



HAL
open science

Les technologies smartphone comme outils d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France : Expérimentations dans le Vaucluse et le Var

Sekedoua Jules Athanase Kouadio

► To cite this version:

Sekedoua Jules Athanase Kouadio. Les technologies smartphone comme outils d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France : Expérimentations dans le Vaucluse et le Var. Géographie. Université d'Avignon, 2016. Français. NNT : 2016AVIG1163 . tel-01513549

HAL Id: tel-01513549

<https://theses.hal.science/tel-01513549>

Submitted on 25 Apr 2017

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.



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE

UFR-ip Sciences Humaines et Sociales
Ecole Doctorale ED537 « Culture et Patrimoine »
UMR ESPACE 7300 CNRS

THÈSE

présentée par

KOUADIO Sekedoua Jules Athanase

et soutenue publiquement le **02 décembre 2016** à Avignon

en vue de l'obtention du

DOCTORAT de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

**Les technologies smartphone comme outils
d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France**

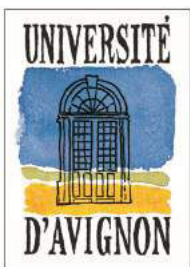
Expérimentations dans le Vaucluse et le Var

Membres du jury

Gilles Arnaud-Fassetta
Johnny Douvinet
Jérôme Gensel
Loïc Grasland
Eric Leroi
Céline Lutoff
Florence Sedes
Freddy Vinet

PR, UMR PRODIG, Univ. Paris 7, examinateur
MCF, UMR ESPACE, Université d'Avignon, co-encadrant de thèse
PR, UMR LIG, Univ. Grenoble Alpes, examinateur
PR, UMR ESPACE, Université d'Avignon, directeur de thèse
Directeur, Risques & Développement, Gardanne, invité
MCF-HDR, UMR PACTE, Univ. Grenoble Alpes, rapporteure
PR, IRIT, Univ. Toulouse, rapporteure
PR, UMR GRED, Univ. Montpellier III, examinateur





UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE

UFR-ip Sciences Humaines et Sociales
Ecole Doctorale ED537 « Culture et Patrimoine »
UMR ESPACE 7300 CNRS

THÈSE

présentée par

KOUADIO Sekedoua Jules Athanase

et soutenue publiquement le **02 décembre 2016** à Avignon

en vue de l'obtention du

DOCTORAT de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

Les technologies smartphone comme outils d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France

Expérimentations dans le Vaucluse et le Var

Membres du jury

Gilles Arnaud-Fassetta
Johnny Douvinet
Jérôme Gensel
Loïc Grasland
Eric Leroi
Céline Lutoff
Florence Sedes
Freddy Vinet

PR, UMR PRODIG, Univ. Paris 7, examinateur
MCF, UMR ESPACE, Université d'Avignon, co-encadrant de thèse
PR, UMR LIG, Univ. Grenoble Alpes, examinateur
PR, UMR ESPACE, Université d'Avignon, directeur de thèse
Directeur, Risques & Développement, Gardanne, invité
MCF-HDR, UMR PACTE, Univ. Grenoble Alpes, rapporteure
PR, IRIT, Univ. Toulouse, rapporteure
PR, UMR GRED, Univ. Montpellier III, examinateur



Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur



Sommaire

Résumé _____	3
Abstract _____	3
Remerciements _____	5
Table des sigles et abréviations _____	7

Introduction générale _____ 9

Partie I : Constats et besoins de recherche - Etat des connaissances sur les crues rapides dans le sud-est de la France et sur les dispositifs institutionnels mis en œuvre pour alerter la population _____ 21

Introduction de la partie I _____	23
Chapitre 1 - Caractéristiques des aléas crues rapides se manifestant dans le sud-est de la France et focus sur les départements du Var et du Vaucluse _____	25
Chapitre 2 - Les dispositifs d'alerte aux crues rapides en France -Apports, limites et contraintes opérationnelles _____	55
Synthèse de la partie I _____	87

Partie II : Orientations méthodologiques : Investir les outils numériques et les smartphones, une opportunité contextuelle et scientifique _____ 89

Introduction de la partie II _____	91
Chapitre 3 - L'émergence des outils numériques et les changements de pratiques dans le domaine du risque inondation _____	93
Chapitre 4 - Les applications smartphone en appui aux dispositifs d'alerte aux inondations en France : état des lieux, limites et usages attendus et avis d'usagers potentiels _____	119
Synthèse de la partie II _____	149

Partie III : Création d'un prototype basé sur la collaboration citoyenne durant l'alerte : développements et expérimentations _____ 151

Introduction de la partie III _____	153
Chapitre 5 - Modélisation conceptuelle de l'application <i>Al'in</i> _____	155
Chapitre 6 - Mise en œuvre, développement du prototype et test d'application _____	181
Synthèse de la partie III _____	215

Conclusion Générale _____ 217

Références bibliographiques _____	227
Liste des tableaux _____	249
Liste des figures _____	250
Annexes _____	253

Résumé

En cas d'alerte aux inondations, l'information en temps réel et sa diffusion à un large public sont des éléments cruciaux pour limiter les comportements à risque, détecter les premiers dégâts ou préparer les acteurs locaux à gérer la crise. Face à ces enjeux, les technologies smartphones apparaissent, de plus en plus, comme des solutions logicielles et matérielles qui pourraient compléter de façon positive les dispositifs d'alerte institutionnels, notamment grâce à la dynamique des contenus partagés et aux nombreuses interactions dont ils sont le support. Alors que plusieurs pays (États-Unis, Norvège, Pays-Bas, Suède, Philippines) utilisent déjà de tels outils, et même si le Ministère de l'Intérieur a lancé une application urgentiste (SAIP) le 8 juin 2016, la population et les services de l'État semblent beaucoup plus réticents en France. La défense de la propriété individuelle, le manque de crédit attribué aux messages postés et les verrous technologiques sont les principaux facteurs de blocage avancés. Après avoir mené une enquête dans plusieurs communes rurales des départements du Var et du Vaucluse (qui confirme la méconnaissance des applications déjà existantes alors que les besoins sont bien réels face aux crues rapides), une nouvelle application a été développée (Al'in). Le prototype créé vise à réduire les écarts entre une approche étatique descendante (top-down), qui positionne et impose l'État comme le seul lanceur d'alerte, et une initiative citoyenne (approche « Bottom-Up »), qui érige l'individu au rang de « citoyen capteur », à la fois capable de remonter ou de diffuser une alerte à travers l'usage de son smartphone. Répondre à ce défi ne s'avère toutefois pas si simple au regard des contraintes juridiques et techniques préexistantes en France.

Mots-clés : *inondation, crues rapides, alerte, risques naturels, Smartphones, outils numériques*

Abstract

The information given on flash floods in real time should undoubtedly answers to the citizens needs as well as to the politic and the safety services. Face to such objective, Smartphone could positively complete the official institutional systems, especially thanks to the dynamic and nature of posted messages, and to the social interactions they support. This study questions the opportunity of developing a proactive and innovative alert system using the Smartphone technologies to face the risks due to flash flood hazards. A first study focuses on several alert systems existing actually in France but we quickly aim at identifying limits (legal rules, technologies and scientific problems) and challenges usefulness and opportunities in the numeric sphere) of our objective in general manner. Finally, a local study in Var and Vaucluse permits us to see if population and local stakeholders should be interested (or not) by a smartphone application. The proposed solution tries to achieve a major challenge: reducing the gap between a state approach (top-down), which positions and imposed the state as the main official alert source, and the citizen action (bottom-up) which establishes the individual as "Citizen sensor" (both in go up or disseminate information) through the use of is smartphone. Meeting this challenge is indispensable if we hope effectively minimizing material and human damages especially when high temporal acuity phenomena such as flash floods happen.

Keywords: *floods, flash floods, warning, alert, natural hazards, smartphones, numeric tools*

Remerciements

Je ne pense pas que je pourrais jamais assez remercier Loïc Grasland, Professeur des Universités en Géographie et directeur de cette thèse. Depuis mon arrivée en France et pendant toute la durée de ce travail, il a su, par une alchimie dont lui seul détient le secret, être à la fois mon directeur de thèse tout en étant d'une oreille discrète et d'une main active, attentif à toutes mes préoccupations qu'elles soient d'ordre académique ou personnel. M. Grasland s'est montré disponible et ouvert. Il a fait preuve de patience et a accordé un soin tout particulier à la valeur organisationnelle et méthodologique de cette thèse.

Je remercie également le co-encadrant de la thèse, Johnny Douvinet, Maître de conférences en Géographie de l'université d'Avignon, d'avoir supervisé ce travail à chacune de ses étapes. Il a accepté de me faire confiance pour une bourse de la région PACA, malgré une audition effectuée à distance depuis la Côte d'Ivoire. Il m'a consacré de son temps et de ses connaissances tout en faisant en toutes circonstances preuve de rigueur, de discrétion, de patience et de fermeté.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer la qualité de cette thèse. À ce titre, je remercie Celine Lutoff, Maître de conférences en Géographie à l'Université Grenoble-Alpes, et Florence Sedes, Professeur des Universités en Informatique à l'Université de Toulouse II. Je joins aussi mes remerciements à Gilles Arnaud-Fassetta, Professeur des Universités en Géographie à l'université de Paris Diderot, Jérôme Gensel, Professeur des Universités en Informatique à l'Université Grenoble-Alpes, et Freddy Vinet, Professeur des Universités à l'université de Montpellier III. Merci pour leurs engagements respectifs dans l'enseignement et la recherche.

Je remercie la région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et la société Risques et Développement, et plus particulièrement son directeur Eric Leroi, pour avoir cofinancé ma thèse. Ce partenariat s'inscrit dans le cadre du programme « Emplois Jeunes Doctorants » mis en place depuis plus d'une vingtaine d'années par la région PACA. Il s'agit d'un dispositif de financement en direction des diplômés de master leur permettant d'accéder à un emploi de trois ans. Cette thèse a été financée dans le cadre du volet « Risques-Sécurité-Sûreté » de ce programme. Elle implique également en contrepartie pour le doctorant d'effectuer des missions d'enseignement et de vulgarisation de la culture scientifique.

Merci encore à messieurs Grasland et Douvinet pour avoir, après la fin de mes trois années de bourse PACA, soutenu mes candidatures aux postes d'ATER à l'Université de Reims Champagne-Ardenne (pour l'année académique 2015-2016) puis à l'Institut de Géographie Alpine (pour l'année académique 2016-2017). Merci à Stéphane Rosière, Professeur des Universités en Géopolitique à l'Université de Reims et à toute l'équipe du laboratoire Aménagement et géographie politique de l'Université de Reims pour l'accueil et la bonne collaboration durant mon passage à Reims.

Un grand merci également à Michel Guerin, Pascale Di Domenico, Nathalie Brachet, Alexia Bouffel et à toute l'équipe administrative de l'UMR 7300 ESPACE. Je n'oublie pas non plus l'équipe pédagogique et particulièrement celle des doctorants que j'ai côtoyée pendant ces 4 années.

J'adresse aussi une mention spéciale à Maxime Hébert et Béatrice Gisclard pour cette amitié spontanée qui est née de nos explorations varoises et vauclusiennes.

Enfin, je remercie du fond du cœur toute ma famille pour l'amour, la patience et les encouragements sans cesse renouvelés, malgré la distance. Je remercie en particulier mon père, Antoine, et ma mère, Alice, mes frères et sœurs Jacky, Gina et Ella, Serge, Stéphane et Anthony.

Table des sigles et abréviations

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANR	Agence Nationale de la Recherche
CCNUC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CCR	Caisse Centrale de Réassurance
CEMAGREF	Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CMAS	Cellular Messaging Alert System
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
CNRTL	Centre national de ressources textuelles et lexicales
DDRM	Dossier Départemental des Risques Majeurs
DREAL	Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EAIP	Enveloppes approchées des inondations potentielles
EDF	Électricité de France
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GLIDE	GLobal Unique Disaster IDentifier Number
JSON	JavaScript Object Notation
MEDAD	Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables
MEEM	Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer
MIOCT	Ministere de l'interieur de l'Outre mer et des Collectivites Territoriales
MOOC	Massive Open Online Courses
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ORSEC	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PHP	Hypertext Preprocessor
PPMS	Plan Particulier de Mise en Sécurité
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
REX	Retour d'Expérience
SCHAPI	Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
SCS	Supply Chain Systems
SEP	Science for Environment Policy
SIDPC	Service Interministériel de Défense et de Protection Civile
SMS	Short Message Service
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
SPC	Service de Prévision des Crues
SQL	Structured Query Language
UCAR	University Corporation for Atmospheric Research

Introduction générale



Source : Jean Christophe-Magenet/AFP

Un garçon se tient à côté de débris des voitures après des crues rapides survenues à Biot, au sud-est de la France en octobre 2015

Contexte scientifique : les crues rapides, un risque majeur en France

Les crues rapides survenant dans le sud-est de la France sont des phénomènes **violents** (qui se caractérisent par la soudaineté de leur apparition, en moins de 6h, et de leur évolution), très **érosifs** (qui ont une forte composante solide eu égard à l'ablation des sols) et **meurtriers** (Reid, 2004). Elles sont générées par des pluies intenses, avec des cumuls allant de 100 à plus de 600 mm sur des pas de temps allant de 3 à une dizaine d'heures. Elles se manifestent par ailleurs au sein de petits bassins versants qui ont une taille comprise allant de 5 à moins de 50 km², avec des débits spécifiques pouvant être considérables (allant jusqu'à 20 m³/s/km²). Caractérisées par la soudaineté de leur évolution (les crues disparaissent en quelques heures). La violence et la rapidité des écoulements générés induisent de nombreux dommages qui varient en fonction de l'importance des enjeux et de la vulnérabilité des secteurs géographiques affectés (Gaume *et al.*, 2009 ; Vinet *et al.*, 2010).

Les récentes inondations survenues le 3 octobre 2015 à Cannes dans les Alpes-Maritimes (et notamment les débordements de la Brague à Biot, et de la Siagne à Mandelieu-la-Napoule) illustrent à quel point les dégâts peuvent être onéreux (plus de 610 millions d'indemnisations pour les assurances ; CCR, 2016a), mais surtout à quel point les dispositifs de vigilance et d'alerte doivent être affinés à l'échelle des petits bassins versants. Cet événement vient s'ajouter à la liste malheureusement longue et historiquement établie d'épisodes des crues tragiques des rivières et fleuves provençaux et azuréens (Champion, 1862 ; Pardé, 1928, 1934 ; Jonkman et Kelman, 2005 ; Ruin *et al.*, 2007 ; Vinet, 2010 ; Morss *et al.*, 2016). On peut notamment citer, sans être exhaustif, les inondations qui ont endommagé les villes de Nîmes (1988), Vaison-la-Romaine (1992), Cuxac-d'Aude (1999), Draguignan (2010) ; La-Londe-Les-Maures (janvier et septembre 2014), Lamalou-les-Bains (2014), Cannes (2015), ...

De nombreuses recherches ont été menées ces dernières années sur les crues rapides. Il suffit de citer quelques programmes de recherche internationaux pour s'en rendre compte :

- Le projet EU FLOODSITE¹ est un projet européen qui s'intéresse aux aspects physiques, écologiques et socio-économiques des inondations provoquées par les rivières, les estuaires et la mer. Ce projet considère le risque inondation comme la combinaison d'un aléa (origine, évolution) et d'autres facteurs tels que ses conséquences sur un "récepteur" qui peut être représenté suivant les thématiques étudiées par les populations, les biens et l'environnement (Moulin, 2007 ; Aublet, 2014 ; Borga, 2008).
- HYMEX² (*Hydrological cycle in the Mediterranean EXperiment*) est un autre exemple de projet, qui a pour ambition d'améliorer la prévision des risques hydrométéorologiques, de mieux connaître leur variabilité à l'échelle pluriannuelle et de renseigner sur leur évolution. Essentiellement dédié aux événements en Méditerranée, ce programme évolue autour de deux principaux axes : « Pluies intenses et crues rapides », « Échanges air-mer intenses ». (Ducrocq *et al.*, 2013 ; Boissier, 2013 ; Braud *et al.*, 2014).
- L'ANR MOBICLIMEX³ (Dynamique des mobilités quotidiennes et résidentielles face aux extrêmes météorologiques en contexte de changement climatique) porte sur l'exposition humaine en cas de crues rapides dans les régions méditerranéennes. Il est en fait question d'analyser l'évolution spatio-temporelle des échanges entre environnements et société en s'intéressant particulièrement à l'exposition des sociétés à travers les mobilités quotidiennes et résidentielles (Cavalière, 2015).

¹ <http://www.floodsite.net>

² <http://www.hymex.org/>

³ http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?solr=run&tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-12-SENV-0002

- L'ANR ADAPTFLOOD découlant du projet HYMEX, est aussi un projet qui s'intéresse aux facteurs de vulnérabilité liés à la mobilité des populations et à leurs réactions en cas de crues rapides. Sur la base de retours d'expérience et de témoignages, ce projet a pour ambition d'établir les liens entre les messages officiels, les réponses comportementales et les dynamiques hydrométéorologiques influençant les déplacements des populations dans le temps et dans l'espace (Créton-Cazanave, 2010 ; Ruin *et al.*, 2014).

Il n'en reste pas moins difficile d'en anticiper la survenue en temps réel et d'informer, via les dispositifs d'alerte existants, les populations. Les services de l'État (en particulier le SCHAPI, *Service Central d'Hydrométéorologie d'Appui à la Prévision des Inondations*) surveillent près de 22 100 km de linéaires (essentiellement constitué de grands et moyens cours d'eau) en 2015, mais plus de 98 300 km (dont 45% sont des petits tronçons susceptibles de générer des crues rapides) ne font toujours pas l'objet d'une prévision particulière. La cinétique des crues rapides met en échec deux des piliers de la politique de prévention du risque inondation en France : le zonage et la protection (Créton-Cazanave, 2010). Le zonage, parce que les victimes se trouvent dans des zones déjà construites avant la mise en place ou l'application des PPRI ; la protection, car les ouvrages (tels que les digues) sont souvent sous-dimensionnés face à des événements extrêmes et ils ne peuvent être mis en place sur le moindre petit cours d'eau. À ces deux éléments s'ajoute le fait qu'en cas de crue rapide, le temps nécessaire à la mise en sécurité des personnes, incluant le délai de déclenchement de l'alerte et l'évacuation, est toujours supérieur au temps de réaction hydrologique (1 à 2 heures voire moins), ce qui soumet les autorités à des difficultés de prévision (Bontron et Obled, 2003).

Éléments de problématique

Les services étudiant l'aléa « crues rapides » permettent une première caractérisation hydrométéorologique des phénomènes, avec toutes les incertitudes associées (couverture partielle du réseau de mesures hydrométriques et des radars pluviométriques ; seuils de déclenchement encore difficiles à maîtriser ; modélisations hydrologiques imparfaites, notamment). Suite à la survenue d'inondations dramatiques en 2010 (53 victimes en Vendée le 28 février ; 27 décès en Dracénie le 15 juin), l'État a d'ailleurs engagé de nombreuses études dans le cadre du PSR, *Plan Submersions Rapides* (DGPR, 2011). Le travail proposé ici s'inscrit dans l'axe 2 de ce PSR, intitulé : "Amélioration des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte". Il s'agit notamment de savoir dans quelle mesure on pourrait espérer réduire l'exposition des populations en faisant appel aux technologies Smartphones en France, et de voir quelle place les citoyens pourraient avoir dans l'émission d'une alerte. Les responsables de la gestion de crise (le préfet ou le maire) sont ensuite capables d'activer les secours (en adéquation avec les plans de sauvegarde ou les plans d'urgence préalablement définis) puis de donner l'alerte (DREAL Midi-Pyrénées, 2013), mais force est de reconnaître qu'avec ce que l'état de l'art dans le domaine de prévision et de l'alerte permet de faire, ce mode de fonctionnement semble limité pour faire face efficacement aux crues rapides (Kouadio et Douvinet, 2015).

D'un autre côté, l'individu est de plus en plus mis à contribution et sollicité pour participer à la création d'une certaine conscience collective du risque. Il est ainsi invité à être un acteur clé en vue d'atteindre l'objectif d'une « culture du risque de proximité », et doit être « responsable de sa propre sécurité civile », comme le rappelle la loi de Modernisation de la Sécurité Civile de 2003. La création des Réserves Communales de Sécurité Civile dans certaines communes est un exemple illustrant bien cette réalité, mais la réalité est loin d'être aussi parfaite : 356 RCSC existent (juin 2016), contre plus de 10 000 PCS approuvés. L'action citoyenne est ainsi sollicitée alors même que les populations sont exclues des dispositifs institutionnels. Les services de secours veulent que les citoyens soient des êtres rationnels, appliquant à la lettre les consignes de sécurité, ce qui est assez utopiste, car les capacités cognitives et perceptives ont un poids important en cas de crise ou de panique (Lalo, 1992 ; Weiss, 2015). Le 3 octobre 2015, 9 victimes (sur 20) ont été retrouvées dans leur garage, prises au piège alors

qu'elles voulaient sauver leur voiture, ce qui est formellement interdit dans les consignes (il faut se mettre hors de l'eau, en priorité).

Face à ces éléments sources de tensions aux échelles locales, l'objectif de cette thèse sera alors d'apporter des réponses à un certain nombre de questions, en évaluant la portée réelle des moyens dont disposent les citoyens pour atteindre cet objectif de conscience collective du risque. Connaissent-ils et comment perçoivent-ils les dispositifs d'alerte officiels ? Ont-ils conscience des consignes de sécurité à adopter ? Comment les inciter par ailleurs à devenir des "citoyens capteurs", ou, autrement dit, des émetteurs et des récepteurs d'une information associée à un risque inondation en temps réel ? Eu égard à l'expansion croissante de la téléphonie mobile, et notamment des Smartphones, cette recherche souhaite également savoir si on peut véritablement améliorer les connaissances et la prévention à travers le recours à de tels outils. Sur la base de la prolifération des outils et des techniques de diffusion (voire de partage) des contenus géo-localisés, et de la démocratisation de la production de l'information géographique, peut-on impliquer les citoyens de manière volontariste et bénévole en amont d'une crue ? A-t-on aussi le droit d'alerter et, à défaut, d'informer les citoyens en toute liberté, indépendamment de l'État ? Et pour finir, jusqu'à quel point l'individualisme peut-il accorder une place plus grande à des initiatives collectives, dans le cadre de la culture du risque en particulier ?

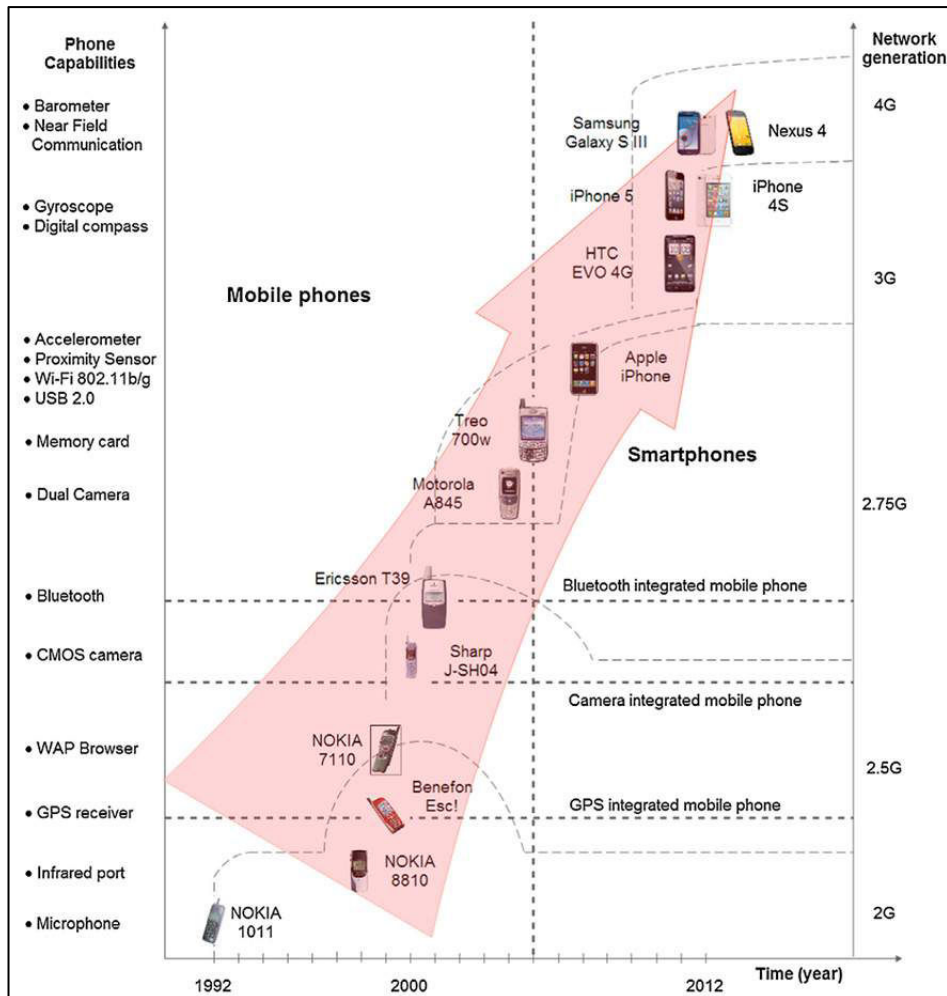
Orientations méthodologiques

Lorsque cette recherche a démarré en 2012, il n'existait à notre connaissance aucune application permettant d'alerter en temps réel les citoyens face à une crue rapide, et aucune étude n'avait été menée pour évaluer la propension des habitants face à de tels usages, ni même sur la manière dont on pourrait les impliquer dans la construction même d'une application. Depuis, plusieurs applications ont vu le jour, dont la plus récente, SAIP, est portée par le Ministère de l'Intérieur (8 juin 2016). Les citoyens restent pourtant exclus du processus (cette application étant consultative et non contributive) et c'est bien avec le souhait d'accroître la participation des individus que nous avons réfléchi, dès le départ, à un produit qui pourrait mieux répondre et s'adapter aux attentes des usagers.

Nés du croisement entre l'ordinateur portable et le téléphone mobile en 1992, les smartphones ont révolutionné les espaces numériques et sociaux de leurs utilisateurs. Espaces numériques d'abord, dans la mesure où leur arrivée a concrétisé le concept d'ubiquité tout en contribuant grandement à une révolution des modes de collecte, de stockage, de production et de diffusion de données numériques. Espaces sociaux ensuite, par leur moyen de redéfinir les lieux et les habitudes d'usage, les points de contact avec le monde numérique, ainsi que la nature des utilisateurs, rendant de plus en plus mince la frontière entre amateurs et professionnels, entre espace personnel et espace communautaire, voire entre vie privée et publique. Espaces numériques et espaces sociaux se confondent désormais, les premiers étant à la fois le prolongement ou l'extension des seconds, pour donner ce que Salles (2015) citant De Souza et Silva (2006) ainsi que Nova (2009) qualifient d'« espace hybride ».

