de notoriété » (Asch, 1946), qui correspond à une tendance à lier des caractéristiques entre elles : deux informations négatives successives seront jugées encore plus négativement. Toutefois, une information juste mais qui émane d'une personne jugée négativement sera perçue comme peu fiable. Une information fausse venant d'un relais jugé positivement sera accueillie, par opposé, sans méfiance.

Du point de vue de l'individu, le biais le plus répandu est le biais de confirmation (Nickerson, 1998), qui consiste à privilégier les informations confirmant ses idées et à négliger, par opposition, celles qui pourraient le faire changer d'avis. A cela s'ajoute le manque de compréhension de ce qu'est une crue rapide, qui altère nécessairement sa compréhension lorsque l'information est médiatisée. De nombreux auteurs (Wilson, 2006 ; Castrechini et Pol, 2006 ; Moreau, 2017) ont confirmé le décalage existant entre l'abstraction que représente la catastrophe et ce qu'elle est pour les personnes qui ne sont pas à l'épicentre du drame, mais qui ont besoin d'informations pour se préserver eux-mêmes ou pour obtenir des nouvelles de leurs proches. Pourtant, quand les autorités cherchent à communiquer dans ces circonstances, il est difficile de parvenir au bon dosage médiatique car l'évènement est par essence unique et sans référence mémorielle (**exemple 4**). En tous cas, tant que la communication institutionnelle restera généraliste et négligera les niveaux d'information attendus par les populations, elle manquera d'efficacité. Et les nouveaux outils inscrits dans cette logique n'y changeront rien.

EXEMPLE 4. L'ouragan Katrina survenu en 2005 est à ce titre un cas d'école : le phénomène a mis en lumière le manque crucial d'assurance « inondation » aux États-Unis, entraînant de fait une incapacité des communautés et des territoires affectés à se reconstruire sans l'aide de l'État. Outre les controverses de la gestion de crise, les tensions raciales et les problèmes socioéconomiques que la catastrophe a engendré (...), le *Flood Risk and Resilience Program* (mis en œuvre à partir de 2015, soit 10 ans après l'événement) a suscité une vive polémique locale : le slogan *"stop calling me resilient",* attribué à Tracie L. Jackson du *Louisiana Justice Institute* a été repris et imprimé dans différents quartiers de la ville, puis s'est propagé dans le milieu artistique et auprès d'un large public. Il traduit toutefois le glissement implicite des autorités vers les populations, en allant des causes vers les conséquences (« soyez résilients » / « non, nous ne voulons pas ! »). A mon avis, si ce slogan était aussi diffusé dans les Petites Antilles françaises, fortement touchées le 7 octobre 2017, la polémique serait également forte, d'autant que beaucoup de personnes n'avaient pas, là aussi, souscrit à une assurance...

Une autre situation est également paradoxale aujourd'hui : l'être humain se met en situation de risque parce que le bénéfice qu'il en retire au quotidien (tous les jours) lui apparaît supérieur à la perte supposée en cas de catastrophe (qui arrivera un jour, peut-être). Les exemples dans ce domaine en manquent pas (Gisclard, 2017) : l'indépendance énergétique (dans le cas du nucléaire) ; le profit économique (dans le cas des OGM) ; la fertilité des terres (installation sur les pentes d'un volcan) ; le bénéfice touristique (installation en zone littorale) ; l'irrigation et l'apport énergétique (dans le cas des barrages) ou le développement du foncier (installation en zone inondable). Toutes ces problématiques mettent en évidence les paradoxes auxquels se trouve confrontée la société dans son ensemble, et il est difficile de pointer les responsabilités de manière univoque, d'autant que l'on passe d'une « société du risque » à une « société des incertitudes » (Reghezza-Zitt, 2015).

9.2. Les écueils des initiatives citoyennes

En faisant écho au *Réseau Sentinelles*, à *Gens de Garonne* et aux *Veilleurs de crue* (§ 8.3.1.), différentes initiatives communautaires sont apparues au fil des années. Elles proposent des stratégies de résistance endogènes, acceptées de tous d'un point de vue culturel, économique ou social, et elles sont perçues de manière positive pour éviter les futures inondations qui pourraient survenir à l'échelle d'un territoire. Indirectement, elles contribuent à modifier les rapports entre les capacités (d'action ou de comportement) des individus, et les autorités en charge de leur protection, et la confiance entre ces deux échelons a tendance à se reconstruire. Cependant, la plupart des français restent réticents à l'idée de participer et de s'investir dans leur territoire, et ils préfèrent aussi déléguer la responsabilité de l'alerte à l'État, plutôt que d'en assumer les fondements (Glantz, 2009 ; Garcia et Fearnley, 2012). La plupart des initiatives citoyennes dépassent rarement le stade expérimental (Jouve, 2005 ; Bherer, 2011 ; Blondiaux et Fourniau, 2011) et cela rejoint un argument avancé dans la partie II : l'autonomie ne se décrète pas, elle se construit (Brédif et Carré, 2009). Il semble également que les retombées de tels projets soient modestes (Gilbert, 2009), et elles n'ont pas pour objectif d'émanciper ou d'impulser des transformations sociales majeures. Les contraintes paraissent *in fine* multiples.

9.2.1. L'ancrage territorial et l'accompagnement : deux ferments indispensables

La participation des citoyens à l'alerte et à la gestion des risques est un cheminement long et incertain : dans la commune de Sauve, la mise en pratique de l'atelier créatif (§ 8.3.2.) a confirmé que si la question du risque était une préoccupation chez les habitants, ces derniers devaient néanmoins s'approprier le sujet de façon plus constructive et dynamique, pour s'investir de manière non coercitive. L'ancrage territorial et l'accompagnement dans la durée constituent deux ferments indispensables à toute innovation sociale territorialisée (Gisclard *et al.*, 2018). Les contextes et les citoyens impliqués sont toujours « singuliers » (Lacquement et Quéva, 2016), et la généralisation des dispositifs devient vite délicate. Cette difficulté pose en fait la question de l'échelle territoriale à laquelle ces initiatives sont les plus opérantes (Jouve, 2005).

L'implication citoyenne se manifeste rarement en amont, dans le cycle de la prévention, mais davantage en aval, dans le temps de la réaction post-crise. Elle est portée par des associations de victimes ou de défense d'intérêts collectifs ressentis comme menacés : c'est le cas des associations de sinistrés qui se manifestent après une inondation, ou lorsque des terrains situés en zone inondable sont appelés à devenir des zones « inconstructibles ». Qualifiés de « noires » suite au passage de la tempête Xynthia sur la côte ouest de la France, en particulier en Vendée, le 28 février 2010, ces zones sont d'ailleurs devenues préservées au nom de la « de solidarité nationale » (Pigeon, 2015)

Aborder la question des risques est alors indissociable d'une approche critique et réflexive sur les vulnérabilités sociétales et sur l'origine des choix politiques qui ont favorisé leur émergence. Les grands projets sont également portés par des structures privées qui veulent tirer profit de leurs

avancées et des développements technologiques (à l'image de *Microsoft* qui est derrière le projet *CommonSense*) C'est un élément qui explique en partie la frilosité des acteurs (individus, politiques, scientifiques, experts, etc.) à se saisir largement et de façon transversale de ce sujet.

Par ailleurs, une dimension partagée et collective conditionne et construit la mémoire sociale des évènements. C'est un cadre dans lequel différents groupes constituent leur mémoire, et l'une des conditions de cette résurgence mémorielle est d'être fixée sur un espace (Halbwachs, 1994). Les lieux ont une fonction identitaire, mais aussi des fonctions affectives et historiques. L'attachement au lieu entraîne une meilleure acceptation du risque, mais aussi une illusion de prédictibilité et de stabilité qui conduit parfois au refus d'évacuer des zones à risque (Weiss *et al.,* 2011). De nombreux liens existent entre l'eau, les populations et le territoire, et les inondations jouent un rôle central (Langumier, 2008). Parmi les approches qui semblent les plus opérantes, le degré d'implication des acteurs locaux reste d'ailleurs une première clé d'analyse (**exemple 5**), évaluée par exemple par la capacité de mobilisation des individus pour la mise en œuvre d'une « solidarité de bassin » réellement effective (**figure 9.2.**), et le degré d'ouverture des espaces de concertation, qui crée des espaces d'échanges.

EXEMPLE 5. Quatre modes de participation peuvent être distingués (**figure 9.2.**) : l'information, la consultation, la concertation et la négociation (Scarwell et Laganier, 2004). Les deux premiers s'inscrivent dans le cadre d'un débat public ; ils touchent un assez grand nombre de personnes, mais restent fondés sur un mode de relations unilatérales. Souvent, une institution (l'État) présente ou demande un avis qui ne changera la décision finale que de façon marginale. Les deux autres modes laissent une place plus grande à l'échange des différents points de vue et à la définition collective de projets. Les degrés de partenariat et d'implication sont alors plus élevés.

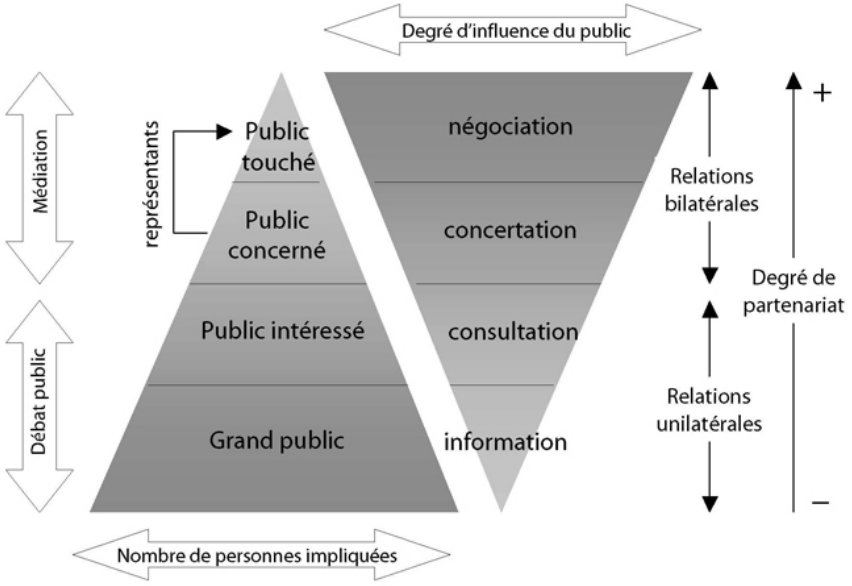


Figure 9.2. Les différents modes de participation du public (in Scarwell et Laganier, 2004)

Les rapports dialogiques fondés sur l'expertise mettent par ailleurs en lumière une asymétrie intrinsèque en termes de ressources mobilisables, que celles-ci soient scientifiques, temporelles ou sociales (Gisclard, 2017). Dans les faits, l'individu est peu convié à prendre part à la gestion du risque, en dehors d'un registre qui relève d'un mode opératoire plus « informatif » que réellement participatif ou délibératif. Le danger est alors de désintéresser, voire de marginaliser encore plus les citoyens, en renforçant les liens entre le pouvoir et les groupes sociaux dominants. Bien que l'on ne puisse pas généraliser, la perception par le public d'un « simulacre » de démocratie participative est confortée par le fait que les véritables décideurs avec lesquels les échanges s'établissent ne sont pas présents (Gourgues, 2015). Les espoirs qui naissent de cette invitation à participer sont régulièrement déçus et elles entraînent, par « effet boomerang », de nombreuses frustrations. C'est d'ailleurs toujours le cas lors de l'établissement du PPRI : le public n'est pas convié dans les processus d'élaboration du premier document, qui est alors considéré comme imposé « par le haut » (Douvinet *et al*., 2011).

L'un des autres enjeux est d'inscrire ces actions dans la durée. Toutefois, le surgissement des inondations, par nature aléatoire, les relègue vite à l'arrière-plan des préoccupations quotidiennes des individus (Gisclard *et al*., 2017). L'animation et l'entretien d'une action reposent sur du volontariat et du bénévolat et par conséquent, cette action doit s'impulser, s'accompagner, et ne peut résulter d'une unique injonction institutionnelle. Deux rapports (IGA, 2012 ; Bazin et Malet, 2016) soulignent d'ailleurs la tendance actuelle à la « volatilité » (i.e on s'investit moins longtemps et on change plus vite), et au manque perçu de reconnaissance par les pouvoirs publics du travail conséquent, voire dans certains cas, indispensable, des bénévoles quels que soient les secteurs et les conditions d'exercice.

9.2.2. Une réceptabilité de l'alerte inégale aux échelles locales

Dans une étude complémentaire, nous avons tenté d'évaluer le potentiel de réception de l'offre (que nous appellerons la réceptabilité). L'idée était de mesurer l'appropriation des outils par différents publics, pour ne pas se cantonner à une évaluation de l'offre d'un point de vue uniquement technique (Lindsay, 2011 ; Beccerra *et al.,* 2013), mais également pour savoir si d'autres facteurs de blocage pouvaient empêcher la participation des citoyens dans ce domaine. Les moyens d'alerte doivent être appropriés par l'ensemble d'une communauté, et pas seulement par un ou deux individus, au risque sinon de provoquer des doutes ou de l'incompréhension quant à l'utilité même du processus d'alerte, voire de la réactance chez l'ensemble d'une population. Ces accommodements, dont les fondements ont été établis dans divers travaux (Beucher, 2007 ; Reghezza-Zitt, 2015 ; Gisclard, 2017), impliquent de faire des compromis entre l'État, l'administration, les élus et la population. Les choix doivent aussi être validés publiquement et collectivement, et être plus transparents et plus clairs.

Cette proposition rejoint les injonctions régulièrement faites aux citoyens, à qui on demande une plus grande implication face aux risques (Gisclard, 2017). L'implication du public a été renforcée à travers la *Convention d'Aarhus* (1998), qui impose le recours aux concertations citoyennes dans les actions publiques, à travers la *Directive Européenne Inondation* (avec ses différentes déclinaisons aux échelles nationales) par exemple. Elle entre aussi en résonance avec le contexte de crise des finances publiques, par lequel l'État justifie allègrement son retrait et le transfert de plus en plus important de ses compétences vers l'échelon local.

Dans la pratique, l'adhésion à ce discours reste cependant sujette à caution :
1) les fondements de l'implication citoyenne sont très rarement explicités (quel est leur poids dans la décision finale de l'offre ? La réponse est évidente pour moi : aucun !) ;
2) on considère les individus comme des victimes, plus que comme des acteurs en puissance, ces derniers étant dans une attitude attentiste vis-à-vis de leurs institutions (Ledoux, 2005) ;
3) la participation publique se cantonne souvent à écouter les « plaintes » de certains, et elles mobilisent peu de monde, en particulier sur la question du risque inondation ;
4) les institutions ont posé les bases d'une démarche en apparence de concertation, mais sa vocation est plus dans la monstration que dans son réel accomplissement (Peltier, 2008).

Cependant, pour démontrer les apports d'une telle démarche, on peut reprendre les résultats obtenus lors de différentes enquêtes. Si les contextes varient, et si la représentativité de l'échantillon n'a pas été recherchée, tous les questionnaires ont eu, comme question commune, de demander aux interrogés leur avis concernant différents outils d'alerte. A La-Londe-les-Maures (commune touchée par deux crues rapides en 2014), 88 personnes sur 155 (56 %) estiment qu'elles aimeraient recevoir une alerte sur leur smartphone, tandis que ce chiffre est plus faible à Ménerbes (67 réponses sur 224, soit 30 %) ou à Sablet (48 réponses sur 222, soit 21 %), deux communes rurales où aucun événement dramatique n'est survenu au cours des trente dernières années, et où l'âge moyen de la population interrogée est plus élevée (46,5 ans et 48,7 ans, contre 37,8 an à La-Londe-les-Maures). A Mérindol (**figure 9.3.**), commune située le long de la Durance, mais inondée par des ruissellements le 23 août 1984 et le 26 août 1986 en provenance des versants sud du Luberon, 167 personnes déclarent avoir un smartphone, mais seulement 14 solliciteraient les RSN en cas d'alerte (**exemple 6**).

A Goudargues, commune rurale située dans le Gard, fortement impactée par les inondations du Gardon survenues les 8 et 9 septembre 2002, 53 % des enquêtés déclarent qu'ils possèdent un smartphone, mais 54 % indiquent avoir des problèmes de connexion Internet (**figure 5.2.**, p. 104). En cas d'alerte, 140 personnes sur 227 (soit 62 %) déclarent principalement faire confiance au maire sans qu'aucun outil ne soit prioritaire, confirmant un rapport situationnel singulier avec les élus en contexte rural (Gisclard, 2017). Quand les pluies sont intenses, 36 % des interrogés déclarent consulter le site internet *Vigicrues* à Goudargues, contre seulement 10 % à Sauve ou 15 % à Mérindol. A Mérindol et à Sablet, 32 % et 37 % des interrogés déclarent aller chercher de l'information chez leurs voisins en cas d'alerte aux inondations, et 28 % et 31 % ne se sentent pas en sécurité, contre seulement 12,3 % à Goudargues. Ce chiffre est même encore plus faible à La-Londe-les-Maures car 6,7% des interrogés déclarent qu'ils penseraient aller voir leurs voisins. Si ce constat doit être utilisé avec précaution, il est toutefois à mettre en relation avec d'autres travaux (Bertrand, 2014), qui démontrent que la cohésion sociale est plus forte dans les communes rurales qu'en ville.

EXEMPLE 6. Suite à l'enquête menée en 2016-2017 dans plusieurs communes du Vaucluse, les résultats ont été cartographiés en créant une maille de 100 m. de côté (pour protéger l'anonymat des répondants) et les résultats apportent plusieurs informations. Sur la commune de Mérindol (**figure 9.3.**), les personnes déclarant posséder un smartphone sont réparties de façon relativement homogène dans l'espace, mais elles seraient peu enclines à se connecter en cas d'alerte sur leur RSN (6,2 %) ou à lancer une application smartphone dédiée (12,3%). On voit surtout que des différences existent localement, notamment dans le centre ancien du village (cercles figurés en blanc) : avoir un smartphone et l'utiliser au quotidien n'est pas gage d'une utilisation potentielle en cas d'alerte, et ces premiers résultats, qui sont erronés si on se limite à leur représentativité, nous confortent néanmoins dans l'idée que le potentiel de ces outils est surestimé (cf. chapitre 6).

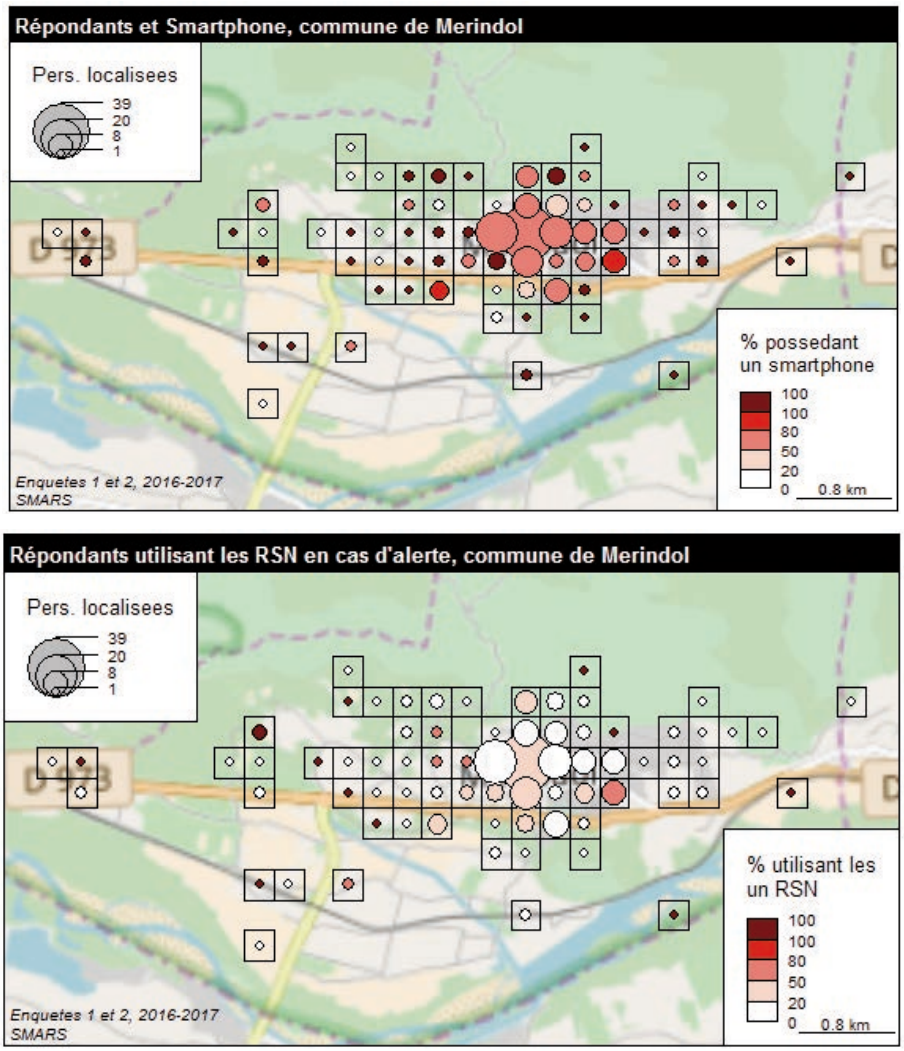


Figure 9.3. Cartographie des réponses obtenues à Mérindol (Master I de M.Coulomb©, 2017).

Il n'est pas nécessaire de poursuivre la comparaison avec d'autres communes : les demandes fluctuent selon l'échantillon collecté, le vécu des individus, leur histoire de vie, leur réception de l'alerte, leur connaissance des inondations sur leur territoire, mais aussi selon les outils de communication ou de vulgarisation mis en œuvre par la commune en lien ou non avec les services de l'État. En revanche, ces résultats, qui sont similaires en dehors de la France (**exemples 7 et 8**), confortent l'idée qu'il est vain de déployer des moyens techniques sans prendre le temps de savoir si leur utilité sera réelle (ou non). Si elle ne répond nullement aux besoins des futurs utilisateurs, une solution idéale conduira dans tous les cas, à un « flop », et il faut donc éviter de reproduire les mêmes erreurs.

EXEMPLE 7. Dans son étude menée en Italie du Nord auprès de 648 personnes, Garcia (2012) montre que la population interrogée pense que le système d'alerte les avertira suffisamment en avance pour qu'elle puisse échapper aux dommages, sans tenir compte de la dimension ou des caractéristiques d'un événement à venir. Cela correspond bien à la délégation de responsabilité aux autorités qui sont censées gérer la situation d'urgence sans l'implication de la population. Cependant, les personnes interrogées sont conscientes de leur manque de préparation, et font preuve d'un intérêt pour améliorer leur connaissance et pour participer plus activement aux efforts de réduction de risques en cas de catastrophe. Des résultats similaires ont aussi été obtenus dans l'étude de De Marchi *et al.* (2007), mené dans la région du Trentin-Haut-Adige dans le nord de l'Italie. Le Trentin est une région à l'histoire significative par rapport aux inondations, où, malgré les systèmes d'alertes officiels, seule une proportion mineure de la population sait comment réagir lorsqu'une alerte est reçue.

EXEMPLE 8. Dans son autre étude cherchant à comparer les sources utilisées par les habitants de Denver, dans l'État du Colorado, et à Austin, au Texas (Hayden et al., 2007), en cas de crues rapides, les résultats montrent que les habitants de Denver préfèrent les sirènes, alors que les habitants d'Austin préfèrent les sirènes, la radio et les télévisions locales. A Boulder, en Californie, la disponibilité de l'offre a aussi été quantifiée (Larzus et al., 2016) : dans cette ville, les habitants considèrent que la télévision (85%), puis les sirènes (77%), la radio (58%) et Internet (54%), sont les vecteurs d'alerte les plus à même de les alerter.

9.3. Des pistes de recherche à empiriciser à long terme

Si l'on tient compte des inégalités dans la réceptabilité de l'alerte et de la fragilité des initiatives citoyennes, il convient alors d'accepter l'idée suivante : il est illusoire de vouloir alerter tout le monde ! Ce constat, inaudible pour les autorités compétentes à cause de leur devoir d'alerte qui doit s'appliquer sans distinction et de manière équivalente à tous les individus, me paraît néanmoins justifié :

1) les demandes des individus sont disparates selon leur appropriation du territoire et selon la temporalité du risque (en dehors de la crise, pendant l'alerte ou après des dommages) ;

2) chaque personne, chaque groupe, chaque organisation développe des formes de vigilance et d'alerte liée à ses activités (Chateauraynaud et Torny, 1999) ;

3) les priorités quotidiennes des individus ne sont pas celles des risques (et heureusement). C'est d'ailleurs dans cette direction que je souhaite poursuivre mes travaux.

9.3.1. A la recherche d'un « seuil minimum de personnes à alerter »

Une première piste exploratoire proposée est la suivante : est-il possible d'identifier un « seuil minimum de personnes » à alerter, pour en maximiser les effets à l'échelle des territoires ? Si oui, sur quels critères pourrait-on « identifier » ou « sélectionner » ces individus à alerter ?

En cas d'inondation, on peut compter sur les effets de contingences locales et de mimétismes entre les habitants, qui connaissent leur territoire (Wilson, 2006 ; Gisclard, 2017 ; Ryan, 2018), et qui ont des lieux sociaux avec d'autres individus pour de multiples raisons : l'école, la vie associative et les activités sportives par exemple. Plusieurs études (Parker *et al.,* 2009 ; Lindell et Perry, 2012) ont aussi démontré que les individus qui ne comprennent pas un danger en cours ont tendance à dupliquer « ce que font les autres », sans forcément à en chercher les fondements. Au début des années 1990, Mileti et O'Brien (1992) ont d'ailleurs formalisé le processus comportemental individuel (qui prévaut en cas de catastrophes naturelles) en six étapes : **1**) réception d'une alerte ; **2)** attribution d'un degré

de confiance au signal compris ; **3)** personnalisation du signal ; **4)** définition de l'action de protection individuelle nécessaire ; **5)** étude de faisabilité (est-ce que cette action est réalisable ?) ; **6**) décision d'agir (action réelle). La confiance accordée aux voisins intervient à la deuxième étape du processus : une fois qu'un individu entend l'alerte, il va comparer la situation par rapport à des événements qu'il a vécus, sur le territoire où il est exposé, qu'il y passe quelques jours (pendant ses vacances) ou s'il y vit depuis plusieurs années. Puis il va en discuter avec son entourage et à son réseau social, d'autant plus si le danger dépasse sa compréhension (Kuligowski, 2011 ; Ryan, 2018).

Lors d'un travail de simulation précédent (Salze *et al.,* 2014), nous avons d'ailleurs cherché à simuler ces effets de contingence et de mimétisme entre les individus en utilisant des outils de géo-simulation (cf. chapitre 2). L'idée de ce travail exploratoire, mené dans le cadre de l'école thématique CNRS MAPS en 2010, était de savoir si on pouvait déterminer un « seuil minimum » pour que des personnes informées puissent influencer des « non informés ». Pour cela, un Système Multi-Agents, dénommé ToxiCity©, a été conçu (**figure 9.4.**) et testé en jouant sur divers paramétrages. Le seuil de 30% d'informés apparaît comme un seuil décisif sur les chances de survie simulés, en lien avec la configuration du maillage. En passant par les mêmes outils de simulation, d'autres ont montré que :

1) le temps d'évacuation en cas d'incendie dans un bâtiment est très corrélé au nombre de sorties de secours, et que la vitesse de propagation spatiale de cet incendie est un facteur déterminent sur le nombre de décès (Kasereka *et al*., 2017) ;

2) en cas d'alerte « tsunami », les premières victimes dans l'Est du Japon apparaissaient à partir de 55 minutes et lorsque le niveau d'eau est supérieur à 0,85 m. (Mas *et al*., 2012) ;

D'autres retours d'expérience ont même confirmé qu'une seule personne pouvait, à elle seule et même en cas d'alerte brève, sauver un maximum de personnes (**exemple 10**).