Avec un taux de pénétration du marché de croissant depuis cette époque, ces appareils se sont aujourd'hui positionnés comme les technologies « grand public » les plus rapidement adoptées. Sans les capteurs dont ils sont équipés, et sans les réseaux de télécommunications dont la qualité, la quantité et la précision se sont améliorés au fil des ans (**Fig. I.1**), cette révolution n'aurait pu se produire et n'aurait pas pu séduire autant le public. Une telle révolution est toujours en marche, les smartphones et les applications continuent de s'étendre à tous les domaines de la vie quotidienne (plus d'1 million d'applications en juin 2016). En France, le taux de pénétration du smartphone est passé de 21% au premier trimestre 2011 à plus de 53% au premier trimestre 2014 (d'après les chiffres de l'agence de marketing social en ligne *Visionary marketing*). Les utilisateurs deviennent de plus en plus dépendants de leur téléphone, ce qui a été rendu possible grâce à une multitude d'applications mises à la disposition du public : *Googleplay* et *AppleStore* proposent plus de 1,3 million d'applications et de jeux gratuits ou payants en mai 2016, et ce nombre augmente chaque jour. Compte tenu du nombre croissant d'utilisateurs (plus de 31 millions de français au premier trimestre 2015 ; MMA, 2015) et des

possibilités offertes (en termes de mobilité, de connectivité, de géolocalisation, etc.), étudier et développer sur smartphone s'avère être une piste contextuelle intéressante. Elle est aussi scientifique, car ces innovations mettent en cause les pratiques classiques (information, renseignement, procédures d'alerte contrôlés uniquement par l'État) alors qu'elles font face à des questionnements de nature juridique, technique et réglementaire. Si les utilisateurs de smartphones sont géo-localisables et peuvent s'attendre désormais à disposer de réseaux urgentistes, comment les technologies smartphones peuvent-elles ainsi s'inscrire dans le dispositif d'alerte actuellement en place ?



Source : Daponte *et al.* (2013)

Figure I.1 : Évolution des réseaux de télécommunication et des capteurs intégrés dans les smartphones sur la période allant de 1992 à 2012

Choix de la zone d'étude

Comme de nombreux secteurs du pourtour méditerranéen (Vinet, 2011 ; Saint-Martin, 2014), les départements du Var et du Vaucluse ont une prédisposition naturelle aux crues rapides (Tableau I.1, Fig. I.2). Les crues rapides n'y sont pas nouvelles : ces crises hydrologiques paraissent exceptionnelles à l'échelle d'une vie humaine (une période de retour de 80 à 150 ans pour la crue de 1992 à Vaison-la-Romaine par exemple, Benech *et al.*, 1993), mais elles deviennent fréquentes si l'on tient compte des similarités dans les facteurs à leur origine (Ballais *et al.*, 2004) et dans la forte prédisposition des bassins à réagir en cas de pluies de forte intensité. De par leur position, le Vaucluse et le Var sont souvent affectés par des phénomènes orageux de forte intensité (Miniscloux, 2001 ; Anthony, 2007 ; Marchi *et al.*, 2010 ; Thierion, 2010). Ces épisodes surviennent à la suite d'un flux

dépressionnaire positionné entre le Massif Central et les Pyrénées et provoquant, de surcroît, un flux de secteur sud à sud-est remontant de la Mer Méditerranée vers la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une masse d'air chaud et humide qui va être contrainte à l'élévation en altitude en raison des premiers reliefs et qui vont venir bloquer la progression de la masse d'air (Hébert, 2014). L'intervention permanente de l'homme sur les régimes des cours d'eau en question a aussi contribué à supprimer leur caractère rarissime et à occulter la potentielle gravité des dommages corollaires.

	Var	Vaucluse
Superficie	5 973 km ²	3 567 km ²
Population 2012	1 021 669 h	546 314 h
Densité	172 hab./km ²	154 hab./km ²
Eléments de relief	Le massif de la Sainte-Baume (1 147 m) Les Maures (780 m) L'Estérel (618 m)	Le mont Ventoux (1 912 m) Les monts de Vaucluse (Le signal de Saint-Pierre à 1256 m) Le massif du Luberon (Le Mourre Nègre à 1 125 m)
Climat(s)	Méditerranéen	Méditerranéen au sud Montagnard au nord Semi continental au nord-ouest
Nombre d'arrêtés CATNAT ⁴ (1982-2015) sur un total de 3 154 enregistrées en région PACA	655 (20,8%)	732 (23,2%)
Evènements mémorables ⁵ en termes de pluies extrêmes sur 98 enregistrés au cours de la période 1766-2015	42	28

Source : Kouadio (2016)

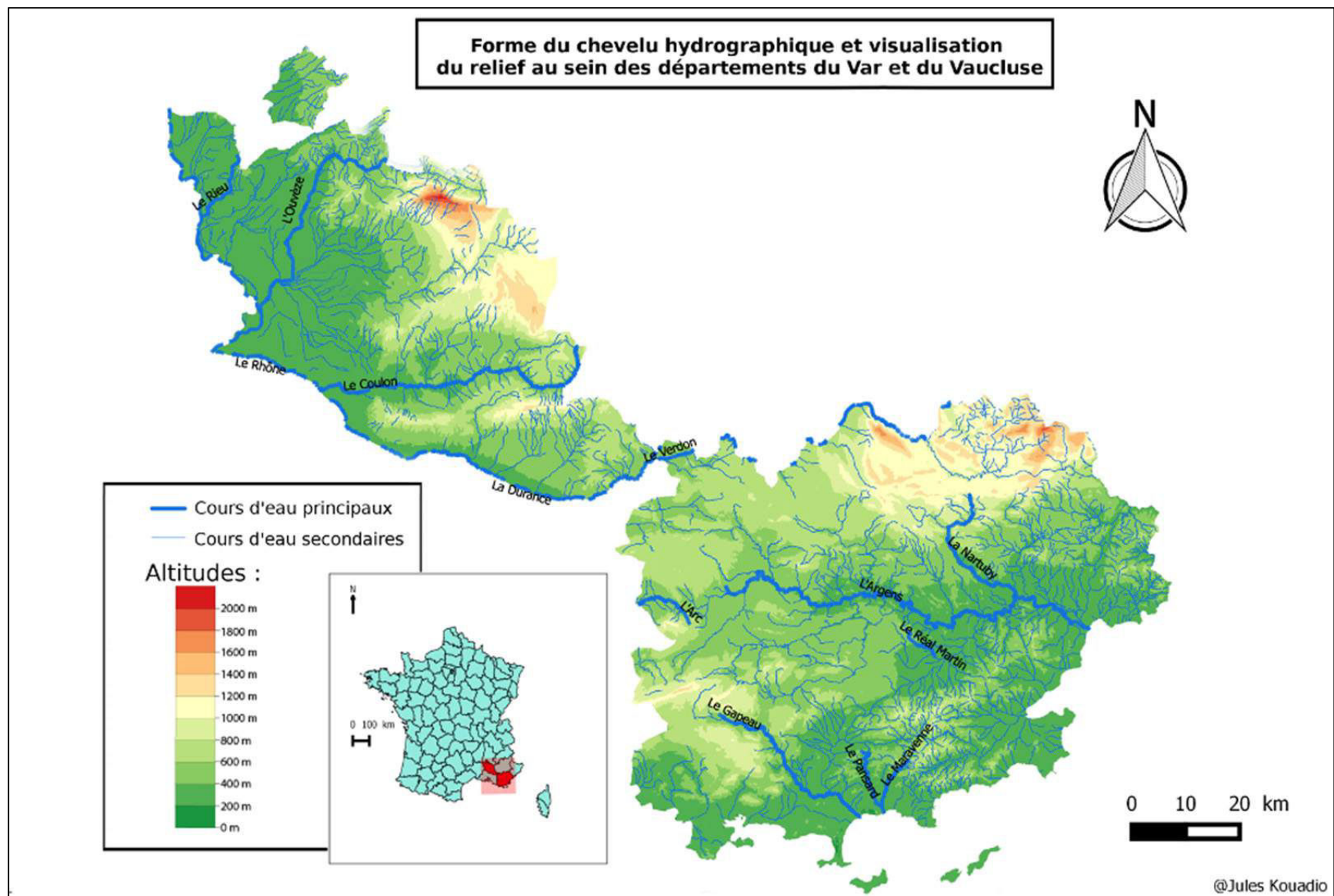
Tableau I.1 : Données comparatives du Var et du Vaucluse

Par ailleurs, d'un point de vue humain, ces deux départements constituent de bons témoins de l'émergence de nouvelles réalités influençant les modes d'occupation du sol et de création d'espaces, et en particulier au regard de l'urbanisation galopante et du développement économique de la région PACA : modèle agricole et rural prônant des cultures peu fragiles aux inondations ; le Rhône, poumon économique de la région grâce à son exploitation ; l'essor du tourisme ; une pression démographique qui entraîne une prise en compte partielle ou quasi inexistante du risque inondation dans les politiques d'aménagement ; la multiplication des phénomènes de ruissellement urbain ; une conscience du risque qui s'amenuise à mesure que se succèdent des flux de populations étrangères peu conscientes du danger, sur un territoire abandonné par de précédentes victimes (Rulleau *et al.*, 2015).

Le Var et le Vaucluse sont donc les départements sur lesquels différentes expérimentations ont été menées durant ces 4 années de recherche. De par la nature et l'ampleur des évènements inouïs qui s'y sont produits au cours de ces trente dernières années, que ce soit en termes de pluviométrie, de débits d'écoulement, de dégâts provoqués, de pertes en vies humaines, de conséquences et de leçons tirées en matière de prévision des inondations et de gestion de crises, ces deux départements peuvent constituer des cas d'études intéressants en vue d'envisager une potentielle généralisation. Si les besoins des usagers ont été intégrés dans le prototype de l'application, il est évident que cette solution ne constitue pas une « fin » scientifique en soi. Ce travail doit plus être perçu comme une première tentative de réflexions sur les apports de ces technologies smartphone, dont l'usage croissant annonce sans aucun doute toute une série de publications et un champ scientifique à explorer à l'avenir.

⁴ BD GASPAR : (1) Inondations et coulées de boue, (15) Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain, (43) Inondations, coulées de boue et glissements de terrain

⁵ <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/-Evenements-memorables-.html>

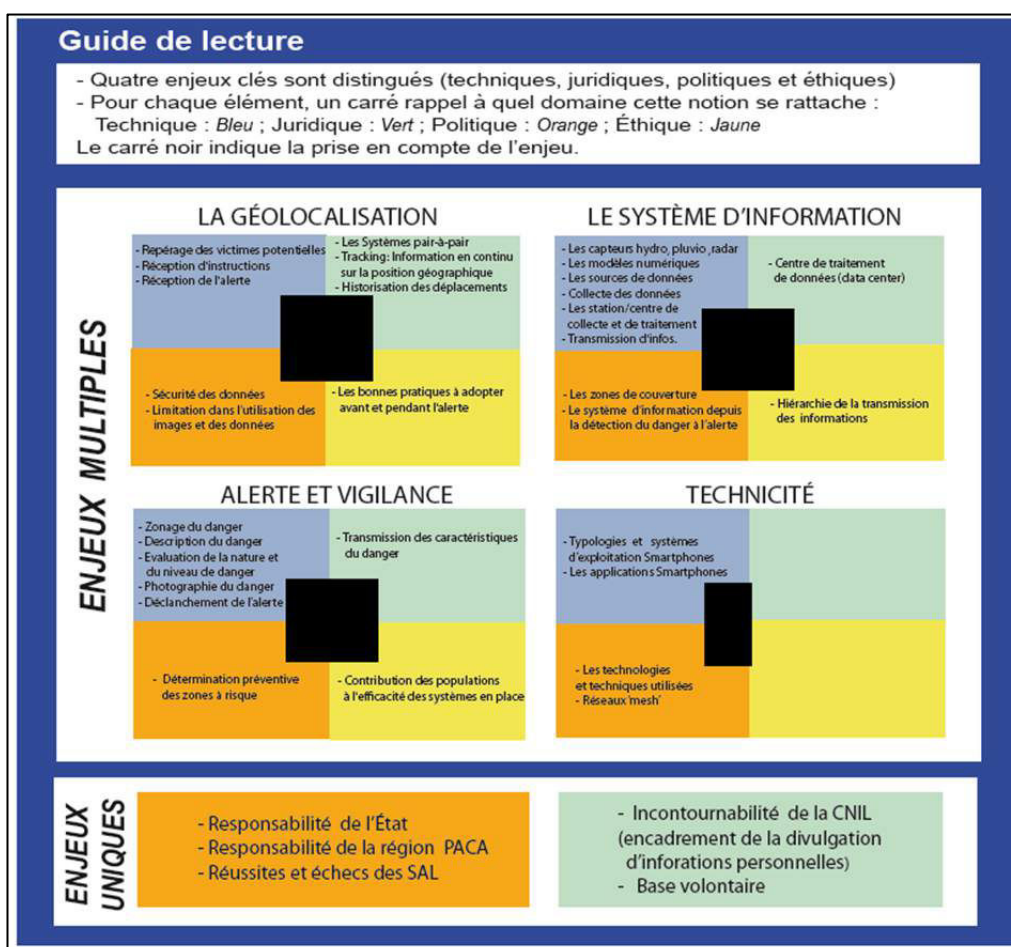


Source : Kouadio (2016), d'après les données de la BD CARTHAGE, BDALTI2 et MNT 75M-IGN.
 Figure I.2 : Forme du chevelu hydrographique et visualisation du relief au sein des départements du Var et du Vaucluse.

Les objectifs de la thèse

Deux objectifs auxquels sont associés des enjeux techniques, juridiques, politiques et éthiques, sont clairement définis (**Fig. I.3**) : tout d’abord, **étudier la possibilité de développer une application informatique destinée à la population en cas d’alerte aux crues rapides**. Ces inondations doivent être annoncées de façon rapide, car le temps de concentration est inférieur à quelques heures voire à quelques minutes. Le contenu du message (qualité des informations et des alertes à envoyer ou à recevoir), les modes de transmission (opérationnalité des réseaux, acceptabilité de la traçabilité) ou les implications territoriales (liberté d’information sur un territoire) seront étudiés. Il s’agit aussi **d’exploiter les données envoyées par les individus situés « au plus près de l’événement »** (qui deviennent des « citoyens capteurs ») pour améliorer notre connaissance sur les facteurs de déclenchement (Artigue *et al.*, 2012 ; Mathys et Peteuil, 2012) et sur les réactions des individus au message d’alerte (Durand, 2014).

Via cette application, on veut aussi toucher des individus dans un périmètre de risque défini en temps réel, en ne se limitant pas uniquement aux résidents et/ou aux automobilistes qui peuvent être informés via les ondes RDS (Radio Data System). Ce projet visait "tous" les autres : les automobilistes n’écouter pas la radio, les randonneurs, les piétons, les touristes..., bref, toute une population pouvant être localisée grâce son téléphone portable, mais qui n’est pas toujours au courant d’une alerte face à un aléa pouvant survenir à proximité. Grâce aux smartphones, cette **recherche-action** vise finalement à rapprocher les individus mobiles (vulnérables en cas de crues rapides) des scientifiques (apportant leur connaissance sur les événements, malgré les incertitudes).



Source : Kouadio (2013)

Figure I.3 : Les enjeux liés à cette thèse.

Afin de clarifier les deux objectifs principaux de cette recherche, **5 pistes d'investigation** ont également été poursuivies dès le début de cette recherche (et nous verrons dans la conclusion quels ont été les résultats produits) :

Piste n° 1 : Évaluer la pertinence des technologies Smartphone pour une mise en alerte face aux crues rapides. Il s'agit d'explorer différents systèmes d'utilisation existants (RIM / iOS (Apple) / Android / Symbian / Windows Mobile par exemple) tout en créant l'application sous le système qui sera le plus utilisé à l'avenir. Cette question reste une inconnue à l'heure actuelle pour les acteurs locaux, les opérateurs et pour les scientifiques. Il est également possible de créer une application multiplateforme comme cela existe aujourd'hui à Nice pour faire face aux risques naturels qui peuvent survenir sur ce territoire. Cet exemple diffère du nôtre : la surveillance porte sur un espace fixe et non dynamique (ici, notre projet vise en fait à coupler la cinétique de l'inondation à celle de l'alerte).

Piste n° 2 : Définir le type d'information que le « citoyen-captteur » peut faire remonter pour donner l'alerte (hauteur d'eau approximative, type de dégâts constatés, heure d'apparition, photos...). Par soucis de simplicité, des phrases déjà écrites seraient plus faciles à choisir et à envoyer par le lecteur. Il s'agit aussi d'élaborer une grille de lecture accessible à un individu *lambda* pour éviter une mauvaise prise en charge de l'application et qui pourrait, dans certains cas, conduire à un refus total d'utilisation en cas de crise. L'application ne doit pas pour autant remplacer les numéros urgentistes (17, 18, 112), qui semblent pourtant de moins en moins connus de la population.

Piste n° 3 : Définir les modalités de transmission de l'alerte : il s'agit de constituer un système d'information intégré partant de l'« individu émetteur » (qui envoie l'information initiale ; ex : la route RD78 est inondée à Pernes) à l'« individu récepteur » (qui reçoit cette alerte) en associant les acteurs locaux (préfectures, mairies) dans le montage de cette procédure (afin de contrôler la qualité de l'information). Suivant l'information remontée, un degré d'avancement dans la situation de crise peut être proposé. Il convient aussi de discuter du rayon d'action de l'alerte en conséquence (5, 10 ou 15 km) et du temps minimum requis pour la transmission comme le souligne le système CMAS⁶ (Cellular Messaging Alert System) existant actuellement aux Etats-Unis.

Piste n° 4 : Évaluer l'acceptabilité de la traçabilité des données de géolocalisation. Ces données deviennent aujourd'hui une nouvelle source d'information cartographique, permettant la mise à disposition en accès libre des données de localisation et un lien entre l'utilisateur et l'acquéreur des données (Bahoken, 2009). Les opérateurs ont des bases de données considérables, mais leur utilisation devient rapidement limitée, car elles peuvent porter atteinte à la liberté des personnes. Afin d'engager le citoyen dans ce projet, il faudra utiliser des données individuelles et anonymisées. Deux questions apparaissent : comment disposer d'un retour sur cette expérience sans faire tomber l'anonymat ? Comment savoir que la population utilise le système ? Il convient alors d'explorer les méthodes de traçabilité des utilisateurs de téléphone (*tracking*) et de discuter de cette « traçabilité » opérante à l'image du suivi des marchandises du SCS (*Supply Chain Systems*).

Piste n° 5 : Expérimenter ce système exploratoire dans deux départements sensibles (Vaucluse et Var). Les populations sont sensibles aux inondations rapides, compte tenu des dommages récents occasionnés, mais leur « culture du risque » reste un point négatif souligné dans plusieurs rapports (Anziani, 2010 ; Douvinet *et al.*, 2011). Grâce à cette application, les populations pourraient être plus conscientes des bons comportements à adopter en cas de crise, notamment ne pas rester dans sa voiture ou éviter d'aller chercher les enfants à l'école (Ruin *et al.*, 2007). Une telle application augmenterait considérablement leur capacité de réponse en situation d'urgence et renforcerait la résistance des sociétés pour rétablir une situation normale, et oublier les dommages occasionnés.

Toutes ces pistes ont permis de planifier un plan de travail, certaines pistes ayant débouché sur de nouveaux questionnements, tandis que d'autres ont été laissées de côté à cause de leur complexité.

⁶ <http://www.cmasalert.com/>

Structuration de la thèse

Afin de répondre aux questions posées et aux objectifs visés, la thèse se structure en 2 parties qui respectent les étapes logiques de la réflexion qui a été menée. Elle se décline en 6 chapitres qui ont surtout une cohérence dans les questionnements posés.

Partie I : Constats et besoins de recherche - État des connaissances sur les crues rapides dans le sud-est de la France et sur les dispositifs institutionnels mis en œuvre pour alerter la population

Le **chapitre 1** présente les caractéristiques des "crues rapides" qui se sont manifestées dans le sud-est de la France et un zoom est progressivement proposé sur les communes du Var et du Vaucluse pour mieux circonscrire les espaces potentiellement sensibles à ces aléas.

Le **chapitre 2** s'intéresse aux forces et aux faiblesses de la réponse étatique apportée à travers les dispositifs d'alerte officiels, tout en évoquant des outils alternatifs émergents et les écueils du Réseau National d'Alerte (RNA).

Partie II : Orientations méthodologiques Investir les outils numériques et les smartphones, une opportunité contextuelle ET scientifique

Le **chapitre 3** porte sur les usages et les changements de pratiques observés à travers les outils numériques. Travailler sur ces outils est récent et contextuel au regard de l'expansion de ces technologies au cours de ces dernières années, et leurs usages ont déjà porté leur fruit, notamment dans la gestion de crise et l'émergence de nouvelles pratiques citoyennes.

Le **chapitre 4** introduit et défend la pertinence des technologies Smartphone comme outils pouvant venir en appui aux dispositifs d'alerte en place. Des applications ont été créées depuis 2012, mais une enquête confirme leur méconnaissance aux échelles locales, notamment dans des communes sensibles aux crues rapides, alors que les besoins sont bien réels et que les citoyens sont prêts à y contribuer, ce qui conforte notre choix méthodologique.

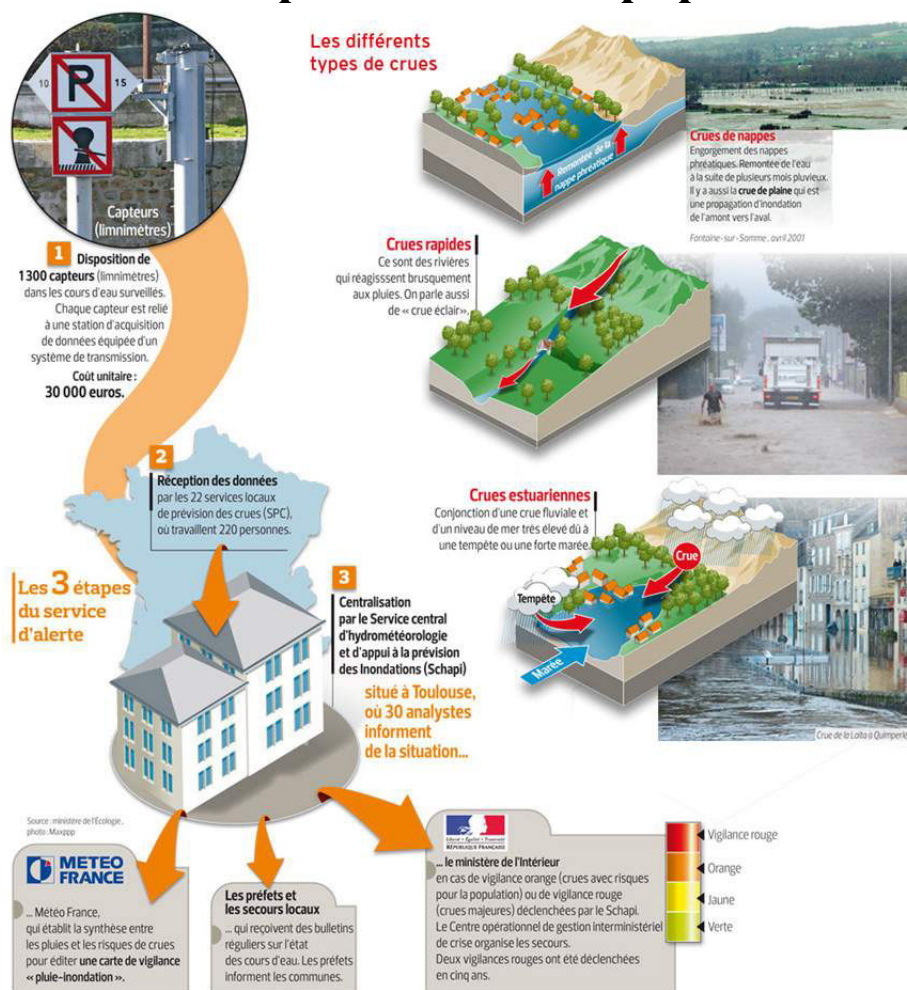
Partie III : Création d'un prototype basé sur la collaboration citoyenne durant l'alerte : développements et expérimentations

Le **chapitre 5** présente la modélisation conceptuelle du nouveau système (l'application AL'in) envisagé pour lutter efficacement contre les crues rapides, en tenant compte des contraintes réglementaires en France et des recommandations d'usagers potentiels. Le langage UML montre l'importance accordée aux cas d'utilisation, donc aux utilisateurs de l'appli.

Le **chapitre 6** concrétise la phase conceptuelle, à travers la description des principaux menus déroulants et les paramètres retenus. Le système a été testé dans deux communes du Var et du Vaucluse ; il est fonctionnel et pourrait être mis à disposition des acteurs publics intéressés.

Partie I

Constats et besoins de recherche - État des connaissances sur les crues rapides dans le sud-est de la France et sur les dispositifs institutionnels mis en œuvre pour alerter la population



Source : Angélique Négroni (2011)
De la prévision à l'alerte.

Introduction de la partie I	23
Chapitre 1 - Caractéristiques des aléas crues rapides se manifestant dans le sud-est de la France et focus sur les départements du Var et du Vaucluse	25
Chapitre 2 - Les dispositifs d'alerte aux crues rapides en France -apports, limites et contraintes opérationnelles	55
Synthèse de la partie I	87

Introduction de la partie I

Les phénomènes hydrologiques appelés "crues rapides" surviennent régulièrement dans le sud-est de la France (en particulier dans les départements du Var et du Vaucluse). Ils sont à l'origine d'une part significative des dégâts subis par les sociétés (500 millions € dans l'Aude en 1999 ; 1,2 milliard € dans le Gard en 2002 ; 1 milliard € dans le Var en 2010 ; 610 millions d'euros suite aux inondations du 3 octobre 2015 dans la région de Cannes). Ils sont également responsables d'une grande partie de la mortalité (26 victimes le 15 juin 2010 ; 6 morts en septembre 2014 ; 20 morts le 3 octobre 2015) enregistrée suite aux inondations de ces vingt dernières années. C'est d'ailleurs pour toutes ces raisons que ces aléas font partie des phénomènes les plus destructeurs en France (Antoine *et al.*, 2001 ; Ruin *et al.*, 2007 ; Gaume *et al.*, 2009 ; Vinet, 2010 ; Payrastra *et al.*, 2011). Le nombre de victimes (plus de 80 morts entre 2010 et 2015) n'a jamais été aussi élevé sur une période si courte (environ 300 morts liés à des crues rapides sur la période 1982-2008 d'après Boissier, 2013), et les études portant sur les conséquences des évolutions climatiques prouvent que ce risque va augmenter dans le sud de la France (GIEC, 2013 ; Raymond *et al.*, 2016). De nombreuses études ont déjà été menées ces dernières années pour quantifier la cinétique des épisodes (hydrologiques et météorologiques) et un bilan sur les apports de ces travaux est donc nécessaire pour bien comprendre la cinétique de ces aléas.

Face à ces aléas, plusieurs dispositifs existent pour informer la population sur les gestes à tenir en cas de crues rapides ou pour les alerter aux échelles locales, *via* les services de l'État (maires ou préfets). La plupart des systèmes suivent des approches descendantes (« *Top-down* »), qui vont des services de l'État vers la population. Il suffit de regarder l'architecture et le fonctionnement de ces systèmes (*Flash Flood Monitoring and prediction* (FFMP), *Flash Flood Guidance* (FFG), *Local Flood Warning Sub-system* (LFWS), *Flash Flood Alarm System* (FFAS), *Automated Local Evaluation in Real Time* (ALERT), *Integrated Flood Observing and Warning* (IPFLOWS) ou *European Flood Alert System* (EFAS)) pour en être convaincu (**Annexe 1**). À l'inverse, les approches « ascendantes » (ou « *Bottom-Up* ») sont bien plus rares ; elles sont uniquement proposées par des bureaux d'études ou résultent d'initiatives locales.

Cette partie I se structure autour de 2 chapitres qui permettent de bien positionner cette recherche et qui vont guider les développements méthodologiques proposés par la suite.

Le **chapitre 1** vise à dresser un état de l'art sur les caractéristiques des aléas "crues rapides" qui se sont manifestées dans le sud-est de la France et qui ont été à l'origine de dommages élevés. Un diagnostic a été réalisé à l'échelle communale pour identifier les secteurs les plus "exposés" dans les départements du Var et du Vaucluse.

Le **chapitre 2** dresse une analyse des dispositifs d'alerte existants, en cherchant à identifier les facteurs de réussite et les éléments de blocage (verrous technologiques et juridiques) dans leur mise en œuvre. Plusieurs zones "blanches" (dépourvues de tout système d'alerte) sont identifiées, et certaines sont sujettes aux crues rapides, ce qui pose question.

Chapitre 1

Caractéristiques des aléas crues rapides se manifestant dans le sud-est de la France et focus sur les départements du Var et du Vaucluse



Source : AFP (2010)
Draguignan, 15 Juin 2010.

Introduction du chapitre 1	27
1.1 Retours d'expérience : des aléas violents marquant les esprits	27
1.2. Caractères communs à ces inondations par crues rapides	35
1.3. Quelle sensibilité à l'échelle du Var et du Vaucluse ?	46
Conclusion du chapitre 1	54

Introduction du chapitre 1

Une bonne connaissance des facteurs de déclenchement et de prédisposition des crues rapides est fondamentale si on souhaite améliorer leur prévision, anticiper les dégâts potentiels et les réactions à attendre de la part des citoyens, voire mettre en place des dispositifs d'alerte efficaces. Mais pour pouvoir alerter, encore faut-il avoir le maximum d'informations le plus rapidement possible (Goult, 1993 ; Douvinet, 2008). Dès lors, dans ce **chapitre 1**, il s'agit de réaliser une synthèse sur les aléas, en rappelant dans un premier temps la violence et l'ampleur de ces crues à l'aide de deux événements qui ont marqué les départements du Var et du Vaucluse (§1.1), puis de mettre à jour les connaissances acquises sur ces phénomènes hydrologiques particuliers et d'identifier les principaux traits communs qui confèrent une sensibilité, de manière générale, aux territoires du sud-est de la France (§1.2). Cette étude sera ensuite complétée par un diagnostic de sensibilité mené à une échelle départementale, en se basant notamment sur des événements historiques et sur des traitements géomatiques (§1.3). Au final, plusieurs communes sont identifiées comme fortement exposées alors qu'elles sont dépourvues, encore aujourd'hui, d'un système d'alerte adéquat pour faire face à la courte cinétique de tels aléas.

1.1. Retours d'expérience : des aléas violents marquant les esprits

1.1.1. Précisions terminologiques

Différents termes⁷ sont souvent utilisés pour désigner les crues rapides (sens le plus générique) et pour évoquer la violence des écoulements engendrés (Pardé et Chartier 1960 ; Calvet et Lemartinel, 2002 ; Gaume, 2002 ; Merz et Böschl, 2003 ; Ruin et Lutoff, 2004 ; Creutin *et al.*, 2009 ; Toukourou, 2009 ; Ruin *et al.*, 2009 ; SEP, 2013 ; Marchi *et al.*, 2010 ; Gourley *et al.*, 2013 ; Defrance ; 2014).

Les terminologies varient (**Tableau 1.1.**) en fonction de :

- la **surface** des bassins versants (Dauge, 1999 ; Nishikawa, 2003 ; CGEDD, 2010),
- la **durée des précipitations** (UCAR, 2010),
- la **nature des matériaux transportés**, par suspension ou par charriage (MEDAD, 2006),
- les **caractéristiques rhéologiques des écoulements solides et liquides** (Meunier, 1991 ; Gaume *et al.*, 2009).
- **l'échelle spatiale** (« bassins de quelques ha à moins de 500 km² »)
- **leur temporalité** (« de 6 à 36 heures », « une à deux heures », « quelques heures »).

Ces termes ne sont par conséquent pas toujours très faciles à bien circonscrire (**Tableau 1.1.**), ce qui introduit de la confusion terminologique, notamment auprès des habitants et des collectivités locales, voire entre les différents services opérationnels (en incluant ici les gestionnaires de risque, les services de secours ou les prévisionnistes). Par ailleurs, aucune de ces définitions ne fait appel à des critères de pente ou à des valeurs de débits, alors que ces variables discriminantes sont prépondérantes dans la dynamique des crues rapides (Reid, 2004 ; Barthelon, 2006 ; Bianco *et al.*, 2006 ; Defossez, 2009 ; Douvinet et Delahaye, 2010 ; MEDDM, 2010). Pour caractériser ces aléas, certains chercheurs font appel à d'autres indicateurs, comme le FFMI (*Flash Flood Medium Index*). Comme on souhaite étudier une assez large panoplie de phénomènes, on propose de désigner ici comme « crues rapides » toutes les crues caractérisées par une montée brutale du niveau d'un cours d'eau (au moins un mètre par heure soit 50 cm toutes les 30 minutes) survenant sur des bassins versants de moins de 50 km², à la suite de précipitations extrêmes (plus de 100 à 300 mm) en moins de 24 heures. Ce choix reste sujet à caution, mais il permettra d'englober une variété de paramètres dans l'application envisagée.

⁷ On peut ainsi désigner ces phénomènes par les termes de « crues rapides », « crues-éclair », « crues subites », « coulées de boue », « crues instantanées », « crues turbides », « écoulements torrentiels » ou « phénomènes hyper-concentrés ».

Terminologie	Références	Définitions
Crues rapides	Conseil Général de l'Environnement (CGEDD, 2010)	Elles se produisent sur des surfaces de 500 km ² à 5000 km ² pendant 6 à 36 heures avec un temps de concentration de moins de 12 heures pour des bassins de 1000 km ² . Les pluies qui en sont à l'origine en métropole (circulation météorologique de sud à sud-est ...) ont des intensités horaires de plusieurs dizaines de mm et des cumuls de plusieurs centaines de mm.
Crues torrentielles	Guide PPR « risque de débordements de rivières torrentielles » (MEDAD, 2006)	Elles se forment par enrichissement du débit d'un torrent en matériaux solides qui accroissent fortement son pouvoir érosif. L'enrichissement en matériaux peut provenir de l'arrachement des berges dû au débit anormal du cours d'eau ou à un ruissellement important sur le bassin versant amenant une importante charge solide. Le volume des matériaux transportés au cours d'une seule crue peut être considérable.
Crues à cinétique rapide	Dauge (1999)	Crues pouvant durer d'une heure à plusieurs heures, avec une réaction rapide aux pluies, un gradient de montée élevé du débit, des débits de pointe très importants, mais un volume modeste.
Crues instantanées	Conseil Général de l'Environnement (CGEDD, 2010)	Crues brèves, dues à des pluies d'orages isolés, de quelques dizaines à plus de 100 mm/heure pendant une ou deux heures sur quelques hectares à quelques km ² (...). Il est admis qu'elles ont une possibilité d'occurrence uniforme sur une surface importante avec la même loi de probabilité d'intensité.
Flash flood	Dauge (1999)	Crues se produisant sur des surfaces de quelques km ² à la centaine de km ² , dues à des pluies orageuses intenses plus structurées dans l'espace et le temps de 100 à 300 mm dans certaines régions. Le débit de pointe de la crue centennale (qui revient en moyenne une fois tous les cent ans) peut se situer entre 50 et 1 000 m ³ /s selon les régions.
	Nishikawa (2003)	<i>Flooding that develops very quickly on streams and river tributaries with a relatively high peak discharge; usually as a result of thunderstorms. Sometimes the onset of flash flooding comes before the end of heavy rains. There is little time between the detection of flood conditions and the arrival of the flood crest. Swift action is essential to the protection of life and property.</i>
	National Weather Service (UCAR, 2010)	<i>A rapid and extreme flow of high water into a normally dry area, or a rapid water level rise in a stream or creek above a predetermined flood level, beginning within six hours of the causative event (e.g., intense rainfall, dam failure, ice jam) »</i>
Crues brutales	Dauge (1999)	Crues se produisant sur des surfaces de 500 km ² à 5 000 km ² pendant 6 à 36 heures avec un temps de concentration de moins de 12 heures pour des bassins de 1 000 km ² , avec des débits de pointe de crue centennale pouvant se situer entre 500 et 5 000 m ³ /s selon les régions.
Écoulements hyper-concentrés (<i>hyper-concentrated stream flows</i>)	Guide PPR « risque de débordements de rivières torrentielles » (MEDAD, 2006)	Écoulements en continuité avec le charriage fluvial classique quant à leur concentration volumique, mais dont l'hydraulique est particulière notamment par le fait que, en chenal endigué, le fort transport solide rend la hauteur d'écoulement supérieure à celle qu'on calcule pour l'eau non chargée. La très forte charge des écoulements hyper-concentrés génère en outre des chocs violents et multiples sur les obstacles.
Crues-subites	Conseil Général de l'Environnement (CGEDD, 2010)	Se produisent sur des surfaces de quelques km ² , dues à des pluies orageuses intenses plus structurées dans l'espace et le temps, de 100 à 300 millimètres dans certaines régions.

Source : Kouadio (2016)

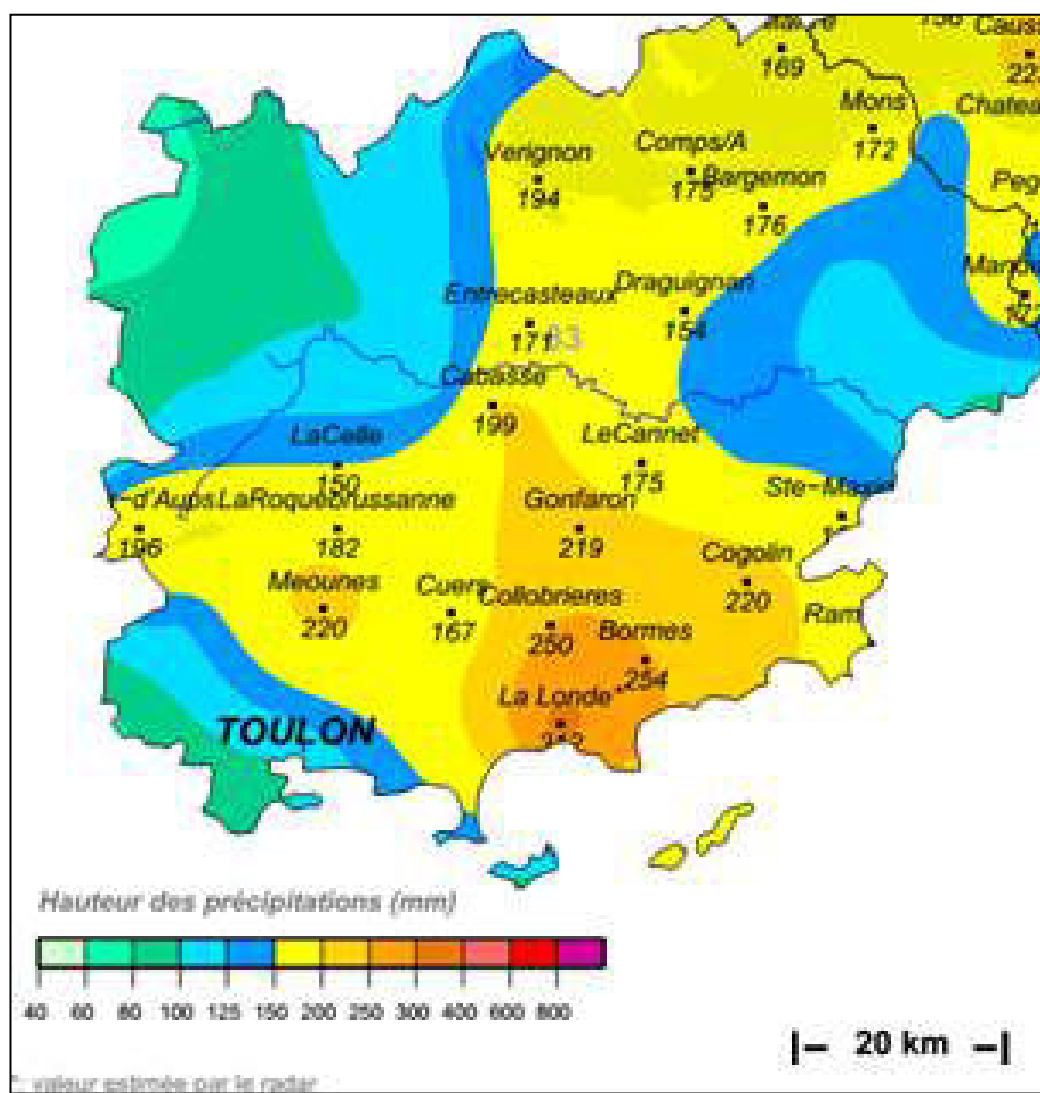
Tableau 1.1 : Terminologies et définitions associées pour définir les phénomènes « crues rapides ».

1.1.2. Premier exemple : les crues du 17 au 19 janvier 2014 à La-Londe-des-Maures (Var)

Cet événement fait partie des crues rapides survenues récemment dans le département du Var, et plusieurs retours d'expérience ont été menés (avant d'être suppléé par les REX menés suite aux crues du 3 octobre à Cannes, dans les Alpes Maritimes).

Du 17 au 19 janvier 2014, la région de La Londe-les-Maures a connu de fortes intempéries, qui ont engendré d'importantes inondations et des coulées de boue qui ont amené l'État à décréter l'état de catastrophe naturelle sur 28 communes. Ces intempéries ont causé la perte de 3 vies humaines à La Londe-les-Maures et à Pierrefeu-du-Var (Saint-Martin, 2014). Du 17 au 19 janvier 2014, entre 200 et 250 mm ont été mesurés en moins de 24h (dont 190 mm en 6h et 108 mm en 3h au pluviomètre Météo-France de Collobrières situé non loin du secteur couvert par la plus forte activité).

Le Gapeau (alimenté par le Réal Martin), l'Argens (**Fig. 1.1**) et les petits cours d'eau côtiers situés entre La Londe-les-Maures et le Lavandou (exemple : le Maravenne, alimenté par le Pansard, ou le Batailler) sont les principaux cours d'eau ayant violemment réagi à ces précipitations avec des débits de pointe rares pour cette période (**Tableau 1.2**).



Source : Météo-France

Figure 1.1 : Cumuls des précipitations sur 4 jours sur le Var (du 16 au 19 janvier 2014).



Source : Cerema (2014)

(1) Destruction d'une construction à La Londe-Les-Maures ; (2) Guet du Pansard après la crue ; (3) Message du maire de Hyères à la population le 9 janvier 2014 sur twitter. ; (4) Les dégâts visibles dans la ville de Lamalou-les-Bains Source AFP, 2014 ; (5) Berge érodée du Pansard après la crue du 27 novembre 2014 ; (6) Port Maravenne après la crue du 27 novembre 2014 ; (7) Travaux sur le Pansard

Figure 1.2 : Dégâts causés par les inondations de novembre 2014 dans le sud-est de la France.

Ces débits ont entraîné d'importantes pertes humaines, matérielles et socioéconomiques. Au niveau humain, on déplore deux morts et un suicide semblant directement lié à l'évènement (1 mort à Pierrefeu-du-Var, 2 morts à La Londe-Les-Maures). À cela s'ajoutent les traumatismes moraux de plus de 100 000 personnes (concernées directement ou indirectement par ces inondations), ceux des 233 citoyens hélitreuillés, des 15 000 foyers qui ont été momentanément privés d'eau et des 154 sinistrés qui ont dû être relogés (73 à La Londe-les-Maures, 43 à Hyères, 16 au Lavandou et 22 à Bormes-Les-Mimosas). Au niveau matériel, 1 800 logements ont été inondés (dont 800 à Hyères, 600 à La Londe-les-Maures, 300 à Bormes-Les-Mimosas, 100 à Le Lavandou), 600 véhicules ont été endommagés (dont 200 à Hyères, 300 à La Londe-les-Maures et 100 à 100 Bormes-Les-Mimosas), 30 bateaux ont été coulés et 70 autres endommagés (rien que sur le port de plaisance de La Londe). Le montant des indemnités versées par la CCR au titre des inondations au 31 décembre 2015 s'élève à 529 M € (CCR, 2016b).

Cours d'eau	Estimation des débits de pointe (m ³ /s)
Le Gapeau à Hyères Y4624010 (54 ans de données)	480
Le Réal Martin à La Crau Y4615020 (50 ans de données)	299
Le Gapeau à Sollies-Pont Y4604020 (46 ans de données)	73
Maravenne confluence avec le Pansard	200 - 400
Pansard confluence avec le Maravenne	250 - 350
BV Batailler exutoire	100 - 200

Source : Cerema (2014) à partir de la Banque Hydro

Tableau 1.2 : Estimation des débits de pointe des principaux cours d'eau concernés par les inondations de novembre 2014.

La commune de La Londe-les-Maures fut la plus sinistrée. Le bilan humain est lourd (2 morts et deux disparus), mais il aurait pu être bien pire (63 personnes hélitreuillées la seule journée du 27 novembre sur La Londe-les-Maures et Grimaud au moyen de 5 hélicoptères). Un grand nombre d'écoliers ont été hébergés (53 personnes à Grimaud, 150 personnes à La Londe-les-Maures, 80 écoliers et 79 collégiens à Grimaud, 130 lycéens à Cogolin) et ce sont, en tout, 185 élèves qui ont été gardés sur place (conformément aux consignes de sécurité recommandés dans les plans de gestion de crise). À cause de la réactivité du Pansard et de sa charge sédimentaire (liée à l'érosion des berges), des dégâts matériels (13 embarcations) ont été recensés au sein du port Maravenne (**Fig. 1.2**).

Certaines communes ont pu diffuser une alerte de manière rapide sur leur territoire. Hyères est par exemple doté du système Antibia (service payant dispensé par le bureau d'études Predict Services) et les services de secours et de police ont rapidement été informés de la survenue de l'évènement grâce aux capteurs et aux sondes disposés à des endroits précis sur les cours d'eau surveillés. Des télémessages (invitant à l'évacuation) ont été envoyés à des 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). Les réseaux sociaux ont aussi contribué à l'alerte (**Fig. 1.2**). La commune de la Londe-les-Maures a ainsi communiqué sur l'évènement en s'appuyant sur *Facebook* et ce mode de communication a été privilégié pour pallier les problèmes de communication survenus au cours de l'évènement (saturation, coupure électrique et réseau SFR hors-service). Toutefois, malgré les outils précédemment cités, certains élus locaux (La Londe-les-Maures, Le Lavandou, Bormes) ont jugé que l'évènement avait été trop rapide pour alerter de manière efficace leur population. 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 à l'efficacité des plans de gestion de crise. Plusieurs personnes ont été piégées dans leurs véhicules alors même que les routes avaient été fermées à la circulation, ce qui a conduit à de nombreux sauvetages d'urgence (quatre témoignages), mais aussi à un décès.

La gestion de la situation post-crise a aussi révélé certains éléments intéressants. Le démarrage des travaux a été rendu délicat à cause d'incompréhensions et d'un manque de respect des procédures

entre les autorités communales et l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), ce qui a amené le maire de La Londe-les-Maures à s'insurger dans la presse. Une mission d'expertise a aussi été commanditée par le MEDD et dirigée par le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD). Après avoir rencontré plusieurs acteurs (le préfet du Var, le directeur départemental des territoires et de la mer, des responsables de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, la profession agricole à travers les présidents de la Chambre d'Agriculture et la Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FDSEA), la mission a permis de clarifier les responsabilités et met finalement en cause l'action des services de l'État dans les conséquences de ces inondations (CGEDD, 2014). Elle indique aussi une faible culture du risque chez les acteurs

publics et économiques locaux, qui s'expliquerait par l'absence d'épisodes de crues dans le Var au cours des dernières décennies jusqu'au début des années 2010. La mission s'est également interrogée sur l'existence d'un lien entre l'accroissement de la vulnérabilité aux inondations et un urbanisme qui apparaît insuffisamment maîtrisé (CGEDD, 2014), les dispositifs réglementaires n'étant pas très souvent respectés par l'ensemble des parties prenantes (Martin, 2010).

Caractéristiques et gestion de l'évènement de juin 2010	Caractéristiques et gestion de l'évènement de septembre 2011
400 mm en 24 heures et en quelques heures sur le secteur des Arcs dans le Var (83)	200 à 300 mm d'eau en 3 jours sur le Var et les Alpes-Maritimes. Phénomène pluvieux classique sur une résolution spatiale plus vaste et une durée plus longue
Prévision et alertes : équipements insuffisants ou vulnérables, état de l'art météorologique dépassé/ pas de localisation fine des précipitations. Alerte déclenchée sur tout le département du Var et les Bouches-du-Rhône Vigilance orange Lenteur opérationnelle, négligence des messages d'alerte	La surveillance des crues de l'Argens et la Naturby a été mise en place en septembre 2010 après la catastrophe de juin 2010. 9 SPC mobilisés Vigilance rouge pour plusieurs départements Nombreux déclenchement de PCS (Plan Communaux de Sauvegarde)
Coupure des réseaux de téléphonie fixes et mobiles. Uniquement par SMS et par radio ou moyens propres.	Amélioration du dispositif de communication. 92 messages d'alertes avec l'automate d'appel Gala
Des services de secours partiellement neutralisés	Des opérations de secours efficaces.
Obligation parfois d'improviser dans l'urgence à chaque niveau de responsabilité	Bonne anticipation sur l'évènement. Évacuations préventives
Bilan lourd : 25 décès, 473 personnes délogées, environ 1 milliard de dommages directs, 25 700 sinistrés, 2000 entreprises sinistrées, 59 communes en arrêté CATNAT	Bilan (autrement) lourd : 4 décès, 500 à 800 millions d'euros de dégâts, 322 communes en arrêté CATNAT

Source : Kouadio (2015)

Tableau 1.3 : Comparatif de la gestion des événements de juin 2010 et de Septembre 2011 dans le Var.

L'évènement de 2014 est finalement différent des crues rapides de juin 2010 et de novembre 2011 (**Tableau 1.3**). En 2010, la cause directe des décès était liée à la présence de nombreuses personnes hors de leur domicile, effectuant en fin d'après-midi ou en soirée à pied ou en véhicule leurs trajets habituels au moment où la montée très soudaine et rapide des eaux les a surprises (MEDD et MIOCT, 2010). De telles situations ont pu être évitées en 2011, puis en 2014, grâce à une meilleure organisation des secours et aussi grâce à un meilleur respect des messages d'alertes et consignes de sécurité de la part de la population, qui avait sûrement encore à l'esprit l'expérience de 2010.

1.1.3. Second exemple : la crue du 22 septembre 1992 à Vaison-la-Romaine (Vaucluse)

Cet événement fait partie des inondations qui ont marqué les esprits dans les régions du sud de la France. Il a en partie engendré toute une série de réglementations, à l'échelle nationale (création des Plans de Préventions des Risques en 1995) et à l'échelle départementale (hiérarchisation de l'aléa et des possibilités de déplacement des personnes suivant la hauteur et la vitesse des écoulements).

Ces crues de septembre 1992 se caractérisent par leur courte durée et leur intensité. Le matin du 22 septembre 1992, à partir de 10 h, une pluie abondante s'abat sur Vaison-la-Romaine, confirmant le bulletin "ALARME" émis la veille à 15h par Météo-France, et les messages d'avertissement et d'alerte lancés par les autorités départementales (Benech *et al*, 1993). Deux heures plus tard, la pluie cesse pour reprendre à nouveau vers 13h, entraînant alors vers 15h l'apparition d'une « vague de boue » qui recouvre le sol du camping municipal (50 cm de hauteur) et envahit les rues de la ville (10 cm). Au final, il est tombé entre 143 mm et 300 mm en 4h (179 mm à Vaison-la-Romaine, 300 mm à Entrechaux, 215 mm à Malaucène, 240 mm à Mollans, 143 mm à Buis-les-Baronnies). Le débit de pointe s'est situé aux environs de 1 200 m³/s, ce qui dépasse de très loin le débit moyen (entre 10 et 12 m³/s) et la crue décennale (450 à 500 m³/s). Compte tenu de l'importance et de la vitesse des volumes d'eau écoulés (jusqu'à 100 000 m³/km² sur le bassin amont de l'Ouvèze), la réponse hydrologique de ce bassin a été violente. Les inondations ont atteint leur paroxysme vers 16h00, lorsqu'un brusque torrent emporte « tout sur son passage » (caravanes, voitures et campeurs). Le Pont Romain (**Fig. 1.3**) et le Pont Neuf sont mis en charge et vite submergés. Une part de l'écoulement s'engouffre également dans les voies latérales, inondant notamment la caserne des sapeurs-pompiers qui n'est alors plus du tout opérationnelle durant la crise (Comby, 1993).

Les services en charge de la gestion de crise ont vite convergé vers Vaison-la-Romaine, mais leurs actions étaient dictées par l'urgence et gérées en fonction des moyens à leur disposition. Si l'alerte de crue a été déclenchée dans la plupart des départements (dont l'Ardèche le 22 septembre dès 9h30), ce n'est qu'à 17h00 que le plan ORSEC (toujours focalisé sur Vaison-la-Romaine) a été enclenché pour être actualisé 40 minutes plus tard sur l'ensemble des départements touchés. D'après le responsable du Service Interministériel de Défense et de Protection Civile, la montée des eaux a été trop rapide pour laisser le temps de déclencher la procédure de pré-alerte (Comby, 1993). Les ruptures des réseaux de communication, la dispersion des victimes due à l'importance de la surface inondée, et les sinistres subis, même parmi les familles des membres des services de secours (67 familles de sapeurs-pompiers), sont des facteurs qui ont grandement compliqué les opérations. Des dépôts jusqu'à 1 m de boue ont été retrouvés à la fin de la décrue.



Source : M.J. Tricart (1992)

Figure 1.3 : Pont romain mis en charge lors de la crue de l'Ouvèze en 1992.

Les inondations ont frappé de nombreux secteurs économiques : les services de l'État ; les entreprises (700 sinistrées), les établissements agricoles (environ 1500 exploitations vauclusiennes ont été concernées, et plus de 1300 ont donné lieu à un dossier pour pertes de récoltes, Bérenguer, 1993) ; les structures et les réseaux gérés par les départements à l'époque (électrique, télécommunication, assainissement, transports, approvisionnement en eau). 195 000 abonnés EDF ont été momentanément privés d'électricité (3500 coupures longue durée) dans le Vaucluse (17790 dans la Drôme et l'Ardèche). Sur l'ensemble des communes sinistrées, Vaison-la-Romaine a présenté incontestablement le bilan le plus tragique. De nombreux encombrements des voies (arbres arrachés ou abattus, dépôts divers sur les chaussées) ont grandement perturbé le trafic, des chaussées et des murs de soutènement ont été endommagés ou effondrés, des portions de routes et des parapets, emportés sur de longues distances. 2 lignes du trafic SNCF ont aussi été perturbées : Paris-Marseille entre Orange et Avignon et Avignon-Miramas par Salon. Plusieurs dégradations de constructions et d'équipements de loisir s'ajoutent à ces éléments. Le Vaucluse a finalement enregistré 12278 déclarations de sinistres (dont 1596 de dossiers automobiles). Le Ministère de l'Intérieur, sur proposition des Préfets, a déclaré 531 communes (dans 8 départements) en état de "catastrophe naturelle". Malgré les 460 millions d'euros de dégâts (FNTP et les Caisses d'Épargne, 2004), ce ne sont que 170 millions d'euros (coût historique de cet événement pour le marché) d'indemnisation que le régime CATNAT a pu prendre en charge.