EXEMPLE 9. L'objectif du modèle *ToxiCity©* était de déterminer si un nombre minimum d'agents informés (qui suivent les consignes de sécurité) pouvaient sauver un maximum d'agents (non informés et influençables). Les simulations ont mis en évidence le fait que le nombre initial d'agents et la configuration de la grille influencent grandement les taux de survie simulés. Un effet non-linéaire est même apparu : le taux de survie a tendance à augmenter lorsque la proportion d'agents bien informés est faible (en-dessous de 30 %), alors qu'un pourcentage croissant d'agents informés (au-dessus de 70 %) améliore peu les chances de survie. La configuration spatiale joue aussi un rôle sur les taux de survie : un environnement choisi aléatoirement a tendance à sauver un peu plus les agents influençables et non informés, tandis qu'une structure régulière est favorable aux agents qui continuent leur activité et qui ne prennent pas conscience de la diffusion spatiale du nuage (**figure 8.13.**).

EXEMPLE 10. Dans leur article, Clinton *et al* (2005) montrent qu'une touriste de 14 ans, hébergée à Phuket, en Thaïlande, a reconnu le tsunami qui aller arriver, en identifiant le retrait de la mer et le bruit entendu au loin. Elle a alerté ses parents, puis d'autres personnes présentes le long du littoral, et elle a probablement sauvé d'une « mort certaine » plus de 100 personnes. Elle déclare avoir identifié les caractéristiques du tsunami grâce aux cours qu'elle venait d'avoir eu en classe, ce qui conforte la nécessité de l'éducation et de la formation.

Il faudrait donc réinvestir ce domaine de la géosimulation, en adaptant les plateformes créées (Toxicity ou Flood-Up) et en choisissant des situations peut être un peu plus réalistes. L'avantage des outils de modélisation est qu'ils sont faciles à comprendre et à implémenter et on peut tester différentes hypothèses, voire jouer avec différentes conditions initiales, sans dépendre de protocoles lourds à mettre en place. En poursuivant dans cette voix, on pourrait utiliser de nouvelles solutions techniques (comme les caméras 3D, ou les drones) pour observer les comportements en cas de crise ou lors des exercices d'entraînement (dans la rue ou dans un espace confiné par exemple), faire du *tracking* des individus, ..., pour essayer *in fine* de mieux quantifier ce « seuil minimum ».

9.3.2. Des « citoyens-capteurs » aux « citoyens-connectés » : les SmartCitizens

Dans le contexte actuel de crise des finances publiques, sur lequel l'État justifie allègrement son retrait et le transfert de plus en plus important de ses compétences vers l'échelon local (& 8.3.1), l'auto-organisation des communautés est un processus émergent aux échelles locales qui intéressent de plus en plus les chercheurs, et qui questionne le concept d' « innovation sociale » (Gisclard, 2017).

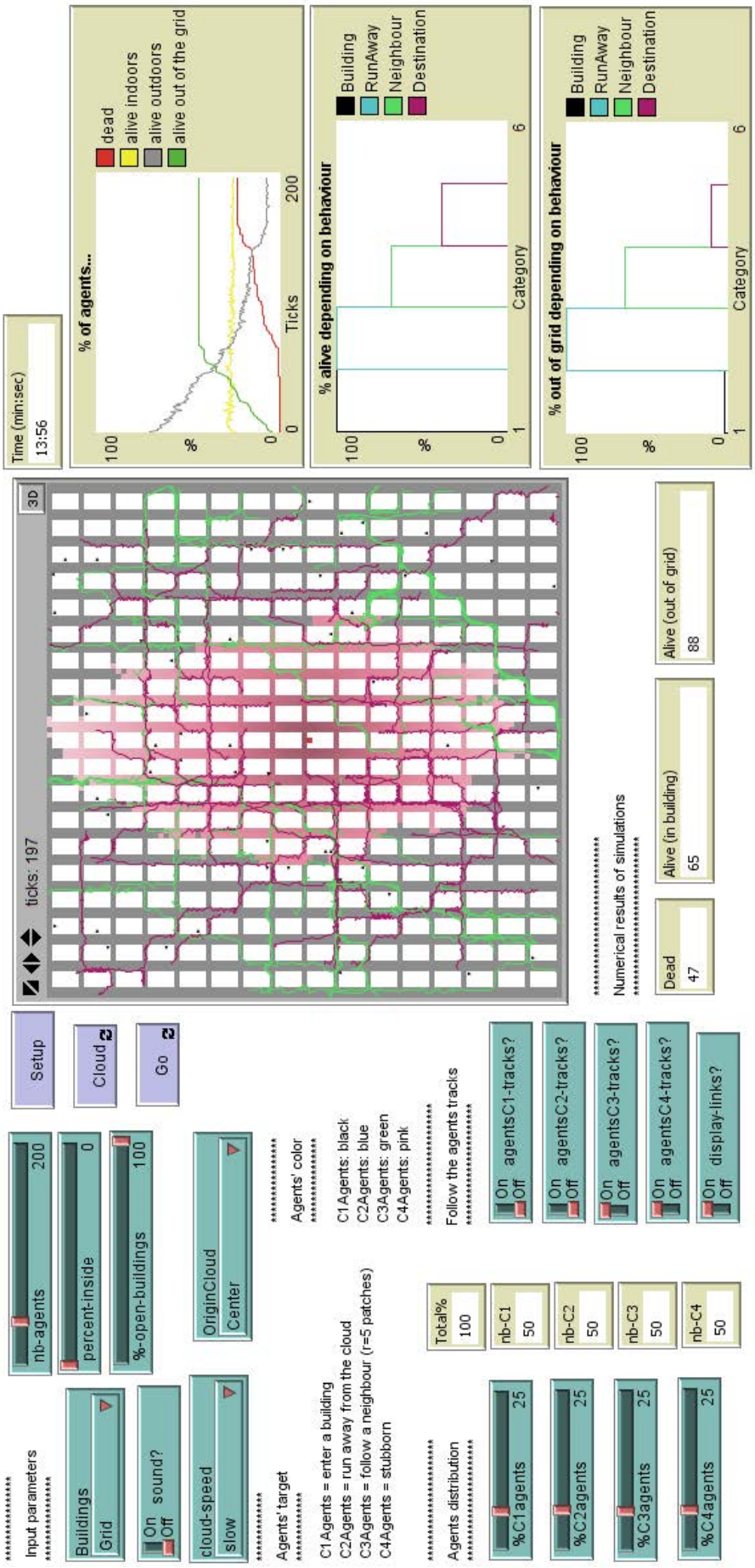


Figure 9.4. Interface graphique du modèle *ToxiCity*© (Salze *et al.,* 2014)

Celle-ci est souvent mise en place pour des questions de solidarité, et elle mobilise les acteurs d'une façon nouvelle, tout en assurant des services pour accroître la qualité de vie des collectivités, ou des citoyens (Klein et Harrisson, 2010). Cette terminologie peut recouvrir des réalités diverses quant à leur nature ou les changements visés ou les processus (Cloutier, 2003 ; Richez-Battesti *et al.,* 2012). Le territoire, en tant que contexte géographique, est aussi perçu comme milieu innovateur (Lacquement et Quéva, 2016), car il influence les formes de mise en réseaux des acteurs locaux (Laville, 2014).

L'arrivée du numérique autorise également de nouvelles formes d'intégration du public et des expertises citoyennes, qui sont en pleine émergence depuis une dizaine d'années. Les chapitres 4 et 5 ont été l'occasion d'en présenter quelques-unes, et d'autres exemples ont été recensés lors de l'état des lieux sur les outils d'alerte existant ailleurs, à l'image des initiatives lancées à Boston *(« Adopt-an-hydrant »*), ou à Honolulu *(« Adopt-a-siren »*). Ces « services publics d'urgence augmentée » (pour reprendre une expression de D. Maillefaut) et cette tendance à impliquer les citoyens comme capteurs émergent à grande vitesse (Smith *et al*, 2015) et dans différents domaines : la pollution atmosphérique (Sivaraman *et al.*, 2013 ; Duché et Madelin, 2015), à l'image du projet *AirCitizen* développé en France depuis 2015 ; la contamination par divers polluants (avec le projet *CommonSense* ou *MAQUMON*) ; la qualité des sols ; la propagation de maladie du type pandémie grippale… Des associations sollicitent également les citoyens pour qu'ils nettoient les bouches d'évacuation des eaux pluviales, et pour que les déchets et les feuilles mortes n'altèrent pas leur fonctionnement en cas de fortes pluies *(« Adopt-a-drain »*). Des applications smartphone sont par ailleurs apparues pour que les citoyens formés soient en mesure d'apporter leur aide en situation d'arrêt cardiaque (*Stayinalive©, ou Sauvlife*©), voire qu'ils fournissent des images aux secouristes avant leurs premières interventions (*PermisdeSauver*©).

Dans le domaine des inondations, les citoyens sont incités, de manière spécifique, à améliorer les connaissances sur les pluies, la grêle ou la hauteur de la neige, comme par exemple dans le projet *CoCoRaHS*, aux Etats-Unis (http://www.cocorahs.org/), dans la plateforme mutualisée entre les pays membres du *CommonWealth* (http://wow.metoffice.gov.uk) ou à l'échelle mondiale avec le programme *Echo Daily Flash* issu de la Commission Européenne (http://erccportal.jrd.ec.europa.eu/ECHO-Flash). Les citoyens sont aussi incités à envoyer différentes informations *in situ* pour calibrer et valider certains modèles de prévisions (*e.g* Pocock *et al.,* 2014 ; Follett et Strezov, 2015). Mais rares (exceptées celles précédemment présentées) sont les initiatives qui portent sur l'alerte aux crues rapides : l'implication des citoyens dans ce domaine est limitée car les citoyens renvoient une telle compétence aux autorités (Wehn *et al.,* 2015) ; ils sont sollicités uniquement à la suite d'une inondation remarquable (**exemple 11**) ; certains scientifiques sont réticents à l'idée d'utiliser des données venant de « profanes » (Barthel *et al*., 2016). Aucune application smartphone n'existe d'ailleurs à l'échelle d'un bassin versant.

EXEMPLE 11. A Duncaster, ville de 320 000 habitants localisée dans le sud du comté de Yorkshire (Angleterre), les citoyens sont considérés par la municipalité (DBMC *Duncaster Metropolitan Borough Council*) comme « leurs yeux et leurs oreilles sur le terrain ». Dans ce pays, les autorités restent compétentes dans le domaine de l'alerte, encadrée par le *Civil Contingencies Act* (2004) et le *Local Government Act* (2000), mais suite aux inondations du 26 juin 2007, la ville a décidé d'impliquer en amont des décisions les citoyens, en interagissant pro-activement avec les conseils de paroisse et en créant un réseau de « voisins vigilants » ("floods wardens"), une communauté volontaire qui leur indiquent les perturbations éventuelles en cas de futures inondations (Wehn et Evers, 2015).

Toutes ces approches numériques « hors-cadre » sont intéressantes :
1) Elles offrent l'occasion de sortir des cadres préétablis dans les plans de gestion d'urgence et de gestion de crise (type PCS), qui ne tiennent pas toujours compte de l'imprévisible.
2) Elles permettent de déroger aux routines, tout en pouvant compenser l'effondrement des cadres ou des structures prévus à l'avance (Lagadec, 2015).
3) À partir du moment où l'individu peut rattacher un savoir profane (risque inondation) et des préoccupations locales (son lieu de vie), il semblerait qu'il puisse se saisir des opportunités qui lui sont offertes pour agir concrètement (Sen, 1992). A cet égard, certains proposent de partir d'un socle tout à fait modeste de « mini-publics » (Fung, 2006) et de tirer profit des réseaux d'acteurs en local pour une plus grande efficacité pratique.

Peu à peu, la figure emblématique du « citoyen-capteur » (Goodchild, 2007), évolue vers un « citoyen connecté » : jusqu'alors considéré comme le récepteur actif, « expert » ou « sachant », celui-ci devient encore plus actif sur les réseaux numériques, car considéré comme un « expert en usage » et pouvant agir « à distance ». Les apports se situent à deux niveaux (Gisclard, 2017). Le premier est une meilleure acceptation de l'alerte, l'engagement des contributeurs dans le projet étant un ressort psychologique efficace et valide (Joule et Beauvois, 1998). Le second est la valorisation des capacités d'action par une approche habilitante (Manzini, 2015), et une conscientisation de la responsabilité personnelle et collective (Mazin et Madet, 2006).

Bien qu'il soit plus rassurant de s'appuyer sur des modèles techniques et technologiques pour tenter d'alerter la population, plutôt que de se confronter à la pesanteur du social et de faire confiance à l'individu, par essence insaisissable, il existe finalement un potentiel qui, jusqu'à présent, a été sous-exploité (ou minimisé) chez les habitants « connectés », et il semble pertinent de le prendre en compte (Gisclard *et al*., 2018), en particulier pour consolider leur implication, et pour renforcer les liens qu'ils peuvent avoir avec les services de secours ou les autorités.

9.3.3. Trouver des façons différentes de communiquer l'alerte

Même sur les RSN (cf. chapitre 5), il est compliqué de trouver les vecteurs les plus performants et de sensibiliser les individus connectés avec le bon message. On peut diffuser une alerte, ou publier une information importante pour nous, chercheurs, mais elle sera considérée comme « inutile » pour les citoyens, à l'image par exemple de la cartographie du ruissellement qui est désormais accessible sur un site internet, et qui couvre l'ensemble de la Suisse (**figure 9.5.**) depuis le 20 août 2018. Cette information a été relayée et diffusée sur *Twitter©*, mais ces données restent sans doute peu connues. Or, comment construire un public "followers" et diffuser une alerte avec un *"one shot"* ?

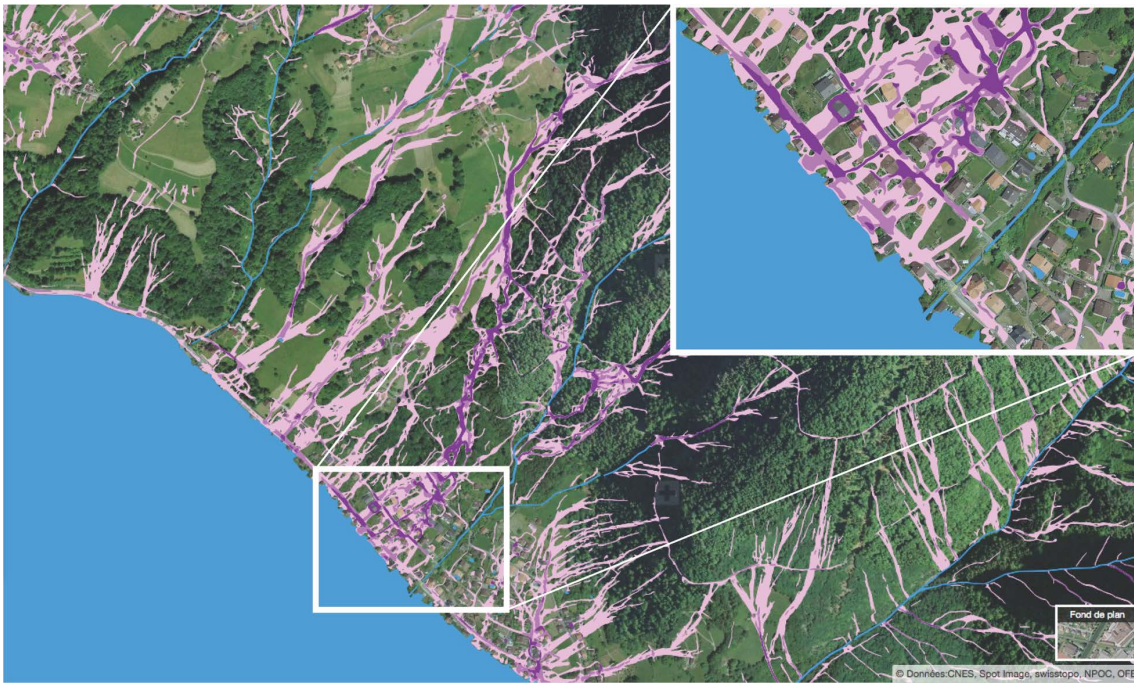


Figure 9.5. Zoom montrant la précision de la cartographie du ruissellement rendue publique sur un site web (http:///www.map.geo.admin.ch) en Suisse le 20 août 2018

« Une bonne image vaut mieux qu'un long discours » (**exemple 12**). Plusieurs chercheurs se sont d'ailleurs appropriés cette philosophie (Minty, 2006 ; Carley *et al*, 2016). Depuis quelques années, nous travaillons nous aussi sur cette question, en exploitant notamment la voix des bandes dessinées

(projet Comics-Flash-Floods financé en 2017), et dans cette optique, nous allons poursuivre le travail de conception en collaborant avec l'association *TheInkLink.* Nous avons ainsi pour ambition de :

1) publier une page hebdomadaire sur un sujet lié à l'alerte pendant plusieurs semaines ;
2) scénariser plusieurs pages autour d'un film ou d'un super héros
3) développer des messages humoristiques et décalés pour stimuler les réactions ;
4) diversifier les auteurs et les formats pour toucher des publics variés...

EXEMPLE 12. On peut notamment citer le succès de la bande dessinée de P. Bagieu, auteur du blog Ma vie est tout à fait fascinante. Le 16 novembre 2016, elle a diffusé une bande dessinée pour expliquer le chalutage profond et les dangers portés sur l'environnement, avec des dessins à gros traits et rigolos. Likée près de 60.000 fois sur Facebook, la BD est venu renforcé une pétition lancée par l'association Bloom et a permis d'aboutir à une réglementation sur le chalutage en eau profonde en juin 2016.

Dans cette optique, je souhaite investir le champ de la *« nudge theory ».* Ce concept, issu des sciences du comportement, de la théorie politique et de l'économie, sous-entend que des suggestions indirectes peuvent, sans forcer, influencer les motivations et inciter à la prise de décision des groupes et des individus, au moins de façon plus efficace que l'instruction directe, la législation, ou l'exécution, auxquelles on pourrait logiquement associer l'injonction réglementaire. Quelques travaux (Terpstra *et al.*, 2014), ont démontré l'apport de cette approche dans le domaine du risque inondation. Il faut alors faire avancer les protocoles méthodologiques et les fondements de ce champ, qui pourrait amener un regard différent sur les messages d'alerte (aussi bien dans leurs caractéristiques de fond et de forme, que du point de vue cognitif et comportemental), et reconnaître l'importance des savoirs émanant des dires d'expert et des « sachants », avec un transfert de l'information qui doit aller du bas vers le haut (i.e dans une logique ascendante). Les méthodes et les outils développés permettraient aussi d'étudier les conditions d'émergence de réseaux de « voisins vigilants », du type sentinelles.

9.3.4. Accompagner un changement de paradigme dans la gestion de crise

Les systèmes d'alerte automatisés ne prennent pas en en compte les scénarios inconnus ou imprévisibles, et ils ne considèrent pas plus la polymorphie des aléas, ni les effets dominos entre les risques. A cet égard, la catastrophe de Fukushima (en 2011) a relancé un certain nombre d'études en France, en particulier sur la survenue possible d'un tel scénario sur les centrales nucléaires, dont plus des ¾ sont en partie en zone inondable, et qui n'ont pas toutes intégrées les risques liés à des ruptures de barrages ou à l'obturation des filtres des canalisations qui servent à refroidir les circuits hydrauliques par exemple. Ces systèmes d'alerte ne doivent pas être trop technicistes (comme déjà vus à plusieurs reprises). Or, pour le moment, la diversité des publics, la communication avec toutes les parties prenantes dès le début de la crise, ou la perception sont des facteurs laissés aux « oubliettes ». L'ensemble des données connues à un instant *t* peuvent aussi être rapidement dépassées, ou insuffisantes, voire être en décalage avec une situation nouvelle quelques instants plus tard, ce qui impose des mises à jour régulières, continues, donc chronophages.

La gestion d'une crise en cours peut être mise à mal par la complexité inconnue de la situation, comme celle générée par une tornade jamais survenue jusqu'alors (**exemple 13**). Or, toutes les crises ne sont pas analogues, même au sein d'un même territoire. Les réseaux sociaux ne peuvent pas non plus être réduits à des algorithmes pour s'entraîner à la gestion de crise. En se fondant sur des logiciels qui simplifient la réalité, le gestionnaire peut aussi manquait de créativité et ne pas mesurer les effets des changements qui s'opèrent dans la société. On rejoint ici les idées défendues par Lagadec (2015), qui prône la nécessité de sortir du « prêt à penser », et qui développe l'idée qu'une situation de crise devrait être gérée à partir d'une page blanche. On peut aussi faire un lien avec les idées avancées par Morin (2005), qui indique que l'incertitude est le propre de la crise. Aussi, l'innovation doit à la fois être technologique (elle l'est) et structurelle (elle tend à le devenir), mais également organisationnelle (on en est loin) et sociale (aie !). Il faut alors accompagner ce changement de paradigme, qui propose de s'informer tout en communiquant, d'analyser tout en décidant, d'évaluer pendant l'action...

EXEMPLE 13. Les exemples d'épisodes non prévus, non anticipables et inconnus jusqu'alors, ne manquent pas. La tornade survenue à 22h30 dans l'Avesnois le 3 août 2008 (et qui a duré 3 minutes) l'illustre parfaitement. Cet événement, qui a fait 4 victimes (3 décès directs et un suicide devant l'ampleur des sinistres), est la tornade la plus dévastatrice survenue en France métropolitaine depuis 1982, tant sur le plan matériel qu'humain. La tornade a parcouru une distance de 18 km, avec une intensité fluctuante dans l'espace et dans le temps. Selon Keraunos, l'intensité maximale a été atteinte à Boussière-sur-Sambre et Haumont, avec une classification au niveau EF4 sur l'échelle améliorée de Fujita (§7.2.1). Elle s'est formée au sein d'une supercellule à tendance linéaire. Cette date a trouvé un important écho dans la presse régionale et locale, et pourtant elle ne fait pas partie des exercices de gestion de crise du département, et elle est partiellement évoquée dans le PCS de la commune d'Haumont.

Au final, il ne s'agit pas pour les autorités de faire en fonction de ce que veulent les individus. Il faut agir et communiquer « sans fard », de façon à ce que des habitants concernés et exposés à un danger n'aient pas le temps de se poser de questions (d'autant que ces interrogations traduisent une inquiétude de leur part à cause du manque d'information). Il faut également éviter d'accroître les écarts entre un haut niveau de technicité (dans la modélisation des événements, dans l'estimation des biens exposés, dans le calcul des impacts potentiels), et la faiblesse des exercices ou des actions concrètes impliquant la population, qui doit se sentir écouter pour s'engager (Ledoux, 2017).

9.4. Quels grands principes retenir à l'avenir ?

Un système inégalitaire à assumer

Il faut admettre qu'il est impossible d'alerter l'ensemble d'une population dans sa globalité, en dépit du devoir et du rôle qu'ont les autorités sur ce point. Ce principe reste inaudible en l'état car cela remet en cause un principe régalien très ancré en France. Mais la distribution des sirènes, l'accès aux moyens d'alerte ou la compréhension des phénomènes en jeu, génèrent de toute façon des inégalités, qui sont spatiales et sociales. Alors que le Directeur des Opérations de secours (DO) a une obligation de résultats, et que les autres services répondent à une obligation de moyens, il est aussi faux de dire que si les individus ne comprennent pas les messages officiels envoyés, c'est de leur faute, puisque l'offre n'est, dans les faits, pas distribués partout ni pour tous !

Un seuil minimum de population alertée à chercher

Il faut alors se mettre d'accord sur le seuil minimum d'individus à alerter, et les préparer à tout type de crise en priorité, pour compter ensuite sur les effets de mimétisme et de contingences locales, qui sont des comportements avérés en cas de catastrophes naturelles. Ce constat permet cette fois-ci, de manière très paradoxale, de dédouaner les autorités : l'offre ne peut pas être déployée partout (il faudrait pour rappel, 2 117 sirènes pour couvrir les 593 048 habitants du Vaucluse avec une porte sonore théorique d'1 km...). Il faut donc assumer ses choix et ses partis pris, plutôt que vouloir plaire à tout le monde ou à tous les prestataires, au risque sinon de produire une alerte « aseptisée ».

Une alerte authentifiable et comprise

Un individu doit être capable d'authentifier les sources et faire confiance aux signaux envoyés, pour accroître sa mobilisation en cas de crise mais aussi pour éviter les conséquences d'une mauvaise activation d'un outil (comme l'envoi d'un SMS indiquant une menace aérienne à Hawaï le 12 janvier 2018), ou pour accepter un nombre élevé de « fausses alertes ». Si une personne accorde son crédit aux élus, aux médias ou aux RSN, il faut interagir avec elle en priorisant ce canal de communication, puis redonder les messages sur les autres vecteurs d'information de manière secondaire, quitte à être répétitif. Une offre multicanaux (§ 7.4.) est donc fortement plébiscitée. Il faut également privilégier les contenus, qui doivent prévaloir sur les contenants, et pour produire des contenus utiles et variés, il est évident que les attentes des publics doivent être considérées en amont du processus de diffusion.

Éduquer et sensibiliser les populations

Croire que les aléas ne peuvent arriver qu'aux autres et que le gouvernement est capable de nous alerter face à l'ensemble des dangers probables revient à négliger la complexité des aléas et les

difficultés inhérentes à leur prévision, à leur prédiction ou à leur anticipation. Cela suscite également de l'indifférence vis-à-vis des outils existants (constat avéré dans la partie II), voire un totale réactance face aux consignes de sécurité, qui ne seront alors pas appliquées car perçues comme inutiles. Aussi, il faut continuer à sensibiliser en continu, en faisant varier les publics variés et les territoires, et faire évoluer les prises de conscience pour que les comportements soient plus responsables.

Définir une stratégie globale et avoir une vision à long terme

Le centre de décision unique (cf. chapitre 7) n'a pas une tâche facile : il doit garder le cap qu'il s'est fixé, tout en s'adaptant en permanence aux évolutions et aux différentes incertitudes (cf. chapitre 2). Garant de la cohérence des messages diffusés en cas d'alerte, ce centre doit aussi apprendre à lâcher prise à certains moments (autrement dit, ne pas tout contrôler), et faire confiance aux individus qui, en cas de danger sévère, se retrouveront peut-être tout seuls pour y faire face. Par conséquent, un système d'alerte doit être unique, coordonné, multicanaux, multi-aléas, mais aussi réactif, efficace, de qualité, adaptable et ancré sur les territoires. Tout un investissement donc, sur lequel les autorités et les différents services impliqués doivent mener une réflexion ensemble, et « pas à pas ».