Selon Erpicum (1993), cet événement qui a marqué les mémoires (**Fig. 1.4**) semble avoir été amplifié par les modes d'occupation du sol et de gestion des lits des cours d'eau et paraît plus simplement un nouvel exemple de rupture d'équilibre dans les relations homme/nature. Ce constat ne doit cependant pas empêcher de s'interroger sur l'origine de la rupture. Cette inondation fut spectaculaire à cause d'un bilan social et humain qui fait partie des plus lourds enregistrés pour une catastrophe naturelle en France depuis les 30 premières années précédentes (MEDD, 2007).



Source : Kouadio (2015)

Figure 1.4 : Gravure commémorative de l'inondation 1992 à Vaison-la-Romaine.

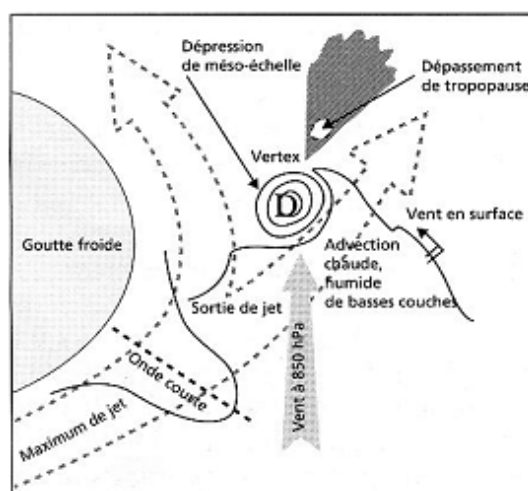
Mais finalement, au-delà de ces deux exemples qui ne sont pas les seuls à être survenus dans ces deux départements (le but n'était pas ici d'en faire une liste exhaustive), quels sont les caractères communs à ces crues rapides survenant dans le sud-est de la France ?

1.2. Caractères communs à ces inondations par crues rapides

1.2.1. Le facteur de déclenchement : des pluies de forte intensité, voire "extrêmes"

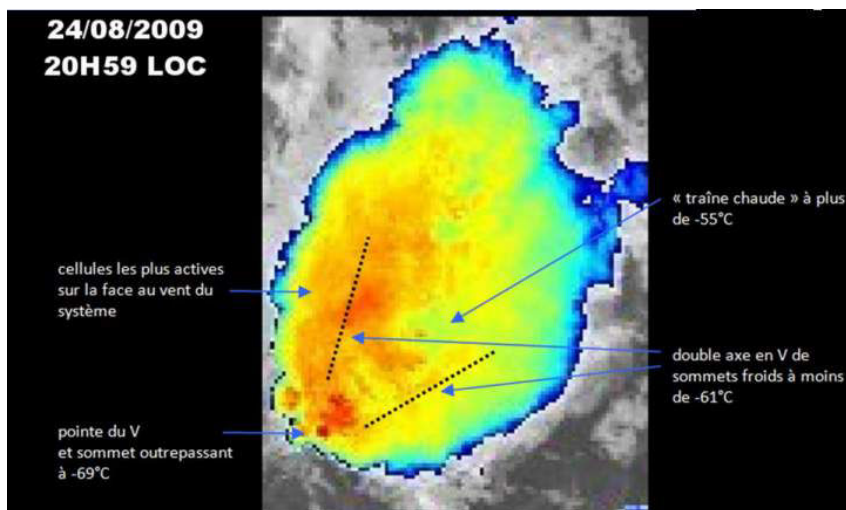
Les pluies de forte intensité (qualifiées d'« extrêmes » par Mueller, 2006) sont toujours à l'origine des crues rapides dans le sud-est de la France et les conditions pluviogènes sont de mieux en mieux connues (Miniscloux, 2001 ; Anthony, 2007 ; Boudevillain *et al.*, 2009 ; Ducrocq *et al.*, 2008 ; Marchi *et al.*, 2010 ; Thierion, 2010). En effet, des perturbations à grande échelle, l'instabilité puis l'échappement vers le haut des masses d'air (suite à une nette impulsion verticale pouvant être due au réchauffement par le rayonnement solaire ou à une convergence des vents au sol) et les soulèvements orographiques (les vents viennent heurter une barrière entraînant un échappement de toute ou partie des masses d'air vers le haut) sont les trois facteurs principaux à l'origine des vitesses verticales ascendantes. On assiste ensuite à un refroidissement de l'air au fur et à mesure qu'il gagne en altitude et la condensation de la vapeur d'eau disponible se produit dès lors que le seuil de tension critique est dépassé (entre 300 Hpa et 900 Hpa). Cette masse d'air froid est désignée comme « goutte froide ». Progressivement constituée entre 4 et 10 kilomètres d'altitude et ayant un diamètre variant de plusieurs centaines à un millier de km, elle va ensuite favoriser l'émergence de conditions météorologiques propices à la naissance de précipitations de forte intensité, à travers la formation d'une ou de plusieurs cellules convectives (Baret *et al.*, 1994 ; Haziza, 2007) (**Fig. 1.5**).

La formation d'un *Mesoscale Convective System* (MSC) est très souvent à l'origine des pluies extrêmes qui vont ensuite générer des crues rapides affectant le bassin méditerranéen en général et le sud-est de la France en particulier (Romero, 2000 ; Vié, 2011 ; Mastrangelo, 2011 ; Anquetin *et al.*, 2013). L'association de plusieurs cellules à différents stades de maturité forme une « multi cellule » de taille et de durée inférieure à celles des MSC tels que définie par Maddox (1980) et par Fritsch et Brown (1982) et que l'on appelle un système convectif stationnaire de méso-échelle. Un MSC se caractérise par une extension spatiale de plusieurs milliers de km² (plus de 1000 km² parfois), une distribution linéaire ayant une longueur supérieure à 100 km, un déplacement par advection, une auto-alimentation pseudo-constante dans la même direction (avec des seuils thermiques de l'ordre de -32 °C) et une immobilisation durant plusieurs heures (Kane *et al.*, 1987 ; Fenollar, 2007 ; Peters et Neelin, 2008). Un des aspects bien connus des prévisionnistes est la forme en V que prend l'enclume nuageuse d'un MSC, reconnaissable sur les images satellite et radar (**Fig. 1.6**) avec un panache de fumée caractéristique (Estupina-Borrell *et al.*, 2006 ; Anquetin *et al.*, 2004 ; Dobrinski *et al.* (2014)). La pointe en V (*vertex*) est la zone des plus fortes précipitations (parfois plusieurs centaines de millimètres pendant 3 à 8 heures) et elle correspond au secteur le plus marqué pour la régénération des cellules convectives (Benech *et al.*, 1993 ; Barret *et al.*, 1994).



Source : Barret *et al.* (1994)

Figure 1.5 : Contexte favorable au développement d'un MCS.



Source : Keraunos⁸ (2009)

Figure 1.6 : MSC observée le 24 août 2009 dans le Puy-de-Dôme.

Le rôle de ces formations frontales a été mis à jour dans de nombreux travaux (Miniscloux, 2001 ; Kirshbaum, 2004 ; Godart, 2009 ; Anquetin *et al.*, 2013). Pour Ramos (2002), les précipitations frontales naissent de la rencontre de masses d'air d'origine et de propriétés thermiques différentes (Front Froid, FF, lorsque la masse d'air soulève l'air plus chaud en place ; Front Chaud, FC, lorsque l'air chaud pousse l'air froid en place, plus dense). Les systèmes frontaux ont une étendue bien plus faible et génèrent des précipitations moins intenses lorsqu'il s'agit de Fronts Chauds, mais ils ont une envergure plus importante et sont marqués par des pluies extrêmes dans le cas de fronts froids.

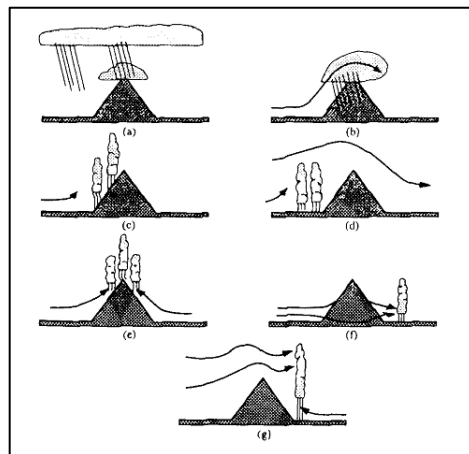
Quant aux précipitations orographiques, elles sont dépendantes des facteurs de prédisposition et des conditions géographiques locales. Étant donné le nombre important de facteurs entrant en jeu, il est difficile de caractériser une précipitation comme "purement orographique". Godart (2009) a ainsi relevé que certains auteurs considèrent que le relief ne déclenche pas les précipitations, car il ne fait qu'amplifier les dynamiques associées à des phénomènes convectifs ou le passage de fronts. On peut alors parler de renforcement orographique et non pas de précipitations orographiques. D'autres auteurs considèrent qu'une précipitation orographique combine, à elle seule, ces deux cas de figure (Glossaire de la Société Américaine de Météorologie). De son côté, Miniscloux (2001) suggère qu'une pluie peut être qualifiée d'orographique quand elle satisfait six conditions : durer au moins 12 h ; être parallèle aux flux intérieurs chauds de la perturbation ; produire une intensité pluvieuse de moins de 10 mm/h ; être advectée entre 3 et 6 km/h ; avoir une extension horizontale allant jusqu'à 50 km ; enfin, produire des précipitations en-dessous de 6 km d'altitude.

Houze (cité dans Miniscloux, 2001) distingue sept types de mécanismes, associés à un relief et répartis en deux groupes : ceux liés à une masse d'air stable avec une convection d'extension verticale limitée (mécanisme « seeder-feeder » avec le soulèvement progressif de la masse d'air stable) et ceux purement dus au relief (soulèvement d'une masse d'air instable, déclenché par blocage en amont du relief, convection thermique par pompage thermique le long des versants, par convergence des flux en aval du relief, convection générée en aval par les perturbations thermiques et mécaniques de l'obstacle) (Fig. 1.7). À cela, Miniscloux (2001) ajoute que la vitesse des flux (comprise entre 25 et 35 m/s, soit entre 90 et 130 km/h), leur direction, l'instabilité thermique potentielle et l'humidité relative sont les principaux facteurs dont dépendent les précipitations orographiques.

⁸ <http://www.keraunos.org/actualites/faits-marquants/2009/orage-en-v-sur-le-massif-central.html>

En contexte méditerranéen, les durées des précipitations à l'origine de crues rapides oscillent entre 1h et 26 h (Marchi *et al.*, 2010) pour des tailles de bassin versant allant de 20km² à plus de 1000 km² avec toujours à leur origine ces systèmes convectifs de méso-échelle, MSC (Gaume *et al.*, 2009). Les précipitations sont d'ailleurs classées en trois groupes : 1) celles de moins de 7h de temps avec en moyenne 100 mm de précipitation, 2) des cumuls de plus de 300 mm en moyenne, s'étalant entre 7h et 22h, et 3) celles qui durent plus de 22h jusqu'à 34h avec un cumul de précipitation pouvant aller jusqu'à 700 mm. Les deux dernières catégories sont les plus fréquentes à l'échelle du bassin méditerranéen.

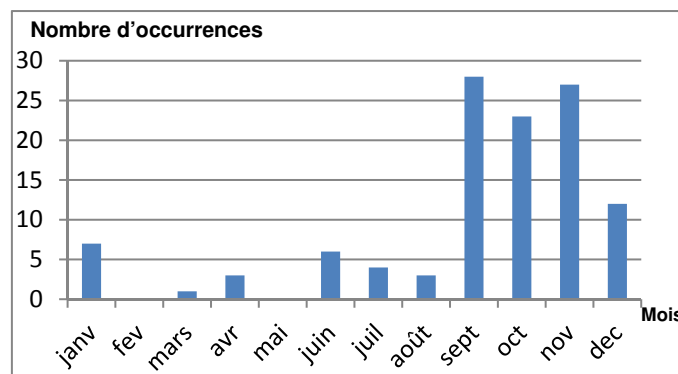
L'analyse réalisée par Météo-France sur le territoire national, à partir des données collectées sur la période 1958-2014 (**Fig. 1.8**), montre que les épisodes supérieurs à 200 mm sur 24h flottantes sont très importants dans le sud-est⁹ avec une nette période de prédilection allant de septembre à novembre (**Fig. 1.9**). L'Ardèche, le Gard et l'Hérault arrivent largement en tête, avec plus de 50 occurrences, mais on retrouve juste après plusieurs départements de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Dans cette région, 118 épisodes (> 200 mm) sont recensés sur la période 1958-2014, dont 41 dans le Var et 18 dans le Vaucluse. La plupart de ces épisodes ont engendré des dommages (plus ou moins importants selon le degré d'exposition et la virulence des crues) puisqu'on retrouve une très nette similitude entre ces dates (épisodes pluvieux) et les déclarations de « catastrophe naturelle » (collectés et compilés dans la base GASPARD depuis 1983 ; Douvinet et Vinet, 2012a, 2012b).



Source : Miniscloux (2001)

- (a) Mécanisme « seeder-feeder » ; (b) Soulèvement d'une masse d'air stable ; (c) Convection par soulèvement d'une masse d'air instable ; (d) Convection déclenchée par blocage en amont du relief ; (e) Convection thermique par ascendance et convergence le long des versants ; (f) Convection par convergence forcée par le contournement du relief ; (g) Convection générée en aval par les perturbations mécaniques et thermiques de l'obstacle.

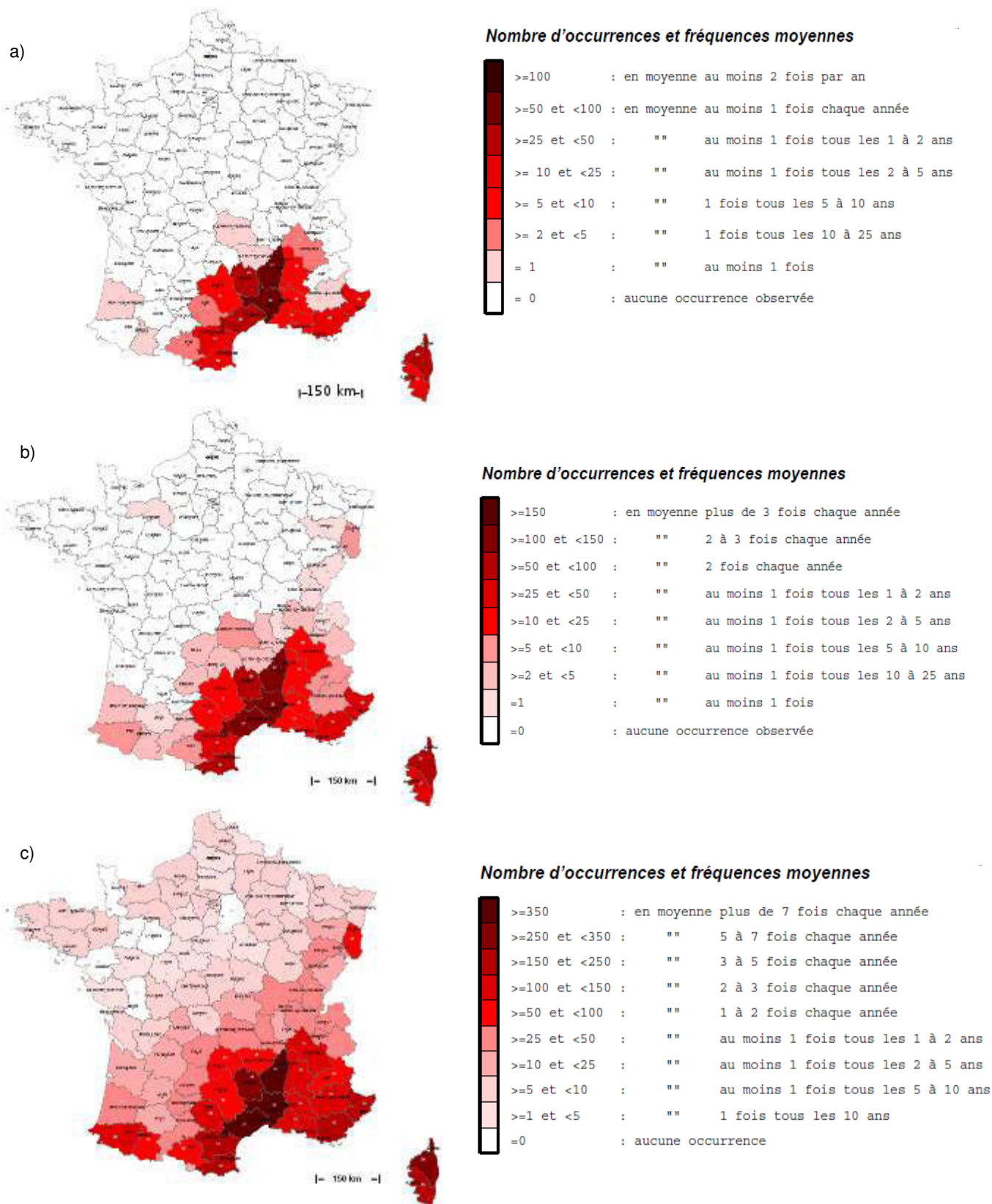
Figure 1.7 : Mécanismes de précipitation en zone de relief.



Source : Kouadio (2015) d'après les données Météo-France

Figure 1.8 : Distribution mensuelle des épisodes de pluie plus de 200 mm recensés en PACA (1958-2014)

⁹ http://pluiesextremes.meteo.fr/nombre-de-jours-par-departement-ou-par-poste_r31.html



Source : Météo-France, <http://pluiesextremes.meteo.fr>, édition du 24/02/2015

Figure 1.9 : Distribution départementale des précipitations supérieures à (a)200, (b) 150 et (c)100 mm sur 24h flottantes et recensées sur la période 1965-2014.

1.2.2. Des facteurs de prédisposition multiples et emboîtés

Si la pluie est le principal facteur de déclenchement des crues, les facteurs de prédisposition ont eux aussi un rôle indéniable, car ils déterminent un certain nombre de bassins potentiellement prêts à réagir. Ces facteurs jouent de manière complémentaire et imbriquée (Cosandey, 1982). Les pentes > à 10% et les versants abrupts constituent des éléments favorables à l'accélération et à la concentration des écoulements de surface. La taille réduite des bassins (< 50 km²), combinée au caractère localisé des précipitations intenses, expliquent des écoulements puissants (plus de 1000 watts par m²) et des débits de pointe très élevés (PSR, 2011). Le temps de montée d'une crue est directement influencé par la surface du bassin, allant de quelques minutes pour les bassins versants d'1 km² jusqu'à quelques heures, voire moins pour des bassins < à 100 km² (Ruin et Lutoff, 2004 ; Defrance, 2014).

Marchi *et al.* (2010) ont étudié une série de 25 crues extrêmes, dont 12 localisées sur l'arc méditerranéen, couvrant la période 1994-2004. En plus du relief comme facteur à l'origine des pluies orographiques (jouant un rôle sur la formation de systèmes orageux quasi stationnaires), ils ont mis en évidence, en se référant également aux travaux de Collier et Fox (2003) et Collier (2007), deux paramètres caractéristiques : la pente et la longueur des chemins d'écoulement. L'étude révèle également une occurrence plus importante des crues rapides sur les bassins versants de très petite taille, c'est-à-dire inférieure à 50 km². Marchi *et al.* (2010) indique par ailleurs que la pente n'a pas besoin d'être très élevée pour favoriser une crue rapide, ce qui rejoint les conclusions des travaux menés dans le nord de la France (Delahaye, 2002 ; Douvinet, 2008). Le relief joue à chaque fois un rôle prépondérant dans la mesure où il peut augmenter les précipitations et l'ancrage des convections, et où il est propice à la concentration du flux de l'écoulement de surface, qui est plus ou moins tempérés par les conditions géologiques sous-jacentes.

Les antécédents pluviométriques (cumuls de précipitations des jours précédents) diminuent les seuils de déclenchement en saturant les sols et en diminuant les capacités d'infiltration des sols. Avec des volumes de pluie représentant près de 20% des pluies annuelles (au niveau du bassin méditerranéen), l'eau va rapidement s'écouler en surface (ruissellement hortonien) et induire des coefficients d'écoulement importants, allant de 90 à 100% pendant le pic de l'épisode pluvieux (Marchi *et al.*, 2010). La température de surface de la mer est également déterminante surtout en contexte méditerranéen, car les systèmes précipitants sont très sensibles à la température de surface de la mer. En effet, les flux de chaleur sensible et latente au-dessus de la mer ont un impact important sur le flux de basses couches et ces flux de surface dépendent des caractéristiques de la circulation en basses couches (Marchi *et al.*, 2010).

La diminution de l'infiltration est aussi dépendante des caractéristiques géologiques (nature des roches, degré d'altération, ampleur de la fracturation, seuils d'imperméabilité, etc.) et des caractéristiques des formations superficielles (profondeur, potentiel de rétention en eau, etc.). L'humidité et la présence de neige peuvent être des facteurs qui peuvent de manière rétroactive accentuer le ruissellement de surface (Merz et Blöschl, 2003 ; Norbiato *et al.*, 2008 ; Gaume et Borga, 2013). En effet, l'humidité du sol agit en déterminant la répartition des échanges surface-atmosphère entre les flux de chaleur sensible et les flux de chaleur latente (Vié, 2011 ; Trapero *et al.*, 2013 ; Anquetin *et al.*, 2004).

À côté de ces facteurs purement naturels, l'utilisation du sol est considérée comme un facteur tout aussi déterminant : les zones imperméabilisées avec des matériaux étanches sont dimensionnées pour produire un volume de ruissellement 2 à 6 fois plus élevé que les terrains ayant une couverture naturelle, comme les champs, les prairies ou les forêts (APFM, 2007). La présence de fossés non curés ou d'obstacles tels que des arbres morts dans le lit des rivières sont des éléments pouvant faire barrage en cas de montée des eaux et provoquer la formation des embâcles (NOAA et CP, 2010). Defossez (2009) démontre dans sa thèse que la part anthropique qui résulte d'un aménagement du territoire non adapté au risque est susceptible de constituer des obstacles à l'écoulement naturel des eaux. Elle ajoute aussi que les caractéristiques hydrologiques des rivières méditerranéennes (ayant un régime opposant des basses eaux « maigres » à des hautes eaux « extrêmement abondantes ») ont été très nettement

modifiées par les activités humaines. L'écosystème résulte du régime des écoulements, sa régulation l'a donc impacté, particulièrement dans les parties aval des bassins, l'homme augmentant (sans s'en rendre compte) les risques pour lui (Chen, 2010).

Quant à Douguédroit (2008), elle indique, dans son analyse sur les crues survenues à Marseille en septembre 2000, à quel point la topographie d'une ville, l'exploitation de ses caractéristiques à travers la position des infrastructures, des bâtiments et particulièrement le tracé des routes peuvent parfois constituer un ensemble de conditions idéales pour le déclenchement d'une « crue urbaine », avec un ruissellement pluvial associé à un temps de réponse particulièrement court. Ainsi les pluies tombées en haut sur une plaine totalement imperméabilisée par les rues et immeubles, vont se concentrer le long de rues pentues et dévaler à toute allure avec une « onde de crue », en direction des rues situées en contrebas (en les inondant même avant que le réseau d'assainissement ne soit mis en surcharge). Douguédroit (2008) ajoute qu'on a assisté à une « crue urbaine » associant des ruissellements dans les lits urbanisés d'anciens oueds ou rivières et dans des bassins versants artificiels composés de « petites rivières » et d'« affluents », installés dans des rues et donc créés lors du développement de l'urbanisation de la ville provoquant une « crue éclair » lorsque la rivière pérenne déborde de son lit. Qu'ils soient combinés par « effet domino », ou imbriqués dans le temps et dans l'espace, ces facteurs constituent des éléments aggravant la dynamique des ruissellements et des crues rapides, ces derniers pouvant ensuite porter atteinte aux biens et aux personnes (voir 1.1.2 & 1.1.3).

1.2.3. Des aléas aux caractéristiques hydro-géomorphologiques spécifiques

D'après Borga *et al.* (2011), les difficultés d'observation de ces crues rapides, les barrières au niveau des échanges de données hydrométéorologiques et le manque d'archives compréhensibles sur les crues à travers l'Europe ralentissent le développement d'un modèle d'anticipation de ces inondations et *de facto* des risques et de la vulnérabilité associée. Le principal problème de ces crues est l'échelle spatiale et temporelle de leur dynamique (des réponses très violentes et très courtes en peu de temps), qui rend difficile tout système de prévision (Knocke et Kolivras, 2007 ; Ruin *et al.*, 2007 ; Douvinet *et al.*, 2014) et implique des temps de réaction très courts (Creutin *et al.*, 2009). Plus de 80% des données disponibles sont issues d'observations réalisées après les événements (en mode post événement), ce qui témoigne de la difficulté d'observation en temps réel de ces phénomènes. Si certaines études ont permis d'apporter des éclairages non négligeables sur les caractéristiques des crues rapides (Barredo 2007 ; Gaume *et al.*, 2009 ; Marchi *et al.*, 2009), elles sont loin d'être systématiques et restent souvent de nature monographique.

Gaume *et al.* (2009) ont analysé les dates d'occurrence et les débits de pointe de crues rapides à partir d'un inventaire d'événements survenus en Europe sur une période de 60 ans (de 1946 à 2007). Leur étude a confirmé une certaine régularité des événements méditerranéens à l'échelle saisonnière (l'automne) qui se distinguent également par un régime pluvieux plus intense. La plus grande part des débits les plus importants relevés correspondent aux crues survenues en région méditerranéenne. 80% des données concernent des bassins versants ayant une taille inférieure à 100 km². On comprend alors que les crues rapides sont essentiellement caractérisées par des extensions spatiales réduites et par des fonctionnements très locaux, ce qui joue aussi sur leur vitesse. Le ratio de ces événements par rapport au total annuel est généralement supérieur à 0,2, ce qui indique la part importante de ces épisodes pluvieux dans le volume annuel (et confirme souvent les expressions médiatiques du genre « plus d'un mois de précipitations est tombé en quelques heures »).

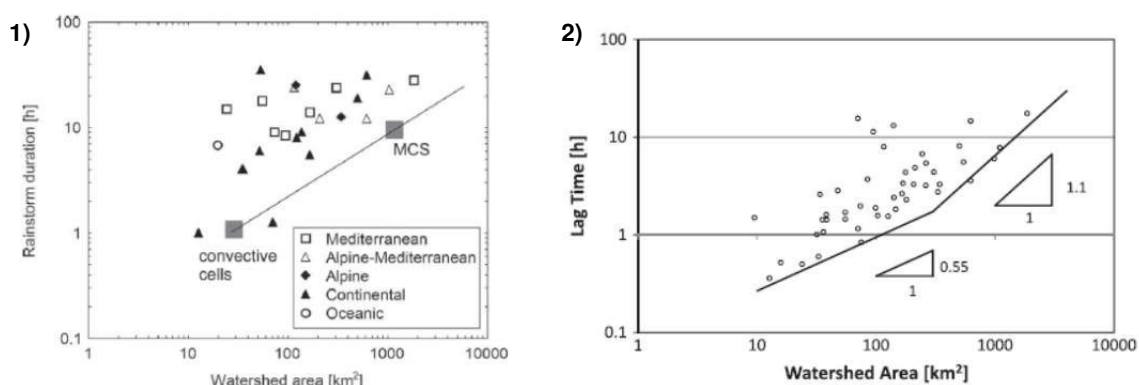
De leur côté, Marchi *et al.* (2010) se sont aussi intéressés à l'influence de la morphologie et du réseau d'écoulement sur le débit de pointe (à travers une étude des coefficients d'écoulement) et sur les temps de réponse. Le temps de réponse est considéré comme étant l'intervalle de temps entre le début de la précipitation et celui du pic de crue, et il ne doit pas être confondu avec le temps d'écoulement ou le temps de concentration (Douvinet *et al.*, 2014). La valeur moyenne du temps de réponse est de 4,98h, tandis que la valeur médiane est plus faible (3,09h). 37 des 50 phénomènes étudiés ont un temps de réponse de moins de 6h, ce qui concorde avec l'étude menée par Georgakakos (1986). Les

temps de réponse sont différents en dessous ou au-delà d'un seuil 350 km². Cette relation a été déterminée en se basant sur une formule proposée par Robinson et Sivapalan (1997) :

$$T_1 = 0.08 \cdot A^{0.55} \text{ pour } A \leq 350 \text{ km}^2$$

$$T_1 = 0.08 \cdot A^{1.10} \text{ pour } A > 350 \text{ km}^2$$

Une autre relation a aussi été mise en évidence entre la superficie du bassin versant et le pic de crue à l'aide de la formule du débit unitaire : $Q_u = 97 \cdot A^{-0.4}$ où Q_u représente le débit, en m³/s/km² et A la superficie du bassin versant en Km² (Fig. 1.10). Les temps de réponse augmentent dans les mêmes proportions pour des bassins versants de moins de 300 km², avec une constance relative de la vitesse d'écoulement de l'ordre de 3m/s (Fig. 1.11).



Source : Marchi *et al.* (2010)

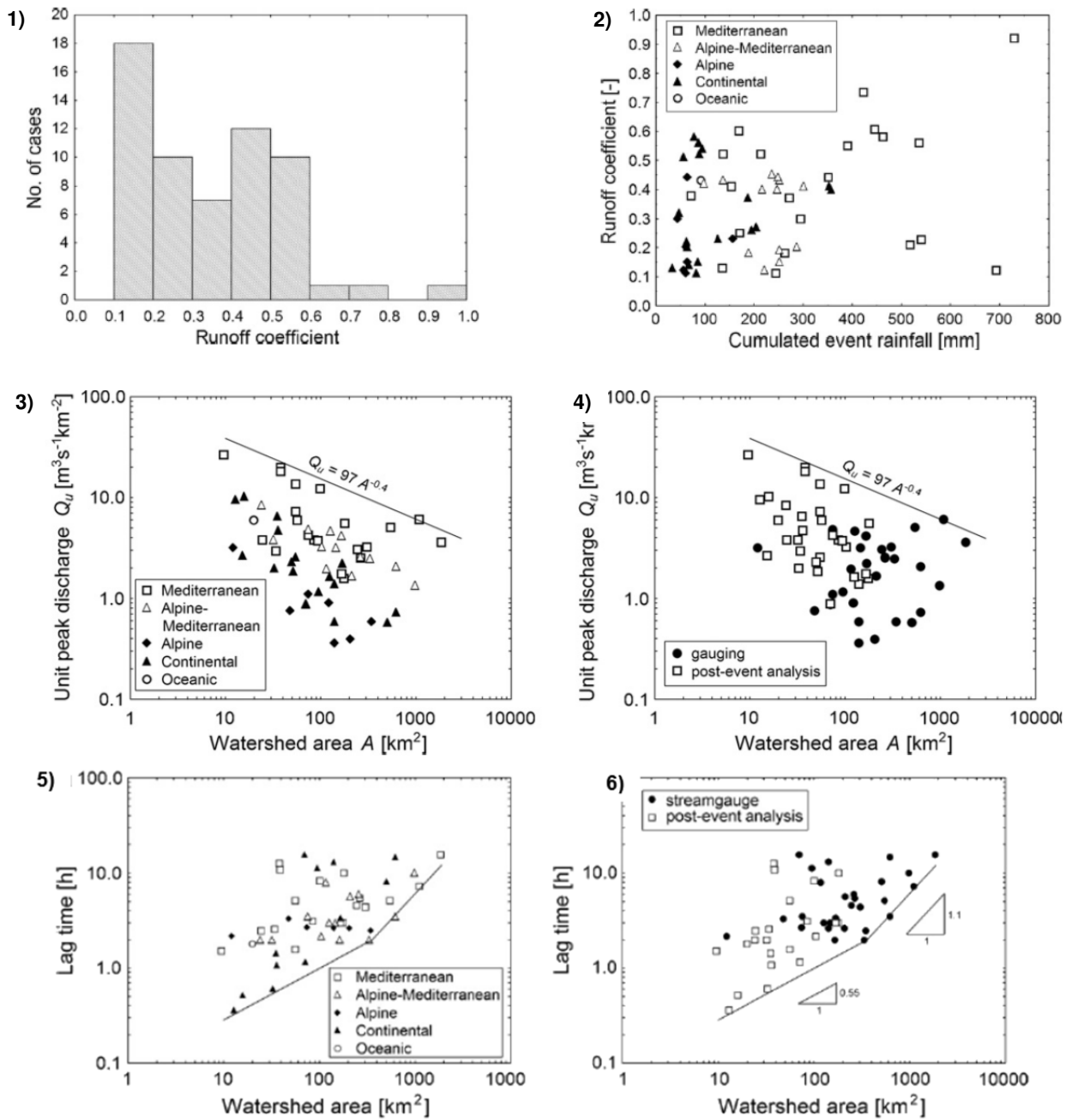
(1) Temps de réponse en fonction de la taille des bassins versants ; (2) Les lignes de l'enveloppe marquent la limite inférieure des temps de réponse des bassins versants.

Figure 1.10: Durée des précipitations selon la taille des bassins versants et par région climatique

Les caractéristiques rhéologiques et hydro-géomorphologiques complexifient encore plus l'étude des caractéristiques hydrologiques au sens stricte du terme. En effet la part des débits liquides / solides n'est pas linéaire (Coussot et Meunier, 1996), car ces crues sont généralement associées à des ruptures de versants (entraînant un important apport en matériaux) et la puissance des flots est suffisante pour causer une sérieuse érosion et un dépôt de sédiments dans les plaines inondées. Ces éléments rendent l'étude des crues rapides difficilement appréhendables par un public non averti (Marchi *et al.*, 2009).

Le projet européen HYDRATE (*Hydrometeorological data ressources and technologies for effective flash flood forecasting*) a justement vu le jour pour comprendre les formes des terrains modélisés par le système fluvial. En France, les données de ce projet furent collectées par l'Observatoire Hydro-météorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHM-CV).

L'Observatoire les a également enrichis d'autres informations relatives aux crues qui ont touché l'Ardèche, l'Aveyron, la Drome, le Gard, le Vaucluse, la Lozère et l'Hérault sur la période 1958-2002. L'analyse menée sur 236 crues rapides recensées donne un débit moyen de l'ordre de 1280,37 m³/s/km². 30 évènements sont catégorisés comme « les plus sévères » à cause de la durée des précipitations (moins de 24 heures en moyenne), du temps de concentration moyen (allant de 0,3 à 3 heures en moyenne) et de la taille des bassins versants impactés (de 0,26 à 57 km² pour des temps de concentration allant de 0,3 à 1 heure).



Source : Gaume *et al.* (2009), Marchi *et al.* (2010)

- (1) Nombre de crues rapides selon les coefficients d'écoulement ;
 (2) Répartition des coefficients d'écoulement en fonction des cumuls de pluie et par région climatique ; Débit de pointe selon la taille des bassins versants sur la base des travaux de : (3) régions climatiques et (4) source des données. Temps de réponse des crues étudiées en fonction de la taille des bassins versants : (5) selon la région climatique ; (6) selon la source des données.

Figure 1.11 : Quelques caractéristiques hydro-géomorphologiques des crues rapides.

1.2.4. Des aléas induisant d'importants dommages matériels, mais surtout humains...

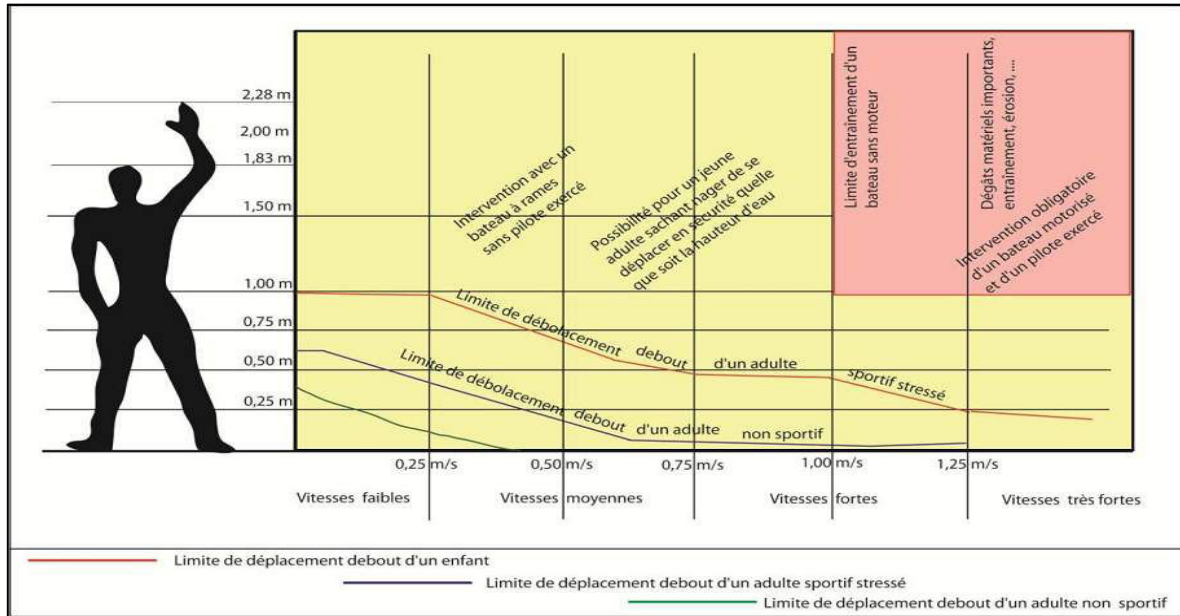
Même si cette recherche se focalise de premier abord sur les aléas, il est impensable de ne pas évoquer le coût financier des dommages matériels (élevé), ni la part des décès humains (elle aussi très importante). La détermination et la compréhension des conditions de mortalité lors des crues rapides sont de mieux en mieux connues depuis quelques années (Ruin, 2007 ; Boissier, 2013). Deux types de facteurs sont à analyser : les **facteurs endogènes**, liés à l'individu (nature des liens sociaux, responsabilités familiales, caractéristiques sociodémographiques, économiques, psychologiques et/ou culturelles) et les **facteurs exogènes**, liés à l'environnement et à la crue (devenant l'« événement menaçant »). Ces facteurs conditionnent l'ampleur des dégâts et le caractère plus ou moins dramatique des dommages, ces derniers restant dépendant des enjeux et de la vulnérabilité intrinsèque des secteurs géographiques affectés (Gaume *et al.*, 2009 ; Vinet *et al.*, 2010 ; Saint-Martin, 2014).

La force de l'eau est assez grande pour arracher des rochers, déraciner des arbres et détruire les ponts (voire les bâtiments) situés dans les axes des écoulements. Un flux de 60 cm de hauteur peut déplacer des véhicules et mettre les automobilistes en situation de péril, mais peu de personnes ont bien conscience de ces éléments (Ruin, 2007). De nombreux accidents mortels liés à des crues rapides ont eu lieu en raison du comportement " inapproprié " (voire irresponsable) des conducteurs, surtout lorsque ces derniers effectuaient des déplacements habituels (rendus dangereux par la situation exceptionnelle et par l'inadaptation à cette dernière). Rares sont les individus qui savent que : 1) un écoulement de 1m de profondeur ayant une vitesse de 1m/s peut représenter un danger mortel pour un adulte ; 2) les crues rapides n'ont pas besoin d'atteindre ces hauteurs, car les vitesses dépassent 3m/s, voire plus (Gaume *et al.*, 2009) ; 3) un niveau de seulement une dizaine de cm d'eau peut être très dangereux (**Fig. 1.12**).

Dans la plupart des cas, les décès ont des origines communes : l'ensevelissement sous les décombres d'un bâtiment 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) ; la mobilité (étant donné la forte probabilité d'être emporté par les écoulements). Les rues, transformées très souvent en véritables torrents divaguant à vive allure et sur de grandes distances, ou l'effondrement d'un pont ou d'une digue sont quelques-unes des causes meurtrières des crues rapides (Antoine *et al.*, 2001). De son côté, Boissier (2013) distingue la vulnérabilité subie, c'est-à-dire les facteurs externes d'aléa (exposition, hauteur d'eau, caractéristiques du bâtiment), la vulnérabilité individuelle (force, âge, handicap) et la vulnérabilité liée aux comportements (prise de risque). Dans sa thèse, il montre que ce sont surtout des hommes âgés de 45 à 75 ans qui sont les plus vulnérables aux crues méditerranéennes, compte tenu d'une propension plus importante à la prise de risque.

L'étude menée par Jonkman et Kelman (2005) permet de mieux cibler les causes et les circonstances des décès suite à 13 inondations survenues en Europe et aux USA. Ces phénomènes 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 (11,7%), 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 éléments sont aussi mis en avant depuis quelques années. Les premières victimes des crues rapides sont des personnes ayant des « capacités physiques limitées » pour réagir ou être sensibles aux alertes : ce sont des personnes « âgées », souffrant de handicap, ou des enfants (**Fig. 1.13**). À elles s'ajoutent les personnes difficilement joignables par les moyens d'alerte classique comme celles en déplacement au moment de la crue (Ruin et Lutoff, 2004). Compte tenu de la rapidité de la montée des eaux, les crues rapides nécessitent des réactions rapides des personnes faisant face à l'inondation, 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 (**Fig. 1.14**). Rares sont néanmoins les personnes qui adaptent leur itinéraire à la crue avant d'y être contraintes par les circonstances (Ruin et Lutoff, 2004).



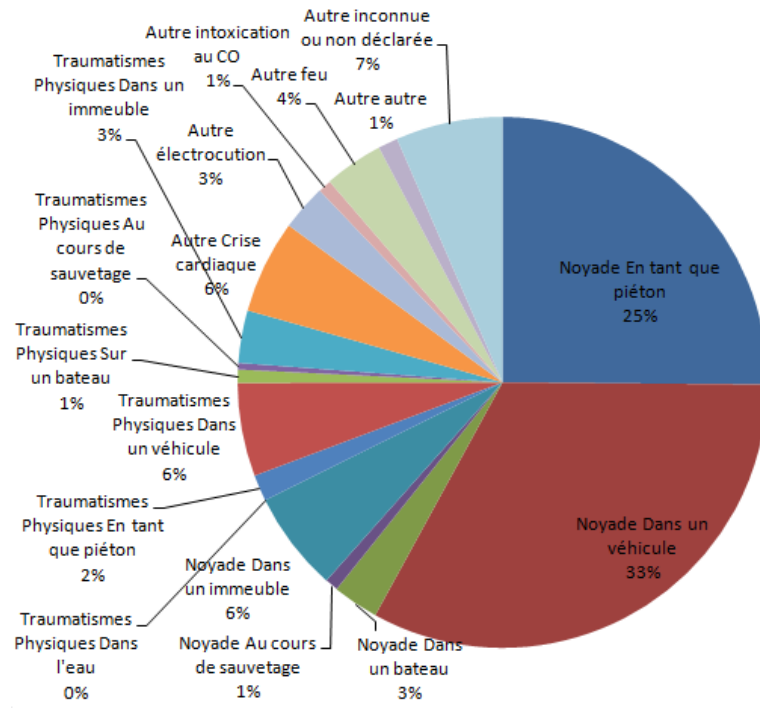
Source : MEDD (2004)

Figure 1.12 : Hiérarchisation de l'aléa « inondation » en fonction des possibilités de déplacement des personnes suivant la hauteur et la vitesse des écoulements.

Les décès associés à l'utilisation d'un véhicule motorisé en période de crue sont une source de danger majeure (Antoine *et al.*, 2001 ; Boissier, 2013). Rassembler la famille, récupérer les enfants à l'école (alors que ce comportement est déconseillé dans les documents d'information préventive), mettre à l'abri un véhicule (qui est en train d'être inondé), récupérer des animaux domestiques, porter secours à des proches ou aller, par curiosité, chercher l'information sur la crue (ce qui amène souvent les individus à se rapprocher du danger pour mieux l'appréhender) sont autant d'actions qui, si elles sont prises trop tard, peuvent être à l'origine de mises en situation de danger, d'autant plus que parfois, ces comportements sont indiqués par les autorités qui appellent à l'évacuation (Ruin et Lutoff, 2004).

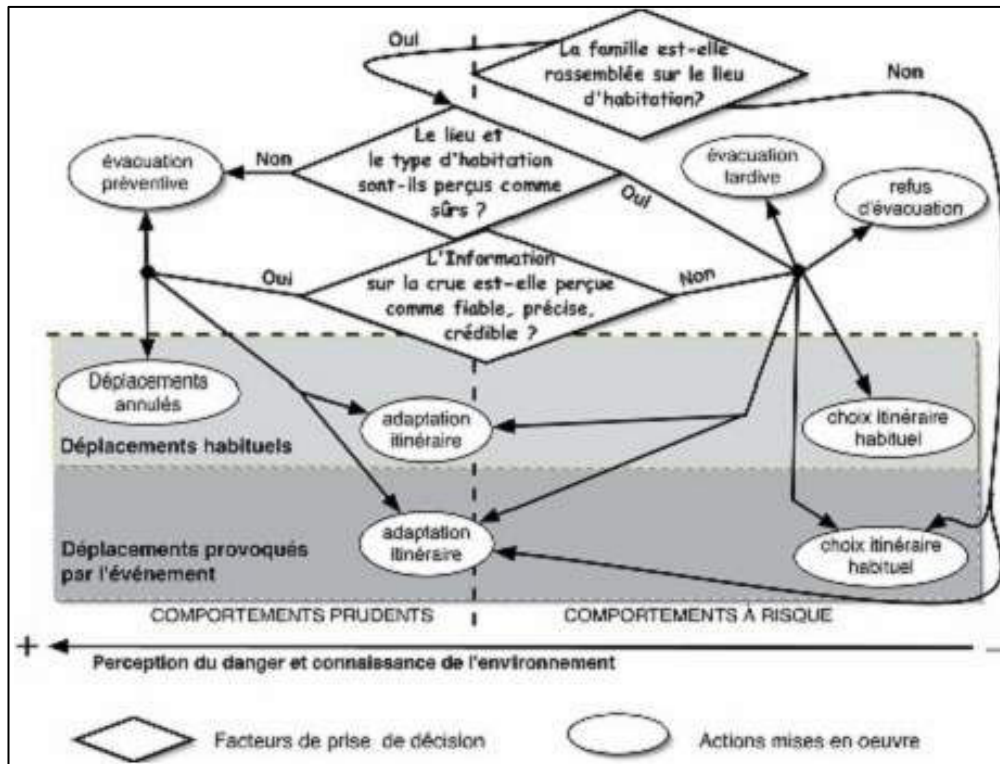
Le niveau de perception devient alors fondamental : plus la perception du risque est forte, plus la prudence influence la décision de partir à temps ou de rester à l'abri (Lalo, 2002). En outre, un manque de connaissances sur la crue en cours de déroulement, ou une information non perçue comme fiable et crédible peut avoir les mêmes conséquences (Ruin et Lutoff, 2004). Aussi, des personnes peuvent se faire surprendre sur le même lieu par deux inondations successives, ou peuvent traverser volontairement plusieurs zones inondées dangereuses.

Des personnes peuvent aussi se mettre en danger, car elles refusent d'évacuer ou induisent des évacuations tardives souvent par incrédulité face à l'information reçue ou à cause d'une forte 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 être à l'origine d'une sous-estimation du risque (Ruin et Lutoff, 2004).



Source : Jonkman S.N. et Vrijling (2008)

Figure 1.13 : Répartition des causes et des circonstances des décès pour les 13 événements considérés (247 morts).



Source : Ruin et Lutoff (2004)

Figure 1.14 : Synthèse des principaux types de comportements pendant une crue rapide.

1.3. Quelle sensibilité à l'échelle du Var et du Vaucluse ?

Les crues rapides ne sont pas nouvelles dans ces deux départements. Ces crises hydrologiques paraissent exceptionnelles à l'échelle d'une vie humaine (une période de retour de 80 à 150 ans pour la crue de 1992 à Vaison-la-Romaine par exemple, Benech *et al.*, 1993), toutefois, ces crises deviennent fréquentes si on tient compte des similarités dans les facteurs à leur origine (Ballais *et al.*, 2004) et dans la forte prédisposition des bassins à réagir en cas de pluies de forte intensité. Par leur position, le Vaucluse et la Var sont affectés par des phénomènes orageux de forte intensité (Miniscloux, 2001 ; Anthony, 2007 ; Marchi *et al.*, 2010 ; Thierion, 2010). Ces épisodes surviennent à la suite d'un flux dépressionnaire positionné entre le Massif Central et les Pyrénées et provoquant, de surcroît, un flux de secteur sud à sud-est remontant de la Mer Méditerranée vers la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une masse d'air chaud et humide qui va être contrainte à l'élévation en altitude en raison des premiers reliefs et qui vont venir bloquer la progression de la masse d'air (Hébert, 2014). L'action perpétuelle de l'homme sur les régimes des cours d'eau en question a contribué à supprimer leur caractère rarissime et à occulter la potentielle gravité des dommages corollaires. Le but recherché est de proposer une méthode d'inventaire à l'échelle communale (basé sur des critères homogènes) pour voir sur quels secteurs nous irons tester et questionner les usages d'une nouvelle application (**chapitre 4**).

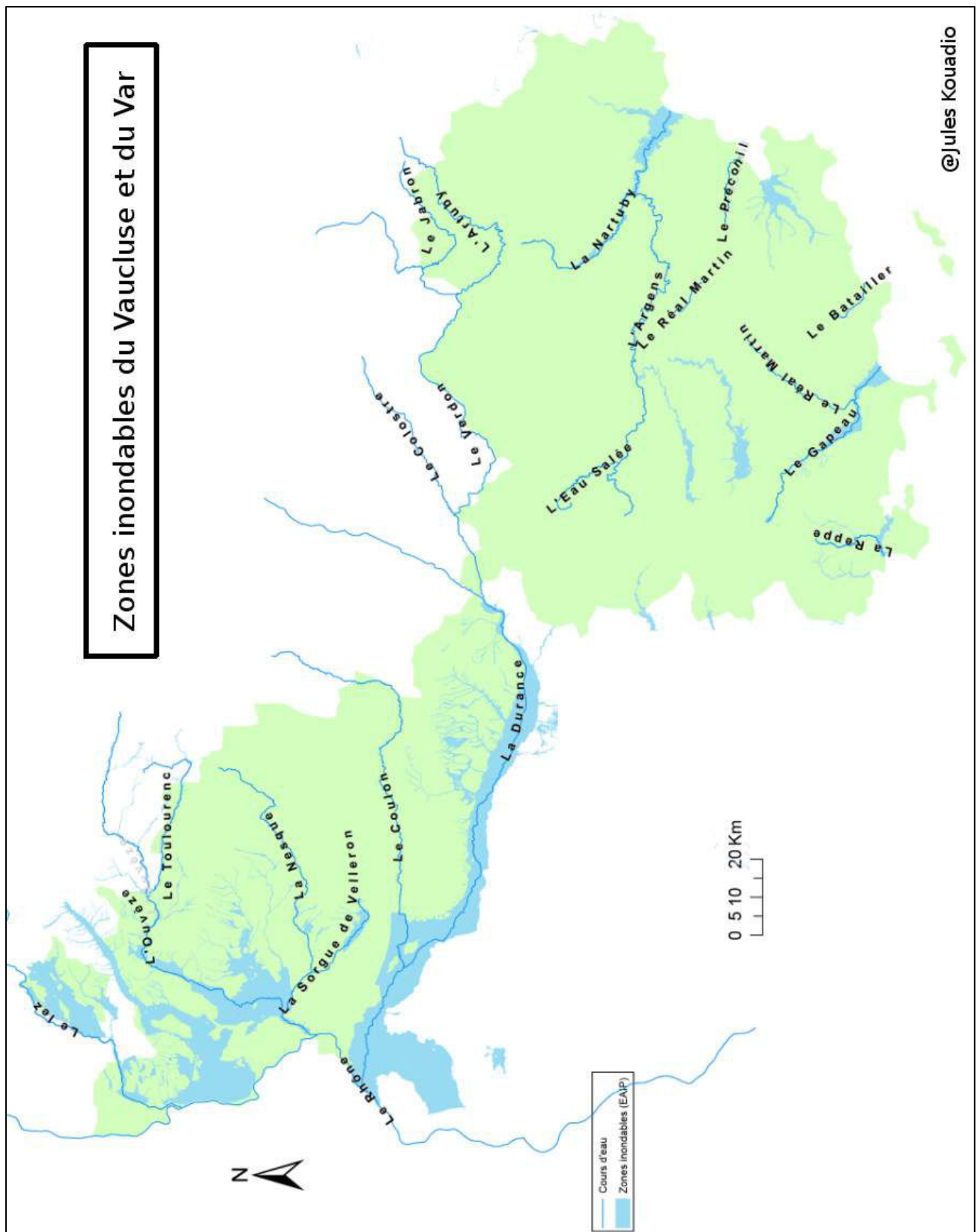
1.3.1. Des départements ayant une forte prédisposition « naturelle »

Quatre caractéristiques peuvent expliquer la forte « sensibilité » de ces deux départements aux crues rapides (Chapuis et Collomb, 2012) : 1) une hydrologie caractérisée par un étiage marqué en été et un régime de crues violentes qui se résume par une forte variabilité saisonnière et interannuelle ; 2) une topographie constituée de reliefs marqués par de fortes pentes (**Fig. 0.2**) ; 3) une géologie diversifiée qui est associée à un couvert végétal peu protecteur (Cosandey, 1992) et 4) une pression anthropique ancienne au sein des bassins versants (qui conduit à accroître la consommation d'espaces pour assumer des besoins énergétiques et l'urbanisation). Ces facteurs sont à la base du fonctionnement spécifique des cours d'eau (lit unique et peu mobile, constitué d'alluvions grossières : peu de matières en suspension ; atterrissements décapés lors des plus fortes crues ; très forts débits spécifiques, etc.). Il n'est pas nécessaire de décrire chaque facteur de manière détaillée, mais des éléments de cadrage hydrologique doivent néanmoins être rappelés.