9.5. Conclusions du chapitre 9

Complémentaire du précédent, ce chapitre (9) permet de tempérer l'utilité d'une rationalisation de l'offre uniquement vue sous un angle techniciste, voire sous un angle spatial. En effet, sans prendre en compte le potentiel de réceptabilité des individus ou leurs besoins, qui sont différents d'un territoire à un autre et qui peuvent évoluer selon le contexte social, économique ou technologique, il est illusoire de proposer une refonte opérante du système actuel. Même si les individus sont des acteurs qui sont relégués en arrière-plan des exercices d'entraînement et qui semblent trop labiles pour les institutions (cf. chapitre 1), il est temps de faire évoluer ces postures, tant le fossé se creuse de plus en plus, et à grande vitesse, entre tous les acteurs, qui semblent ne pas se comprendre.

La territorialisation de l'alerte, qui doit tenir compte du facteur humain, doit évidemment être poursuivi. Les protocoles manquent encore à ce stade de robustesse, et le sujet est surtout bien plus complexe qu'il ne l'a été présenté. D'autres facteurs, sociaux (la profession, la classe, la religion, le statut d'immigré, le handicap, le genre, l'âge), politiques (notamment le favoritisme pratiqué par les partis au pouvoir sur certaines solutions) ou économiques (la répartition des ressources) devront être intégrés pour tenter de circonscrire, du mieux possible, ces « territoires d'alerte ».

Ce constat m'amène aussi à me demander si les objectifs du processus d'alerte ne doivent pas être rediscutés de façon collective : est-ce que le signal d'alerte, doté d'une connotation négative, est vraiment une solution attendue par les individus ? Faut-il faire le choix de les laisser autonomes et de les responsabiliser sans la moindre intervention de l'État ? La voie du compromis est la plus sage, et pourtant, les décisions prises dans d'autres pays montrent des changements plus clairs (et parfois plus radicaux), et les populations savent désormais ce qui est fait (ou non) pour eux.

Synthèse et perspectives de recherche

Après avoir proposé une lecture critique du processus d'alerte dans les parties I et II, les réflexions menées dans cette partie m'ont permis d'explorer différentes solutions, qui pourraient permettre la refonte ou l'amélioration du système français actuel. Certains résultats sont encore au stade expérimental, mais des tendances fortes se dégagent : **1)** il faut absolument coupler les caractéristiques des territoires et des aléas considérés avec l'offre technique, car une solution matérielle ne peut pas être opérante si elle ne tient pas compte des attentes des publics visés. **2)** Il faut penser l'alerte différemment, ou autrement, au risque sinon de rester dans un certain conformisme et de maintenir des schémas de pensée classiques, qui sont devenues déconnectés des demandes sociales, en particulier face aux crues rapides.

Des solutions techniques en constante amélioration

Les outils d'alerte se sont considérablement améliorés au fil des années, notamment en s'ajustant à la métrique territoriale des aléas et à leur magnitude. Les aléas causant le plus de dommages sont ceux qui font l'objet d'une plus grande attention, et les progrès en la matière sont considérables, à l'image des alertes qui peuvent désormais être envoyées sur les smartphones en cas de séisme, avant même que les premières secousses ne soient ressenties par les populations dans les zones affectées par les ondes S. Ces progrès ont souvent été opérés après la survenue de catastrophes naturelles : le tsunami de 2004, qui a « détruit » la région de Banda Aceh au nord-ouest de l'île de Sumatra, a fait prendre conscience de l'exposition de nombreux individus sur les littoraux à une échelle internationale, et de nombreux systèmes ont été créés, coordonnés par l'UNESCO et déployés ensuite de manière spécifique à l'échelle nationale (le CENALT en France).

Les choix politiques jouent également un rôle déterminant dans ces évolutions : les décisions des autorités ont parfois conduit à révolutionner l'offre préexistante, à l'image de la Belgique ou des Pays-Bas (qui ont abandonné les sirènes), des États-Unis (qui ont mutualisé les dispositifs existants dans un système unique, IPAWS, en 2006) ou de l'Indonésie (où les RSN ont rapidement été appropriés par une partie de la population, à tel point que les autorités en tiennent compte dans leurs stratégies).

Ces progrès amènent à l'identification de grands principes techniques : pour gagner en efficacité, un « système » d'alerte, entendu comme la combinaison de différents outils, doit être interopérable, multi-canaux, multi-aléas, multi-services, et être piloté par un seul gestionnaire. En réponse à cette philosophie, des protocoles internationaux ont émergé ces dernières années (comme le CAP ou l'EWSM), et la France est en train de suivre la tendance, en modernisant son *Système d'Alerte et d'Information à la Population* (à travers le projet SAIP). La variabilité des délais d'alerte des aléas ou la spatialisation de la prévisibilité sont, en revanche, des éléments qui posent encore un certain nombre de problèmes.

Une nécessaire adaptation aux caractéristiques des territoires

Même si les progrès techniques sont indéniables, il faut toutefois ancrer l'alerte dans le territoire et éviter de proposer des solutions uniquement technicistes. Cela nous a amené à proposer des grands principes complémentaires aux précédents, qui sont plus à même de prendre en compte les différences en matière de compréhension sociale et de réceptabilité de l'offre. Comme rappelé à plusieurs reprises,

il faut que les individus connaissent les outils d'alerte, qu'ils les comprennent et se les approprient. Par conséquent, un système d'alerte doit aussi être maîtrisé et adaptable aux besoins des publics visés, qui sont présents à un instant *t* et dans un territoire donné, et être inscrit dans leur quotidien. Il faut également dépasser une vision isotropique de l'offre, qui s'appliquerait de façon uniforme dans les espaces couverts, alors qu'une telle approche prévaut chez la plupart des prestataires, qui ne pensent qu'à promouvoir leurs dispositifs et qui concourent à rendre les outils d'alerte bien peu lisibles.

Les expérimentations menées aux échelles locales me confortent encore un peu plus dans cette vision. Les individus sont des êtres labiles, *lax* et difficiles à cerner, que l'on ne peut cloisonner dans une seule entité sociale, tant ils renvoient à des caractéristiques variables et tant ils agissent selon différents facteurs en cas de crise. La territorialisation de l'alerte doit prendre en compte toute cette diversité, liée à des facteurs, sociaux, politiques, économiques, etc.., et s'y adapter, voire s'y ajuster, le plus vite possible. En l'état, les écarts se creusent entre les individus et les autorités en France, qui ne se comprennent pas, et il est temps de changer les postures de tous, en dépassent tout jugement ou les moindres *a priori*.

En exploitant tout le potentiel offert par l'innovation sociale, les démarches projet ou les initiatives citoyennes, déployées avec réussite dans le bassin de Brévenne-Turdine ou dans le cadre des Réserves Communales de Sécurité Civile (RCSC), sont les plus opérationnelles, car les habitants se sentent mieux concernés : ils s'impliquent individuellement et au nom de l'engagement collectif. Leur existence est aussi révélatrice d'un « vide » dans la politique institutionnelle. Ces initiatives sont fragiles car elles nécessitent un accompagnement dans la durée et un portage. Néanmoins, elles doivent être déployées en plus grand nombre car elles répondent à la demande sociale. Des réseaux du type sentinelles devraient notamment être plus largement déployés : les habitants, agissant pour eux et en collaboration avec les autorités, sont capables de détecter les signaux « faibles » et de transmettre des informations utiles à la gestion de crise en suivant une logique « bassin versant », qui devient l'échelle la plus opérante face aux crues rapides.

Au final, pour proposer un ancrage plus efficace de l'alerte, il ne faut pas déconnecter les attentes des sociétés de l'offre technique, qui est souvent conçue, imaginée et proposée sans prendre en compte les avis des publics visés. Comme le rappelle à juste titre Cardon (2015), plutôt que de *« dramatiser le conflit entre les humains et les machines »,* il est plus judicieux de les considérer comme *« un couple qui ne cesse de rétroagir et de s'influencer mutuellement »*.

Différentes pistes d'amélioration possibles

Plusieurs améliorations ont été formulées dans cette partie. De façon prioritaire, il est nécessaire d'élargir le champ de compétence de l'alerte : en ouvrant cette responsabilité aux services hydrologiques ou météorologiques, on peut raccourcir le délai de validation institutionnelle, et permettre une plus grande réactivité des services impliqués (et qui sont déjà compétents en la matière). A condition toutefois de bien clarifier les différences entre vigilance et alerte (cf. éléments de contexte et motivations), et de les laisser autonomes dans la communication et la gestion de l'événement. Les délais d'alerte aux crues rapides et la spatialisation de la prévisibilité sont aussi des informations qu'il faut affiner, pour gagner en efficacité.

La piste de la rationalisation de l'offre montre également que des choix peuvent être opérés pour accroître la lisibilité des outils ou pour augmenter leur portée dans l'espace. La réorganisation des sirènes (outils prioritaires pour le gouvernement français) est envisageable, à condition de justifier ce déploiement selon des critères géographiques (comme la logique multi-aléas ou la densité de population) additionnels au système de cotation défini par les EMIZ et acté depuis 2010. On peut rappeler qu'en redistribuant de façon optimale les sirènes, on pourrait augmenter la part de la population (+ 26% à 1 km dans le Vaucluse) mais une telle décision se ferait au détriment de l'équité spatiale et d'une plus grande homogénéité pour l'ensemble des territoires urbanisés, si peu dense soient-ils. Les traitements proposés entrent sans doute

en dissonance avec la réalité du projet SAIP : des départements comme la Seine-Maritime ou le Vaucluse ont déjà installé les « nouvelles » sirènes et ils pourraient utiliser le système d'activation unique envisagé dès à présent. Mais nous avons montré que l'optimisation pouvait apporter des informations intéressantes sur les seuils de population couverts ou sur le nombre de sirènes minimal à installer. D'autres traitements auraient pu être effectués, notamment à des échelles plus fines, mais il était nécessaire de conserver un respect de la confidentialité des données mises à notre disposition, en restant à l'échelon départemental.

Les différentes pistes d'amélioration démontrent aussi qu'il faut réfléchir à différentes échelles et à différentes temporalités. A une échelle nationale, on peut souhaiter une plateforme unique, multi-aléas, multicanaux, à condition d'en faire la promotion et de définir une stratégie de communication cohérente. Aux échelles locales, on pourrait ajuster cette plateforme aux aléas (glissement de terrain, crue rapide), et à leur métrique territoriale (échelle du versant ou du bassin versant par exemple). Mais le tout doit être harmonisé et coordonné dans un seul service. Pour autant, même s'il faut mettre fin à l'éparpillement des connaissances et des compétences, et fédérer la logique multi-services, il convient également de ne pas revenir à une trop grande hiérarchisation des tâches et des processus. Des services déconcentrés, dans les EMIZ ou les SDIS, pourraient ainsi avoir le droit d'alerter et d'informer, et c'est d'ailleurs (pour rappel) sur ce point que la formalisation du projet SAIP a, positivement, évolué.

Perspectives de recherche

Mon regard porté sur les solutions créées ailleurs doit être poursuivi à différentes échelles.

Les contraintes et les spécificités des territoires de montagne doivent, plus spécifiquement, être mieux appréhendées (c'est l'objectif du projet européen POIA qui est en cours). Les risques y survenant sont « complexes » à cause de la diversité des aléas (avalanches de neige, coulées de boue, glissements de terrain) mais aussi à cause du mode de vie des occupants (habitat, activité économique, contexte de mobilité, enjeux touristiques, etc.). La faiblesse de la couverture Internet, l'importance des zones blanches et la prégnance du relief imposent surtout d'envisager des solutions plus invasives que les outils d'alerte préexistants, à l'image par exemple des réseaux opportunistes qui ont commencé à être explorés et qui devront être poursuivis à plus long terme. Cette offre doit aussi évoluer rapidement face au changement climatique en cours : tous les modèles de prévision indiquent une augmentation des fréquences et des magnitudes des températures extrêmes, une diminution des températures basses à prévoir durant le XXI^{e} siècle (Ulman et Sabatier, 2012), un enneigement moindre durant l'hiver (même si l'hiver 2017-2018 a été exceptionnel en termes de quantité de neige tombée) et une augmentation des précipitations intenses (Ravanel *et al.,* 2018). Les terrains deviendront plus instables et les glissements plus nombreux, ce qui oblige à définir une stratégie ajustée pour ces territoires. Attention, toutefois, cela ne veut pas pour autant dire qu'il faut y développer un système spécifique, car on risque de laisser de côté les autres territoires.

A un autre niveau d'observation, il serait aussi intéressant de considérer l'offre sur l'ensemble de la France, et pas uniquement sur le territoire métropolitain. Dans les départements d'outre-mer, les enjeux et les problématiques ne sont pas les mêmes. Le rapport publié le 24 juillet 2018 (Arnell *et al.,* 2018), et rédigé au nom de la Délégation sénatoriale aux Outre-Mer, indique que si le réseau INPT peut être utilisé aux Antilles, il faudrait passer par le réseau GSM en Guyane et à la Réunion, et s'appuyer sur le réseau de mosquées à Mayotte. Aussi, pour déployer une plateforme unique en France, il ne faut pas oublier ces départements, qui restent exclus du projet SAIP, alors même que la survenue du cyclone Irma a remis sur le devant de la scène leur forte exposition aux risques, tout en n'oubliant pas qu'il faut y mesurer l'appropriation par les populations aux échelles locales.

Il faut par ailleurs poursuivre l'évaluation de l'efficacité de l'offre déployée dans d'autres pays, en évitant toute entrée exclusivement technique (comme indiqué au début du chapitre 7). Ces outils sont parfois associés à des contextes spécifiques, qui rendent ce travail délicat (je pense par exemple à l'offre

déployée en Israël ou en Turquie). La survenue des catastrophes naturelles peut, en revanche, être un élément justifiant le choix de ces nouveaux sites d'expérimentation. A l'heure où j'écris cette synthèse, le « super-typhon » *Mangkhut*, après avoir provoqué le décès de 49 personnes aux Philippines, est en train de toucher la ville de Hong-Kong. L'observatoire météorologique y indique avoir enregistré des rafales de vent supérieures à 256 $km.h^{-1}$, avec une Vitesse de Vent Soutenus (VVS) de 190 $km.h^{-1}$. Ces vents d'une intensité remarquable ont provoqué des effondrements de panneaux et des vidéos partagées sur les RSN (*Facebook©)* montrent l'oscillation de plusieurs gratte-ciels, notamment dans le quartier Hung Hom. Des échafaudages se sont aussi effondrés dans les quartiers de *Causeway Bay* et de *Kowloon*. Si les autorités ont appelé à l'évacuation massive des zones côtières deux jours auparavant, les fortes pluies associées au typhon risquent de provoquer des glissements de terrain dans l'arrière-pays, et il serait intéressant de voir si le système mis en place depuis 1997 (p. 161) sera activée à certains endroits.

Conclusion générale



© F.Toulmé, avec L.Garancher (InkLink) et J.Douvinet (2017)

J'ai tenté, dans ce volume scientifique inédit, de dégager le fil conducteur de mes recherches et de montrer la logique des démarches utilisées. Ce mémoire m'a ainsi permis de remettre en perspective mes contributions, en tant que géographe, à l'évaluation de l'efficacité des moyens d'alerte existants en France, qui sont diversifiés et non coordonnés, face aux crues rapides, aléas qui semblent laisser un laps de temps suffisant pour activer un signal à destination de la population. J'ai aussi montré les interactions entre mes travaux et des disciplines connexes, et différentes pistes d'amélioration ont été proposées pour lever un certain nombre de facteurs de blocage, sur lesquels bon nombre d'acteurs achoppent.

Sans reprendre l'ensemble des résultats obtenus, qui ont déjà été remobilisés dans les synthèses des trois parties, je voudrais poursuivre le débat sur les objectifs à attendre de l'alerte. A l'heure où j'écris ces quelques lignes de conclusion, l'ouragan Florence vient de frapper la côte sud-est des États-Unis. 13 morts sont recensés (au 16 septembre 2018), et plus d'1 milliard de dommages sont déjà annoncés. Mais les autorités ont anticipé la survenue de ce phénomène trois jours auparavant, ce qui a conduit 1,8 million d'habitants à quitter leur logement de façon préventive, et aucune alerte n'a été activée localement. Si ce phénomène avait été prévu, les crues rapides ne sont pas des aléas aussi « simples » à prévoir : à peine commence-t-on à avoir oublié Draguignan (2010) ou Cannes (2015), que des crues rapides ont entrainé des dégâts matériels et humains à plusieurs endroits durant cet été 2018 (**exemple 1**). Leur survenue n'a pas toujours été anticipée, ce qui rappelle qu'il reste encore des efforts à faire pour y faire face, en termes de prévisibilité, d'alerte et de comportement.

EXEMPLE 1. Sans chercher l'exhaustivité, plusieurs crues rapides dommageables sont survenues ces derniers mois, en France (1 victime à Saint-Julien-de-Peyrolas le 14 août 2018), en Italie (13 victimes dans les gorges du Raganello, situées en Calabre, le 21 août 2018, toutes étant des randonneurs surpris par un flot dévastateur qui est apparu en quelques secondes), en Espagne (3 victimes à Cebolla, dans la région de Calabre, où le cours d'eau Sangüesa est monté en quelques minutes, et les niveaux d'eau ont dépassé 2 m. dans plusieurs maisons le 8 septembre 2018).

Quels objectifs attendre de l'alerte ?

En multipliant les expérimentations et les retours d'expérience, je pense avoir démontré que le processus d'alerte actuel n'induit pas réellement des réflexes et des automatismes en cas d'événement, si tant est que le danger soit prévisible et annoncé. Le système français actuel génère plus des hésitations et des doutes, qu'une réelle réactivité de la part des acteurs concernés, à cause de plusieurs problèmes : un manque de clarté dans la nature des signaux envoyés, une grande diversité des outils techniques et des canaux de communication, une absence de communication sur les mutations à venir et une profusion dans les informations générées, à l'image de la confusion classiquement observée dans les médias entre la vigilance et l'alerte. Le manque de certitudes sur la magnitude des aléas à venir et sur l'ampleur des populations probablement impactées, sont aussi des éléments qui sont incompatibles avec la binarité de la prise de décision. Les solutions sont par ailleurs vantées sous leur angle techniciste, alors qu'on devrait mesurer l'efficacité individuelle des outils, et mieux ajuster l'offre à venir en pensant d'abord, et surtout, aux publics visés. Les consignes de sécurité, qui sont régulièrement rappelées, ne sont guère comprises, connues ou mises en œuvre en cas de danger réel : les individus font plus confiance à leurs expériences passées et à leurs émotions, et ce ne sont évidemment pas des êtres « rationnels » que l'on peut englober dans une seule entité sociale, classiquement désignée sous le terme « citoyen ».

Susciter l'attention

L'objet de mes recherches a été, en premier lieu, de montrer l'ampleur des décalages qui existent entre les connaissances acquises (et imparfaites) sur la « complexité » et la violence des crues rapides, et leur réelle prise en compte dans les documents de planification ou dans la chaîne d'alerte. Pour cela, une approche multi-scalaire, multipliant les plusieurs niveaux d'observation, a été privilégiée.

Bon nombre de chercheurs s'intéressent aux seuils de fonctionnement des crues rapides et à la complexité de leur développement dans l'espace. Les approches menées dans cette voie sont variées :

1) Certains tentent de caractériser les dépassements de seuil à partir desquels les écoulements vont générer des impacts morphogènes importants (à l'image du *Flash Flood Index, FFI*) ;

2) D'autres proposent d'identifier des « pluies critiques », en combinant les intensités des pluies aux réactions hydrologiques à attendre sur un grand nombre de bassins, qu'ils soient jaugés ou non (par exemple, dans le *Flash Flood Guidance,* mis en œuvre aux États-Unis) ;

3) Plusieurs approches proposent par ailleurs de modéliser les effets des interactions spatiales entre les composantes environnementales qui constituent un bassin versant, pour mesurer le rôle joué par les jeux d'échelle et évaluer les relais entre les processus par exemple ;

4) Il est également possible d'intégrer les autres composantes du risque lié aux crues rapides, notamment la vulnérabilité des enjeux exposés, les conditions de mortalité, les coupures de route ou les comportements des individus, en se fondant sur divers protocoles.

Sans détailler la liste de tous les travaux menés sur les crues rapides, les efforts en la matière sont nombreux. Ils doivent être poursuivis, tant les incertitudes et le manque de données de validation et de calage restent des verrous à lever, d'autant que le nombre de bassins versants prêts à fonctionner en cas de pluies intenses est important. Plusieurs chercheurs tentent aujourd'hui de mutualiser leurs bases de données capitalisées, pour affiner ces seuils et s'approcher un peu plus de la réalité terrain, et la prise en compte de la totalité des facteurs agissant sur ce risque est évidemment une bonne chose.

Malgré ces connaissances, l'inconnu et l'imprévisibilité des crues rapides sont des impensés de la crise, qui se reportent sur le processus d'alerte. Rares sont les plans de gestion qui vont au-delà d'une simple cartographie des zones exposées à ce type d'aléa, et rares sont les situations où les outils d'alerte existants ont réellement été activés (le *toscin* à Aramon en 2002 ; les sirènes lors de la crue du Vidourle en 2015). Il n'existe pas non plus d'exercices d'entraînement impliquant les populations pour faire face à ces phénomènes, par essence violents et soudains. Or, si les crues surviennent de façon brève, comment peut-on s'attendre à ce que les individus exposés aient les comportements adéquats, alors même qu'ils n'en soupçonnent pas l'existence, si rares soient-ils ? A cet égard, le fait de dire que des crues ayant une période de retour centennale ne se manifestent qu'une fois tous les 100 ans (alors que d'un point de vue statistique, ils ont une chance sur 100 d'apparaître tous les ans) cause d'importants préjudices. C'est un choix stratégique, qui a pour but d'éviter de faire « peur » ou de reléguer ces inondations loin du quotidien, mais cette vision annihile la prise de conscience situationnelle, notamment chez les habitants exposés.

Il existe par ailleurs un très net décalage avec les attentes des élus et des autorités : ces derniers ont besoin de connaissances sur les seuils de rupture critique, ou de données qu'il est parfois impossible de fournir avec certitude (comme l'intensité et la période de retour des crues, ou l'ampleur des dommages à venir). Pourtant, l'usage qu'ils en font durant la gestion de crise ne répond pas à ces attentes : certaines données produites ne sont jamais utilisées (comme les travaux que nous avons mené pour la DREAL de Haute-Normandie) et le « trop-plein de connaissances » peut engendrer, à son tour, de l'inconnu dans la crise elle-même. A titre d'exemple, la protection du matériel roulant de la SNCF (qui doit notamment faire face à la diversité des ruissellements et des crues rapides ; Rose-Lagadec, 2016) entre en conflit avec la réquisition de ce type de matériel en cas d'évacuation (Planchon et Reghezza, 2017). Les incertitudes ne sont pas non plus communiquées au public, et elles restent souvent occultées dans la matrice de décision finale car celle-ci se fonde sur des procédures préétablies, rarement ajustables.

La communication institutionnelle actuelle est aussi insuffisante pour obtenir des comportements adaptés des personnes en situation de danger. Ne pas se préoccuper de la réception et de l'appropriation de l'alerte à l'échelle individuelle, condamne à réitérer systématiquement les mêmes erreurs. L'absence de vision commune entraîne une dispersion des ressources, humaines et matérielles, que P.H. Bourrelier dénonçait déjà en 2001 comme des « logiques de pré-carré » (Scarwell et Laganier, 2004), et ce constat nuit indéniablement à une bonne synergie et une réelle coordination des actions.

Induire des comportements appropriés

Le second apport de mes travaux est d'ordre méthodologique. Ce volume relate un grand nombre d'exemples et une multitude d'expérimentations, développées en collaboration avec d'autres chercheurs ou dans le cadre d'ateliers de mise en situation avec des étudiants. Si divers soient les protocoles, ils ont tous, pour point commun, de chercher à comparer des faits et des observations empiriques (*in situ*) à des modèles (théorie), et de confronter les usages (estimés) à un potentiel d'utilisation. Les allers-retours permanents entre des approches descriptives (« comment ça marche ? ») et une approche plus holistique (« cet argument est-il (ou non) prouvé ? »), m'ont finalement permis d'identifier certains invariants.

L'art d'alerter est un exercice délicat, qui présuppose certaines précautions :

1) Il faut ancrer ce processus dans les lieux de vie et dans le temps du quotidien, en le percevant plus comme l'opportunité de mettre en pratique des réflexes et des comportements adéquats, que comme une contrainte véhiculant une pensée négative face aux dangers à venir ;

2) La connaissance des consignes à respecter en cas de danger (véhiculée dans le cycle de la prévention) n'implique pas qu'un individu sera en capacité de se remémorer cette information en cas de crise. Les décalages entre attitudes, compétences comportementales et réactions avérées durant l'alerte sont, comme prouvés à plusieurs reprises, sont bien trop importants.

3) Les messages diffusés nécessitent de faire un compromis entre un vocabulaire adapté (pour ne pas faire peur), une situation évolutive (à quel moment on diffuse ?) et des incertitudes. Si les autorités se cachent derrière ce troisième argument pour ne rien diffuser à la population, il est temps de changer de postures : la communication est essentielle, ne serait-ce que pour garder un contact avec les individus concernés, car elle peut masquer une mauvaise gestion, alors qu'à l'inverse, une mauvaise communication masquera toujours une bonne gestion.

4) L'appréhension d'un signal d'alerte dépend du contexte, de la répétitivité des événements et de leur inscription dans l'espace : il faut donc préparer les habitants du mieux possible, sans prioriser tel ou tel aléa en particulier, quitte à tester les scénarios les plus « impensables ».

5) Les autorités doivent trouver le meilleur compris entre les informations connues et reçues, et les données qu'elles peuvent communiquer en cas de danger. Durant les exercices observés au Centre Opérationnel Départemental (COD), les données diffusées à la population étaient parfois volontairement erronées (« l'événement est en cours, ne vous rendez pas sur place », alors que la crise est terminée), ce qui démontre la faible confiance accordée aux individus.

6) Il ne sera jamais possible d'alerter 100% de la population et il convient donc d'accepter qu'une partie de la population ne sera pas réceptive, attentive ou réactive en cas d'alerte.

Face à ces contraintes multiples, il faut alors penser différemment :

1) Les signaux doivent tenir compte des « espace-temps » de l'alerte : selon les aléas en cours, les services en charge de l'alerte disposent d'un laps de temps variable pour activer les outils dont ils disposent. Leur réactivité est aussi conditionnée par le délai de prévisibilité des aléas et par la période de temps avant les premiers impacts. L'offre doit donc s'ajuster par rapport à ces délais (des sirènes pour des temps brefs ; des automates d'appel pour des évacuations massives…), tout en restant connectée grâce à différents canaux ;

2) On doit trouver des solutions plus invasives pour que les individus ajustent leur comportement selon les aléas qu'ils sont en mesure de comprendre. Aussi, au lieu de diffuser des consignes généralistes (se calfeutrer en cas de séisme, se mettre en dehors de l'eau en cas de crues…), il faudrait influencer les motivations par des suggestions indirectes, tendre vers des mises en situation plus réalistes (**exemple 2)**, ou profiter des évolutions réglementaires pour observer les comportements en cas d'exercices imposés pour divers établissements (**exemple 3**).

3) On pourrait imaginer la diffusion de signaux variables selon les niveaux des risques (à l'image des sons émis aux États-Unis par les sirènes, ce qui fait écho aux anciens sons, envoyés par les *tocsins* qui, autrefois, en France, permettaient de différencier la menace à venir).