Le Var : un grand nombre de cours d'eau sujets aux crues rapides, mais peu surveillés

Le Var possède un réseau hydrographique important (9000 kilomètres de linéaire cumulés sur le département, dont près de 87% sont sensibles aux crues rapides) (Hébert, 2014) et pourtant, peu de services d'annonce de crue existent. Nombreux sont les cours d'eau (**Fig. 0.2 et 1.15**) pour lesquels ce service est difficile à mettre en œuvre en raison de leur régime torrentiel et de la (petite) dimension des bassins concernés (d'autant plus qu'ils ne sont pas inclus dans le domaine domanial). On peut citer :

- les petits fleuves côtiers comme la Reppe, le Batailler, le Préconil avec leur important nombre de cours d'eau secondaires (le Florieyes, le Bresque, le Cassole, l'Eau Salée, la Malaurie, l'Artuby, le Jabron, la Nartuby) drainant des bassins de moindre importance à écoulement quasi permanent et qui sont eux-mêmes soumis aux crues rapides (Préfecture du Var, 2008 ; Nègre et Collombat, 2012).
- le Verdon (qui prend sa source au col d'Allos en Alpes-de-Haute-Provence).
- l'Argens (qui part du massif de la Sainte-Baume, à une altitude de 269 m.).
- le Grand Vallat (sur la commune du Castellet) en provenance du Beausset depuis la confluence du Gourganon et de la Daby et La Reppe sur la commune du Beausset.
- la Môle, qui naît au niveau du Val d'Enferet et qui est principalement alimentée par plusieurs ruisseaux, canaux et vallons (dont ceux de Boudon, de Baou, de Sauve Redone des Campaux, le canal du Canadelles cours d'eau des Vallons de La Verne, de la Cadenière et de la Siouvette).



@Jules Kouadio

Source : Kouadio (2016) d'après BD Carthage, IGN GEOFLA 2013(EAIP / Données Cerema)

EAIP=représente l'emprise potentielle des débordements de tous les cours d'eau, y compris les petits et les intermittents, des torrents, des fonds de talweg.

Figure 1.15 : Zones inondables du Vaucluse et du Var.

- Le Gapeau, qui est alimenté depuis le "Collet du Gapeau" et a pour affluents les ruisseaux du Vallon de Rayol, de la Foux, les ruisseaux de la Naj-Rau, des Fougens, de Regon, de Roubios, de Barnade, de Valéras, du Vallon des Routes et le Réal Martin.
- La Siagne qui part de Saint-Vallier-de-Thiey près du hameau de Bail.

Suite aux inondations dramatiques du 15 juin 2010, l'Argens (en aval de Carcès, au Muy, aux Arcs et à Roquebrune, au Puget et à Fréjus), qui est le plus important des fleuves côtiers du Var, ainsi que certains affluents (le Reyran, la Naturby (à Draguignan, Trans-en-Provence, La Motte), la Florieye (à Taradeau), le Real (aux Arcs) et l'Aille (au Muy), font partie du système de vigilance mis en place par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM).

Le Vaucluse : un territoire a priori moins sensible, mais marqué par l'événement de 1992

Le Vaucluse possède lui aussi un réseau hydrographique élevé (7500 kilomètres de linéaires cumulés sur le département, dont près de 87% sont sensibles aux crues rapides, Hébert, 2014), mais à nouveau, très peu de services d'annonce de crue existe. Le réseau hydrographique (**Fig. 1.15 et 1.16**) s'organise autour de deux entités différentes : plaines et plateaux se rencontrent à l'ouest d'une ligne passant par Cavaillon, Carpentras et Valreas, tandis qu'à l'est, la montagne marque le paysage. Cette discontinuité au niveau du paysage a toujours façonné, de façon singulière, les caractéristiques hydrologiques des cours d'eau du département et leur réaction lors des précipitations extrêmes. L'Ouvèze et ses affluents, au cours des siècles derniers, se sont particulièrement distingués comme les principaux cours d'eau sujets à des crues rapides. Avec un réseau hydrographique très hiérarchisé, l'Ouvèze est longue de 100 km et draine un bassin versant de 820 km² dont 580 km² sont situés à l'amont de Vaison-la-Romaine. Prenant sa source dans les Baronnies, à 10 km de celle d'Aygues, il a pour affluents la Nesque, le Toulourenc et la source karstique de la Sorgue qui font de lui le principal collecteur du département.

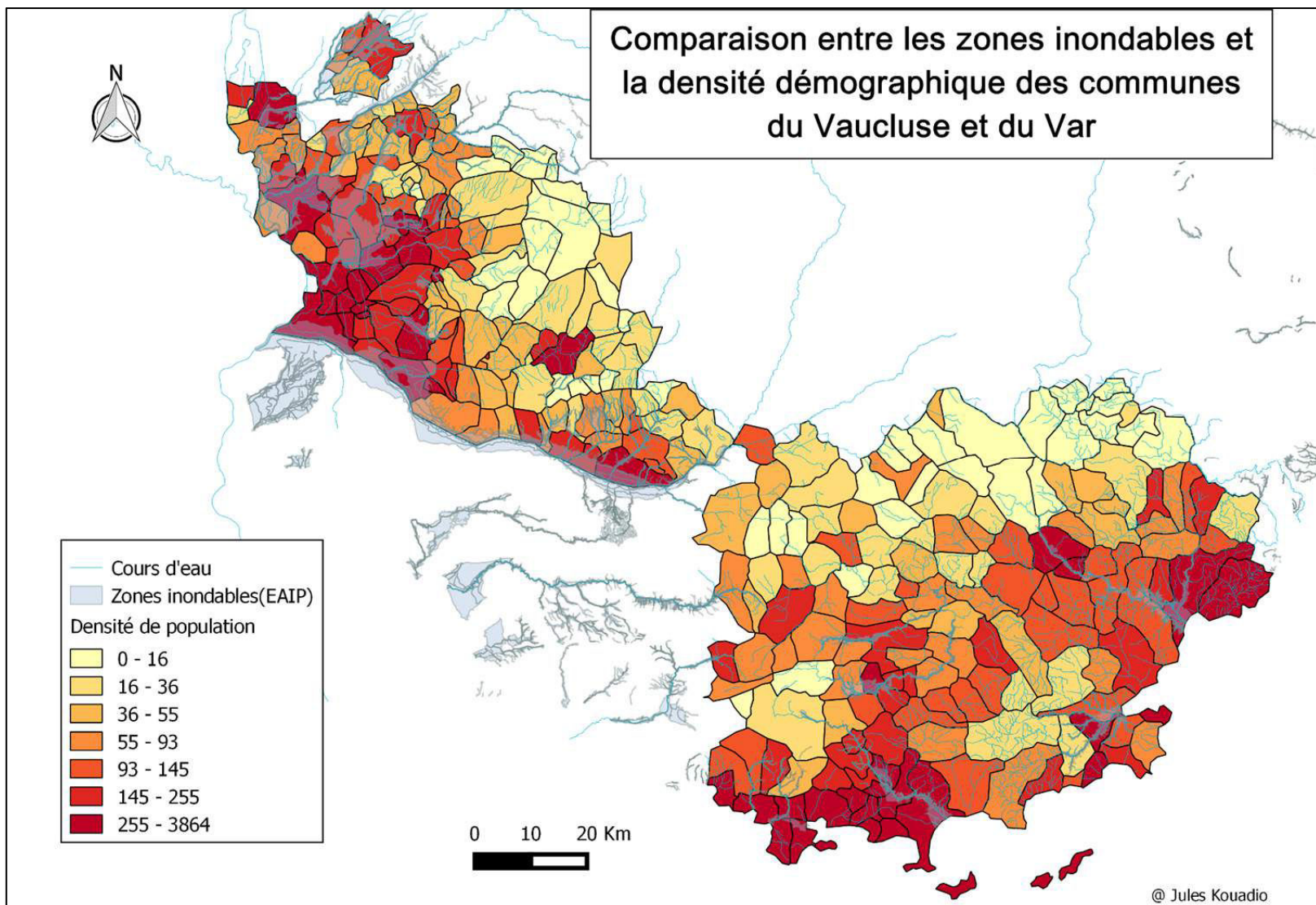
L'hydrographie du Vaucluse est également rythmée par quatre autres principaux bassins :

- le Lez, qui prend sa source sur la face orientale de la montagne de la Lance dans le massif des Baronnies après drainage du Tricastin et des plaines de Mondragon et Mornas.
- l'Aygues qui naît également dans les Baronnies près du sommet de Peyles, longe Orange et se jette dans le Rhône à hauteur de Caderousse.
- le bassin du Coulon-Calavon qui prend sa source près de Banon, traverse Apt en drainant tout son synclinal, longe Cavaillon et se jette dans la Durance.
- le versant sud du Luberon, qui est drainé par plusieurs torrents dans le sens nord-sud (dont l'Aygue Brun, le Marderic et le Leze) avant de se jeter dans la Durance.

Certains affluents du Rhône, situés en rive droite, peuvent eux aussi entrer en crue et perturber de fait le fonctionnement « naturel » de certaines rivières de la rive gauche. Ces cours d'eau sont connus pour leur dangerosité en temps de crue : Les Gardons, l'Erieux, la Cèze, voire l'Ardèche. La proximité montagneuse et la convergence du réseau hydrographique vers la vallée du Rhône rendent finalement ce secteur très favorable à la formation des inondations (Dumas, 1987).

1.3.2. De nombreux événements recensés par le passé

Les sources pour réaliser un inventaire des inondations sont diversifiées (coupures de presse, archives, déclarations des particuliers, bases de données des déclarations de catastrophe naturelle, etc), mais elles sont souvent sujettes à caution, car ne sont enregistrés ou retenues que les phénomènes qui ont induit des dommages pour la société. Une augmentation de ces phénomènes peut ainsi être liée à un accroissement de l'endommagement sans une évolution spécifique de l'aléa. Plusieurs travaux ont montré l'intérêt de se baser sur des retours d'expérience (Garry, 1995 ; Gaume *et al.*, 2000 ; Antoine *et al.* 2001 ; Vinet, 2003) ou sur une approche historique (Ballais *et Ballais*, 1994 ; Laganier, 2002 ; Agasse, 2005), mais les inventaires spécifiques aux crues rapides restent monographiques, à quelques exceptions près (Douvinet, 2008 ; Gaume *et al.*, 2009 ; Marchi *et al.*, 2010).



Source : Kouadio (2016) d'après BD Cartage, IGN GEOFLA 2013(EAIP / Données Cerema)
 Figure 1.16 : Comparaison entre les zones inondables et la densité des communes du Vaucluse et du Var.

Les données utilisées ici se basent sur des documents diversifiés (archives départementales, coupures de presse dans les journaux locaux, fonds de dossiers CatNat en mairie ou à la préfecture...), tout en sachant qu'une certaine homogénéité a été conservée pour faciliter l'analyse comparative entre les deux départements. Cet inventaire présente des limites en termes de précision, dans la mesure où les documents d'archives ne permettent pas de distinguer les différents types de crues (crues rapides, crues lentes ou ruissellements), la nature des dommages ou le profil des victimes par exemple. Les déclarations de pertes sont en majorité faites par des particuliers, sans l'avis d'experts, ce qui peut rendre les données subjectives et peu fiables (Léone *et al.*, 2010).

À l'échelle du département du Var

La plus ancienne crue dommageable (autrement dit, la plus lointaine dans les recensements) date de 1378 (mise en exergue par les crues de 2010). D'autres inondations sont également survenues au fil des siècles. Parmi les plus citées (DDRM83, 2008), on retrouve les crues du 8 septembre 1651 (Martin, 2010), dans la haute vallée du Gapeau et où plusieurs dizaines de personnes sont décédées à Belgentier, celle de 1818 (6 victimes à Draguignan et des dégâts recensés à Montferrat, Rebouillon et Lamotte) et celle de 1827. D'après les archives départementales, on dénombre plusieurs inondations par siècle, avec des effets dévastateurs et meurtriers : 1535 (de nombreuses inondations du Gapeau), 1581, 1584, 1551 (44 victimes à Signes, Belgentier et Solliès-le-Pont à la suite de la rupture de multiples ponts), 1665, 1666, 1697, 1827 et 1828. Le DDRM83 indique que "le fonctionnement des cours d'eau a été modifié (canalisation, détournement, comblement de ruisseaux), tout comme les périodes de retour et les niveaux atteints par les débits, ce qui gêne toute anticipation hydrologique".

À l'échelle du département du Vaucluse

La plus ancienne crue rapide dommageable date du 28 août 1596 sur l'Ouvèze (SIDPC84, 2009) et ce cours d'eau a également fait l'objet d'autres crues tout aussi violentes : le 21 août 1616 (80 maisons emportées à Bédarrides ; à Vaison-la-Romaine, le parapet du pont romain avait été emporté) ; le 27 mai 1792 ; le 27 octobre 1886 (plusieurs ponts emportés et 4 maisons détruites à Bédarrides). D'autres crues anciennes ont aussi été recensées dans d'autres bassins (Dumas, 1987), notamment pour la Lauzon et la Nesque (1616) et l'Aygues (1622, 1886, 1951). Au cours du XX^{ème} siècle, 4 périodes sont marquées par des épisodes très dommageables (1924-1925 ; 1933-1935 ; 1955 et 1992) (**Tableau 1.4, Fig. 1.17**). Elles ont toutes comme point de départ des épisodes pluvieux intenses en amont, puis une formation d'écoulements torrentiels ou de coulées boueuses en aval. Les dommages constatés sont non seulement matériels, mais surtout humains et concernent au fil des ans tous les secteurs d'activité, compte tenu des interconnexions de plus en plus fortes qui existent : agriculture, commerces, transport, communication, santé, etc. En outre, ce sont pratiquement à chaque fois les mêmes cours d'eau qui se distinguent (le Coulon, le Cavalon, la Durance, l'Ouvèze, etc.).



Source : Météo-France

Figure 1.17 : Gravure indiquant le niveau d'eau des inondations à Orange en 1924 (1,90m).

Période	Communes concernées	Principaux dommages constatés	Cours d'eau concernés
Septembre 1924 et août 1925	Orange, Courthézon, Sarrians, Apt, Carpentras, Cavaillon	Berges du canal de Carpentras rompues, berge du torrent Bregoux emportée, plusieurs fermes inondées, voies de communication secouées	Le Calavon, le Coulon, la Meyne
Octobre 1933 et de novembre 1935	Bollène, Saint-Pierre, Caderousse, Orange, Avignon, Bédarride, Saint Martin de Castillon	Digues rompues, hauteur de 2.5m à 3m dans certains quartiers, coupure des réseaux téléphoniques	Le Lez, le Lauzon de l'Aygues et de la Meyne, le Calavon
Mars et novembre 1951	Cavaillon et de Robion, Apt et Thor, Avignon, Caumont	1904 hectares de terres inondées par le Coulon.	Le Calavon, le Coulon, la Durance
Septembre 1992	Bédarrides, Vaison-la-Romaine, Sarrians, Aubignan, Vedène, Courthézon, Jonquières Violès, Beaumes-de-Venise, Mirabel-aux-Baronnies	50 morts et des dizaines de blessés, destructions totales et / ou endommagements importants d'habitations et de locaux commerciaux et industriels, inondations d'habitations, de locaux industriels et de commerces, terrains emportés par érosion des berges et glissements de terrain, toitures emportées, destructions de cultures par averses de grêle, destructions d'infrastructures routières par glissements de terrains et coulées de boue, pertes d'exploitations agricoles et commerciales	L'Ouvèze, l'Aygue, l'Ayguemarse, le Toulourenc, l'Ardèche, la Beaume, la Sourdoire

Source : Badiane (2015)

Tableau 1.4 : Principales crues rapides survenues dans le Vaucluse au XX^{ème} siècle (jusqu'en 1992).

1.3.3. Identification des communes les plus « sensibles » aux aléas crues rapides

Le Var et le Vaucluse présentent une sensibilité évidente aux crues rapides et ces départements ont déjà été le théâtre de plusieurs inondations sévères par le passé. Afin d'affiner l'analyse, nous avons testé une méthode de sélection des communes les plus « sensibles » aux crues rapides, cette sensibilité étant définie par la combinaison entre un aléa, une exposition et une absence de système d'alerte. Cette définition de la sensibilité est spécifique à ce travail, quoique sujette à discussion, et elle n'est pas très clairement définie dans la littérature scientifique (Vinet, 2011 ; Saint-Martin, 2014). Comment cartographier cette sensibilité ? Pour répondre à cette question, une méthode de sélection a été mise en place en suivant trois étapes :

- **étape 1** : exclusion des communes en aval desquelles un tronçon (à minima) dispose de capteurs hydrométriques intégrés dans le système de vigilance mis en place par le SCHAPI (avec les données du 1^{er} juin 2014) ;
- **étape 2** : identification des communes traversées par des petits cours d'eau (reconnus comme tels dans la BD Carthage et la Base Nationale Bassins-Versants, avec les limites imputables à cette base de données) ;
- **étape 3** : exclusion des canaux circulant dans les plaines puisque ces derniers sont sujets à des inondations par débordement, donc à des crues ayant une cinématique et un fonctionnement totalement différents.

Une fois ces étapes mises en œuvre sous SIG par requêtes spatiales, 204 communes (sur un nombre total de 304, soit 71% des deux départements) ont été conservées. Ces entités administratives ont des densités de population faibles (64 communes ont moins de 28 habitants par km², **Tableau 1.5**), à l'exception de quelques villes ou communes périurbaines (Apt, Toulon, La Garde). La plupart de ces communes se situent dans les régions montagneuses (sud du Mont Ventoux, ouest du Luberon, sud du Massif des Maures et nord de la Sainte-Baume). Les services de l'État ont toujours porté un moindre intérêt à ces secteurs puisqu'ils priorisent leurs interventions dans les secteurs ayant des enjeux plus importants, ce qui est tout à fait logique (notamment dans le cadre de l'entrée en vigueur de la Directive Inondations depuis 2009).

Une seconde sélection a fait appel à des critères hydro-morphométriques et phyto-géologiques (pour évaluer la sensibilité à l'aléa) et à des indicateurs de type bâti pour intégrer l'exposition directe potentielle (Hébert, 2014). La méthode s'applique cette fois-ci à l'échelle des bassins (**Tableau 1.5**) de moins de 5 km² (issus de la BNBV, *Base Nationale des Bassins Versants*, mise à disposition par le SCHAPI en juin 2015). Les cours d'eau qui ne sont pas surveillés en temps réel par le SCHAPI et qui présentent la particularité d'avoir un tronçon associé à une pente topographique supérieure à 20% ont été étudiés (traitement avec les données IGN © BD-Topo et IGN © MNT au pas de 75 m, 2013). Ce seuil de 20% a été fixé de manière arbitraire, mais en dessous, les vitesses d'écoulement, les temps de réponse et le taux de charge solide sont théoriquement (sauf cas extrêmes) insuffisants pour engendrer une crue rapide. Les résultats permettent d'identifier des zones particulièrement sensibles (**Fig. 1.18**). Du point de vue hydromorphométrique et phytogéologique, 50% des bassins identifiés apparaissent finalement comme sensibles à la formation des aléas crues rapides.

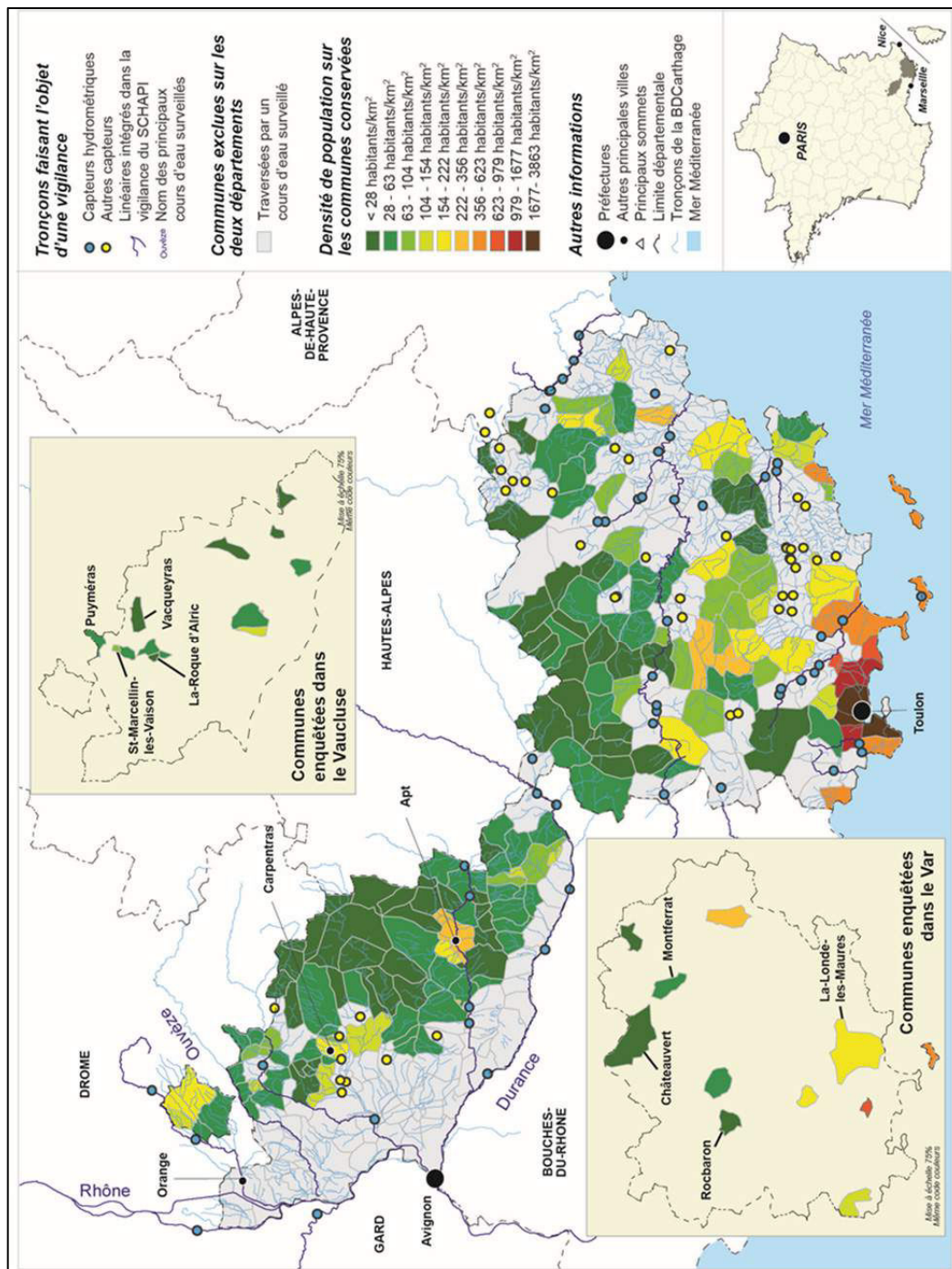
Densité de population	Nb. communes	Nb. communes écartées	Nb. de communes conservées (cumul / cumul en %)
< 28 habitants/km ²	73	4	64 (64 / 31%)
28 - 63 habitants/km ²	70	9	61 (125 / 61%)
63 - 104 habitants/km ²	52	13	39 (164 / 80%)
104 - 154 habitants/km ²	28	11	17 (181 / 88%)
154 - 222 habitants/km ²	29	18	11 (192 / 94%)
222 - 356 habitants/km ²	17	13	4 (196 / 96%)
356 - 623 habitants/km ²	17	15	2 (198 / 97%)
623 - 979 habitants/km ²	10	8	2 (200 / 98%)
979 - 1677 habitants/km ²	6	4	2 (202 / 99%)
1677 - 3863 habitants/km ²	2	0	2 (204 / 100%)
Total	304	95	204

Tableau 1.5 : Nombre de communes initiales des deux départements étudiés (Vaucluse et Var) et sélection des communes les plus sensibles aux crues rapides à l'issue l'étape 1.

Dans le Vaucluse, les versants sud du Luberon, le pourtour d'Apt, les Dentelles de Montmirail, des secteurs à dominantes agricoles et viticoles (côtes du Luberon et de Beaumes-de-Venise) et les sols ocreux de la vallée du Coulon-Calavon ressortent. Mais le facteur exposition affine ce diagnostic, car certains secteurs sont peu peuplés (le bassin de la Satelle, drain principal des Dentelles de Montmirail, a d'ailleurs fortement réagi en septembre 1992, mais sans faire de dommages ; Comby, 1993). Les 38 bassins où la population est exposée s'organisent sur deux principaux axes où la pression immobilière grignote progressivement de petites communes : la grande vallée du Coulon-Calavon et un axe Mont Ventoux/Dentelles de Montmirail. Dans le Var, 58 bassins sont identifiés (ce qui explique sans doute la plus forte propension de ce département à subir des dommages), notamment en suivant une diagonale allant du sud (Hyères) au nord-est du Var. Dans le Var, les bassins exposés se situent sur les sols imperméables de la « Provence cristalline » et sur les massifs aux faibles altitudes, sujets aux incendies estivaux et à la végétation arbustive comme avec le Massif des Maures et le Massif de l'Esterel ou, sur des secteurs prisés pour les paysages ou la proximité aux pôles urbains et qui ont donc un bâti très présent comme, la zone littorale du Massif des Maures et le pourtour de Draguignan.

L'analyse globale de ces résultats permet de constater que les surfaces sujettes aux aléas crues rapides représentent une surface de 401 km² pour le Vaucluse et 491 km² pour le Var. Ainsi 11% du Vaucluse et 8% du Var sont couverts par des bassins où des crues rapides pourraient avoir lieu, et

donc générer des dégâts si les exutoires et si les linéaires des cours d'eau sont urbanisés. Sur les 460 bassins choisis au départ (à partir de critères physiques uniquement), 189 sont potentiellement sujets à générer des dommages, ce qui concerne 120 communes sur 206. Toutefois, ces résultats étant issus de traitements géomatiques, il convient de rester prudent. L'analyse aurait mérité un approfondissement des indicateurs choisis, notamment pour caractériser l'exposition et la vulnérabilité des espaces qui sont, ici, désignés comme sensibles. Mais ce n'était pas le cœur premier de ces recherches.



Source : Kouadio et Douvinet (2015)

Figure 1.18 : Communes considérées comme sensibles aux aléas crues rapides.

Conclusion du chapitre 1

Ce **Chapitre 1** a permis de rappeler à quel point les aléas « crues rapides » surviennent sur de courtes temporalités (moins de 6h) et de voir que leur distribution spatiale est limitée (quelques km² seulement). Générées par des pluies intenses (avec des cumuls pouvant dépasser 600 mm en moins de 24h), ces crues se manifestent au sein de petits bassins versants dont les temps de réaction sont courts et où les débits spécifiques atteignent des valeurs élevées souvent comprises entre 1 et 20 m³/s/km². La hauteur d'eau, la vitesse des écoulements, l'heure d'apparition des pluies, l'heure d'arrivée de l'onde de crue, la prédisposition des bassins... sont autant de facteurs qui vont conditionner la gravité de la menace (aléa crues rapides). L'exposition des populations et les facteurs de vulnérabilité (genre, âge des personnes, perception...) sont également des facteurs qui vont, ensuite, expliquer l'ampleur des dommages, mais la thèse ne porte pas sur cet aspect du risque (sans pour autant le minimiser).

La complexité des combinaisons possibles (entre les facteurs à l'origine de leur déclenchement et ceux favorables à leur apparition) rend la mise en place de dispositifs d'alerte délicate et ô combien difficile. Les crues rapides du 22 septembre 1992, du 15 juin 2010 et du 3 octobre 2015 révèlent à quel point ces aléas ont encore mis en défaut les dispositifs existants. Ces outils sont pourtant cruciaux : entre le barycentre de l'épisode pluvieux et le débit de pointe (**Fig. 1.19**), soit dans un laps de temps compris entre 1 et 6 h (i.e. *temps de concentration*), les prévisionnistes doivent identifier les cellules pluviogènes, anticiper la réactivité des bassins et informer les services de secours et la population qui, *in fine*, doit prendre ses précautions voire adopter des comportements appropriés.