4) Il faut communiquer « sans fard et avec honnêteté » avec les individus, qui interagissent dans leur réseau social ou sur les RSN, indépendamment des autorités. La position des institutions doit évoluer, notamment pour dépasser des postures réticentes à l'égard du numérique.

EXEMPLE 2. Parmi les initiatives récentes les plus originales, on peut citer l'organisation d'un *Escape Game* à Paris, prévu le 28 septembre 2018, à l'initiative de *CpiePicardie*. Le but de ce jeu est de permettre à un groupe d'individus de faire « l'expérience de l'inondation ». Le scénario retenu est le suivant : « La Seine a débordé et l'inondation est imminente. Vous êtes au cœur du quartier latin et vous devez vous rendre au plus vite au point d'évacuation car d'ici 75 minutes, le quartier sera cloisonné ».

EXEMPLE 3. Depuis 2015, les Établissements Recevant du Public (ERP) doivent organiser un exercice d'évacuation par an. Les écoles élémentaires et primaires doivent même réaliser trois exercices par an (p. 46, § 1.4.3.). Il serait intéressant de développer des protocoles pour observer, évaluer et mieux comprendre les réactions (des individus et des groupes) durant ces exercices. Or, contacté dans le cadre du projet PEPS SMARE (porté par M. Amalric et E. Beck), le comité d'éthique du CNRS ne donne pas son accord sur une telle opération : les exercices impliquant des personnes « non prévenues de cette simulation » font craindre des effets de panique ou des décès…

Tous ces résultats peuvent être résumés sous une forme conceptuelle (**figure 1**). Les travaux de recherche et les indicateurs d'efficacité individuelle (situés de part et d'autre du schéma) doivent interagir avec la mise en œuvre des solutions techniques, la planification, la coopération entre les individus et les groupes sociaux, l'éducation et les exercices, et être englobés dans une stratégie partagée à long terme, si au final, on souhaite que tous les acteurs aient des comportements appropriés.

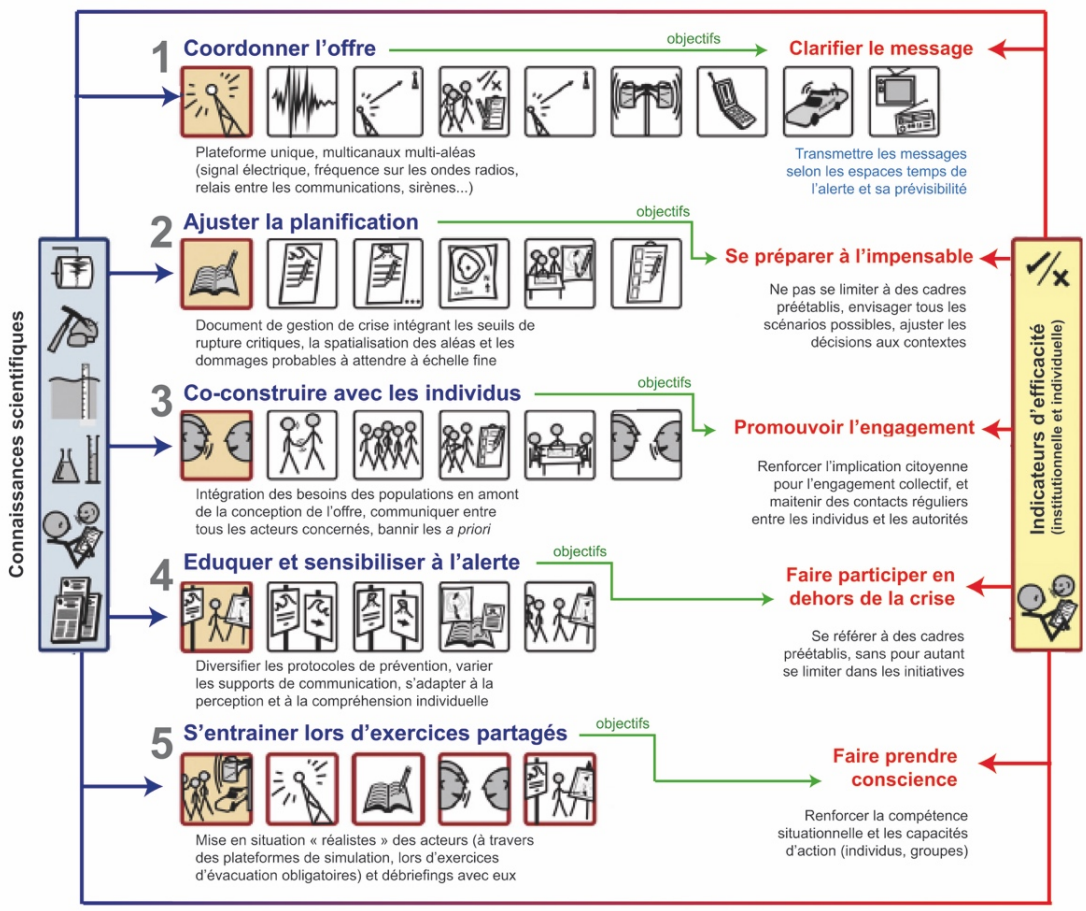


Figure 1. Modèle conceptuel proposé qui tient compte des contraintes et des améliorations possibles pour tendre vers un système d'alerte opérationnel efficace (modifié d'après Léonard *et al.,* 2018)

Pour une géographie de l'alerte

En tant que géographe, j'ai été amené à développer des méthodes et des outils qui sont en partie inscrits dans le champ de la géographie quantitative et de l'analyse spatiale (qui trouvent une traduction plus opérationnelle, que théorique), de la géomorphologie (en lien avec ma formation originelle), et de la modélisation (avec des outils de simulation permettant de tester, d'infirmer ou de rejeter des hypothèses sans passer par des protocoles plus lourds à mettre en place). Plusieurs notions géographiques ont aussi été mobilisées à plusieurs reprises, notamment l'anisotropie de l'espace, la distance (au point émetteur), le territoire (un espace vécu), les interactions (entre des aléas, des risques, et les composantes du milieu), les inégalités spatiales (en termes d'accessibilité) et sociales (en termes de réceptabilité), et les effets de « seuils ». A ce titre, je pense avoir montré qu'une lecture géographique des phénomènes peut apporter un regard différent de celui que peuvent avoir les acteurs opérationnels (contraints par un certain nombre de rouages). Certes, l'alerte est un objet de recherche singulier, mais son inscription dans l'espace et les impacts territoriaux générés en font un sujet éminemment géographique.

Je revendique par ailleurs une approche géographique appliquée et opérationnelle. Les bénéfices des « recherches-actions » ont été éprouvées dans le cadre de nombreux projets (**volume 2**). En tant que géographes, nous sommes forces de propositions et d'innovations pour faire évoluer les choses, par notre connaissance sur le fonctionnement et l'aménagement des territoires. Cependant, nous ne sommes que très rarement reconnus pour cela. J'ai souvent l'impression de faire des interviews inutiles, à l'image des émissions réalisées au lendemain de crues rapides dommageables (Draguignan en 2010 ou Cannes en 2015), durant lesquelles les médias cherchent à identifier les « coupables » (le changement climatique, l'urbanisation, l'entretien des cours d'eau), plus qu'à comprendre les faits et l'origine des problèmes.

En travaillant avec d'autres disciplines (hydrologie, informatique, psychologie environnementale, design et hydrologie), j'ai élargi mes questionnements, pour tendre vers une analyse plus fine des écueils du processus actuel. En l'état, l'un des problèmes qui reste posé est la mainmise des services de l'État sur l'alerte. C'est une particularité à l'échelle mondiale (sans pour autant être la seule), mais cette vision, très encadrée et très réglementée, amène évidemment à questionner le poids du politique et de l'héritage régalien. Personnellement, je préconiserais un service national indépendant, qui piloterait une plateforme unique, multicanaux et multi-aléas pour l'ensemble du territoire, et au sein duquel seraient coordonnés des services spécifiques selon les caractéristiques des territoires et des aléas considérés, avec une action à l'échelle des bassins versants pour les crues rapides notamment. Le cas échéant (autrement dit, si les services de l'État continuent dans la même direction qu'actuellement), les populations continueront à ne pas tenir compte des opportunités que peut générer l'alerte, en sous-estimant les risques et en reléguant la responsabilité de leur comportement aux institutions. Je crains aussi que les représentants de l'État ne continuent à ajuster l'offre « au fil de l'eau », ou au « coup-par-coup », ce qui augmentera les inégalités, aussi bien entre les territoires (par exemple, un automate d'appel sur telle ou telle commune) qu'entre les individus (connectés ou non, attentifs ou non, réactifs ou non). D'un autre côté, le tri dans les applications smartphone ne pourra pas se faire tant qu'une stratégie numérique ne sera pas assumée ni édictée.

L'un des autres problèmes renvoie à une question culturelle. La compréhension sociale de l'alerte varie selon les pays. Le risque sismique est présent en permanence chez les japonais (il est intégré dans les normes de construction des bâtiments, et c'est l'un des fondements du « yin » et du « yang »), alors qu'en Californie, il est relégué loin derrière les risques sociaux, la criminalité ou l'avenir de la famille. Au Bangladesh, les crues du Brahmapoutre sont perçues de façon différente selon leur intensité : elles sont attendues et espérées pour des magnitude faibles (*barsha*), car elles enrichissent les plaines inondables par l'apport de limons (c'est ainsi un signe de prospérité). En revanche, elles sont très mal vécues (*bonna*) lorsqu'elles provoquent des dommages matériels et humains. Pour anticiper un tremblement de terre, les sociétés ne se préparent pas non plus de la même façon : les américains ont tendance à aller remplir leur frigo, alors que les japonais font des exercices réels d'évacuation. Il faut aussi rappeler que le risque peut être attaché à des croyances religieuses, « un dieu provoquant des désastres pour punir l'humanité ».

Ainsi, la compréhension de l'alerte doit tenir compte des facteurs perceptifs (nous l'avons vu dans le chapitre 9), des biais cognitifs (liés à l'affect), des variables représentatives (l'image que j'ai d'un danger ou d'un risque) ou des motivations qui poussent un individu à avoir tel ou tel comportement. Une approche géographique ne peut alors pas, à elle seule, être une discipline suffisante pour aborder tous ces aspects. L'approche que je mène est à ce titre interdisciplinaire, avec des questionnements qui interagissent avec d'autres chercheurs, voire même avec divers acteurs opérationnels. Nous avançons, ensemble et pas à pas, et nous sommes désormais convaincus qu'il est grand temps de changer de postures.

Orientation des recherches à venir

Mes perspectives de recherche ont fait l'objet de développements spécifiques dans les synthèses des trois parties. Sans les rappeler, je souhaite ici insister sur trois principales orientations qui permettrait de réfléchir à la nature, à la forme et au fonctionnement de l'alerte dans les années à venir (**figure 2)**.

L'utilisation des outils de géo-simulation est l'un des axes structurant mes travaux de recherche, et divers efforts dans ce domaine ont été poursuivis. Je pense notamment à l'identification des seuils de fonctionnement dans des bassins non jaugés (chapitre 2), à la simulation des effets de contingences et de mimétismes entre les individus (chapitre 9) ou au projet de *« serious game »* destiné aux autorités qui voudraient tester l'incidence de leurs actions durant une crue rapide (chapitre 1). L'intégration de facteurs sociaux, politiques ou économiques est nécessaire pour affiner de tels protocoles (**figure 2**), même si, en respectant la philosophie de ces démarches, il faut implémenter chaque variable « pas à pas », au risque sinon de vouloir se rapprocher trop vite d'une partie de la réalité, au dépend de maîtriser les effets des interactions entre les composantes considérées, et transformer les modèles en « boîte noire ». A ce titre, les projets dans lesquels nous sommes impliqués (PEPS SMARE, suite de l'école MAPS 2018), et des projets récemment financés (**exemple 4)** montrent que ces objectifs intéressent un grand nombre de chercheurs. L'idée serait à terme de quantifier des seuils de « mise en alerte » combinés, à destination de divers publics, et d'identifier le fameux « seuil de population minimale à alerter » (chapitre 9).



Figure 2. Synthèse des enjeux posés pour mes orientations de recherche à venir

EXEMPLE 4. Un ERC « Starting Grant », porté par Nicolas Malleson (Université de Leeds), est financé depuis le mois de septembre 2017, et la thématique est proche des objectifs que nous avons dans les projets PEPS ou SMARE. Le projet *DUST* (*Data Assimilation for Agent-Based Models: Applications to Civil Emergencies*), a pour but de simuler les comportements des individus en cas de catastrophes naturelles à l'aide d'outils mathématiques, tout en intégrant des données de prévision climatique, des configurations urbaines différentes, et divers médias comme les RSN et les téléphones. L'idée est de fournir des réponses aux acteurs opérationnels impliqués. La thématique de l'alerte et des comportements associés n'est toutefois pas l'objectif de ce projet.

En parallèle, je voudrais poursuivre les questionnements suscités par l'arrivée et les évolutions rapides des outils numériques, en particulier évaluer les impacts spatiaux des innovations technologiques et sociales (rattachées désormais à l'Internet des Objets et au Web 3.0). Cela redonne ici du sens à une phrase évoquée en introduction : « dans quel monde voulons-nous être alertés ? ». Pour cela, je voudrais continuer à innover dans les démarches (sans chercher la nouveauté et la créativité, plus souvent perçues sous leur angle uniquement technique) et à mesurer les impacts spatiaux des innovations technologiques, et sociales. A terme, cela pourrait venir renforcer ma compréhension et l'évaluation du point de rupture que constitue le processus d'alerte, qui impose de passer, plus ou moins brutalement, de la prévention à l'action, et de transformer des savoirs dits « profanes » en savoirs dits « experts » dans un délai restreint.

Pour finir, il semble aussi nécessaire d'élargir l'aire géographique d'investigation, à d'autres pays et à d'autres secteurs où des crues rapides surviennent, comme déjà évoqué à la fin du chapitre 9. A ce titre, je souhaite affiner ma connaissance sur la portée et l'appropriation des outils d'alerte présentés dans les quatre pays étudiés (chapitre 7), en mesurant à des échelles fines comment les populations les ont mobilisés lors d'événements passés, et comment ils les perçoivent. Je souhaite également poursuivre les études sur les usages réels des applications smartphones et des RSN, en lien avec *l'Internet des Objets* (qui est le sujet de la thèse d'E. Bopp, en cours) et diversifiés les catastrophes naturelles, qu'elles soient survenues dans un passé proche (à l'image de mon implication dans l'ANR TIREX porté par F. Léone), ou qu'elles se produisent dans les années à venir.

Références bibliographiques

Ces références sont en partie établies selon les normes APA (adaptation française selon la 6e édition du Publical Manual, 2010). Les dates de consultation et le lien vers les sites internet (URL ou DOI) ont été enlevés pour gagner de la place.

A

Acar A., Muraki Y., (2011). Twitter for crisis communication: lessons learned from Japan's tsunami disaster". *Int. J. Web Based Communities,* **7** (3), 392–402.

Adoue F. (2015). Information en temps réel et optimisation du déplacement: L'usage des applications pour smartphone dans et autour des transports en commun franciliens. *Netcom*, **29** (2), 37-54.

Agence du numérique (2017). *Baromètre du numérique,* Editions du CREDOC, 256 p.

Ai F., Comfort L. K., Dong Y., Znati T. (2016). A dynamic decision support system based on geographical information and mobile social networks: A model for tsunami risk mitigation in Padang, Indonesia, *Safety science*, **90**, 62-74.

Aldrich P. (2012). *Social Capital in Post-Disaster Recovery: Concepts and Measurement*, University of Chicago Press, Chicago, 2012.

Alexander, D.E. (2014). Social media in disaster risk reduction and crisis management, *Science and Engineering Ethics,* **20**, 717-733.

Alfieri L. Smith P.J., Thielen-del-Pozo J., Beven K.J. (2011). A staggered approach to flash flood forecasting – case study in the Cévennes region. *Advances in geosciences*, **29**, 13-20.

Allard, L. (2015). L'engagement du chercheur à l'heure de la fabrication numérique personnelle. La Revue, Hermès, **73**, 159-167.

Aloudat A., Michael K., Al-Debei M. (2014). Social acceptance of location-based mobile government services for emergency management. *Telematics and informatics,* **31**, 153-171.

Anggunia S. D., Kumaralalita L. (2014). How Indonesians Use ICT and Social Media for Disaster Management, *Isif Asia*, **3**, 67-72.

Anquetin S., Yates E, Ducrocq V., Samouillan S., Chancibault K, Gozzini, B., Pasi F., Pasqui, M., Garcia, M., Martorell M., Romero R., Silvio D., Accadia C., Casaidi M., Mariani S., Ficca G., Chesa P. (2005). The 8 and 9 September 2002 flash flood event in France: an intercomparison of operational and research meteorological models. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, **5**, 741-754.

Ansoff H. I (1975). Managing surprise by response to weak signals. *California Management Review*, **18** (2), 21-33.

Antoine, J.M., Desailly, D. Gazelle, F. (2001). Les crues meurtrières, du Roussillon aux Cévennes. *Annales de Géographie*, **622**, 597-623.

Anziani, A. (2010). *Les conséquences de la tempête Xynthia.* Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information, 227p. Sénat : n°647.

Arcas D., Segur H. (2012). Seismically generated tsunamis, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 370, 1505-1542.

Archer D.R., Fowler H.J. (2015). Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain. *Flood Risk Management,* **11**, 5121-5133.

Arif M., Kanwal S. (2016).Adoption of Social Media Technologies and their Impact on Students' Academic Performance: The only Way for Future Survival of Distance Education Students in Pakistan, *Pakistan Journal of Information Management and Libraries,* 14*,* 25-38.

Arnaud-Fassetta G., Beltrando G., Fort M., Plet A., André G., Clément D., Dagan M., Méring C., Quisserne D., Rycx Y. (2002). La catastrophe hydrologique de novembre 1999 dans le bassin versant de l'Argent Double (Aude, France) : de l'aléa pluviométrique à la gestion des risques pluviaux et fluviaux. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 1, 17-34.

Asch S. (1946). Forming impressions of personality. *Journal of Abnormal Social Psychology*, **41,** 258-290.

Aschieri, G. et Popelin, A. (2017). *Réseaux sociaux numériques : comment renforcer l'engagement citoyen ?* Rapport pour le Conseil Économique Social et Environnemental, 162p.

Association Française de la Prévention des Catastrophes Naturelles, Institut De Maîtrise des Risques (AFPCN-IDMR) (2012). *Prévision, Vigilance, Alerte, Bilan et Perspectives.* 41p.

Attorney A. (2011). Australian Emergency Management, Emergency Management, Australian Government Attorney-General's Department, http://www.em.gov.au/Emergencymanagement/Pages/default.aspx

Auzet A.-V., Boiffin J., Ludwig B. (1995). Érosion hydrique dans les bassins versants agricoles des régions limoneuses du nord-ouest de la France, *Annales de Géographie*, 281/282, 187-190.

B

Badoux A., Graf C., Rhyner J., Kuntner R., McArdell B.W. (2009). A debris flow alarm system for the Alpine Illgraben catchment: design and performance. *Natural Hazards,* **49** (3), 517-539.

Barr E. T., Harman M., McMinn P., Shahbaz M., Yoo S. (2015). The oracle problem in software testing : A survey. *IEEE transactions on software engineering*, **41 (**5), 507-525.

Baudelle G., Guy C., Mérenne-Schoumaker B. (2011), *Le développement territorial en Europe. Concepts, enjeux et débats.* Rennes, Presses Universitaires de Rennes, coll. Didact Géographie, 281 p.

Baytiyeh H. (2018). The Uses of Mobile Technologies in the Aftermath of Terrorist Attacks among Low Socioeconomic Populations. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **28,** 739-747.

Bazin, C et Malet, J. (dir.) (2016). *La France bénévole en 2016*. Recherches et Solidarités. 65p.

Bean, H., Sutton, J., Liu, B. F., Madden, S., Wood, M. M., Mileti, D. (2015). The study of mobile public warning messages: A research review and agenda. *Review of Communication*, **15**, 60–80.

Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, J (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. Transactions of the ASAE 23, 938-944.

Becerra, S. (2012). Vulnérabilité, risques et environnement : l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement,* **12** (1).

Becerra, S., Peltier, A., Antoine, J.M., Labat, D., Chorda, J., Ribolzi, O., Daupras, F. et Dartus, D. (2013). Comprendre les comportements face à un risque modéré d'inondation. Etude de cas dans le périurbain toulousain (Sud-Ouest de la France). *Hydrological Sciences Journal, 58 (5)*, 945–965

Becerra, S. et Peltier, A. (dir.) (2009). *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés.* Paris, France : Editions L'Harmattan.

Becker, D., Bendett, S. (2015). Crowdsourcing solutions for disaster response : examples and lessons for the US Government. *Procedia Engineering*, **107**, 27-33.

Behlouli L. (2001). *Note technique sur l'évènement pluvieux du 9 au 10 novembre 2001. Région d'Alger. Services des études et de prévisions*, Alger, 53 p.

Belliard R., Forget R., Hémond A. (1975). *Le Voyage aérien*. Editions du Cosmos, 8ème édition, 200 p.

Ben Abid-Zarrouk S. (2012). Une étude empirique de l'influence des échanges sur les forums dans la réussite en enseignement en ligne : le cas du DAEU en ligne, *Les dossiers des sciences de l'éducation,* **27**, 155-171.

Berti M., Martina M.L., Franceschini S., Pignone A., Simoni A., Pizziolo M. (2012). Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach. *Journal of geophysical research*, **117**, 1-20.

Bertrand, A. (2014). *Hyper-ruralité. Un pacte national en 6 mesures et 4 recommandations pour « restaurer l'égalité républicaine »*. Ministère du Logement et de l'Égalité des Territoires. 74p.

Beucher S. (2007). Le risque d'inondation dans le Val-de-Marne : une territorialisation impossible ? », *Annales de géographie*, **5** (657), 470-492

Beven, K.J., Kirkby, M.J., (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal* **24**, 43-69.

Bielders C.L., Ramelot C., Persoons E. (2003). Farmer perception of runoff and erosion and extent of flooding in the silt-loam belt of the Belgian Walloon Region", *Environmental Science & Policy*, **6**, 85-93,

Billi P. (2011). Flash flood sediment transport in a steep sand-bed ephemeral stream, *International Journal of Sediment Research,* **26** (2), 193-209.

Bird D., Ling M., Haynes K. (2012). Flooding Facebook - the use of social media during the Queensland and Victorian floods. *The Australian Journal of Emergency Management,* **27 (**1), 27-33.

Blondiaux, L., Fourniau, J.M. (2011). Un bilan des recherches sur la participation du public en démocratie : beaucoup de bruit pour rien ? *Participations*, **1**, 8-35.

Bherer, L. (2011). Les relations ambiguës entre participation et politiques publiques, *Participations*, **1**, 105-133.

Blanco S. (2008). De quelques signaux faibles à une veille anticipative utile à l'innovation de rupture, *La revue des sciences de gestion*, 27-37.

Blikra LH., Kristensen L., Lovisolo M. (2013). Sub-surface monitoring of large rockslides in Norway: a key requirement for early warning. *Ital. J. Eng. Geol. Environ*., **6**, 307-314.

Boardman J., Evans R., Ford J. (2003). Muddy floods on the South Downs, southern England : problem and responses, *Environmental Sciences & Policy*, **6**, 69-83.

Boissier, L. (2013). *La mortalité liée aux crues torrentielles dans le sud de la France : une approche de la vulnérabilité humaine face à l'inondation* (thèse de doctorat, Université Paul Valéry, Montpellier 3, France). Récupéré du site theses.fr : http://www.theses.fr/2013MON30033

Bonnet E. (2015). Évaluer et comprendre les vulnérabilités des populations. Contribution à une géographie des risques. *Habilitation à Diriger des recherches*, Université de Rouen, 213 p.

Borraz, O. (2008). Les politiques du risque. Paris, France : Presses de Sciences Po.
Borga, M., Anagnostou, E.N., Blöschl, G., Creutin, J.-D. (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science and Policy,* **14**, 834-844.
Bosqué, C. (2015). Des Fabs-Labs dans les marges : détournements et appropriation. *Journal des Anthropologues*, **142-143**, 49-76.
Boudou M. (2015). *Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables : enseignements tirés de neuf évènements en France (1910-2010).* Thèse de doctorat, Université Montpellier 3, France. 280 p. + Annexes.
Bousquet J.C. (2017). *Volcans, séismes et tsunamis en Méditerranée,* Editions Biotope, 360 p.
Bouwer, L., Papyrakis, E., Poussin, J., Pfurtscheller, C., Thieken, A., (2014). The costing of measures for natural hazard mitigation in Europe. *Natural Hazards Reviwe,* **15** (4), 401-410.
Boyadjian J. (2016). Les usages politiques différenciés de Twitter. Esquisse d'une typologie des « twittos politiques », *Politiques de communication*, **6**, 31-58.
Boyd D., Ellison N. (2007). Social network sites : Definition, history, and scholarship". *Journal of Computer-Mediated Communication,* **13 (**1) http://jcmc.indiana.edu/vol13/issue1/boyd.ellison.html
Brachotte G. (2011). ICT in Rural Areas: from the digital divide to the revitalization of an area. *EPISTEME*, **5,** 137-57.
Braud, I., Ayral, P.-A., Bouvier, C. , Branger, F., Delrieu, G., Le Coz, J., Nord, G., Vandervaere, J.-P., Anquetin, S., Adamovic, M., others (2014). Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash-flood understanding. *Hydrology and Earth System Sciences,* **18**, 3733-3761.
Bravard J., Petit F. (2000). Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial. Editions Armand Colin, Collection U, Paris, 222 p.
Bureau des Ressources Géologiques et Minières (BRGM) (2009). *Systèmes d'alerte sismique: principes et faisabilité aux Antilles françaises*, Rapport final, 92 p.
Brédif, H. et Carré, C. (2009). Réduction de la vulnérabilité par l'autonomisation des acteurs dans les Hauts de Seine. Dans S. Becerra et A. Peltier (dir) (2009). Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés, (p.495-511). Paris, France, Editions L'Harmattan.
Brehm, J. W. (1966). *A theory of psychological reactance*. New-York, USA : Academic Press, 243 p.
Breil, P., Bonnet-Carrier, S., Gonzalez-Sosa, E., Lagadec, L.-R. (2016). Expertise de l'inondation par ruissellement intense suite à l'orage du 07/06/2016 sur la commune de Lucheux (80) (Rapport d'expertise/d'étude). IRSTEA, Lyon.
Bronstert A., Agarwal A., Boessenkool B., Crisologo I, Fischer M. Hestiermann M., Kohn-Reich L., Lopez-Tarazon J.A., Moran T., Ozturk U., Reinhardt-Imjela C., Wendi D. (2018). Forensic hydro-meteorological analysis of an extreme flash flood: The 2016-05-29 event in Braunsbach, SW Germany, *Science of the Total Environment,* **630**, 977–991.
Brotcorne P, Valenduc C. (2009).Les compétences numériques et les inégalités dans les usages d'internet, *Les cahiers du numériques*, **5**, 45-68.
Brownlee B., Liang Y. (2011). *Mobile Ad Hoc Networks: An Evaluation of Smartphone Technologies"*. Royal Military Coll Of Canada Kingston (Ontario), Rapport, 54 p.
Brun, W. (1992). Cognitive components in risk perception : Natural versus manmade risks. *Journal of Behavioral Decision Making,* **5**, 117-132.

C

Cadet, B. (2006). Percevoir et évaluer les risques. Les apports de la psychologie en matière de traitement des informations. In R. Kouabenan, B. Cadet, D. Hermand et M. T. Munoz-Sastre (Eds.), *Psychologie du risque, Identifier, évaluer, prévenir*, Bruxelles, Belgique : De Boeck, 35-60.
Cadet, B et Kouabenan, D.R. (2005). Évaluer et modéliser les risques : apports et limites de différents paradigmes dans le diagnostic de sécurité*. Le Travail Humain*, **68**, 7-35.
Caisse Centrale de Réassurance (CCR) (2017). L'indemnisation des catastrophes naturelles en France. Récupéré sur le site de la CCR en février 2018.
Caeymaex, F. (2007). « Risquer, gérer, sécuriser : techniques politiques de la modernité ? ». In C. Kermisch et G. Hottois (Eds.), *Techniques et philosophies des risques*, 111-122.
Callon, M., Lascoumes, P., Barthes, Y. (2001). Agir dans un monde incertain, essai sur la démocratie technique. Paris, France : Seuil.
Calvello M. (2017). Early warning strategies to cope with landslide risk, *Rivista Italiana Di Geotechnica,* 2.
Campenhout J.V., Hallot E., Houbrechts G. Peeters A., Levecq Y., Gérard P., Petit F. (2015). Flash floods and muddy floods in Wallonia: recent temporal trends, spatial distribution and reconstruction of the hydrosedimentological fluxes using flood marks and sediment deposits. *BelGéo*, 1, 22 p.

Cardinaletti M., Cardellini S., Ninivaggi A. (2010). The integrate landslide managing system of Ancona. *Sasakawa award for disaster reduction,* 24 p.
Cardon, D. (2015). *À quoi rêvent les algorithmes ? nos vies à l'ère des big data.* Paris, France : Seuil. Coll. La république des idées.
Carley, K. M., Malik, M., Landwehr M. Pfeffer, J., Kowalchuk, M., (2015). Crowd sourcing disaster management: the complex nature of Twitter usage in Padang, Indonesia, *Safery Science*, **90**, 48-61.
Carré C. (2006). Les évolutions en France dans la théorie et les pratiques d'une gestion territoriale du risque : l'application au cas des inondations, *Annales de Géographie,* **648** (2), 133-153.
Casteigts, M. (2013). Risques, développement durable et transactions discursives. *Pensées Plurielles*, **2**, 117-129.
Castrechini, A., Pol, E. (2006). Le rôle des médias dans la construction des représentations sociales de l'environnement. In K. Weiss et D. Marchand (Eds.), *Psychologie sociale de l'environnement*, Presses Universitaires de Rennes, p.121-132.
Cavalière C., Davoine P.A., Lutoff C., Ruin I. (2016). Analyser des tweets géolocalisés pour explorer les réponses sociales face aux phénomènes météorologiques extrêmes : Réflexions épistémologiques et verrous méthodologiques, *Actes du colloque SAGEO, Nice*, 12 p.
Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), Direction Territoriale Méditerranée (2014). R*etour d'Expérience des intempéries sur le département du Var du 19 janvier 2014, Volet 1 - Caractérisation hydraulique de l'événement,* 94p.
Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2011). *Rapport sur la gestion des digues de protection contre les inondations.* 60p.
Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2017). *Prévision et anticipation des crues et des inondations.* 72p.
Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Souchère, V., King, C., Antoni, V., Surdyk, N., Dubus, I., Arrouays, D., Desprats, J. F. (2006). Guide méthodologique pour un zonage départementale de l'érosion des sols Rapport n°3 : Synthèse et recommandations générales, 56 p.
Chateauraynaud, F. et Torny, D. (1999). *Les sombres précurseurs. Une sociologie de l'alerte et du risque.* Paris, France : EHESS.
Charland A., Leroux B. (2011). « Mobile Application Development Web vs Native » *Communications of the ACM,* **54** (5), 49p.
Chatfield, A. T., Reddick, C. G., Inan, D. I., & Brajawidagda, U. (2014). E-government, social media, and risk perception communication at the edge of disaster: findings from the Mt. Sinabung eruption in Indonesia. In *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Digital Government Research*, 153-162).
Chatzimilioudis G., Konstantinidis A., Laoudias C, et Zeinalipour-Yazti D. (2012). Crowdsourcing with Smartphones. *IEEE Internet Computing,* **16** (5), 36-44.
Chauvin, B. (2014). *La perception des risques. Apports de la psychologie à l'identification du risque perçu*. Bruxelles, Belgique : De Boeck, 123 p.
Chenji H. , Zhang W., Won M., Stoleru R., Arnett C. (2012) , A wireless system for reducing response time in urban search and rescue, *31st International Performance Computing and Communications Conference,* (IPCCC), 215–224 .
Chesneau, E. (2006). Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur : application aux cartes de risque. *Cybergeo : European Journal of Geography*, 360.
Cheung P.Y., Wong M.C., Yeng H.Y. (2006). Application of rainstorm nowcast to real-time warning of landslide hazards in Hong Kong. *World Meteorological Organization*, Report, 21 p.
Choy S., Handmer J., Whittaker J., Shinohara Y., Hatori T., Kohtake N. (2016). Application of Satellite Navigation System for Emergency Warning and Alerting. *Computers, Environment and Urban Systems,* **58,** 12-18.
CLEVER (2015). *Le livre blanc : alerte et information des populations en cas de risque majeur,* 67 P.
Cloutier, J. (2003). *Qu'est-ce que l'innovation sociale ?* Cahier du CRISES, ET0314. 60p.
Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) (2014). *Études et documents. Villes résilientes : premiers enseignements tirés d'une synthèse bibliographique.* Délégation au développement durable, **114**. 61p.
Collier C. (2007). Flash flood forecasting: what are the limits of predictability? *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,* **133** (622A), 3-23.
Christophe, S. (2017). *Personnalisation des représentations cartographiques en géovisualisation : couleurs et styles,* Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-Est, Paris, France, 176 p.
Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), (2011). *Rapport d'activité 2011.* Paris, France : La Documentation Française. Récupéré le 26 juin 2015 du site de la CNIL (en ligne), URL : http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/La_CNIL/publications/RA2011_CNIL_FR.pdf

Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) (2014). Évaluation à mi-parcours du plan «submersions rapides » de mars 2014. Récupéré le 25 juin 2015 du site du CGEDD : http://www.cgedd.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/009151-01_rapport_cle24b1e6.pdf
Coco R. (2015). *Le régime juridique de prévention et de réparation des risques naturels majeurs confronté aux exigences de justice sociale et environnementale.* L*e cas des Antilles françaises*, Thèse de droit public, Université des Antilles françaises, 385 p.
Colbeau-Justin, L. (2002). *Stratégies de faire face dans le cas d'une inondation catastrophique : analyse des paramètres psychosociaux dans les procédures de gestion de crise.* Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Programme de recherche RIO2. 91p.
Coleman D. J., Georgiadou Y., Labonte J., Observation E., Canada N. R., (2009). Volunteered Geographic Information: the nature and motivation of producers. *International Journal of Spatial Data Infrastructures*, **4**, 332-358.
Coombs, W. T. (2016). Reflections on a meta-analysis : crystallizing thinking on SCCT. *Journal of Public Relations Research, 28,* 120–122.
Cools J., **Innocenti D., O'Brien** (2016). Lessons from flood early warning systems, *Environmental Science & Policy*, **58**, 117-122.
Corack L., **Deschamps S., Vinet F.** (2018). La gestion de crise inondation : le point de vue opérationnel. In F. Vinet (Eds), *La gestion du risque inondation,* Editions ISTE, 259-276.
Cosandey C. (1992). De l'écoulement rapide de crue dans un petit bassin-versant forestier sur le bilan d'écoulement annuel, *Hydrologie continentale*, **7** (1), 13-22.
Coscarelli J. (2012). *Hurricane Sandy: a perfect social media storm. New-York Magazine,* (en ligne), URL: http://nymag.com/daily/intelligencer/2012/10/hurricane-sandy-perfect-social-media-storm.html
Cossart E. (2014). Des sources sédimentaires à l'exutoire : un problème de connectivité ?, Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Université Blaise Pascal Clermont Ferrand, 201 p.
Corvey, J.W., Verma, S. Vieweg, S. Palmer, M., Martin, J.H. (2010). *Foundations of a multilayer annotation framework for Twitter communications during crisis events*." Communication présentée à LREC 2012, 8th International Conference on Language Resources and Evaluation, Istanbul, Turquie (en ligne) http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2012/pdf/1008_Paper.pdf
Cour des Comptes (2008). *L'État face à la gestion des risques : feux de forêt et inondations*, 647-670.
Cour des comptes (2012). Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var. Rapport public thématique. 305p.
Coyle D., Meier P. (2009). *New Technologies in Emergencies and Conflicts: The Role of Information and Social Networks.*Washington, D.C. and London, UK : UN Foundation-Vodafone Foundation Partnership.
Créton-Cazanave, L. (2010). *Penser l'alerte par les distances. Entre planification et émancipation, l'exemple du processus d'alerte aux crues rapides sur le bassin versant du Vidourle*, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, France (en ligne) http://www.sudoc.fr/153530588
Creutin J.D., Borga M., Gruntfest E., Lutoff C., Zoccatelli D., Ruin I. (2013). A space and time framework for analyzing human anticipation of flash floods, *Journal of Hydrology*, **482**, 14-24.
Crosta G.B., Agliardi F. (2003). Failure forecast for large rock slides by surface displacement measurements. Can. Geotech Journal, **40**, 176-191.
Crosta G.B., Prisco (Di) C., Frattini P., Frigerio G. Castellanza R. Agglіari F. (2014). Chasing a complete understanding of the triggering mechanisms of a large rapidly evolving rockslide. *Landslides,* **11** (5), 727-747.
Cruden D. M, Masoumzadeh S. (1987). Accelerating creep of the slopes of a coal mine. *Rock Mech Rock Engineering*, **20**, 123-135.
Current J., O'Kelly M. (1992). Locating emergency warning sirens, *Decision Science*, **23** (1), 221–234.

D

Dai F.C., Lee C.F, Ngai Y.Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, **64**, 65-87.
Dark S.J., Bram D. (2007). The modifiable areal unit problem (MAUP) in physical geography, *Progress in Physical Geography,* **31** (5), 471-479.
Dashti S., Palen L., Heris M.P., Anderson K.M., Anderson T.J., Anderson S. (2014). Supporting disaster reconnaissance with social media data: a design- oriented case study of the 2013 Colorado floods. *Proceeding of the 11th International Conference on Information Systems for Crises response and Management* (ISCRAM), p. 24.
Daudé E., Rigal G. (2018). ESPACE : un environnement informatique de modélisation et de simulation d'évacuation massive de population adapté au risque inondation. *Actes du colloque de la SHF Prévision et gestion de crise,* Avignon, 16-18 novembre, 6 p.

Dauge Y. (1999). *Les politiques publiques de prévention des inondations*. Rapport au Premier Ministre.
Daupras, F. (2015). *Envisager la vigilance crue comme système organisationnel : les conditions de sa robustesse en territoires inondés dans le bassin Adour-Garonne (Sud-ouest de la France).* Thèse de doctorat, Université de Toulouse le Mirail 2, France, 354 p.
Daupras, F., Antoine, J.M., Becerra, S., Peltier, A. (2015). Analysis of the robustness of the French flood warning system: a study based on the 2009 flood of the Garonne River. *Natural Hazards*, **75** (1), 215-241.
Debionne, S., Ruin, I., Shabou, S., Lutoff, C., Creutin, J.-D., (2016). Assessment of commuters' daily exposure to flash flooding over the roads of the Gard region, France. *Journal of Hydrology,* **541**, 636–648.
Decrop G., Dourlens C., Vidal-Nacquet P.A., Cœur D. (2007). *Les Scènes locales de risque.* Lyon : Centre d'étude et de recherche sur les pratiques de l'espace (CERPE), rapport final, 235 p.
Dedieu F. (2009). Alerte et catastrophe : le cas de la tempête de 1999, un risque scélérat. *Sociologie du Travail,* **51** (3), 379-401.
Defossez S. (2009). *Évaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aube.* Montpellier : Université Montpellier 3, thèse de doctorat en géographie, 500 p.
Defrance, D., Javelle P., Organde, D., Ecrepont, S., Andréassian, V., Arnaud, P. (2014). Using damage reports to assess different versions of a hydrological early warning system. Hydrology and Earth System Sciences Discussion 11(4), 4365-4401.
Dehotin, J., Breil, P., Braud, I., DeLavenne, A., Lagouy, M., Sarrazin, B. (2015). Detecting surface runoff location in a small catchment using distributed and simple observation method. Journal of Hydrology **525**, 113-129.
Delahaye D. (2002) : *Apport de l'analyse spatiale en géomorphologie - modélisation et approche multiscalaire des risques.* Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, 2 tomes, Laboratoire Modélisation et Traitements Graphiques (MTG) Université de Rouen, 250p.
Delmas M., Pak L.T., Cerdan O., Souchère V., Le Bissonnais Y. et al (2012). Erosion and sediment budget across scale: A case study in a catchment of the European loess belt. *Journal of Hydrology*, **420**, 255-263.
Deloitte (Cabinet d'études) (2014). *Système d'alerte et d'information des populations (SAIP). Note de capitalisation du projet (2009-2014)*. 33p.
Demargne J., Javelle P., Organde D., Garandeau L., Janet B., Arnaud P. (2018). Intégration des prévisions immédiates de pluie à haute-résolution pour une meilleure anticipation des crues soudaines, Actes du colloque « De la prévision des crues à la gestion de crise », SHF, Avignon, 14-16 novembre 2018, 5 p.
Demarcin, P., Smoos, A., Dautrebande, S., Mokadem, A.I., Degre, A. (2009). Projet ERRUISSOL ou la cartographie des zones à risque de ruissellement et d'érosion en Région wallonne (Belgique). *Actes des 10èmes Journées d'étude des sols,* 8 p.
Demeilliers P. (2011). La perception de la mise en place des Plans Communaux de Sauvegarde (PCS) et leurs prises en compte à l'échelle intercommunale par les élus locaux : Étude de cas de la Communauté de Communes du Pays d'Azay-le-Rideau, Projet de fin d'étude, Département d'Aménagement, 68 p.
Deni, M. et Gisclard, B. (2017). Le design dans la gestion de la communication du risque : apports sémiotiques. Dans A. Zinna et I. Darrault-Harris (dir.), *Formes de vie et modes d'existence « durables »* (p.67-91). Toulouse, France : CAMS/O.
Desse M. (2013). Les îles de la Caraïbe: enjeux et perspectives, *Itinéraires géographiques*, **3,** 45-54.
D'Ercole R. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine,* **4**, 87-96.
De Bélizal E. (2012). *Les corridors de lahars du volcan Merapi (Java, Indonésie) : des espaces entre risque et ressource*. Contribution à la géographie des risques au Merapi, thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
De Longeville B., Annoni A., Schade S., Ostlaender N., Whitmore C. (2010). Digital earth's nervous system for crisis events: real-time sensor web enablement of volunteered geographic information. *International Journal of Digital Earth*, **3 (**3), 242-259.
De Marchi B., **Scolobie A., Delli Zotto G., Del Zotto M.** (2007). Risk construction and social vulnerability in an Italian Alpine region, *FLOODsite Report n˚T11-2006-08*, ISIG, Gorizia.
De Roo A.P.J., Wesseling C.G., Ritsema C.J. (1996). LISEM : a single-event physically based hydrological and soil model for drainage basins. I/Theory, input and output. *Hydrological Processes*, **10**, 1107-1117.
De Rosnay J. (2012). *Surfer la vie : Vers la société fluide*, Editions Des liens qui libérent, 210 p.
De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G., Govers, G., Vanmaercke, M., Van Rompaey, A., Arabkhedri, M., and Boix-Fayos, C.(2013)**.** Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand?, Earth-Sciences Review., **127**, 16–29,
DGSCGC (2013). *Guide Orsec. Alerte et information des populations*. Ministère de l'Intérieur. 6 (4).
Di Méo G. (1998). De l'espace aux territoires : éléments pour une archéologie des concepts fondamentaux de la géographie. *L'Information Géographique*, **3**, 99-110.

Donahue A. K., Tuohy R. V. (2006)**.** Lessons we don't learn a study of the lessons of disasters, why we repeat them, and how we can learn them. *Homeland Secrutity Affairs*, **2** (2), 29p.
Douglas, M., Wildavsky, A. (1982). *Risk and culture. An essay on the selection of technological and environmental dangers*. Berkeley, USA : University of California Press.
Douglas J., Edwards B. (2016). Recent and future developments in earthquake ground motion estimation, *Earth Science Review,* **160**, 203-219.
Dournel S., Gralepois M., Douvinet J. (2015), Les projets urbains en zones inondables communiquent-ils sur les risques, *Belgeo*, 1, 2015.
Douvinet J. (2008), *Les bassins versants sensibles aux « crues rapides » dans le Bassin Parisien - Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes,* Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 381 p.
Douvinet J. (2010). Le traitement des inondations en ‘‘catastrophe naturelle’’: un système à adapter ». Risques, Les cahiers de l’assurance, **83**, 104-112.
Douvinet J. (2018). Smartphone applications, a means to promote for emergency management in France? In Sedes F. (Eds), *Information system for Alarm Diffusion*, ISTE Publications, in press.
Douvinet J., Denolle A.-S. (2010). Les marges de manœuvre des maires face à l’application des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI). RISEO, *Risques, études et observations*, **1**, 38-51.
Douvinet J., Defossez S., Anselle A., Denolle A. (2011). Les maires face aux Plans de Prévention du Risque Inondation, *L’espace géographique*, Paris, **1**, 31-46.
Douvinet J., Gaume E., Payrastre O., HYMEX Team (2011). Reconstituer les débits de pointe des crues rapides survenues le 15 juin 2010 dans la vallée de la Nartuby (Var, France) : apports d’un retour d’expérience mené dans le cadre d'HYMEX. Journées des Jeunes Géomorphologues, 3-5 février.
Douvinet, J., Gisclard, B., Kouadio, J.S., Saint-Martin, C., Martin, G. (2017). Une place pour les technologies smartphones et les Réseaux Sociaux Numériques (RSN) dans les dispositifs institutionnels de l'alerte aux inondations en France ? Cybergeo : European Journal of Geography, 835.
Douvinet J., Kouadio J., Grasland C. (2017). Développer une application smartphone pour face aux inondations rapides : le jeu en vaut-il la chandelle ?, *Actes du colloque Géorisques*, Publications de l’Université Paul-Valéry, Montpellier III, 7, 59-72.
Douvinet J., Janet B. (2017). Effectiveness of Institutional Alert Tools in Flood Forecasting in France. In VINET F. (Ed), Floods, Volume 2, Risk Management, ISTE Publications, 179-193.
Douvinet J., Pallares R., Genre-Grandpierre C., Gralepois M., Rode S., Servain-Courant S. (2013). L'information sur les risques à l'échelle communale. Occurrence et facteurs explicatifs du DICRIM, un outil préventif sous-utilisé. *Cybergeo : European Journal of Geography, 658.*
Douvinet J., Van de Wiel M., Delahaye D., Cossart E. (2014). A flash flood hazard assessment in dry valleys (northern France) by cellular automata modeling. *Natural Hazards*, **75** (3), 2905-2929.
Douvinet, J., Vinet, F. (2012). La carte des arrêtés « CatNat » pour les inondations : limites et améliorations possibles. M@ppemonde, 107 (3).
Douvinet J., Gisclard B., Martin G. (2018).
Do-Duy T., Vázquez-Castro M. A. (2015). Efficient communication over cellular networks with network coding in emergency scenarios, *Proceeding of the 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM*), Rennes, 2015, 71-78.
Drabek T. E. (1999)**.** Understanding disaster warning responses. *The social science Journal*, **36 (**3), 515-523.
Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement (DREAL PACA) (2014). *Éléments sur les événements survenus dans le Var suite aux intempéries des 16 au 20 janvier 2014,* Retour d’expérience, 66 p.
Dufès E. (2016). L’auto-organisation de la population en situation de crise : l’agir ensemble. Perspectives. *Les cahiers scientifiques de l'ENSOSP,* **15**, 51-79.
Dupont N., Planchon O., Cador J.M., Delahaye D., Douvinet J. (2008). Circulations atmosphériques et types de crises hydrologiques dans le nord-ouest de la France. In LAMARRE D., (Eds), *Climat et risques: changements d’approches.* Paris: Éditions Tec & doc, Lavoisier, coll. «SRD. Série Innovations», 170 p.
Durand, S. (2014). *Vivre avec la possibilité d'une inondation ? Ethnographie de l'habiter en milieu exposé...et prisé* (Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille, France). Récupéré de l'auteur le 30 janvier 2015.

E

Eicher J.C. (1983). *L’économie des nouveaux moyens d’enseignement, Coût et efficacité.* Paris, Editions UNESCO, 24-36.
Eilander D., Trambauer P., Wagemaker J., van Loenen A. (2016). Harvesting Social Media for Generation of Near Real-time Flood Maps, *Procedia Engineering*, **154**, 176-183.

El-Azouzi R., De Pellegrini F., Sidi H., Kamble V. (2013). Evolutionary forwarding games in Delay Tolerant Networks: equilibria, mechanism design and stochastic approximation, *Computer Networks*, **6** (1), 655-664.
Erdjel M., Krol M., Natalizio E. (2017). Wireless Sensor Networks and Multi-UAV systems for natural disaster management, *Computer networks*, **124**, 72-86.
Espinosa-Aranda A., Cuellar, G, Ibarrola R. Islas R., Garcia A., Rodriguez I.C., Frontana B. (2012). The Seismic Alert System of Mexico (SASMEX) and their Alert Signals broadcast results, Proceedings of the 15th WCEE, Lisbonne, 1455, 9 p.
Estupina-Borrell V., Dartus D., Ababou R. (2006). Flash flood modeling with the MARINE hydrological distributed model. *Hydrology and Earth System Sciences*, **3**, 3397-3438.
European Emergency Number Association (EENA) (2018). Social media utility, Report, 56 p.
Evans, B.M., Lehning, D.W., Corradini, K.J., Petersen, G.W., Nizeyiman, E., Hamlett, J.M., Robillard, P.D. , Day, R.L. (2002). A comprehensive GIS-based modeling approach for predicting nutrient loads in watersheds. *Spatial Hydrology*, **2**, 1-18.
Evrard O., Persoons E., Vandele K., Van Wesemael B. (2007). Effectiveness of erosion mitigation measures to prevent muddy floods: A case study in the Belgian loam belt, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **118**, 149-158.

F

Fajardo J. T. B., Oppus C. M. (2009). A mobile didaster management system using the Android technology. *International journal of communications,* **3** (3), 77-86.
Faraco G., Pantano P., Servidio R. (2006). The use of cellular automata in the learning of emergence. *Computers and education*, 47, 280-297.
Feldman D., Contreras S., Karlin B., Basolo V., Matthew R., Sanders B., Houston D., Cheung W., Goodrich K., Reyes A., Serrano K., Schubert J., Luka A. (2016). Communicating flood risk: Looking back and forward at traditional and social media outlets, *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **15**, 43–51.
Fen-Chong J. (2012). *Organisation spatio-temporelle des mobilités révélées par la téléphonie mobile en Ile-de-France.* Thèse en géographie, Université Paris 1, 218 p.
Fenicia F., Savenije H.G., Matgen P., Pfister L. (2008). Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement, *Water Resources Research*, 44, W0140.
Fernandez, L.S. et al. (2006). Spontaneous volunteer response to disasters. The benefits and consequences of good intentions, *Journal of Emergency Management*, **4** (5), 57-68.
Fienen N. F., Lowry C. R. (2012). Social.Water - A crowdsourcing tool for environmental data acquisition, *Computers and géosciences*, **49**, 164-169.
Finucane, M.L. et Holup, J.L. (2006). Risk as value : combining affect and analysis in risk judgements. *Journal of Risk Research*, **9**, 141-164.
Fischoff B., Slovic P., Lichtenstein S., Read S., Combs B., (1978). How safe is enough ? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy Sciences, **9,*** 127-152..
Fitzpatrick C., Mileti D.S. (1994). Public risk communication, in: R. Dynes, K. Tierney (Eds.), Disasters, Collective Behaviour and Social Organization, University of Delaware Press, Newark, 234-243.
Fléty L, Pradel B. (2005). La diffusion du haut débit en France. Flux, **60-61** (2), 116-121.
Fragkiadakis A. G., Askoxylakis I. G., Tragos E. Z., Verikoukis C. V. (2011)**.** Ubiquitous robust communication for emergency response using multi-operator heterogeneous networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, **1**, 16p.
Fugate C. (2011). *Improving the nation's response to catastrophic disasters: how to minimize costs and streamline our emergency management programs.* Récupéré le 25 juin 2015 du site du Department of Homeland Security of USA (en ligne), URL : http://www.dhs.gov/news/2011/03/30/administrator-craig-fugate-federal-emergency-management-agency-transportation-and
Framery, D. (2003). Les inondations de la Somme en 2001 : enjeux de pouvoirs dans un contexte de décentralisation. *Hérodote, 110,* 29-46.

G

Gaillard, J.-C, Wisner B., Benouar D., Cannon T., Créton-Cazanave L., Dekens J., Fordham M., et al. (2010)**.** *Alternatives pour une réduction durable des risques de catastrophe*. **3,** 66p.
García C. (2012). Concevoir et mettre en place un Système d'Alerte Précoce Intégré plus efficace dans les zones de montagnes : une étude de cas en Italie du Nord. *Revue géographie alpine*, 100-110.
Garcia C., Fearnley C. (2012). Evaluating critical links in early warning systems for natural hazards. *Environmental Hazards*, **31**, 123-137.