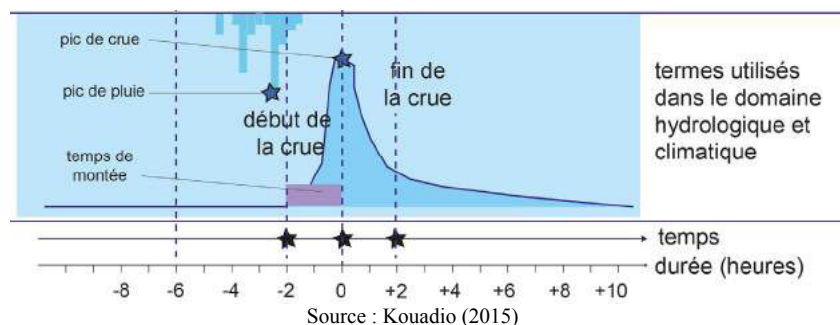
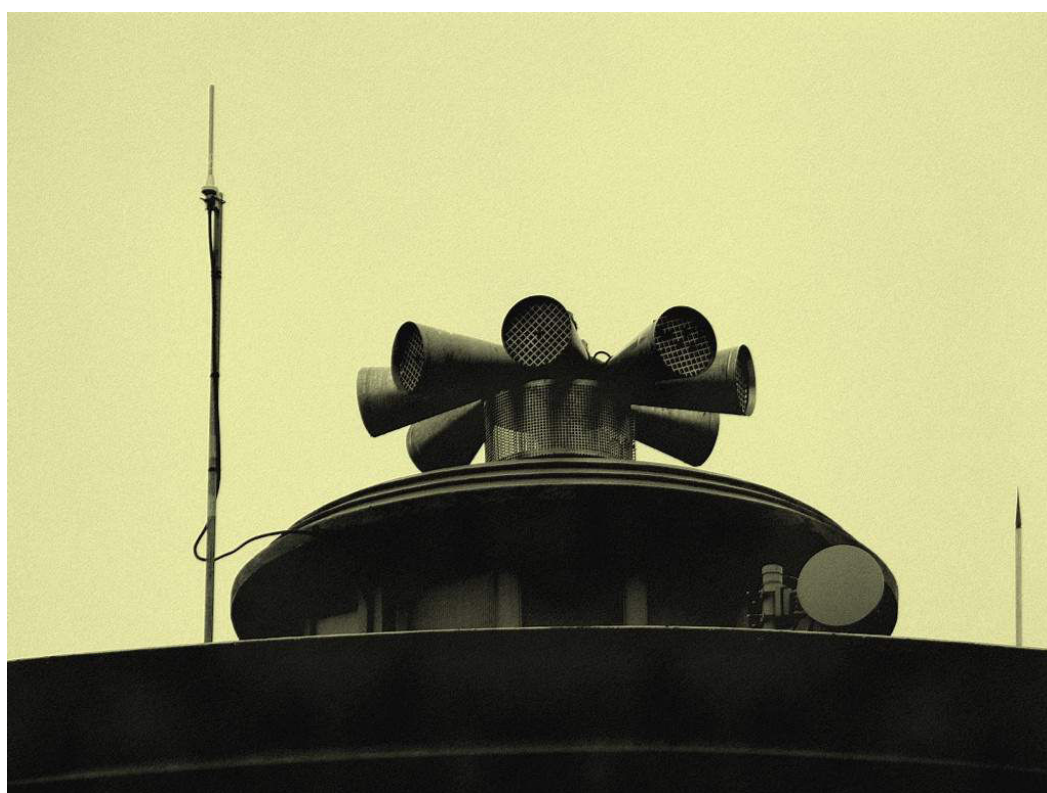


Figure 1.19 : Schéma de synthèse résumant la temporalité hydrologique des crues rapides.

C'est sur ces dispositifs (associant les démarches régaliennes aux initiatives citoyennes) que le **Chapitre 2** va se focaliser. Si les systèmes d'alerte aux crues rapides n'existaient pas au début du XX^e siècle, les crues de 1992 (associées à celles de Nîmes en 1988 et celles du Grand Bornand en 1987) vont obliger l'État à améliorer l'existant.

Chapitre 2

Les dispositifs d'alerte aux crues rapides en France - Apports, limites et contraintes opérationnelles



Source : <http://www.iff-rme.fr/>

Un exemple de sirène intégré au Réseau National d'Alerte.

Introduction du chapitre 2	57
2.1 La place de l'alerte dans la chaîne de la prévision	57
2.2 Le Réseau National d'Alerte (RNA) : contraintes et limites	69
2.3 Des dispositifs locaux autonomes : des outils peu valorisés ?	81
Conclusion du chapitre 2	86

Introduction du chapitre 2

En France, la prévision et l'annonce des crues ont essentiellement été développées depuis le début du XIX^{ème} siècle sur les grands fleuves (Loire, Seine, Garonne, Rhône). Faute d'outils adaptés, les crues rapides ont été gérées de façon bien plus empirique (Vinet, 2010). L'État va néanmoins s'y intéresser suite aux dramatiques inondations de 1987 (Grand-Bornand), 1988 (Nîmes), 1992 (Vaison-la-Romaine) – ce qui conduira à la mise en place des Plans de Prévention du Risque Inondation après deux années de réflexion (Loi Barnier, 1995) - et plus récemment suite aux crues de la Nartuby (Var) le 15 juin 2010 (Cour des comptes, 2014). En 2011, l'État engage des réflexions sur la prévision de ces crues rapides (soudaines) dans le cadre du *Plan Submersions Rapides* (DGPR, 2011). L'un des volets du PSR vise l'amélioration des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte et cet axe s'inscrit dans la nouvelle *Stratégie Nationale de Gestion des Risques Inondation* (SNGRI), initiée par la *Directive Européenne Inondations* et transposée en droit français dans le cadre de la loi du 12 juillet 2010 portant *Engagement National pour l'Environnement* (LENE). Les crues de l'automne 2014 et celles du 3 octobre 2015 (20 morts dans le secteur de Cannes) confortent d'ailleurs un tel besoin.

La vigilance hydrométéorologique, créée en 2006 (Kharroubi, 2013) et pilotée sous l'égide du SCHAPI en France, est relayée dans la plupart des bulletins météorologiques diffusés par les médias. Néanmoins, elle n'en demeure pas moins partielle et incomplète, car elle n'existe que sur un nombre limité de cours d'eau (22 120 km de linéaires de cours d'eau couvert en juin 2015, ce qui représente moins de 20% du réseau hydrographique en France). Par ailleurs, la mise en vigilance n'est pas si aisée à mettre en place : les pluies très intenses sont difficiles à anticiper à des échelles fines ; les liens entre pluies et réactions hydrologiques sont complexes ; le niveau de vigilance n'a souvent aucun lien avec l'ampleur des dégâts et sa fiabilité peut être sujette à caution. La vigilance est par ailleurs souvent confondue avec l'alerte qui, en France, relève uniquement du Ministère de l'Intérieur.

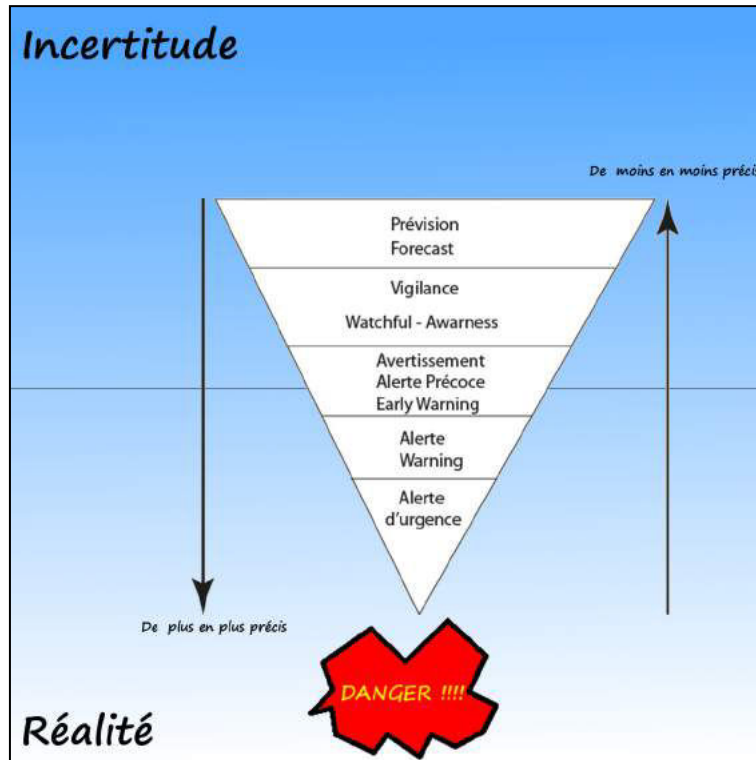
Face à ces constats, ce chapitre 2 est l'occasion de rappeler la place de l'alerte dans la prévision (§2.1), puis de faire un point sur les dispositifs existant en France en abordant les dispositifs nationaux sous le contrôle des services de l'État (§2.2) puis les initiatives locales "alternatives" au cadre législatif mis en place pour répondre à des besoins territoriaux (§2.3). Le chapitre se conclut à nouveau sur un zoom opéré à l'échelle des deux départements du Var et du Vaucluse (§2.4), notamment pour évaluer la couverture opérationnelle de tous ces systèmes et voir les besoins éventuels.

2.1. La place de l'alerte dans la chaîne de la prévision

Différents termes (alerte, alerte précoce, alerte d'urgence, anticipation, avertissement, mise en vigilance, prévision) existent quand on se positionne en amont d'un événement. Plus on se rapproche (dans le temps) de l'événement, plus l'information fournie à la population s'affine (cause, résolution spatiale et temporelle) et les outils à partir desquelles elle est produite sont différents (Blöschl, 2008) (**Fig. 2.1**). Toutefois, malgré la disponibilité des informations (que l'on soit citoyen ou responsable de la sécurité civile), l'une des difficultés (Ruin, 2007) est d'évaluer la situation en vue d'une réaction adéquate. La qualité et la temporalité des décisions dépendent en fait de leur adéquation temporelle avec la dynamique du phénomène et de leur compatibilité avec le contexte dans lequel le phénomène se déroule. Il faut aussi envisager les changements potentiels de comportements durant la crise, car les actions sont davantage dictées par la nécessité que par la raison (Ruin et Lutoff, 2004) (**Fig. 2.2**).

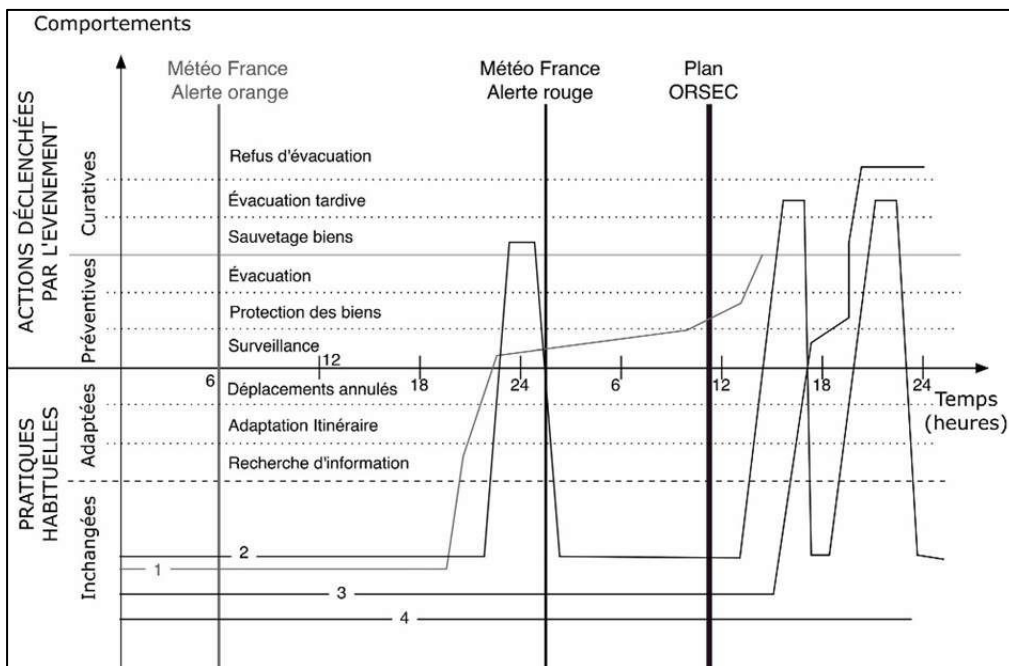
Bien que couramment utilisés, les termes ne sont pas toujours précisés avec soin (Auld, 2008 ; Vinet, 2010 ; Douvinet *et al.*, 2015) et il n'est pas rare d'observer des contresens et des usages abusifs en France, alors même que les définitions sont bien plus claires dans le milieu anglo-saxon. Une telle confusion peut parfois aboutir à des comportements inadaptés tels que paniquer lorsque le niveau de mise en vigilance est orange notamment. À ce titre, plusieurs recherches ont déjà mis en évidence le décalage entre les comportements déclarés en amont d'une catastrophe, et ceux réellement choisis en

cas de crise (Ruin *et al.*, 2007 ; Creton-Cazenave, 2010 ; Ruin et Lutoff, 2004). Par ailleurs, les limites temporelles (en se référant aux sources bibliographiques consultées) ne sont pas si « fixes » que cela dans les faits. Le temps de l'alerte semble circonscrit à une temporalité précise (environ 1h), mais tout dépend de la gravité de la situation, de la magnitude, de l'aléa voire de l'ampleur des dommages. Aussi, dans cette première section, il sera question de discuter des limites temporelles renvoyées par les principaux termes en repositionnant chacun dans la temporalité à laquelle il appartient.



Source : Kouadio (2015)

Figure 2.1 : Des termes différents selon la survenue d'un aléa et le niveau d'incertitudes.



Source : Ruin et Lutoff (2004)

Figure 2.2 : Profils de comportements caractéristiques face à la montée d'une crue rapide.

2.1.1. La prévision : un terme générique chargé de nombreuses incertitudes

Définition générale

La prévision est une indication donnée sur l'occurrence et la qualification d'un aléa naturel sur une zone donnée (AFPCN et IMDR, 2012). Elle est définie par les Nations-Unies comme étant une estimation statistique déterministe, renvoyant à la probabilité d'un événement à venir ou d'être confronté à des conditions spécifiques pour une zone déterminée (ISDR, 2009). Elle a pour objectif de se positionner comme première source de référence pour la formulation des messages de prévention, longtemps avant l'arrivée du phénomène prévu. On peut parfois la confondre avec la prévention, qui a pourtant un sens différent : mettre en place des activités ayant pour but d'éviter les impacts négatifs éventuels du phénomène prévu (par le biais de mesures prises à l'avance, dites mesures préventives). Vue sous cet angle, la prévention rejoint la notion d'anticipation : une réaction associée à la prévision à court terme. Même si elle est avant tout relative à une opération de l'esprit partant d'une prévision du futur, l'anticipation concerne et implique surtout une action que l'on réalise avant un moment attendu ou prévu. On parle également de réaction d'anticipation pour qualifier la réaction adaptative précédant l'action à laquelle correspond l'adaptation. Cette dernière se manifestant soit à la suite de l'établissement d'une dynamique, soit par conditionnement à un stimulus précurseur. Par extension, elle peut également correspondre à l'intervalle de temps situé entre la vigilance et l'alerte. À ce niveau on sait qu'un événement potentiellement dangereux va bientôt se réaliser. Dans l'attente, on prend les dispositions qui s'imposent, jusqu'à ce que sa venue soit confirmée par l'alerte.

La volonté de prévoir n'est pas nouvelle et elle a fait l'objet de nombreux travaux dans divers domaines : la démographie (Calot et Nadot, 1977), le transport (Bonnell, 2002), le tourisme (Thanh, 2010), la gestion des ressources (Singla, 2012) ou même l'environnement (Dubois, 2012) pour ne citer que quelques domaines. Par opposition, l'alerte est un terme utilisé par tous, souvent à tort et à travers, notamment en France. Le terme est privilégié pour les opérations des services de la sécurité civile. Cependant, du fait qu'elle soit basée sur l'expérience et contienne une dimension hautement probabiliste, celle-ci est confrontée à la difficulté qu'il est impossible de prévoir l'imprévisible. Aussi, comment prévoir ce à quoi on n'a jamais été confronté, tout en sachant que les paramètres d'entrée ou les conditions initiales environnantes ou amorçant le phénomène ne sont jamais les mêmes ? C'est en cela que la prévision, à la différence de la mesure, n'est jamais exacte et contient un degré d'incertitude élevé. Initialement, ce terme se rapporte à un discernement de l'esprit grâce auquel on annonce des événements futurs. Il est associé à l'observation d'un ensemble de données issues d'une situation initiale, qui permet d'envisager ou de connaître par avance, par déduction, par calcul, voire par une mesure scientifique, une situation future et d'entreprendre des actions pour y parer concrètement.

Bien que large et générique, la prévision fait l'objet d'une subdivision en plusieurs catégories : elle correspond à une période de 3 à 6 heures pour la **prévision d'urgence** (*nowcasting*), de 6 à 24 heures pour la **prévision à court terme** (*short range forecasting*), de 3 à 24 mois pour la **prévision à moyen terme**, dite saisonnière (*medium range forecasting*) (Collier et Krysztofowicz, 2000). Pour les prévisions allant au-delà d'un an, on parle cette fois-ci de **scénario** (*long range forecasting*), car, à ce niveau, il s'agit de tenir compte de la variabilité climatique (NU, 1992) sur plusieurs années. Pour A. Viaut (1969), la « Prévision du temps », même à courte échéance, ne peut être entreprise avec quelques chances de succès par un observateur isolé. Elle exige des moyens considérables, dont seul peut disposer un service national. Pour G. Lambert (1996), prévoir c'est observer très attentivement l'atmosphère. Selon lui, cette observation doit être effectuée avec la technologie (capteurs, radars, ordinateurs), mais aussi et surtout avec l'œil humain, afin d'en évaluer la qualité.

Au-delà de la production ou de la lecture d'une carte ou d'une image radar, l'observation doit conduire à une analyse critique approfondie de ce que l'on voit afin de l'expliquer, en gardant précieusement à l'esprit que ce qui est observé a au départ été modélisé et ne correspond donc pas entièrement à la réalité. En effet plusieurs échecs relatifs de prévision peuvent être expliqués par des faiblesses de l'analyse dont une révision même mineure est souvent suffisante pour améliorer notablement la qualité de la prévision (Rabier *et al.*, 1995). La prévision nécessite en outre, un réseau étendu d'observations effectuées simultanément et répétées fréquemment (Hoskins, 2012a et 2012b).

Application dans le domaine hydrométéorologique en France

Dans le domaine hydrologique, les dispositifs en place ont surtout pour objectif de déterminer les caractéristiques de l'aléa (crue) : débit, hauteur d'eau, moment de l'apparition et durée en différents points du bassin versant (DREAL, 2014). Les modèles sont empiriques, conceptuels ou combinant ces deux types. Les modèles empiriques font appel à des équations mathématiques sans rapport avec la physique du système. Ces modèles impliquent un réseau de mesures relativement dense et étendu. Les données d'entrée sont en principe des données collectées sur le terrain ou par télédétection (Thierion, 2010 ; Tucci *et al.*, 2006). Les modèles conceptuels utilisent un ensemble de concepts hydrologiques pour simuler le comportement du bassin. Ils se composent en général de deux éléments principaux : *a*) un module de précipitation et d'écoulement, qui transforme la précipitation en écoulement en faisant intervenir le bilan hydrique des composants hydrologiques tels que l'interception, la zone pédologique supérieure, l'écoulement souterrain et le ruissellement de surface ; et *b*) un module de cheminement qui simule l'écoulement dans les rivières et réservoirs (Thierion, 2010 ; Tucci *et al.*, 2006).

La prévision cherche à capitaliser une certaine connaissance historique afin de produire une construction mentale qui aboutira à une interprétation la plus précise possible de l'état de l'atmosphère à un instant donné ainsi que des conditions suivant lesquelles il se développe à partir d'un état précédent (Bjerknes, 1904). Une fois convaincu de la justesse de son interprétation le prévisionniste doit reformuler cette dernière dans un langage accessible et compréhensible à la population afin qu'elle puisse véritablement comprendre ce qui se prépare. Ce travail de reformulation se traduit en amont par la mise en vigilance. Elle est élaborée en quatre étapes : 1) l'observation, 2) l'assimilation des données observées (exemple : représentation du temps qu'il fait), 3) la simulation de l'évolution de l'atmosphère au moyen de modèles numériques et 4) l'analyse des résultats par les prévisionnistes.

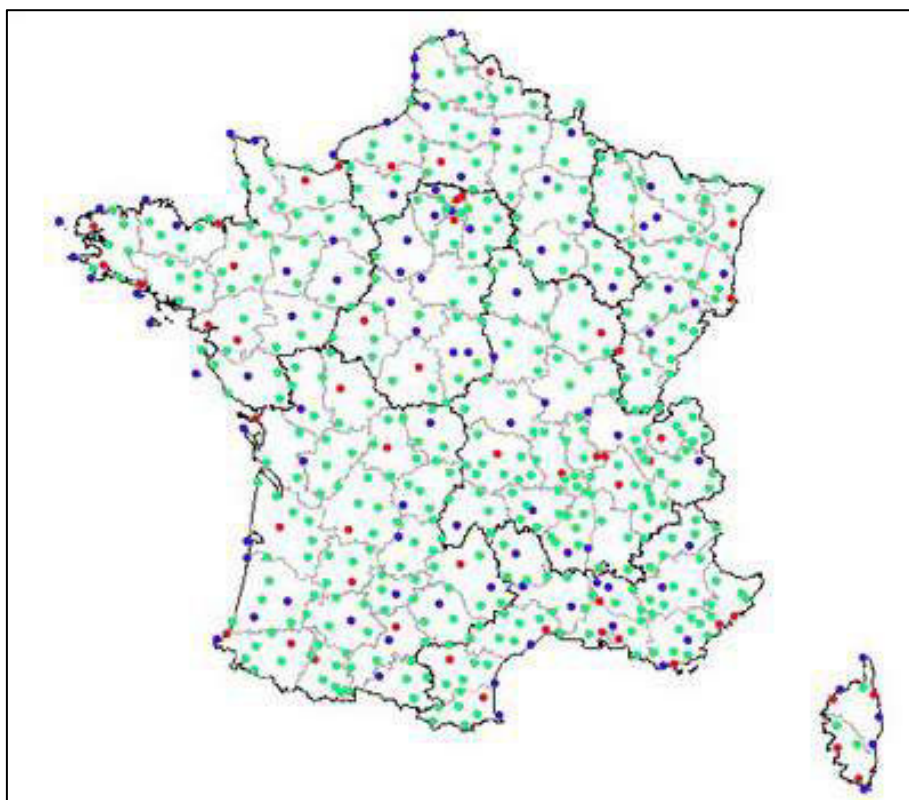
Pour anticiper les aléas, Météo-France s'appuie tout d'abord sur les données recueillies par les réseaux de capteurs de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), basées sur le Système Mondial d'Observation (SMO) : stations au sol, radars météorologiques, radiosondes et observatoires répartis sur le territoire. Météo-France dispose ensuite de son propre Réseau d'Acquisition et de Données d'Observation Météorologique Étendue (RADOME) pour la surveillance et la prévision immédiate des conditions météorologiques à échelle infra départementale, et d'ARAMIS (Application Radar A la Météorologie Infra Synoptique), étendue grâce à PANTHERE (Projet ARAMIS Nouvelles Technologies en Hydrométéorologie, Extension et RENouvellement). Ce dernier constitue un réseau de plus de 24 radars météorologiques exploités en vue d'évaluer le risque pluviométrique grâce à une meilleure estimation régionale des taux de pluie et du type de précipitations. Les données collectées vont ensuite alimenter 2 modèles : ARPEGE (Action de Recherche Petite/Echelle Grande Echelle), ALADIN (Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement International) et AROME (Application de la Recherche à l'Opérationnel à Mésio-Echelle) (**Tableau 2.1**).

Systèmes	Résolution Spatiale	Données en Entrée	Résolution temporelle (prévision)	Couverture
ARPEGE	10 km		3 jours	Ensemble du globe
ALADIN	10 km	Sorties ARPEGE	1,5 jour	Europe de l'Ouest
AROME	1,3 km	Sorties ALADIN et données in situ	Quelques heures	Territoire métropolitain

Source : Météo-France (2015)

Tableau 2.1 : Caractéristiques de quelques modèles météorologiques employés par Météo-France.

Le réseau RADOME était constitué en 2012 de 554 stations en métropole (une tous les 30 km) et 67 en Outre-Mer, permettant d'effectuer des mesures et de transférer à intervalles réguliers (toutes les 6 minutes, toutes les heures ou une fois par jour) des données qui servent (depuis le centre Météo-France de Toulouse) selon les paramètres à divers besoins allant de l'aéronautique à la climatologie en passant par la prévision immédiate (*nowcasting*) (**Fig.2.3**).



Source : Météo-France (2012)

- : stations du réseau de la veille météorologique mondiale VMM (44) ; ● : stations installées sur une plateforme aéroportuaire (52) ;
- : 4 paramètres de base (vent, température, humidité et précipitations) du réseau national (458).

Figure 2.3 : Carte du réseau RADOME des stations en métropole (Situation au 31 décembre 2012).

2.1.2. La (mise en) vigilance : attirer l'attention sur une situation probable

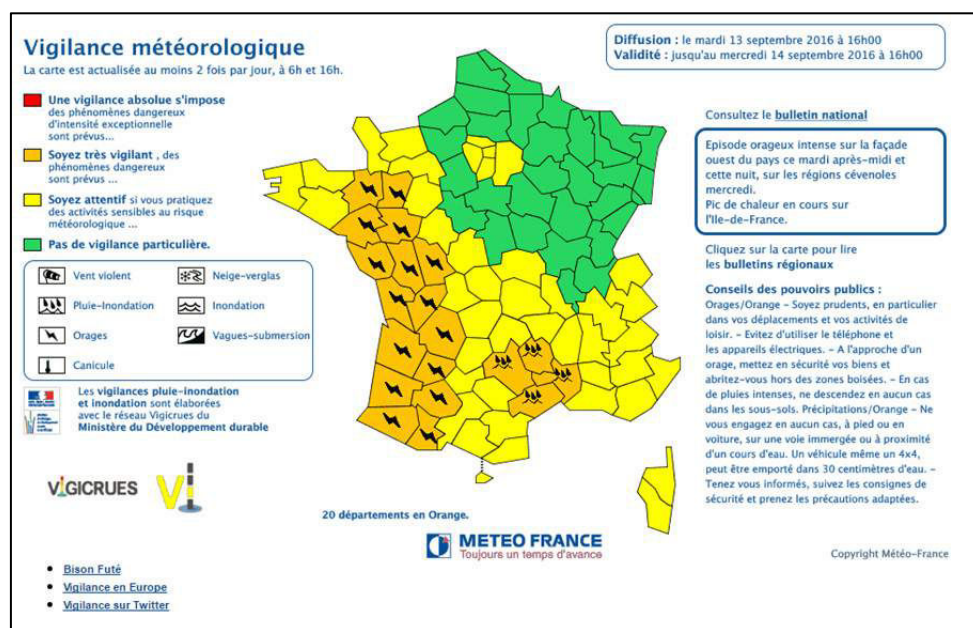
Définition générale

Ce terme est à la fois dérivé du latin "*vigilantia*", qui signifie « habitude de veiller avec soin et attention » (Dictionnaire étymologique du CNRTL, 2012), et du latin "*vigilare*", qui signifie "veiller" ou « insomnie ». De manière plus explicite, il s'agit d'une surveillance attentive, voire d'un état de conscience qui fait appel à l'aptitude du cerveau à répondre activement aux situations inopinées, en rapport avec la capacité d'attention d'un sujet. L'information produite est destinée à attirer l'attention du public et des autorités compétentes sur l'occurrence probable de phénomènes pouvant être dangereux sur une zone donnée (AFPCN et IMDR, 2012 ; Cambridge Dictionaries Online) et on parle alors de « mise en vigilance ». Ce terme se rapporte aussi à la possibilité d'effectuer une tâche à un niveau constant d'efficacité et d'efficience (Oxford Dictionary of Business and Management, 2009).