Garry G., Graszk E. (1999). *Plans de prévention des risques naturels : risques d'inondation*. Editions La Documentation française, Collection « Guides », Paris, 123 p.
Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaskovicova L., Bloschl G., Borga M. Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irismescu A., Kohnova S., Koutroulis A. Marchi L., Matreat S., Medina V., Preciso E., Sempre-Torres D., Strancalie G., Szolgay J., Tsnais I., Velasco D., Viglione A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology,* **367**, 70-78.
Gaume, E., Borga, M., (2013). État des connaissances récentes acquises sur les crues éclair en Europe: bilan du projet de recherches européen HYDRATE (2006-2010). La Houille Blanche, Revue Internationale De L'Eau, 24-30.
GECOTEC [Groupement Economique de Contrôle Technique de la Construction] (2002) – Intempéries du novembre 2001. Retour sur une catastrophe. *Le Contrôle Technique de la Construction*, 25, 16 p.
Gentric, J. et Langumier, J. (2009). Inondations des villes, inondations des champs. *Natures Sciences Sociétés, 3/17,* 257-265.
Georgakakos, K.P., (2006). Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of hydrology*, **317** (1–2), 81-103.
Gérard P. (2013), *Analyse temporelle et spatiale des flash-floods en région wallonne (Belgique), Mémoire en Sciences géographiques*, Université de Liège, 98 p.
Gérin S. (2011). *Une démarche évaluative des Plans de Prévention des Risques dans le contexte de l'assurance des catastrophes naturelles: Contribution au changement de l'action publique de prévention.* Paris: Université Diderot Paris 7, thèse de doctorat, 300 p.
Gershenfeld, N. (2007). *Fab : the coming revolution on your desktop- from personnal computer to personal fabrication.* New-York, USA : Basic Books.
Giannocarro F. (2005). Le plan communal de sauvegarde : enfin !, *La Lettre du cadre territorial*, **304**, 65-67.
Gilbert, Y. (2009). L'engagement dans les espaces de la sphère publique : pour la construction partagée de la décision collective, *Interrogations ?,* **9**, 17-27.
Girandola, F. (2003). *Psychologie de la persuasion et de l'engagement*. Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, 146 p.
Giraut F., Vanier M. (1999).Plaidoyer pour la complexité territoriale, Rapport final pour l'axe Gouvernance et territoire, Agence Rhône-Alpes, 95-116.
Gisclard B. (2017). *L'innovation sociale territorialisée : un levier de réappropriation du risque inondation par les habitants. L'exemple des crues rapides dans les territoires ruraux du Gard et du Vaucluse (France).* Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, 324 p.
Gisclard B., Douvinet J., Martin G., Demontis A. (2017). From public Involvement to Citizen-Based initiatives: How Can Inhabitants Get Organized to Face Floods? In VINET F. (Ed), *Floods*, Volume 2, Risk Management, ISTE Publications, 195-208.
Gill, J. C., Malamud, B. D. (2014). Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards, Rev. Geophys., **52**, 680–722.
Glantz M. (2009). Heads up! Early warning systems for climate, water and weather related hazards. Tokyo, United Nations University Press, Editions Collins, 267 p.
Goffman, E. (1973). *La mise en scène de la vie quotidienne. 1 : La présentation de soi.* Paris, France, Collection les Éditions de Minuit, 178 p.
Goodchild M. F. (2007). *Citizens as sensors: the world of volunteered geography*. National Center for Geographic Information and Analysis (en ligne),
Gourgues, G. (2015). *La participation publique, nouvelle servitude volontaire ?* Hermès, la Revue, 73, 83-89.
Gralepois, M. (2012). *Face aux risques d'inondation.* Paris, France : Presses de la Rue d'Ulm, 126 p.
Gralepois M., Douvinet J. (2012). « Au secours des maires ! », Réflexions sur les facteurs de blocage dans la mise en place des plans communaux de sauvegarde, *Risques Infos,* **4**, 7-11.
Grislain-Létrémy C, Lahidji E., Mongin P. (2012). *Les risques majeurs et l'action publique*. Conseil d'analyse économique, Paris, 34 p.
Grothmann, T., Reusswig (2006). People at Risk of Flooding: Why SomeResidents Take Precautionary Action While Others do not. *Natural Hazards,* **38***,* 101–120.
Grangeat A. (2016). Modélisation de la vulnérabilité structurelle et fonctionnelle de réseaux au sein d'un outil SIG (Système d'Information Géographique)*, Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Alès.*
Grossetti M. (2014). Que font les réseaux sociaux aux réseaux sociaux ? Réseaux personnels et nouveaux moyens de communication », *Réseaux*, **184**, 187-209.
Guan X., Chen, C., Work, D. (2016). Tracking the Evolution of Infrastructure Systems and Mass Responses Using Publically Available Data. PloS one, **11,** e0167267, 13 p.
Guitton, A. (2013). Hackers, au coeur de la résistance numérique. Vauvert, France : Au diable Vauvert.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides,* **5**, 3-17.

H

Halbwachs, M. (1994). *Les cadres sociaux de la mémoire.* Paris, France : Albin Michel, 128 p.
Handmer J., Ratajzak-Juszko (2011). Systematic review of reports on emergency alert (Melboune), 12 p.
Hassine B. (2014). Les pouvoirs du maire en matière de prévention de la déliquance, *Thèse en droit public, Université d'Evry-Val d'Essonne,* 313 p.
Haut Comité Français pour la Défense Civile (HCFDC) (2012). *Risques et menaces exceptionnels – Quelle préparation ?* Rapport d'activité sur l'année 2011, 12 p.
Hay-Lepetre C. (2005). *Dynamiques spatiale et temporelle de l'aléa inondation : De l'analyse des phénomènes à l'évaluation des pratiques d'aménagement : L'exemple de la Seine-Maritime*, Thèse de Doctorat, Université de Rouen, 530p.
Hébert M. (2008). Les automates d'appel en masse : quel système pour ma collectivité ?, IRMA-Infos, 3 p.
Hecker M. (2014). Le tsunami numérique. Gérer les catastrophes naturelles à l'heure des réseaux sociaux. *Etudes, revue de culture contemporaine*, **7**, 9-18.
Hettiarichchi S. (2018). Establishing the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System for human and environmental security, *Procedia Engineering*, 212**,** 1339-1346.
Higonet H, Moureau P., Roy F., Weiss W. (2014). *Comment utiliser les réseaux sociaux en gestion de crise ?* Promotion CGPT 2014/O1 n° 28 (Mémoire de FAE de l'ENSOSP et certificat d'Études Politiques de Science Po). URL : http://crd.ensosp.fr/doc_num.php ?explnum_id =8170
Hirel G. (2002). Rapport sur le réseau national d'alerte de l'inspection générale de l'administration, de l'inspection générale des finances, le conseil général des technologies de l'information, le contrôle général des armées et l'inspection générale de l'environnement, 32 p.
Horita F., Degrossi L., Assis L.F., Zipf A., De Albuquerque J. (2013)**.** The use of Volunteered Geographic Information and Crowdsourcing in Disaster Management: a Systematic Literature Review. In *19th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2013,* **5**.
Houston, J.B., Pfefferbaum B., Rosenholtz C.E. (2012). Disaster news: framing and frame changing in coverage of major U.S. natural disasters, 2000–2010. *Journalism and Mass Communication Quarterly*. **89** (4), 606–623.
Hubert J. (2011). *Recensement et état des lieux des dispositifs d'alerte locaux existants en France face au risque de crue rapide et ruissellement*, UAPV-SCHAPI, 74 p.
Hubert M. (2008). Les automates d'appel en masse : quel système pour ma collectivité *?, Risques Infos*, **21**, 32-34
Hughes A., Palen L., Palen L., Sutton J., Liu S, Vieweg S. (2008). *Site-seeing » in disaster : an examination of on-line social convergence*. 5th International ISCRAM Conference, Washington, DC, USA https://www.cs.colorado.edu/~palen/Papers/iscram08/OnlineConvergenceISCRAM08.pdf
Hughes A. L., Palen L. (2009). Twitter adoption and use in mass convergence and emergency events. *Int. J. Emerg. Manage*. **6** (3), 248–260.
Huguet, F. (2017). Le déploiement des réseaux communautaires sans fil (MESH), *Netcom*, **31** (1/2), 33-52.
Huizinga J. (1988). *Homo ludens. Essai sur la fonction sociale du jeu*. Paris, Éditions Gallimard, 245 p.
Hung, K.C., Kalantari, M., Rajabifard, A. (2016). Methods for assessing the credibility of volunteered geographic information in flood response : a case study in Brisbane, Australia. *Applied Geography,* **68**, 37-47.

I

IBZ (*Service public federal Intérieur*) (2017). Principes de fonctionnement de *Be-Alert*, 42 p.
International Data Corporation (IDC) (2013). Chiffres clés : les OS pour smartphones.
IFRC (2008). *Community early warning systems: guiding principles*, IFRC, 84p.
Ikeda S., Sato T., Fukuzono T. (2008). Towards an integrated management framework for emerging disaster risks in japan. *Natural Hazards*, **44**, 267-280.
Inspection Générale de l'Administration (IGA), Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) (2010). *Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 juin 2010.* 87p.
Inspection Générale de l'Administration (IGA), Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) et Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER) (2015). *Rapport final. Mission d'expertise sur les crues de décembre 2013 à février 2014 en Bretagne.* 370p.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Scientific Basis.* Cambridge Univesity Press, Cambridge, 881 p.
Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (ISRN) (2017). Baromètre IRSN 2017 sur la perception des risques et de la sécurité par les Français : les principaux constats, 56 p.

J

Jain A., Adebayo J., De Leon E., Li W., Kagal L., Meier P., Castillo C. (2015). Mobile Application Development for Crisis Data, *Procedia Engineering*, **107**, 255-262.
Jaillet, C., Poulard, C., Breil, P. (2012). Méthodes de cartographie du ruissellement (au sens de la Directive Inondation). Synthèse des méthodes de cartographie des inondations par ruissellement en France, IRSTEA, Lyon, rapport interne, 32 p.
Jauréguiberry F. (2014). Connexion/déconnexion, in D. Frau-Meigs et A. Kiyindou (Eds) : *La diversité culturelle à l'ère du numérique : glossaire critique*, Paris, La documentation française, 89-93.
Javelle, P., Demargne, J., Defrance, D., Pansu, J., Arnaud, P. (2014). Evaluating flash-flood warnings at ungauged locations using post-event surveys: a case study with the AIGA warning system. *Hydrological Sciences Journa*l, **59**, 1390-1402.
Jetten, V., Govers, G., and Hessel, R.(2003). Erosion models: quality of spatial predictions, *Hydrological Proces*ses, **17**, 887–900.
Jin, Y., Liu, B. F., Austin, L. (2014). Examining the role of social media in effective crisis management: The effects of crisis origin, information form, and source on publics' crisis responses. *Communication Research*, **41**, 74–94.
Jonkman, S.N., Penning-Rowsell, E. (2008). Human instability in flood flows. Journal of the American Water Resource Association, 44 (4), 1–11.
Jonkman, S.N. et Kelman, I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters, 29-1,* 75-97.
Jouve, B. (2005). La démocratie en métropoles : gouvernance, participation et citoyenneté. *Revue française de science politique*, **55**, 317-337.

K

Kahneman, D.,Tversky, A. (1979). Prospect theory : an analysis of decision under risk. *Econometrica*, **47 (**2), 263-292.
Kanamori H. (2005). Real-time seismology and earthquake damage mitigation, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.,* **33**, 195–214.
Kasereka S., Kasoro N., Kyamakya K., Dougmo Goufo E.F., Chokki A.P., Yengo M.V. (2018). Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire*, Procedia Computer Science*, **130**, 10-17.
Keßler C., Hendrix C. (2015). The humanitarian exchange language: coordinating disaster response with semantic web technologies. *Semantic Web*, **6** (1), 5-21.
Kharroubi, O. (2013). *Prévision des crues par modèle de réseau de neurones artificiels : application au bassin versant de l'Eure*. (Thèse de doctorat, Université de Lille 1, Lille, France).
Kim, J., Hastak, M. (2018). Social network analysis: Characteristics of online social networks after a disaster. *International Journal of Information Management*, **38**, 86-96.
Kitamura T., Managi S. (2017). Energy security and potential supply disruption: A case study in Japan, *Energy Policy*, **110**, 90-104.
Klein, J.L., Harrisson, D. (dir.) (2010). *L'innovation sociale. Émergence et effets sur la transformation des sociétés.* Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.
Kondolf M.G., **Piégay H. (**2003). *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley & Sons, Chichester, Royaume Uni.
Kouabenan R. (2006). Beliefs and the perception of risks and accidents. *Risk Analysis,* **18** (3), 243-252.
Kouadio J.K. (2016). *Les technologies smartphones comme outils d'aide à l'alerte aux crues rapides en France – Expérimentations dans le Var et le Vaucluse. Thèse de Géographie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse*, 220 p.
Kouadio J.K., Douvinet J. (2016). Diffuser l'alerte aux crues rapides *via* une application smartphone en France : de la théorie à la mise en pratique. *Ingénieries des systèmes d'information*, Lavoisier, **21** (4), 49-66.
Koumidis K., Kolios P., Panayiotou C., Ellinas G. (2015). ProximAid: Proximal adhoc networking to aid emergency response, *2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management* (ICT-DM), Rennes, 20-26.
Kudzys A. (2016). Safety of power transmission line structures under wind and ice storms, Engineering Structures, **28** (5), 682-689.

Kuligowski E.D. (2011). *Terror Defeated: Occupant Sensemaking, Decision-making and Protective Action in the 2001 World Trade Center disaster,* University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado, 2011.
Kuslev K., Proulx J., Dunn E.W. (2016). "Silent your phones" : smartphone notifications increase inattention and hyperactivity symptoms, *Proceedings of the CHI Confence on Human Factors*, 1011-1020.
Kwak H. et al. (2010). What is Twitter, a Social Network or a News Media ?, *Proceedings of WWW'10,* New-York, 591-600.

L

Lacquement, G., Quéva, C. (2016). Introduction, Innovations sociales et développement des territoires dans les campagnes européennes, *Norois*, **241**, 7-13.
Lalo A. (2002). Le débat public sur les catastrophes naturelles: cas des inondations dans les Alpes-Maritimes*. Ingénieries-EAT,* **29**, p-2737.
Lagadec, P. (2015). *Le continent des imprévus. Journal de bord des temps chaotiques*. Paris, France : Manitoba/les Belles Lettres, 254 p.
Lagadec L.R. (2016). *Évaluation et développement de la méthode IRIP de cartographie du ruissellement. Application au contexte ferroviaire.* Thèse de doctorat, IRSTEA Lyon, 381 p.
Lambert R., Vigneau J.P. (1981). Les inondations catastrophiques de juillet 1977 en Gascogne. Etude géographique d'une situation. Problèmes de prévision et de prévention. *Annales de Géographie*, **947**, 1-15.
Landwehr P.M., Wei W., Lowalchuck M. Carley K.M. (2016). Using tweets to support disaster planning, warning and response. *Safety science*, **90**, 33-47.
Lang M., Cœur D. (2004). Les inondations remarquables en France, Editions Quae, Paris, 660 p.
Langlois P., Delahaye D. (2002). « Ruicells », automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface. Revue Internationale de Géomatique, **12** (4), 461-487.
Langumier, J. (2008). Survivre à l'inondation, pour une ethnologie de la catastrophe. Lyon, France : ENS Editions.
Lapointe L., Boudreau-Pinsonneault C., Vaghefi I. (2013). Is smartphone usage truly smart ? A qualitative investigation of IT addictive behaviors. *Proceedings of the 46th Hawaii International Conference on Sytem Sciences*, 1063-1072.
Larue J.-P. (2005). The status of ravine-like incisions in the dry valleys of the Pays de Thelle (Paris basin, France). *Geomorphology*, **68** (2), 242-256.
Laurila J. K., Gatica-Perez D., Aad I., Blom J., Bornet O., Minh Tri Do M., Dousse O., Eberle J., Miettinen M. (2013). From big smartphone data to worldwide research: the mobile data challenge. *Journal Persuasive and Mobile Computing,* **9 (6)**, 752-771.
Lavabre J., Fouchier C., Folton N. et Gregoris Y. (2003). SHYREG : une méthode pour l'estimation régionale des débits de crue. Application aux régions méditerranéennes françaises. *Ingénieries*, **2**, 97 - 111.
Lavigne F., Paris R. (2011). *Tsunarisque: Le tsunami du 26 décembre 2004 à Aceh, Indonésie*, Publications de la Sorbonne, 324 p.
Laville, J. L. (2014). Innovation sociale, économie sociale, et solidaire, entrepreunariat social, une mise en perspective historique. Dans J.L. Klein, J.L., Laville et F. Moulaert (dir.), *L'innovation sociale*, Toulouse, Editions Erès, 76-90).
Latour, B. (2005). *Reassembling the Social. An introduction to the Actor Network Theory*. UK : Oxford University Press.
Layre O. (2010). Modèle de PCS pour les communes de moins de 3 000 habitants, Rapport de Stage : Master 2 Professionnel Gestion de crise, Université Paul Valéry de Montpellier, 67 p.
Lazo J.K., Chestnut L. G.(2002). Economic value of current and improved weather forecasts in the US house hold sector: report prepared for the National Oceanic and Atmosphere, 56 p.
Lebouc L., Payrastre O. (2016). Reconstitution et analyse des débits de pointe des crues du 3 octobre 2015 dans les Alpes Maritimes. Convention DGPR-IFSTTAR, 2016 n°2201030666 du 14 octobre, 19 p.
Ledoux B. (2005). *La gestion du risque inondation*, Éditions Lavoisier, Collection Tech et Doc, Paris, 792 p.
Ledoux B. (2017). *Méandre, Lettre d'informations*, Novembre 2017, 23 p.
Leone F. 2007. Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évolution géographique multirisque. Géographie. Université Paul Valéry – Montpellier III, 331p.
Leone, F., Vinet, F. (2008.). *La mise en carte des risques naturels.* Montpellier, Presses Universitaires de la Méditerranée, 156 p.
Leone, F., Vinet, F. (2011). La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels. Dans F. Leone et F. Vinet (dir.), *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques* (p.9-25)*.* Montpellier, France : Presses Universitaires de la Méditerranée.
Lévy, J. (2013). Territoire. In Levy J. et Lussault M. (dir.). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des*

sociétés. Paris, France, Editions Belin, 995-998.
Lewandowsky, S., Geiger, S.M., Oberauer, K. (2008). Interference-based for- getting in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, **59**, 200-222.
Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D. (2002). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, **46**, 207-220.
Le Coz, J., Renard, B., Bonnifait, L., Branger, F., Le Boursicaud, R. (2014). Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: A Bayesian approach, *Journal of Hydrology*, **509**, 573–587.
Le Gouée, P., Delahaye, D., Bermond, M., Marie, M., Douvinet, J., Viel, V., (2010). SCALES: a large-scale assessment model of soil erosion hazard in Basse-Normandie (northern-western France). *Earth Surface Processes and Landforms,* **35**, 887-901.
Lhomme S., Serre D., Diab Y., Laganier R. (2010). Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine. *Bulletin de l'Association de géographes français*, Association des Géographes Français, 487-502.
Lindell M.K., Perry R.W. (2012). The Protective Action Decision Model: Theoretical Modifications and Additional Evidence, *Risk analysis*, **32** (4), 616-632.
Lindsay B. R. (2011)**.** Social Media and Disasters: current uses, future options, and policy considerations. 7-5700. Congressional Research Service.
Liu B.F., Fraustino J.D., Jin Y. (2005). How disaster information form, source, type & prior disaster exposure affect public outcomes: jumping on the social media bandwagon, *J. Appl. Commun. Res*., **43**, 44-65
Liu B. F., Wood M. M., Egnoto M., Bean H., Sutton J., Mileti D., Madden S. (2017). « Is a Picture Worth a Thousand Words? The Effects of Maps and Warning Messages on How Publics Respond to Disaster Information ». *Public Relations Review,* **43** (3), 493-506.
Llasat, M.-C., Barriendos, M., Barrera, A., Rigo, T. (2005), Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records, *Journal of hydrology, 313 (1)*: 32-47.
Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Petrucci, O., Pasqua, A.A., Rossello, J., Vinet, F., Boissier, L. (2013). Towards a database on societal impact of mediterranean floods within the framework of the hymex project. Natural Hazards and Earth System Sciences, **13** (5), 1337-1350.
Luccini F. (2016). Pour une réflexion sur les usages des données numériques en géographie, *NetCom*, **30** (3/4), 175-180.
Lumbroso, D., Gaume, E. (2012) Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges, Journal of Hydrology, **414–415**, 16–30.
Lutoff, C., Creutin, J. D., Ruin, I., Borga, M. (2016). Anticipating flash-floods : multi-scale aspects of the social response. *Journal of Hydrology,* **541***,* 626-535*.*

M

Machane D., Chatelain J.-L., Cheikhlounis G., Guemache M.-A., Guillier B., Dahmani K., Bichi N., Bensalem R., Oubaiche E., Kasmi H. (2008). Apport du bruit de fond dans l'estimation de l'extension de la coulée de boue suite aux inondations de Bab el Oued (Alger) de novembre 2001. *7e Colloque National Association Française de Génie Parasismique*, Ecole Centrale de Paris, 8 p.
Marahatta S., Parajuli B. (2015). Study of Ramche Lanslide Dam Outburst Flood in Kaligandaki River, Katmandu, Nepal. Report of the Department of Hydrology and Meteorology, 46 p.
Maillard M. (2011). Justices seigneuriales et police des communautés rurales en Anjou au xviiie siècle. *Annales de Bretagne et des Pays de l'ouest,* **111**, 143-165.
Malet J.-P (2003). *Les « glissements de type écoulement » dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique*. Thèse de Doctorat, Université Louis-Pasteur, Strasbourg, 364 p
Malmon D.V., Reneau S.L., Dunne T. (2004). Sediment sorting and transport by flash floods, *Journal of GeoPhysical Research,* **109**, F02005.
Manzini, E. (2015). Making things happen : social innovation and design. *Design Issues***, 30**, 57-66.
Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. Journal of Hydrology, **394**, 118-133.
Martelloni G., Segoni S., Fani R., Catani F. (2012). Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides,* **9**, 485-495.
Marty, F., Thevenet, G. (2006). Méthodologie de cartographie de l'aléa ruissellement et coulées boueuses. Utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) comme aide à la décision. JNGG2006: Journees Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingenieur, Lyon, France, 12 p.

Marzocchi W., Garcia-Aristizabal A., Gasparini P., Mastellone M. L., Di Ruocco A. (2012). Basic Principles of Multi-Risk Assessment: A Case Study in Italy. *Natural Hazards,* **62** (2), pp. 551 73.
Mas E., Suppasri A., Imamura F., Koshimura S. (2012). Agent-based Simulation of the 2011 Great East Japan Earthquake/Tsunami Evacuation: An Integrated Model of Tsunami Inundation and Evacuation, *Journal of Natural Disaster Science,* **34**, 41-57.
Mathews A.J., Ellis E.A. (2016). An evaluation of tornado siren coverage in Stillwater, Oklahoma: optimal GIS methods for a spatially explicit interpretation, Applied Geography, **68**, 28–36.
Mathews A.J., Haffner M., Ellis E.A. (2017). GIS-based modeling of tornado siren sound propagation: Refining spatial extent and coverage estimations, *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **23**, 36–44.
Matveeva M. (2006). Early Warning and Early Response: Conceptual and Empirical Dilemmas, Report for the European Centre for Conflict Prevention, International Secretariat of the Global Partnership, 66 p.
McLaughlin A.C., Mayhorn C.B. (2014). Designing effective risk communications for older adults, Safety Science, **61**, 59–65.
Mei E.T.W, Fajarwati A., Hasanati S, Sari I.F. (2015). Resettlement following the 2010 Merapi Volcano eruption, *Procedia - Social and Behavioral Sciences,* **227**, 361-369.
Menad W., Douvinet J., Beltrando G., Arnaud-Fassetta G. (2012). Evaluer l'influence de l'urbanisation face à un aléa météorologique remarquable : les inondations des 9-10 novembre 2001 à Bab-el-Oued (Alger, Algérie) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **18-3,** 337-350.
Mendoza M., Poblete B., Castillo C. (2010). Twitter under Crisis: Can We Trust What We RT?, In *ACM Press,* 71-79. https://doi.org/10.1145/1964858.1964869
Meschinet de Richemond, N. (1997). *Les inondations catastrophiques sur la bordure montagneuse du Roussillon : dégâts et sinistrés.* Thèse de doctorat, Université Paris 10, France, 523 p.
Meschinet de Richemond N., Reghezza M. (2010). La gestion du risque en France : contre ou avec le territoire ?, *Annales de géographie,* **673** (3), 248-254.
Meunier M. (1993) – *Éléments d'hydraulique torrentielle*. Etudes Montagne, 1, Editions Cemagref, 278 p.
Middleton, S.E., Middleton, L., Modafferi, S. (2014). Real-time crisis mapping of natural disasters using social media. *IEEE Intell. Syst*, **29** (2), 9–17.
Mileti D.S., O'Brien P.W. (1992). Warnings during disaster: normalizing communicated risk, *Social. Probl*. **39**, 13-18.
Mileti D.S., Sorensen J.H. (1990), Communication of Emergency Public Warnings, in Landslides, Colorado State University: Centre for International Research on Education Systems website, 52–70.
Millerand, F., Proulx, S. et Rueff, J. (dir.) (2010). *Web social. Mutation de la communication*. Québec, Canada, Presses de l'Université du Québec. Coll. Communication, 145 p.
Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) (2005). *Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles*, Rapport de l'Inspection Générale des Finances (IGF), du Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC), et de l'Inspection Générale de l'Environnement (IGE), 95 p. + annexes.
Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (MEFI) et Ministère du Budget, des Comptes Publics, de la Fonction Publique et de la Réforme de l'État (2011). *Plan Submersions Rapides (PSR). Submersions marines, crues soudaines et ruptures de digues.* 80p.
Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2012). *Rapport 2012 de la déléguée aux risques majeurs.* (p 15-16). Récupéré le 11 mai 2015 (en ligne), URL : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/237__rapp-2012-a4-301213-web.pdf
Ministère de l'Intérieur (2014). *Guides Twitter Facebook pour les préfectures, Service d'Information du Gouvernement*. Récupéré le 11 mai 2015 (en ligne), URL : http://www.interieur.gouv.fr/Actualites/L-actu-du-Ministere/Votre-prefecture-presente-sur-les-reseaux-sociaux
Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2015). *Rapport 2013-2014 de la déléguée aux risques majeurs*. Direction Générale de la Prévention des Risques. 84p.
Montané A. (2014). L'approche hydrogéomorphologique : pratiques, valorisations et développement d'une méthode de cartographie des zones inondables, Thèse de doctorat, Université P-V. Montpellier, 345 p.
Montjoye, Y.-A., Hidalgo C.A., Verleysen M., Blondel V.D. (2013). Unique in the Crowd: The privacy bounds of human mobility. *Science Report*, 3, 1376-1381
Montz, B.E., Gruntfest, E. (2002). Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Environmental Hazards*, **4**, 15-22.
Moreau, Y. (2017). *Vivre avec les catastrophes*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 168 p.
Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France, Editions Seuil, 358 p.
Morgenstern, O., Von Neumann, J. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton, USA : Princeton University Press, 354 p.

Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France, Editions Seuil, 265 p.
Morin, E., Goodrich, D., Maddox, R., Gao, X., Gupta, H., Sorooshian, S. (2006). Spatial patterns in thunderstorm rainfall events and their coupling with watershed hydrological response. *Adv. Water Ressour*. **29**, 843–860.
Morss R.-E, Mulder K.J., Lazo J.K,, Demuth J.L.. (2016). How Do People Perceive, Understand, and Anticipate Responding to Flash Flood Risks and Warnings? Results from a Public Survey in Boulder, Colorado, USA. *Journal of Hydrology,* **541**, 649-64.
Mortureux, M. (2017). La gestion du risque inondation par l'État. *Annales des Mines, Responsabilité et environnement, 86,* 74-79.
Moulin, L., Gaume E. Payrastre O. (2009). Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations. Hydrology and Earth System Sciences, **13**, 99—114.
Munro R. (2013). Crowdsourcing and the crisis-affected community. *Information retrieval*, **16** (2), 210-266.
Murray A.M., O'Kelly M.E. (2002). Assessing representation error in point-based coverage modeling, Journal of Geographical System, **4** (2), 171–191.

N

Nadim F., Liu Z. (2013). New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe. MATRIX project 265138. 11p.
Nahon M., Michaloux M. (2006)., L'organisation de la réponse de la sécurité civile : le dispositif ORSEC, *Journal européen des urgences et de réanimation*, Elsevier, **28** (2-3), 94-99.
Naulin, J. P., Payrastre, O., Gaume, E. (2013). Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone areas: application to road network supervision in Southern France. *Journal of Hydrology*, **486** (5), 88-99.
Naylor A., Walker J.F., Suppasri A. (2018). Suitability of the early warning systems and temporary housing for the elderly population in the immediacy and transitional recovery phase of the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **31**, 302-310.
Nearing M. A. Jetten V., Baffaut C., Cerdan O., Couturier A., Hernandez M., Le Bissonnais Y., Nichols M. H., Nunes N. J., Renschler C. S., Souchere V., Van Oost K. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and land cover, *Catena*, **61**, 131-154.
Nickerson, R. S. (1998). Confirmation bias : A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology,* **2**, 175-220.
Norbiato, D, Borga, M., Merz, R, Blöschl, G., Carton, A. (2009). Controls on event runoff coefficients in the eastern Italian Alps. *Journal of Hydrology*, **375**, 312-325
November, V. (2010). «Risque territorialisé » ou « territorialité du risque ? » réflexion géographique autour de la relation risque-territoire. In T. Coanus, J. Comby, F. Duchêne et E. Martinais (Ed.), *Risques et territoires. Interroger et comprendre la dimension locale de quelques risques contemporains*, Paris,275-286.

O

Obled, C., J. Wedling, and K. Beven (1994). The sensitivity of hydrological models to spatial rainfall patterns: An evaluation using observed data, *Journal of Hydrology*, **159**, 305-333.
Obono A. (2017). Les smartphones au lycée : quels usages pour quelles compétences ?. *Frantice.net*, **14**, 91-104.
Ochoa, S.F., Santos, R., (2015). Human-centric wireless sensor networks to improve information availability during urban search and rescue activities. Inf. Fusion, **22**, 71–84.
O'Donnell S. (2002) - Weather Radar Enhanced Flash Flood Forecasting, *Proc. of the Open Source GIS* – Conférence des utilisateurs du logiciel GRASS, 11-13 Sept. 2002, Trento, Italy, 8 p.
Openshaw, S. and P. J. Taylor, 1979. A Million or so Correlation Coefficients: Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem. In N. Wrigley (Eds), *Statistical Applications in the Spatial Sciences*, 127–144.
Observatoire du risque inondation dans le Gard. Voir http://orig.cg-gard.fr/ (devenu NOE en 2012)
ORSEC (2013). *Alerte et information des populations, tome G.4.* Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSC) du Ministère de l'Intérieur. Paris, France, 48 p.

P

Palen L., Liu S. B. (2007). Citizen communications in crisis: Anticipating a future ICT-supported participation. *Proceedings of CHI Conference*, San Jose, CA: USA, ACM Press, 727-736.
Palmer N., Kemp R., Kielmann T., Bal H. (2012). RAVEN: Using smartphones for collaborative disaster data collection. *Proceedings of the International ISCRAM Conference.* Vancouver, Canada, 4 p.
Padioleau, J. G. (2003). Inondations : la corruption du régalien. *Pouvoirs locaux*, 56, 76-80.

Pappenberger F., Cloke H.L., Parker D.J., Wetterhal F., Richardson D., Thielen J. (2015). The monetary benefit of early flood warnings in Europe, *Environmental Science & Policy,* **51**, 278-291.
Parameswaran M., Whinston A. B. (2007). Social computing: An overview, *Communications of the Association for Information Systems,* **19** (37), 762–780.
Parker et al. 2009
Payrastre O., Andreassian V., Anquetin S., Arnaud P., Beaufils X., Bonnifait L., Boudevillain B., Bourgin F., 410 Caumont O., Creutin J.-D., Davy P., Delriu G., Ducrocq V., Escudier A., Fouchier C., Garandeau L., Gaume 411 E., Janet B., Javelle P., Lague D., Le Guennec A., Lovat A., Lutoff C., Moncoulon D., Naulin J.-P., Onfroy 412 T., Perrin C., Pons F., Ramos M.-H., Ruin I., Terti G., Vincendon B. (2018). Améliorer la prévision des 413 crues soudaines et de leurs impacts : le projet de recherche ANR PICS. Actes du colloque SHF « De la prévision des crues à la gestion de crise », Avignon, 8 p.
Péroche M. (2016). La gestion de crise tsunami dans la Caraïbe : contribution géographique aux dispositifs d'alerte et d'évacuation des populations, Thèse de doctorat, Universté Paul Valéry Montpellier III, 409 p.
Perreti-Wattel, P. (2000). *Sociologie du risque*. Paris, France : Armand Colin, 245 p.
Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Mols J. (2005). Evaluation des puissances spécifiques de rivières de moyenne et de haute Belgique. *Bulletin de la Société Géographique de Liège,* **46**, 37-50.
Pigeon P. (2002). Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels, *Annales de Géographie*, **111**, 627-628, 452-470.
Pigeon P. (2014). Risque digue : une justification à la relecture systémique et géopolitique des risques environnementaux, *L'Espace politique,* **24** (3), 12 p.
Piney, S. (2009). Etude bibliographique de trois méthodologies appliquées au risque érosion: synthèse et perspective en vue d'une cartographie départementale du risque de ruissellement. Rapport Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 78 p.
Poblete, B., Garcia, R., Mendoza, M. & Jaimes, A. (2011). Do all birds Tweet the same? Characterizing Twitter around the world. CIKM'11, October 24–28, 2011, Glasgow, Scotland, UK, 1025-1030.
Pons, F., Guero P., Delgado J-L., Berthier E. Piney S., Felts D. (2010). EXZECO : a GIS and DEM based method for predetermination of flood related to direct runoff & flash floods. 9th International Conference on Hydroinformatics, Tianjin, China.
Pons, F., Laroche, C., Fourmigue, P., Alquier, M. (2014). Cartographie des surfaces inondables extrêmes pour la directive inondation: cas de la Nartuby. *La Houille Blanche*, **2**, 34-41.
Pottier N. (1998). *L'Utilisation des outils juridiques de prévention du risque d'inondation. Évaluation des effets sur l'homme et l'occupation du sol dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne)*. Paris : École nationale des ponts et chaussées, thèse de doctorat de sciences et techniques de l'environnement, 1 vol., 436 p.
Pottier N., Reliant C., Hubert G., Veyret Y. (2004). Les plans de prévention des risques naturels à l'épreuve du temps : prouesse et déboires d'une procédure réglementaire, *Annales des Ponts et Chaussées*, 31-40.
Preis T., Moat H. S., Bishop S. R., Treleaven P., Stanley H. E. (2013). *Quantifying the digital traces of hurricane Sandy on Flickr*. Rapport scientifique*,* **3***,* 3141
Pôle des RIsques NATurels en montagne de la COTRAO (PRITNAT) (2006) - Actes de l'atelier transfrontalier sur les risques naturels « Gestion du risque torrentiel partage transfrontalier d'expériences », 31 mai et 1er juin 2006 au Cemagref de Grenoble. Pôle Grenoblois des risques Naturels, 100 p.
Proto A.L., Grigolato S., Mologni O., Macri G., Zimbalatti G., Cavalli R. (2016). Modelling noise propagation generated by forest operations : a case study in Southern Italy, *Procedia - Social and Behavioral Sciences,* **223**, 841-848.
Poorazizi M.E., Hunter A.S, Steiniger S. (2015). A Volunteered Geographic Information Framework to Enable Bottom-Up Disaster Management Platforms, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, **4**, 1389-1422.
Prpic J., Shukla P., Kietzmann J. H., McCarthy I. P. (2015). How to work a crowd: Developing crowd capital through crowdsourcing. *Business Horizons*, **58** (1), 77-85.

R

Raymond M., Peyron N., Bahl M., Martin A., Alfonsi, F. (2007). ESPADA : un outil innovant pour la gestion en temps reel des crues urbaines, Novatech Lyon, 793-800.
Reed, S., Schaake, J., Zhang, Z. (2004). A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at ungauged locations, *Journal of Hydrology*, **337**, 402–420.
Reed S.A, Boggs J.L., Mann J.P. (2010). A GIS tool for modeling anthropogenic noise propagation in natural ecosystems, *Environmental Modelling & Software,* **37***,* 1-5.
Reghezza-Zitt M. (2015). Territorialiser ou ne pas territorialiser le risque et l'incertitude. La gestion territorialisée à l'épreuve du risque d'inondation en Ile-de-France, *L'espace politique,* **26** (2), 22 p.

Remaître A. (2006). Morphologie et dynamique des laves torrentielles : Applications aux torrents des Terres Noires du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud). Thèse de doctorat, Université de Caen, 487 p.
Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., others, (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Government Printing Office Washington, DC, Internal report, 45 p.
Reullier R., Delahaye D., Caillault S., Viel V., Douvinet J., Bensaid A. (2016). Mesurer l'impact des entités linéaires paysagères sur les dynamiques spatiales du ruissellement : une approche par simulation multiagents. *Cybergéo, revue européenne de géographie,* 788.
Riccardi M. T. (2016). The Power of Crowdsourcing in Disaster Response Operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **20,** 123-28.
Richez-Battesti, N., Petrella, F. et Vallade, D. (2012). L'innovation sociale, une notion aux usages pluriels : quels enjeux et défis pour l'analyse ? *Innovations*, **38**, 15-36.
Rive, G., Hare, J., Thomas, J et Nankivell, K. (2012). *Social media in an emergency : A best practice guide.* Wellington Region Emergency Management Group. 58p.
Rode S. (2009). *Au risque du fleuve. La territorialisation de la politique de prévention du risque d'inondation en Loire moyenne*, Thèse de doctorat, Université Paris Ouest Nanterre, 489 p.
Roger J. (2011) Tsunamis générés par des séismes au niveau de la zone de collision entre les plaques africaine et eurasienne: Études de cas pour l'évaluation du risque tsunami en Méditerranée occidentale et Atlantique nord, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 245 p.
Rogers D., Tsirkunov V. (2010). *Cost and benefits of early warning systems*, Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, ISDR et World Bank, 17 p.
Roux, J. (2006). *Être vigilant. L'opérativité discrète de la société du risque*. Saint-Étienne, France, Presses Universitaires de Saint-Étienne.
Ruin, I. (2007). *Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides* (thèse de doctorat, Université Joseph Fournier, Grenoble, France). Récupéré le 17 avril 2017 du site hal : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00258018
Ruin, I., Gaillard, J.C., Lutoff, C. (2007). How to get there? Assessing motorists' flash flood risk perception on daily itineraries. *Environmental Hazards*, **7**, 235-244.
Ruin, I. et Lutoff, C. (2004). Vulnérabilité face aux crues rapides et mobilités des populations en temps de crise. *La Houille Blanche, 6,* 114-119.
Ruin I., Lutoff C., Boudevillain B., Creutin J.-D., Anquetin S., Bertran Rojo M., Boissier L., Bonnifait L., Borga M., Colbeau-Justin L., Creton-Cazanave L., Delrieu G., Douvinet J., Gaume E., Gruntfest E., Naulin J.-P., Payrastre O., Vannier O. (2013). Social and hydrological responses to extreme precipitations: An interdisciplinary strategy for post-flood investigation. *Weather, Climate and Society*, **6** (1), 135-153.
Ryan B. (2018). Establishing information seeking pathways in slow and flash floods, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **31**, 9-19.

S

Saint-Aubin C., Garandeau L., Janet B., Javelle P. (2016). A new French flash flood warning service ». Édité par M. Lang, F. Klijn, et P. Samuels. *E3S Web of Conferences,* 7, 18024.
Saint-Martin, C. (2014). Intégration, au système d'avertissement de la méthode AIGA, du facteur d'exposition des territoires au risque inondation. Master II, Université d'Avignon, Avignon, France.
Saint-Martin, C., Fouchier, C., Javelle, P., Douvinet, J., Vinet, F. (2016). Assessing the exposure to floods to estimate the risk of flood-related damage in French Mediterranean basins, in: *E3S Web of Conferences.* EDP Sciences, p. 04013.
Saint-Martin C., Javelle P., Vinet F. (2018). DamaGIS: a multisource geodatabase for collection of flood-419 related damage data, Earth Syst. Sci. Data, **10**, 1019-1029.
Salze, P., Beck, E., Douvinet, J., Amalric, M. Bonnet, E., Daudé, E., Duraffour, F., Sheeren, D. (2014). TOXI-CITY: an agent-based model for exploring the effects of risk awareness and spatial configuration on the survival rate in the case of industrial accidents, *Cybergeo : European Journal of Geography.*
Santos R., Mosse D., Znati T., Comfort L. (2016). Design and implementation of a Witness Unit for opportunistic routing in tsunami alert scenarios. *Safety Science,* **90,** 75-83.
Sanyas N. (2012). « Seulement 11 % des applications téléchargées sur mobiles sont payantes ». https://www.nextinpact.com/news/73736-seulement-11-applications-telechargees-sur-mobiles-sont-payantes.htm.
Sättele M., Brundl M. Straub D. (2012). A classification of warning system for natural hazards. *Proceedings of f the 10th International Probabilistic Workshop*, Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart, 257- 270.
Sauvajol-Rialland, C. (2014). Infobésité, gros risques et vrais remèdes. *L'Expansion Management Review*, **152**, 110-118.

Scarwell H.-J., Laganier R. (2004), Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, Presses Universitaires du Septentrion, 239 p.
Schaeffer, J.M. (2005). Quelles vérités pour quelles fictions ?, *L'Homme*, **175-176**, 19-36.
Seeger, M. (2006). Best practices in crisis communication: An expert panel process. *Journal Of Applied Communication Research*, **34** (3), 232-244.
Siegrist, M. et Gutscher, H. (2006). Flooding risks : A comparison of lay people's perceptions and expert's assessments in Switzerland. *Risk and Analysis, 26,* 971-979.
Simmons K.M., Sutter D. (2008). Tornado warnings, lead times, and tornado casualties: an empirical investigation, *Weather Forecast*. **23** (2), 246–258,
Sjöberg, L. (2000). Factors in risk perception. *Risk Analysis,* **20**,1-11.
Slingsby A., Beecham R., Wood J. (2013). Visual analysis of social networks in space and time using smartphone logs. *Journal Persuasive and Mobile Computing,* **9** (6), 848-864.
Slovic, P., Finucane, M.L., Peters, E. et McGregor, D. (2004). Risk as analysis and risk as feeling : some though about affect, reason, risk and rationality. *Risk Analysis,* **24***,* 311-322.
Slovic, P., Fischhoff, B. et Lichtenstein, S. (1980). Facts and fears : understanding perceived risks. Dans R.C. Schwing et W.A. Alberts Jr.(eds.), *Societal risk assesment : how safe is safe enough ?* (p.181-214). New-York, USA : Plenum Press.
Smith, R.E., Goodrich, D.C., Woolhiser, D.A., Unkrich, C.L., (1995). KINEROS: A kinematic runoff and erosion model. *Computer models of watershed hydrology,* 20, 627-668.
Smith B., Taylor M., Thompson K. (2015). Risk perception, preparedness and response of livestock producers to bushfires: a South Australian case study, Aust. J. Emerg. Manag. **30**, 31-38.
Smith A., Rainie L., McGeeney K., Keeter S., Dugan M. (2015). *U.S. smartphones use in 2015 report.* Récupéré du site du Pew Research Center le 25 juin 2015
URL : http://www.pewinternet.org/files/2015/03/PI_smartphones_0401151.pdf
Smyrnaios N. (2011). *Les réseaux sociaux : reflet des différences culturelles ?* (en ligne), Récupéré le 18 mai 2015 sur le site de l'Institut National de l'Audiovisuel, rubrique Global Numérique, URL : http://www.inaglobal.fr/numerique/article/les-reseaux-sociaux-reflet-des-differences-culturelles
Sorensen J.H. (2000), Hazard Warning Systems: a review of 20 years of progress, *Natural Hazards Review*. **1**, 119–125.
Staes, C., Orengo, J.C., Malilay, J., Rullan, J., Noji, E., (1994). Deaths due to flash floods in Puerto Rico, January 1992:implications for prevention. *International Journal of Epidemiology,* **23**, 968–975.
Staley D. M., Kean J.W., Cannon S.H., Schmidt K.M., Laber J.L. (2013). Objective definition of rainfall intensity–duration thresholds for the initiation of post-fire debris flows in southern California. Landslides, **10**, 547-562.
Starbird K., Palen L., (2010). Pass It On? Retweeting in mass emergency. *Communication à la 7th International ISCRAM Conference, Seattle, USA*. University of Colorado, Department of Computer Science (en ligne), URL: https://www.cs.colorado.edu/~palen/starbirdpaleniscramretweet.pdf
Stahli M. Sättele M. Huggel C., McArdell B.W., Lehman P. Van Herwijnen A., Berne A., Schleiss M., Ferrari A., Kos A., Or D., Springam S.M. (2015). Monitoring and prediction in early warning systems for rapid mass movements. *Natural Hazards and Earth System Science*, **15** (4), 905-917.
Steff T. (2013). Social Media Changing the Way FEMA Responds to Disasters, National Defense, 24 p.
Steinlé-Feuerbach, M. F. (2015). Xynthia : les responsabilités pénales. Commentaire du jugement du Tribunal correctionnel des Sables-d'Olonne en date du 12 décembre 2014, n°877/2014. *Le Journal des Accidents et des Catastrophes.* Récupéré le 21 avril 2017 du site du Centre Européen de recherche sur le Risque, le Droit des Accidents Collectifs et des Catastrophes : http://www.jac-cerdacc.fr/xynthia-les-responsabilites-penales
Stimers M.J (2015). A GIS-based approach to analyzing warning siren networks: an analysis of Riley and Wabaunsee Counties, Kansas, In G.A. Tobin, B.E. Montz (Eds.), Evolving Approaches to Understanding Natural Hazards, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, UK, 2015, 252-266.
Stokoe R.M. (2016). Putting people at the centre of tornado warnings: How perception analysis can cut fatalities, *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **17**, 137-153.
Sun R., An D., Lu W., Wang L., Zhang C., Zhang P., Qiang Wang H.Q. (2016). Impacts of a flash flood on drinking water quality: case study of areas most affected by the 2012 Beijing flood*, Heliyon*, **2** (2), e00071.

T

Takahashi D., Hong X. et Xiao Y. (2008). On-demand anonymous routing with distance vector protecting traffic privacy in wireless multi-hop networks. *Proc. of 4th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, 145-151.

Teisberg, T.J., Weiher, R.F. (2008). *Background Paper on Assessment of the Economics of Early Warning Systems for Disaster Risk Reduction.* World Bank and Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Washington, DC., 34 p.
Teixier, P. (2009). *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Indonésie. Réponses sociales, institutionnelles et non institutionnelles* (thèse de doctorat, Université Paris VII Diderot, Paris, France).
Terrier M.C (2007). *Réalisation d'un zonage sismique de la plaque caraïbe préalable aux choix de scénarios de tsunamis aux Antilles françaises*, Rapport BRGM, 77p..
Terpstra, T., Gutteling, J. M., Geldof, G. D. et Kappe, B. (2006). The perception of flood risk and water nuisance. *Water Science and Technology, 54(6-7), 4*31-439.
Thielen, J., Bartholmes, J., Ramos, M.-H., De Roo, A. (2009). The European Flood Alert System Part 1: Concept and development, Hydrological Earth System Science, **13**, 125–140.
Tinti S., Maramai A., Armigliato A., Graziani L., Manucci A., Pagnoni G., Zaniboni F. (2006). Observations of physical effects from tsunamis of December 30, 2002 at Stromboli volcano, southern Italy, *Bulletin of Volcanology*, **68**, 450-460.

U

Ulman P., Sabatier F. (2010). Les types de temps associés aux risques d'inondations et d'érosions en Camargue : éléments de diagnostic et de prospectives pour le 21e siècle (1993-2100), *EchoGéo*, **14**.
United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR (2005). *Hyogo Framework for action 2005_2015. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters.* World Conference on Disaster Reduction (A/CONF.206/6). Récupéré le 18 avril 2017 du site de l'UNISDR : http://www.unisdr.org/files/1037_hyogoframeworkforactionenglish.pdf

V

Valleron A.J., Chauvin, P., Flahaut, A. et Vibert, J.F. (1994). Les systèmes d'alerte : passé, présent, futur. *Transfusion Clinique et Biologique,* **6** (1), 443-454.
Van De Wiel M. J., Coulthard T.J., Macklin M.G, Lewin J. (2007) – Embedding reach-scale fluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model. *Geomorphology*, 90, pp. 283-301.
Vaughan, D., (2001). La normalisation de la déviance. In: Bourrier, M. (Ed.), *Organiser la fiabilité.* Edition L'Harmattan, Paris, 201–230.
Versini, P.-A., Gaume, E., Andrieu, H., (2010). Assessment of the susceptibility of roads to flooding based on geographical information test in a flash flood prone area (the gard region, France). Natural Hazards Earth System Sciences, **10**, 793–803.
Viel V., Delahaye D., Reulier R. (2014). Impact de l'organisation des structures paysagères sur les dynamiques de ruissellement de surface en domaine bocager. Etude comparée de trois petits bassins versants bas-normands, *Géomorphologie, relief, processus et environnement*, **20 (2),** 75-188
Villar C. (2015). *Quels apports des réseaux sociaux à la résilience d'un territoire ?,* Récupéré le 17 mai 2015 du site du Centre d'Étude et d'expertise sur les risques, l'environnement la mobilité et l'aménagement (CEREMA) : www.territoires-ville.cerema.fr/quel-apport-des-reseaux-sociaux-a-la-resilience-d-a1503.html
Vieweg, S., Hughes, A.L., Starbird, K., Palen, L. (2010). *Microblogging during two natural hazards events : What Twitter may contribute to situationnal Awareness.* Communication présentée à la SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p1079-1088). Récupéré le 10 avril 2018 du site University of Colorado, Department of Computer Science : http://cmci.colorado.edu/~palen/vieweg_1700_chi2010.pdf
Vincendon, B., Edouard, S. Dewaele, H., Ducrocq, V., Lespinas, F., Delrieu, G. et Anquetin, S. (2016). *Modeling flash-floods for any mediterranean sub-catchments for raods management purposes*. In Braud I., Borga M., Gourley J., Hürlimann Marcel, Zappa M., Gallart F. (eds.) Flash floods, hydro-geomorphic response and risk management. *Journal of Hydrology, 541* (Part A No Spécial), 190-205.
Vinet, F. (2003). *Crue et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999 (Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales et Hérault)*. Nantes : Edition du temps.
Vinet, F. (2007). *Approche institutionnelle et contraintes locales de la gestion du risque. Recherches sur le risque inondation en Languedoc-Roussillon.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paul Valéry-Montpellier III. 287 p.
Vinet, F. (2010). *Le risque inondation, diagnostic et gestion*. Paris, France : Lavoisier.
Vinet F., Lumbroso D., Defossez S., Boissier L. (2011). A comparative analysis of the loss of life during two recent floods in France: the sea surge caused by the storm Xynthia and the flash flood in Var. *Natural Hazards.*

Vinet, F., Defossez, S., Rey, T. et Boissier, L. (2012). Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia ». *Norois, 222.* Récupéré le 16 septembre 2017 du site de la revue : http://norois.revues.org/3834
Vinet F., Boissier L., Saint-Martin C. (2017). Flashflood-related mortality in southern France: first results from a new database, *FloodRisk, European Conference, 6 p.*
Vinet F., Defossez S., Chérel J.-P. Douvinet J., Montané A., Chave S. (2017). Retour d'expérience sur l'événement du 17 septembre 2014 à Lamalou-les-Bains, *GéoRisques*, Montpellier, 24 janvier.
Vodoz L., Rossel P., Pfister-Giauque B., Glassey O., Steiner Y., (2005). Ordinateur et précarité au quotidien : les logiques d'intégration provisoire de la formation continue, Rapport PNR 51 « *La « fracture numérique » : émergence, évolution, enjeux et perspectives »*, Université de Lausanne, 245 p.
Vogel, J.P. (2017, juin). *Rapport d'information sur le système d'alerte et d'information des populations (SAIP).* Sénat n°595, 48p.
Volontaires Internationaux en Soutien Opérationnel Virtuel (VISOV) (2015). *Guide d'utilisation des Médias Sociaux en Gestion d'Urgence (MSGU) pour améliorer la connaissance de la situation et l'aide à la décision.* Récupéré le 7 septembre 2018 du site de VISOV : http://www.visov.org/guide-msgu/
Vulbeau, A. (2015). Contrepoint - L'infobésité et les risques de la surinformation. *Informations sociales,* **191,** 33-35.

W

Webster B. (2014). *Emergency Siren Sound Propagation and Coverage Optimization Analysis* (Master's thesis), University of Redlands, Redlands, Canada.
Wehn, U., Rusca, M., Evers, J. et Lanfranchi, V. (2015). Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories : a governance analysis. *Environmental Science et Policy, 48,* 225-236.
Weinlich P., Semeradova T., Kubat D. (2014). Design of an early warning mobile application. *Networking Societies. Cooperation and conflicts,* 22nd Interdisciplinary Information Management Talks, Podebrady, Czech Republic, 37-44.
Weinstein, N.D. (1987). Unrealistic optimism about susceptibility to health problems : conclusions from a community wide sample. *Journal of Behavioral Medecine*, **10**, 481-500.
Weiss, K., Girandola, F. et Colbeau-Justin, L. (2011). Les comportements de protection face au risque naturel : de la résistance à l'engagement. *Pratiques Psychologiques, 17,* 251-262.
Weiss K., Rateau P. (2018). *Psychologie sociale et environnementale*, Editions in Press, 114 p.
Williams, D.W., et.al., (2009). Security through Diversity: Leveraging Virtual Machine Technology, IEEE Security & Privacy, **7** (1), 26-33.
Wilson, T. (2006). Les risques de blessures et de décès par imprudence lors des inondations. *Responsabilité et environnement, 43,* 57-63.
Wirtz H. Heer T., Backhaus R., Wehrle K. (2011). Establishing mobile ad-hoc networks in 802.11 infrastructure mode. *Proceedings of the 6th ACM workshop on Challenged networks*, 49-52.
Wisner B., Gaillard J.C., Kelman I. (2012). Handbook of hazards and disaster risk reduction and management, Routledge, 325 p.
Whittaker J., McLennan B., Handmer J. (2015)**.** A Review of Informal Volunteerism in Emergencies and Disasters: Definition, Opportunities and Challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* **13,** 358-68.
Wolber D., Abelson H., Spertus E. (2014). *App Inventor 2*, Editions Broché, 245 p.
Wolton, D. (2009). *Informer n'est pas communiquer.* Paris, France : CNRS. Coll. Débats.
Word Bank, 2008 cout vigilance

X

Xing L., Pan X. I, Wang R., Yuan K. et Wang X. (2014). Upgrading Your Androïd, Elevating My Malware: Privilege Escalation through Mobile OS Updating. *IEEE Symposium on Security and Privacy*, **18**, 393,408.

Y

Yang CH, Yang J, Luo XS, Gong P. (2016). Use of mobile phones in an emergency reporting system for infectious disease surveillance after the Sichuan earthquake in China. *Bull World Health Organ.* **87**, 619-623.
Yates, D., Paquette, S. (2011). Emergency knowledge management and social media technologies: A case study of the 2010 Haitian earthquake. *International Journal of Information Management*, **31** (1), 6-13.
Yin J., Lampert A., Cameron, M., Robinson B., Power R. (2012). Using social media to enhance emergency situation awareness, *IEEE Intelligent Systems*, **27** (6), 52-59.

Yuze H., Qian Y., Suzuky N. (2013). Development of Smartphone Application for Off-line Use in Case of Disaster. *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*.

Z

Zhuang, R., Perdisci, W., Lee, X., Luo, and U. Sarfraz (2014). Building a scalable system for stealthy p2p-botnet detection, Information Forensics and Security, IEEE Transactions, **9** (1), 27–38.
Zhang, Y., Prater, C. S., Lindell, M. (2004). Risk area accuracy and evacuation from Hurricane Bret. *Natural Hazards Review*, **5**, 115-120.
Zunkel P. (2015). The spatial extent and coverage of tornado sirens in San Marcos Texas, Applied Geography, **60**, 308-312.

Liste des figures et des tableaux

Avant-propos

Figure 1. A) Photo extraite de la vidéo en ligne consultée à 23h21 ; B) Photo prise sur le site le lundi 20 février 2017 à 9h, après ouverture du périmètre de sécurité ; C) Messages relayés sur *Facebook*© le soir de l'incident 10

Éléments de contexte et motivations

Figure 1. Position de mes travaux dans le domaine de la gestion globale des risques naturels (modifié d'après Léone et Vinet, 2011) 26
Figure 2. Efficacité des méthodes d'alerte et d'information (d'après le Guide ORSEC, 2013) 27
Tableau 1. Distinctions entre l'alerte de la vigilance en France (d'après Douvinet et Janet, 2017) 21

Chapitre 1

Figure 1.1. Schématisation de la complexité du processus de gestion du risque inondation en France, avec un fonctionnement en « silo » (Gisclard, 2017) 36
Figure 1.2. Différences d'affichage entre deux cartes de vigilances communiquées au grand public le même jour, le lundi 24 mai 2012, avec des espaces concernés différents (Gisclard, 2017) 38
Figure 1.3. Impacts de la crue du 15 juin 2017 sur le bassin de la Narturby (124km^2) (extrait du poster présenté par Douvinet *et al.,* 2011) 40-41
Figure 1.4. Chronologie simplifiée de la gestion de crise (modifiée d'après le guide ORSEC, 2013) 44
Figure 1.5. Visualisation de l'interface du Système Multi-Agent *Flood-up*© (en cours de développement) conçu en juin 2018 47
Tableau 1.1. Valeurs des débits de pointe estimés pour les crues du 3 octobre 2015 aux alentours de Cannes suite au retour d'expérience mené dans le cadre d'HYMEX (modifié d'après Lebouc et Payrastre, 2016) 39
Tableau 1.2. Dommages estimés suite à plusieurs inondations en France (d'après la CCR, 2017) 42
Tableau 1.3. Deux propositions de modifications des textes de loi (restées pour le moment sans suite) pour multiplier les canaux en cas d'alerte 45
Tableau 1.4. Liste de pays qui font appel au *Cell-Broadcast* (CBC) pour alerter la population 46

Chapitre 2

Figure 2.1. Comparaison entre la concentration des écoulements de surface (indice IC simulé avec *RuiCells*©) et les dommages avérés suite à certaines crues rapides (Douvinet *et al.,* 2013) 52
Figure 2.2. Estimation des pics de crue pour une pluie-projet de 50 mm en 1h (Douvinet *et al.,* 2015) 55
Figure 2.3. Estimation des débits de pointe spécifiques, simulés sur 148 bassins versants pour une pluie-projet de 50 mm en 1h en Seine-Maritime (modifié d'après Douvinet *et al.,* 2015) 56
Figure 2.4. Comparaison entre les Indices de Concentration élevés (IC > à 50) et les observations de terrain (marques d'érosion, aménagements hydrauliques et dires d'experts) 58
Figure 2.5. Liens entre les niveaux de mise en vigilance, les pluies critiques, les réponses probables simulées avec l'automate *RuiCells*© et un degré d'endommagement indicatif (Douvinet *et al.,* 2014) 59
Figure 2.6. Simulation des écoulements de surface avec l'automate cellulaire RuiCells suite à l'épisode pluvieux durant la matinée du 9 et 10 novembre 2001 dans l'oued Koriche 63
Figure 2.7. Simulation des écoulements prenant en compte les effets des linéaires (avec validation terrain) sur le bassin versant de la Bourderie (1,8km^2) (Reulier *et al*., 2016) 65
Figure 2.7. Impacts morphogènes au sein du talweg d'un petit vallon (6,3 km^2) suite au passage d'une crue rapide (Rusjan *et al.,* 2016) 65

Chapitre 3

Figure 3.1. Saisonnalité des reconnaissances CatNat pour « inondations et coulées de boue », avec un arrêté représenté par un point dans chaque commune (1984-2008) (Douvinet et Vinet, 2012) 69
Figure 3.2. Localisation des bassins versants au sein desquels des « crues rapides » ont entraîné une indemnisation au titre de la procédure CatNat, à l'échelle du nord de la France (1983-2005) 71
Figure 3.3. Valeurs implémentées (a, b) dans *RuiCells*© et comparaison entre les écoulements observés (c) et simulés (d, e) dans le bassin d'Estreux (59) pour l'événement du 7 juin 2007 72
Figure 3.4. Redécoupage du zonage réglementaire du PPRI avec plusieurs couleurs. Tableau de synthèse réalisé après avoir consulté plusieurs PPRI approuvés (Douvinet *et al.,* 2011) 76
Figure 3.5. Distribution spatiale des DICRIM dans les départements de la Loire, le Loiret, le Loire-Atlantique et du Vaucluse au regard de la contrainte réglementaire (Douvinet *et al.,* 2013) 80

Figure 3.6. Distribution spatiale des DICRIM dans les départements de la Loire, le Loiret, le Loire-Atlantique et du Vaucluse au regard du nombre de risques (Douvinet *et al.,* 2013) 81
Figure 3.7. État d'avancement des Plans Communaux de Sauvegarde dans le département du Vaucluse en 2011 (Souteyrand, 2011) et comparaison avec la situation de 2017 (Cappeau, 2017) 83
Tableau 3.1. Relation entre le nombre d'arrêtés pour l'item « inondations et coulées de boue » (1984-2008), le nombre de communes et la population totale cumulées (Douvinet et Vinet, 2012) 68
Tableau 3.2. Écarts entre les emprises AZI, EAIP et PPR pour 6 communes 78
Tableau 3.3. Exemples d'initiatives impliquant des individus sur la thématique des inondations - bilan non exhaustif, surtout réalisé en France (modifié d'après Gisclard *et al*., 2017) 84

Chapitre 4

Figure 4.1. Tocsins des églises de Saujon (Charente-Maritime) et d'Auxerre (Yonne) 94
Figure 4.2. Localisation des 4 291 sirènes du réseau RNA qui couvrait, jusqu'en 2010, les 2266 communes en France métropolitaine (d'après les données de la BASEP) 96
Figure 4.3. Cartographie de la densité de population dans le Vaucluse, et portée sonore théorique des sirènes du RNA (d'après les données du SIDPC-84 2017 et INSEE, 2014) 97
Figure 4.4. Localisation des SDAL à l'échelle métropolitaine en 2011 (A), puis zoom sur un SDAL du Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge aval (B) et sur la ville de Nîmes (C) (modifié d'après Hubert, 2011) 100
Figure 4.5. Décomposition du signal d'alarme généré par une sirène du réseau RNA 103
Figure 4.6. Portée sonore théorique des 85 sirènes du réseau RNA dans le Vaucluse et localisation des cours d'eau sujets à des crues rapides (Douvinet *et al.,* 2017) 105
Figure 4.7. Décalages entre compétences comportementales et réalité des faits (Douvinet, 2018) 106
Tableau 4.1. Caractéristiques de plusieurs automates d'appels (adapté à partir des retours d'A. Grangeat (GEDICOM) et du tableau réalisé par Hébert, 2008) 99
Tableau 4.2. Caractéristiques des trois types de Services D'Alerte Locaux pouvant être déployés pour faire face aux crues rapides (modifié d'après le guide du SCHAPI ; Douvinet et Janet, 2017) 100
Tableau 4.3. Nombre de sirènes prévu pour le projet SAIP (modifié d'après Vogel, 2017) 108
Tableau 4.4. L'efficacité des outils institutionnels évaluée selon différents critères 110

Chapitre 5

Figure 5.1. Interface de plusieurs applications smartphone, permettant d'émettre ou de recevoir une alerte en cas d'inondation, et dont le déploiement était effectif en France en mars 2018 113
Figure 5.2. Distinction des applications selon le mode de diffusion 115
Figure 5.3. Exemples de messages d'alerte reçus sur l'application Qwidam® 117
Figure 5.4. Couverture cellulaire à l'échelle d'une commune rurale où la population est exposée à une crue rapide : l'exemple de Goudargues, Gard (d'après les données de l'ARCEP ; Bopp et Douvinet, 2018) 120
Figure 5.5. Taux de pénétration des smartphones (à gauche) et connaissance des applications dédiées à l'alerte en cas d'inondation dans 34 communes du Vaucluse (1 223 réponses, 2014-2018) 122
Figure 5.6. Géolocalisation des informations remontées lors des inondations de 2016 à Paris 125
Tableau 5.1. Différences entre 12 applications smartphones déployées en France (mars 2018) 115
Tableau 5.2. Indicateurs de succès de 12 applications utilisables en cas d'alerte en France 121
Tableau 5.3. L'efficacité des applications smartphone évalué selon différents critères (juin 2018) 126

Chapitre 6

Figure 6.1. Exemples de tweets durant des inondations en France en 2014 (Douvinet et al. 2017) 128
Figure 6.2. Cartographie recensant les comptes SDIS sur les RSN (d'après D. Maillefaud, 2018) 131
Figure 6.3. Extraits de vidéos mises en ligne lors des inondations des 5 et 6 juin 2018 132
Figure 6.4. Un exemple d'informations géo-localisées et collectées sur les Réseaux Sociaux Numériques : chaque point représente une information validée par le centre de secours 134
Figure 6.5. Changement induit par les réseaux sociaux numériques sur le processus de communication (crédit Gérald Baron©, 2011, in Douvinet et al., 2017) 135
Figure 6.6. Situations d'urgence remontées sur les RSN et non suivies d'un appel 15, 18 ou 112 136
Figure 6.7. Exemples de messages pouvant poser problème en cas de gestion de crise 138
Figure 6.8. Exemple de vidéos traduisant une prise de risque par des individus lors les inondations du Lay le 29 septembre 2014 (postées sur les RSN et reprises par les médias…) 139
Figure 6.9. Taux d'utilisation des RSN au quotidien pour 1 223 réponses (lien avec la **figure 5.5**., p. 103) 140
Figure 6.10. Exemple de vidéos consultées le 8 juin 2016 à 07:15 UTC sur SnapMap© 142
Figure 6.11. Corrélation entre le nombre de photographies postées sur FlickR© et la pression atmosphérique lors du passage de l'ouragan Sandy aux Etats-Unis (Preis et al., 2013) 143
Tableau 6.1. Logiciels mobilisables pour analyser les informations circulant sur les RSN 129

Tableau 6.2. Comparaison des audiences sur Twitter® de différents comptes (juin 2018) 134
Tableau 6.3. L'efficacité des applications smartphones évaluée selon différents critères 144

Chapitre 7

Figure 7.1. Localisation des sirènes communales en Belgique, en cours de démantèlement en 2018 153
Figure 7.2. Matrice spatiale et temporelle des aléas (modifié d'après Gill et Malamud, 2014) 158
Figure 7.3. Portée sonore théorique des 14 sirènes déployées à San Marco, Texas (Zunkel, 2015) 159
Figure 7.4. Localisation des principaux Landslide Early Warning Systems (LEWS) régionaux et locaux à l'échelle mondiale (Calvello, 2017) 162
Figure 7.5. Deux fonctionnements différents pour les (Earthquake Early Warning System) (Kanamori, 2005) 163
Figure 7.6. Message mis en ligne (sur Twitter©) par une utilisatrice de l'application QuakeAlert© 5 avril 2018 : l'alerte a été envoyée 38 secondes avant les premières secousses ressenties 164
Figure 7.7. Littoraux couverts par les Tsunami Early Warning System (TWES) (Péroche, 2016) 166
Figure 7.8. Grands principes définissant l'Emergency Alert, déployé en Australie (Attorney, 2011) 168
Figure 7.9. Estimation des délais d'alerte face aux principaux aléas naturels 169
Figure 7.10. Sélection des outils d'alerte selon un éventuel délai d'anticipation des réponses hydrologiques et en fonction de la taille des bassins face aux crues rapides 170
Figure 7.11. Distribution des crues rapides recensées de 1906 à 2003 en Wallonie (Gérard, 2013) 171
Tableau 7.1. Caractéristiques et champs d'utilisation des sons diffusés aux États-Unis 155
Tableau 7.2. Valeurs estimées pour les crues du 29 mai 2018 (d'après Campenhout et al., 2015) 171

Chapitre 8

Figure 8.1. Indicateurs permettant de comparer le potentiel d'alertabilité des différentes applications smartphones étudiées 176
Figure 8.2. Notation des applications smartphone (ordre croissant de la note globale) 177
Figure 8.3. Architecture pour pallier l'absence de connectivité avec l'antenne relai, en passant par des appareils mobiles connectés via le réseau *wifi* (d'après Do-Duy et Vázquez-Castro, 2015) 179
Figure 8.4. Page d'accueil et exemple de menus prototypés dans l'application *AL'In* (Kouadio, 2016) 180
Figure 8.5. Comparaison de la part de la population couverte dans le département du Vaucluse pour un nombre croissant de sirènes (portée d'1 km), obtenue avec différentes méthodes de relocalisation 182
Figure 8.6. Redistribution des sirènes selon une maille régulière (à gauche) ou en optimisant la densité de population avec 85 sirènes dans le Vaucluse (pour le RNA, voir la **figure 4.2.**) 183
Figure 8.7. Optimisation de la population couverte à 1km dans le Vaucluse, par palier de 20 sirènes 184
Figure 8.8. Relocalisation des sirènes en réponse à une logique multi-aléas dans le Vaucluse 186
Figure 8.9. Matériel dont disposent les acteurs du réseau *Sentinelles* (Gisclard, 2016) 188
Figure 8.10. Affiche du spectacle à *La Maison des Gens de Garonne* tous les ans (Gisclard, 2017) 189
Figure 8.11. Affiches pour l'atelier « *Les Veilleurs de Crues* » testé à Sauve (Gisclard©, 2016) 190
Figure 8.12. Plateau (une carte IGN au 1/25 000è imprimée dans un format A0) utilisé comme support de base par les joueurs pour « *Les Veilleurs de Crues* » 191
Figure 8.13. Proposition pour déployer une stratégie d'alerte adaptée à la métrique territoriale des crues rapides dans le bassin à risque de l'Ouvèze 192

Chapitre 9

Figure 9.1. Évolution de la perception des risques en France de 1998 à 2017 (d'après IRSN, 2017) 196
Figure 9.2. Les différents modes de participation du public (in Scarwell et Laganier, 2004) 200
Figure 9.3. Cartographie des réponses obtenues à Mérindol (Master I de M.Coulomb©, 2017) 202
Figure 9.4. Interface graphique du modèle *ToxiCity*© (Salze *et al.,* 2014) 205
Figure 9.5. Zoom montrant la précision de la cartographie du ruissellement rendue publique sur un site web (http:///www.map.geo.admin.ch) en Suisse le 20 août 2018 207

Conclusion générale

Figure 1. Modèle conceptuel proposé, qui tient compte des contraintes et des améliorations possibles pour tendre vers un système d'alerte opérationnel et efficace (modifié d'après Léonard et al., 2018) 219
Figure 2. Synthèse des orientations de recherche à venir 221

Table des matières

Sommaire 1

Justification de la structure du volume 1 3

Avant-propos 5

Remerciements 13

Principaux sigles et abréviations 17

Introduction générale - Éléments de contexte et motivations 19

L'alerte : un point de rupture entre la prévention et l'action 20
Pourquoi faut-il améliorer la diffusion de l'alerte à la population ? 22
Éléments de problématique et origine des questionnements 25
Structuration du volume et inflexions d'ordre méthodologique 28

Partie I.
Un processus « complexe » à évaluer à différentes échelles 29

Introduction de la partie I 30

Chapitre 1.
Alerter la population : une décision soumise à de nombreuses contraintes 31

1.1. L'alerte à la population : une procédure très réglementée en France 31
1.1.1. Rôle et responsabilités des autorités compétentes 31
1.1.2. Formes des messages et obligations des diffuseurs d'alerte 32
1.1.3. Conséquences en cas d' « alerte manquée » ou de « fausse alerte » 34
1.2. Un processus décisionnel lent et parfois confus 35
1.2.1 Une pluralité d'acteurs, source de lenteurs dans la prise de décision 35
1.2.2. Une pluralité d'informations, source de nombreuses confusions 37
1.3. Un délai de réaction restreint en cas de crues rapides 38
1.3.1. Traits communs aux crues rapides survenant en France 38
1.3.2. Des aléas à la cinétique incompatible avec la binarité du déclenchement 43
1.4. Quels besoins à court terme ? 44
1.4.1. Une « culture de l'alerte » à promouvoir en dehors de la crise 44
1.4.2. Une réglementation à adapter au rythme des innovations 45
1.4.3. Des exercices et des plateformes d'entrainement à démultiplier 46
1.5. Conclusions du chapitre 1 48

Chapitre 2.
Les crues rapides : des aléas aux seuils de rupture critiques incertains 49

2.1. La simulation comme outil d'expérimentations spatiales 49
2.1.1 Éclectisme des approches de modélisation du ruissellement érosif 49
2.1.2. Position de notre démarche exploratoire face aux autres modèles 51

2.1.3. Rappel des principaux résultats obtenus dans les travaux de thèse 51
2.2. Production de nouvelles connaissances à visée opérationnelle 53
2.2.1. Mise à jour de seuils de fonctionnement « critiques » 53
2.2.2. Liens entre l'Indice de Concentration et des indicateurs d'exposition 57
2.2.3. A la recherche de seuils combinés pour activer une « mise en alerte » 60
2.3. Lacunes et limites de ces expérimentations 60
2.3.1. Des efforts de validation à poursuivre 61
2.3.2. Des simulations difficiles à transposer dans d'autres contextes 62
2.4. Quels besoins à court terme ? 64
2.4.1. Du ruissellement aux crues rapides : un problème de connectivité 64
2.4.2. Une production sédimentaire à mieux appréhender 64
2.5. Conclusions du chapitre 2 66

Chapitre 3.
Une politique préventive contre-productive 67
3.1. Apports et lacunes de la politique d'indemnisation assurantielle 67
3.1.1. Les arrêtés *CatNat*, supports d'analyse spatio-temporelle de la sinistralité 67
3.1.2. Les « fonds de dossiers » en appui à la caractérisation des crues rapides 70
3.1.3. Quand indemniser ne rime pas avec prévenir et responsabiliser… 73
3.2. Les limites des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) 74
3.1.1. Pertinence de la couverture PPRI : un bilan à nuancer 74
3.1.2. Pluralité des marges de manœuvre avérées aux échelles locales 76
3.1.3. Des plans « négociés » qui minimisent l'inondabilité 77
3.3. Faiblesses des autres documents préventifs 78
3.3.1. Les DICRIM : des documents méconnus et insuffisamment déployés 78
3.3.2. Les PCS : des documents en quête d'opérationnalité 82
3.4. Quels besoins à court terme ? 83
3.4.1. Innover et démultiplier les démarches de sensibilisation 84
3.4.2. Réintroduire l'inondation dans une réalité quotidienne 85
3.5. Conclusions du chapitre 3 86

Synthèse et perspectives de recherche (partie I) 87

Partie II.
Des outils d'alerte pluriels et non coordonnées en France 91

Introduction de la partie II 92

Chapitre 4.
L'alerte institutionnelle : des dispositifs en phase de modernisation 93
4.1. Des outils hérités d'une longue tradition régalienne 93
4.1.1. Une pratique ancestrale « tombée aux oubliettes » : les tocsins 93
4.1.2. Un réseau emblématique de l'après-guerre : les sirènes du RNA 95
4.1.3. D'autres solutions complémentaires : les automates d'appel d'alerte 98
4.1.4. D'autres dispositifs pour s'adapter aux crues rapides : les SDAL 99
4.2. Des bénéfices attendus considérables 102
4.2.1. Un moyen pour l'État républicain d'imposer son autorité 102
4.2.2. L'alarme des sirènes : un stimulus univoque 103

4.2.3. Des outils de diffusion massive pour gagner en rapidité 103
4.3. Des outils à l'efficacité pourtant contestée 104
4.3.1. Rénover le RNA : une solution largement plébiscitée 104
4.3.2. L'alarme des sirènes : un signal peu explicite 106
4.3.3. Les automates d'appel : des outils perfectibles 107
4.4 Quels besoins à moyen terme ? 107
4.4.1. Doter les autorités d'un système d'activation unique : le projet SAIP 107
4.4.2. Dépasser une vision exclusivement guidée par la politique de l'offre 109
4.5. Conclusions du chapitre 4 110

Chapitre 5.
Les applications smartphones : des solutions à promouvoir ? 111
5.1. État des lieux : une offre foisonnante en France depuis 2013 111
5.1.1. Principes et modes de fonctionnement de quelques applications 111
5.1.2. Traits communs et critères de différenciation des applications 114
5.2. Des bénéfices attendus considérables 116
5.2.1. Détecter plus rapidement les situations d'urgence 116
5.2.2. Être mieux informé sur l'état de la situation en cours 117
5.2.3. Accroître les compétences comportementales individuelles 118
5.2.4. Faire émerger de nouvelles pratiques sociales 118
5.3. Un potentiel à ne pas surévaluer 119
5.3.1. Les données de géolocalisation ; un usage controversé 119
5.3.2. Des applications tributaires de l'état du réseau internet 120
5.3.3. Des applications méconnues et peu téléchargées 121
5.4. Quels besoins à moyen terme ? 122
5.4.1. Des solutions qui doivent mieux s'adapter aux besoins des utilisateurs 122
5.4.2. Des liens à promouvoir avec les cartographies d'urgence en temps réel 124
5.4.3. Des autorités qui doivent clarifier leur position 125
5.5. Conclusions du chapitre 5 125

Chapitre 6.
Les réseaux sociaux numériques (RSN) : des médias à ne plus ignorer 127
6.1. État de lieux : des pratiques en plein essor en France depuis 2014 127
6.1.1. Des RSN utiles en cas de crues rapides : retours d'expérience 127
6.1.2. Des RSN en appui à la gestion d'urgence : le concept MSGU 128
6.1.3. Des autorités progressivement présentes sur les RSN 130
6.2. Des bénéfices attendus considérables 131
6.2.1. Détecter plus rapidement les signaux faibles 132
6.2.2. Favoriser les échanges et les interactions 133
6.2.3. Impulser des changements dans la manière de communiquer 134
6.3. Un potentiel à ne pas surévaluer 136
6.3.1. Des solutions techniques faillibles 136
6.3.2. Des amplificateurs de rumeurs et de confusions 137
6.3.3. Des médias pouvant inciter à la mise en danger des individus 138
6.3.4. Des pratiques marginales et surestimées 139
6.4. Quels besoins à moyen terme ? 140
6.4.1. Des pratiques à co-construire en dehors de la crise 140
6.4.2. Des liens à promouvoir avec les cartographies d'urgence en temps réel 141
6.4.3. Un facteur humain à ne pas occulter 142
6.5. Conclusions du chapitre 6 143

Synthèse et perspectives de recherche (partie II) **145**

Partie III.
Penser l'alerte différemment 149

Introduction de la partie II **150**

Chapitre 7.
Regarder ailleurs pour impulser une dynamique de changement **151**

7.1. Des choix différents dans d'autres pays : quelques exemples **151**
7.1.1. La Belgique : l'abandon des sirènes au profit d'un système unique 152
7.1.2. Les États-Unis : une plateforme numérique unique et multicanaux 154
7.1.3. L'Australie : des approches multimodales et multiscalaires 156
7.1.4. L'Indonésie : la voie des RSN de plus en plus plébiscitée 157
7.2. Une offre qui s'est adaptée à la cinétique des aléas considérés **158**
7.2.1. Les sirènes : des outils privilégiés pour alerter en cas de tornades 159
7.2.2. Une alerte aux glissements de terrain variable selon les surfaces surveillées 160
7.2.3. Des outils d'alerte de plus en plus réactifs face aux séismes 162
7.2.4. Des outils d'alerte tsunamis en plein essor depuis 2004 165
7.3. Des solutions à transposer en France ? **167**
7.3.1. Élargir le champ de compétence de l'alerte : une piste à prioriser 167
7.3.2. Adapter l'offre aux délais d'alerte 168
7.3.3. Adapter l'alerte à la spatialisation de la prévisibilité 170
7.4. Quels grands principes retenir pour l'avenir ? **172**
7.5. Conclusions du chapitre 7 **173**

Chapitre 8.
Rationaliser l'offre pour optimiser les effets de l'alerte **175**

8.1. Faire un tri dans le « monde des applis » pour gagner en lisibilité **175**
8.1.1. Supprimer les applications au faible potentiel d'alertabilité 175
8.1.2. Déployer des réseaux opportunistes pour couvrir les « zones blanches » 178
8.1.3. Promouvoir les interfaces intuitives pour parfaire l'usage des smarphones 179
8.2. Relocaliser les sirènes pour réduire les inégalités spatiales **181**
8.2.1. Prioriser l'équité spatiale ou la densité de population ? 181
8.2.2. Redistribuer pour répondre à une logique multi-aléas ? 185
8.2.3. Relocaliser en considérant l'impact d'autres facteurs environnementaux ? 185
8.3. Raisonner à l'échelle du bassin versant pour les crues rapides **187**
8.3.1. Deux dispositifs exemplaires en termes de cohérence et d'implication 188
8.3.2. Une piste expérimentée à travers les « Veilleurs de crue » 189
8.3.3. Dépasser une vision isotropique de l'offre 192
8.4. Quels grands principes retenir pour l'avenir ? **193**
8.5. Conclusions du chapitre 8 **194**

Chapitre 9.
Alerter tout le monde : un objectif impossible **195**

9.1. L'individu : une entité sociale dont il faut tenir compte **195**
9.1.1. La perception individuelle : une dimension psychosociale négligée 195
9.1.2. Un individu peut-il être « autonome » en cas d'alerte ? 197

9.2. Les écueils des initiatives citoyennes 199
9.2.1. L'ancrage territorial et l'accompagnement : deux ferments indispensables 199
9.2.2. Une réceptabilité de l'alerte inégale aux échelles locales 201
9.3. Des pistes de recherches à empiriciser à long terme 203
9.3.1. A la recherche d'un « seuil minimum de personnes à alerter » 203
9.3.2. Des « citoyens-capteurs » aux « citoyens-connectés » : les SmartCItizens 204
9.3.3. Trouver des façons différentes de communiquer l'alerte 207
9.3.4. Accompagner le changement de paradigme dans la gestion de crise 208
9.4. Quels grands principes retenir pour l'avenir ? 209
9.5. Conclusions du chapitre 8 210

Synthèse et perspectives de recherche (partie III) 211

Conclusion générale 215

Quels objectifs attendre de l'alerte ? 216
Pour une géographie de l'alerte 220
Orientations des recherches à venir 221

Références bibliographiques 223

Liste des figures et des tableaux 245

Table des matières 249