Dans le cas particulier des inondations, la vigilance est un dispositif qui permet une montée en puissance progressive des moyens d'expertise hydrométéorologique et de protection des populations (Thierion, 2010). De son côté, E. Haziza (2007) la définit également comme une « une mise en garde sur la potentialité de survenance d'un évènement dangereux, sans en assurer sa venue pour autant ». La surveillance, l'observation et l'état de préparation doivent être permanents. Ils s'appuient donc sur des dispositifs et outils de monitoring (radar, capteurs pluviométriques et hydrométriques). Lorsque la survenue du phénomène devient probable (avec un degré de certitude élevé), une double vigilance s'impose : celle du prévisionniste (pour confronter sa prévision avec ce qui est réellement observé), et celle de la population (afin qu'elle prenne des mesures préventives en fonction des moyens dont elle dispose). Si la première demeure permanente, la seconde varie en fonction de la nature des messages envoyés par le prévisionniste vers la population (AFPCN et IMDR, 2010).

Application dans le domaine hydrométéorologique en France

Le maillage des données issues des capteurs dont elle dispose permet à Météo-France de fournir une prévision à différentes échéances depuis le niveau national jusqu'au niveau départemental. Aussi, la décision ou non d'une mise en situation particulière de vigilance est prise à partir de seuils préétablis. Représenté sur une carte et disponible à tous, le niveau de vigilance météorologique en France se base sur une échelle à 4 couleurs : le vert pour les situations sans danger, jaune pour les phénomènes potentiellement dangereux, orange lorsqu'une pré-alerte à l'endroit des services dédiés à la gestion du risque inondation et le rouge pour des phénomènes pouvant donner lieu à des catastrophes avec une forte probabilité de situation de crise (Fig. 2.4).

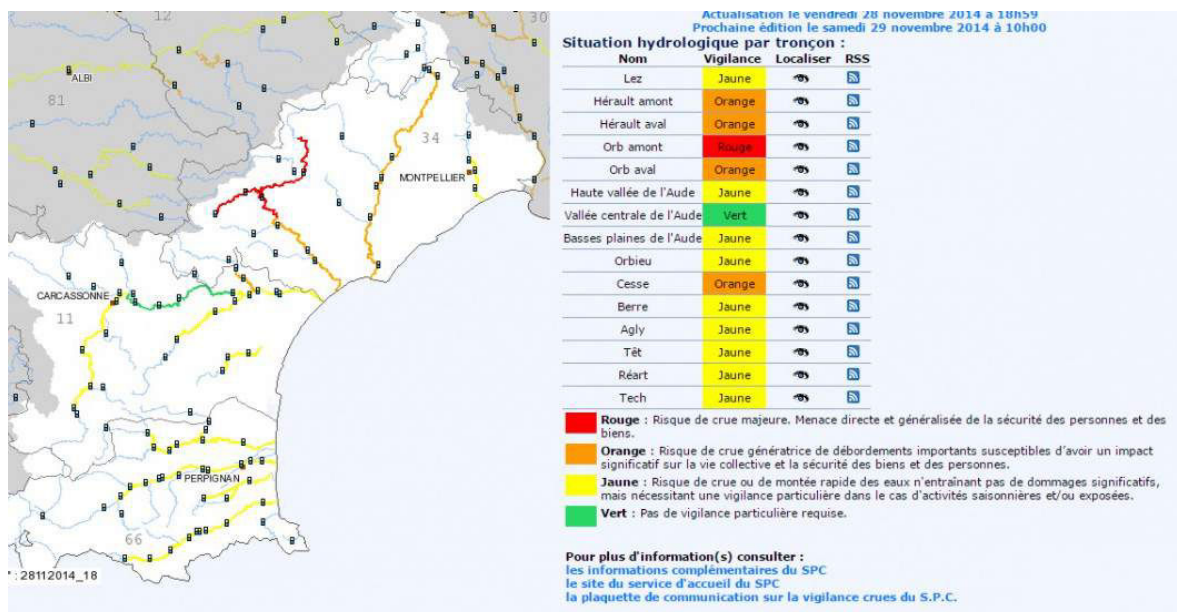


Source : Météo-France (2016)

Figure 2.4 : Carte de vigilance de Météo-France, le 13 septembre 2016.

Partenaire de Météo-France depuis 2003, le SCHAPI est la structure en charge de la prévision hydrologique. Sa mission consiste tout d'abord à caractériser la probabilité de dépassement des seuils (pour le niveau d'eau ou le débit) sur les cours d'eau surveillés dans des délais variant suivant les cours d'eau (près de 22 100 km de linéaire en juin 2016). Cette caractérisation hydrologique est en grande partie fonction de la prévision météorologique produite par Météo-France pour les 24 heures à venir ; toute mise en vigilance météorologique entraîne systématiquement une mise en vigilance « crue » (Fig. 2.5). Grâce à ce système, 75% de la population en zone inondable sont potentiellement informés de la survenue probable d'une inondation, alors que les 25% restants se situent le long des 97300 km de linéaire de cours d'eau non surveillés. Parfois soumis à des précipitations violentes, cachant des régimes complexes, ces 98300 km peuvent se transformer en torrents meurtriers sans aucun signe avant-coureur. Toutefois, depuis les crues de 2010 et dans le cadre du *Plan Submersions Rapides*, le SCHAPI travaille à bâtir un service (qu'il espère opérationnel fin 2016) de plus en plus précis pour les petits bassins non surveillés, d'autant plus au regard des crues encore meurtrières du 3 octobre 2015 dans la région de Cannes.

En juin 2015, le SCHAPI a sous sa responsabilité 19 services de prévision des Crues répartis sur l'ensemble du territoire national et ayant chacun à charge la gestion d'un bassin hydrologique. Ces derniers sont chargés de lui fournir un point constant sur la situation hydrologique en question ainsi que les niveaux d'eau et de débit observés sur chacun des tronçons de cours d'eau qu'ils ont à charge. Les données collectées sont issues du réseau de capteurs DREAL (géré par un personnel d'astreinte chargé du jaugeage et de la maintenance), d'observateurs de crues (géré par contrats ou par conventions) et/ou des structures gestionnaires d'ouvrage (conventions avec VNF : Voies navigables de France, EDF : Eau De France, établissements publics territoriaux de bassins, etc.).



Source : <http://www.vigicrues.gov.fr> (2014)

Figure 2.5 : Carte de vigilance du 28 novembre 2014 sur le SPC Méditerranée Ouest.

Avec Météo-France, le SCHAPI produit deux fois par jour une carte de vigilance informant du niveau de danger encouru sur les tronçons de chaque SPC pour une échéance de 24 heures sur le site <http://vigicrues.gov.fr/> et utilisant les mêmes plages de couleurs : vert pour pas de danger, jaune pour les crues sans dommages significatifs, mais dangereuses en cas d'activité saisonnière, orange pour des crues avec débordements importants et rouge pour des crues majeures (Wittwer, 2008). Une fois réalisées, ces prévisions permettent à ces services (Météo-France et le SCHAPI) de produire un message de vigilance dit « vigilance pluie-inondation » à partir duquel les autorités compétentes dont en premier lieu le Préfet, alerteront la population. Face à l'imminence du danger, les bulletins de vigilance se transforment progressivement en bulletins d'avertissement.

2.1.3. L'avertissement : une mise en garde face à la survenue plausible d'un aléa

Définition générale

L'avertissement traduit une action : provenant du latin "*advertere*", il signifie « tourner, diriger vers » (son esprit ou quelque chose) ou « faire attention à... » (Dictionnaire étymologique du CNRTL, 2012). Autrement dit, cela sous-entend le fait d'attirer l'attention d'un individu ou d'une société sur une action déterminée à accomplir. C'est également un appel à l'attention de quelqu'un, un rappel à l'ordre, une mise en garde pour le garder d'une chose fâcheuse, le détourner d'une action, d'un danger.

Les termes « avertissement » et « alerte » sont parfois confondus pour désigner l'action d'une seule autorité : le service de prévision hydrométéorologique. En Belgique par exemple, l'*Institut Royal Météorologique* (IRM) possède un système de détection de la foudre permettant de détecter les coups de foudre au sol, mais aussi les éclairs intra-nuages. Moyennant un abonnement payant, un service dit « d'avertissement » par SMS est proposé (Reyniers, 2008). Toutefois le descriptif¹⁰ détaillé de ce système peut vite entraîner une confusion entre ces termes : « *Les utilisateurs du service SMS peuvent être avertis de l'arrivée d'un orage grâce à des messages envoyés sur leur GSM.... Un premier message de pré-alerte est envoyé lorsque des éclairs sont détectés dans un rayon de 15 km autour du lieu spécifié par l'utilisateur. Un message d'alerte est ensuite envoyé si des éclairs sont détectés dans un rayon de 8 km. Après une pré-alerte ou une alerte, un message de fin d'alerte est envoyé lorsqu'aucun éclair n'a été détecté dans un rayon de 15 km pendant une période de 45 minutes* ».

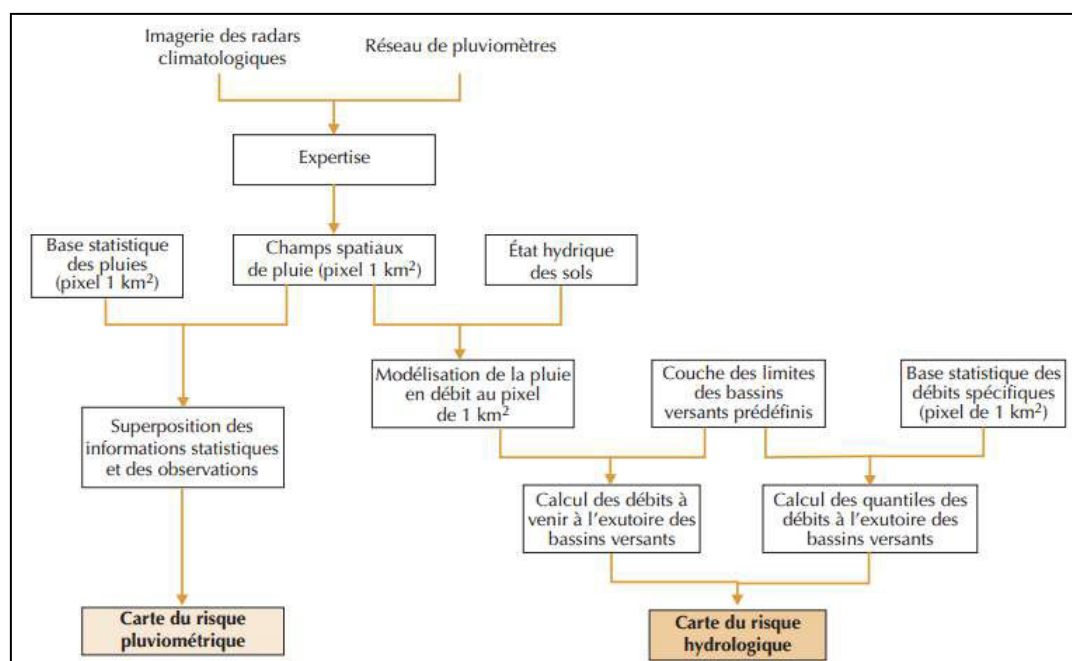
¹⁰ <http://www.meteo.be/meteo/view/fr/633938-Avertissement+orage+par+SMS.html>

Cela s'observe aussi lorsque l'on s'intéresse au système « d'avertissement » météorologique que propose également l'IRM (2011) en Belgique (2011). L'ambiguïté subsiste¹¹ donc : « Un niveau d'alerte (jaune, orange ou rouge) est assigné à ces avertissements en fonction du degré d'impacts attendus ainsi que de la probabilité du phénomène concerné..... Un avertissement de niveau jaune est émis sur une province dès que des visibilités inférieures à 500 m sont prévues en de nombreux endroits de cette province... La zone orageuse avait en effet très bien été prévue et avait fait l'objet d'un avertissement de niveau « jaune. ». Étant donné qu'en France l'usage du terme « alerte » relève du maire et des services de la sécurité civile, il est courant de constater que le terme « avertissement » est utilisé par les services de prévision quand ils veulent s'adresser directement aux populations.

Application dans le domaine hydrométéorologique en France

Deux dispositifs¹², nommés AIGA (Adaptation d'Information Géographique pour l'Alerte) et APIC (Avertissement Pluies Intenses à l'échelle des Communes) illustrent bien cette action d'avertir. Ils sont déjà opérationnels (depuis 2011 pour APIC ; depuis 2013 dans le sud-est pour AIGA, ce dernier étant en phase d'expérimentation sur l'ensemble de la France pour être actif en juillet 2016).

En se basant sur la comparaison des pluies de référence SHYREG qui signifie régionalisation de la méthode SHYPRE (Simulation d'HYdrogrammes pour la PREDétermination des crues) (Lavabre *et al.*, 2003) on qualifie le caractère intense, voire très intense de l'évènement pluvieux en cours. C'est la partie AIGA « PLUVIO » et on parle de « caractérisation de l'aléa PLUIE ». Les données observées et transmises en temps réel, servent aussi à anticiper une inondation par ruissellement ou une crue rapide avec un préavis relativement court (à l'aide du modèle de transformation PLUIE - DEBIT GRD). Le franchissement de certains seuils de quantités de précipitation est un bon précurseur de conséquences hydrologiques de type ruissellement en zone urbaine ou crues rapides de petits cours d'eau (Fig. 2.6). Ce système compare ensuite les données des radars hydrométéorologiques avec les cumuls historiques observés au même endroit afin de déterminer leur caractère (intense, très intense), là aussi en fonction de certains seuils prédéfinis. C'est la partie AIGA « HYDRO ». Cette fois on compare les observations avec les débits de référence (SHYREG).



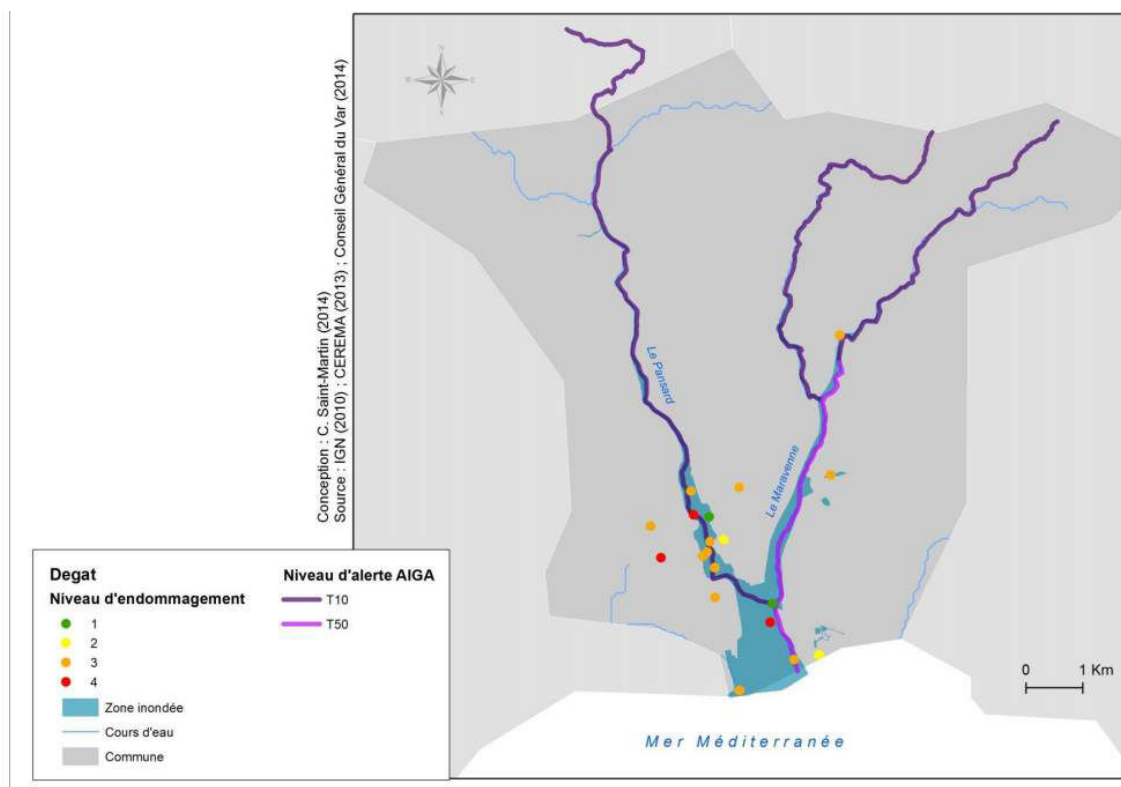
Source : Lavabre et Gregoris (2005)

Figure 2.6 : Principe de fonctionnement de la méthode AIGA.

¹¹ <http://www.meteo.be/meteo/view/fr/66940-Articles.html?view=16940622>

¹² Opérationnels depuis 2011 pour APIC ; depuis 2013 dans le sud-est pour AIGA, ce dernier étant en phase d'expérimentation sur l'ensemble de la France pour être actif en juillet 2016

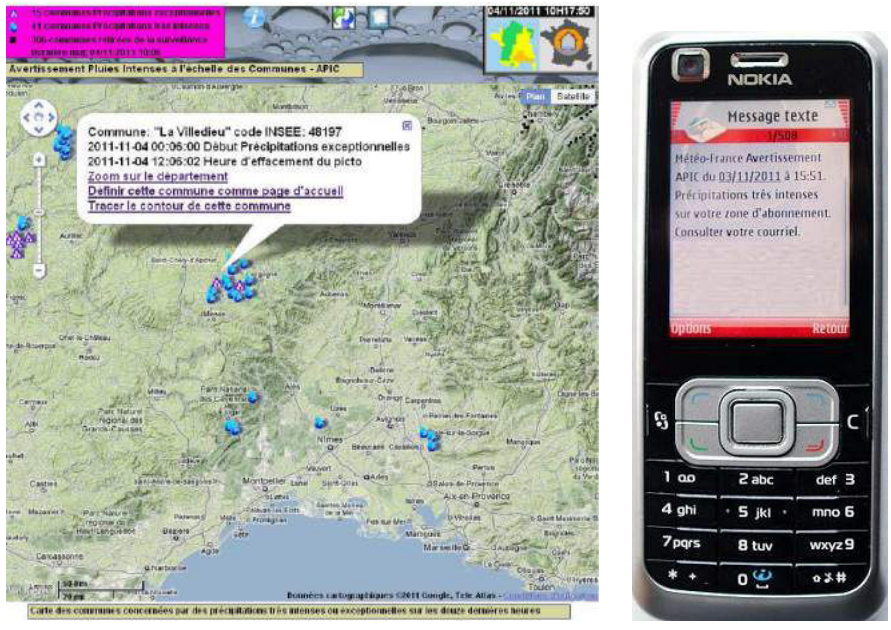
La méthode AIGA anticipe finalement les variations de débit des cours d'eau observés et cela aboutit à un niveau d'avertissement hydrologique, basé sur trois seuils correspondant à trois périodes de retour : 2 ans : bleu (T2), 10 ans : violet (T10) et 50 ans : rose (T50) (Saint-Martin, 2014). Un lien avec les dégâts potentiellement craints est actuellement à l'étude (thèse de Saint Martin à l'IRSTEA) et les inondations à La Londe-les-Maures (survenues le 19 janvier 2014) ont été l'occasion de tester une nouvelle méthode (pour affiner la qualité de l'avertissement), en intégrant des données relatives à l'occupation des sols : présence d'enjeux, degré d'exposition, endommagements possibles (**Fig. 2.7**). À partir de la pluviométrie observée (entre 180 et 250 mm), Saint-Martin a obtenu des données de débit qui ont pu conduire aux déclenchements d'avertissement de crue relatifs à plusieurs cours d'eau dont le Maravenne et le Pansard (**Fig. 2.7**). Les premiers essais montrent les limites de l'usage restrictif de la méthode AIGA-Hydro : tandis que le Maravenne a reçu un avertissement maximum pour une crue de période de retour de 50 ans (T50), le Pansard a été concerné par un avertissement maximum pour une crue de période de retour de 10 ans (T10), mais c'est bien le long de ce tronçon, et notamment dans la partie aval urbanisée, que les dégâts ont été les plus importants (Saint-Martin, 2014).



Source : C. Saint-Martin (2014)

Figure 2.7 : Gravité et niveaux d'avertissement lors des inondations du 19 janvier 2014 à La Londe-les-Maures.

De son côté, le dispositif APIC fournit une carte des communes concernées par des pluies de forte intensité en temps réel. APIC signale toutes les communes (abonnées ou non) au sein desquelles l'estimation de la lame d'eau est supérieure à certains seuils. Mise à la disposition des maires et des préfets et des services de la sécurité civile français, cette carte leur est accessible via l'extranet APIC (<https://apic.meteo.fr>) (Fig. 2.8). Un message d'avertissement est transmis par SMS, mail et message vocal (au choix) à cinq personnes ressources identifiées sur une commune. Une commune peut aussi s'abonner aux avertissements que reçoivent des communes voisines (10 au maximum), en particulier sur les communes situées en amont pour anticiper les ruissellements et les éventuels débordements à venir. Ce service n'est toutefois disponible que sur les communes dans les zones où l'estimation des cumuls de pluie par le radar est satisfaisante. En outre, il peut lui arriver d'être indisponible quand la qualité de la mesure radar se dégrade temporairement ou parfois manquer de précision en envoyant des alertes à des communes non concernées.



Source : Météo-France (2011)
 Figure 2.8 : Extranet et message SMS APIC.

Si les systèmes **AIGA** et **APIC** sont des initiatives portées par des structures parapubliques (IRSTEA et SCHAPI), certaines communes ont engagé des démarches individuelles pour se doter de leurs propres systèmes d'avertissement qui leur permettent de garantir une meilleure gestion des crues locales. C'est le cas de Nîmes, par exemple, qui a initié en 2004 le projet ESPADA (Evaluation et Suivi des Précipitations en Agglomération pour Devancer l'Alerte). Sujette à des crues qui peuvent être meurtrières (1963,1988, 1990, 1998), la ville de Nîmes a encouragé la mise en œuvre d'un tel dispositif « clé en main » pour répondre à trois principales prérogatives : 1) le suivi et la prévision hydrométéorologique pour anticiper des évènements pluvieux, 2) la gestion des alarmes et des alertes, 3) la gestion des plans de parade (Raymond *et al.*, 2007).



Source : Raymond *et al.* (2007)
 Figure 2.9 : Schéma fonctionnel du système ESPADA.

Opérationnel depuis 2005, ce système récolte et valide diverses données hydrométéorologiques (images radar, prévisions des précipitations à 1h30 maximum et capteurs pluviographiques et limnigraphiques) sur des bassins versants de quelques km², pour identifier le scénario d'aléa le plus vraisemblable (**Fig.2.9**). Ce scénario est ensuite intégré dans deux modèles mathématiques : le GR4 du CEMAGREF pour les zones rurales (Editjano et Michel, 1989 ; Perrin, 2000) et le modèle RERAM pour les zones urbanisées (Chocat, 1997). Ces données permettent de faire correspondre ce scénario à des niveaux d'avertissement associés au plan de crise de la ville de Nîmes :

- **niveau 1** : mise en vigilance du personnel d'astreinte à partir des bulletins Météo
- **niveau 2** : faibles débordements du réseau d'eaux pluviales, inondation des points bas
- **niveau 3** : début du débordement des cadereaux et à la limite d'efficacité des retenues amont
- **niveau 4** : inondation grave généralisée, risque humain.

Le système ESPADA est géré par un Système d'Information Géographique (SIG) qui permet la mise à jour des données (aléa, vulnérabilité et risque) en temps différé et le changement de scénario en temps réel (Raymond *et al.*, 2007). Il est transposable à d'autres crues urbaines (qui nécessitent la même acuité temporelle et la mise en œuvre rapide d'une information à destination des habitants).

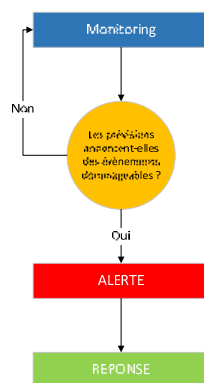
2.1.4. L'alerte : un danger imminent qui signale le temps de l'action

Définition générale

Dérivé de la locution adverbiale, "*estre a l'herte*" c'est-à-dire « être sur ses gardes, sur le qui-vive », l'alerte se manifeste par une inquiétude subite, qui se concrétise sous la forme d'une alarme ou d'un appel confirmant un danger imminent. L'alerte engage à prendre les dispositions nécessaires pour l'éviter et elle se place dans le temps de l'action ; elle a un caractère bidirectionnel dans la mesure où on peut également alerter les autorités. Dans un autre sens, il peut s'agir du signal prévenant une force militaire d'une attaque ennemie, lui imposant de prendre les mesures de sécurité voulue et de se tenir prête à intervenir. En cas de maladie, de sinistre ou d'appel à l'aide, doublée d'une demande d'intervention et d'assistance immédiate, cette alerte s'adresse directement à la personne ou aux organismes compétents (médecin, pompiers...) (AFPCN et IMDR, 2012). Elle naît sur fond de veille, de surveillance ou d'attention et suppose l'activation d'une mémoire, qu'elle réponde à un phénomène en train de se produire ou à une éventualité, à l'imminence d'une catastrophe ou à l'évaluation d'un risque mal connu ou sous-estimé (Chateauraynaud et Torny, 1999). Se pencher sur les éléments fondamentaux de l'alerte implique de retenir spontanément l'idée générale d'une transmission, opérée entre un observateur et des personnes qui ne peuvent observer ou qui ne sont pas en contact avec le phénomène observé (Créton-Cazanave, 2010). Il existe donc une certaine distance à franchir, qu'elle soit physique ou mentale, et cela suppose de faire appel à un messenger qui va :1) transporter l'information pour que le signal d'alerte parvienne à son récepteur (donc sans la modifier), et 2) la livrer de manière adéquate afin que les destinataires en comprennent le sens (Bourrelier *et al.*, 2000).

Au-delà de ces aspects sémantiques, il faut bien distinguer différents types d'alertes, classés en fonction d'une temporalité pas toujours facile à circonscrire. L'alerte "classique" (*warning*) se base sur un système de prévision urgentiste et dans un délai court (moins de 6h avant l'évènement). L'alerte d'urgence (*nowcasting*) est un signal donné avec une plus forte acuité temporelle, en allant de 1h à 6h en avance en fonction des observations mises à jour fréquemment. Cette alerte d'urgence englobe une description de l'état actuel de l'atmosphère et anticipe la façon dont l'atmosphère va évoluer au cours des futures minutes, voire des prochaines heures (Mass et Mass, 2011). Ces prédictions font donc appel à des observations qui sont disponibles en temps pseudo-réel (c'est-à-dire au plus proche du réel) et elles sont dynamiques (en lien avec l'évolution et le déroulement des événements concernés). Ce terme s'applique aussi à des conditions de prévision dans les 30 prochaines minutes pour un site spécifique, par exemple la survenue probable de micro-rafales dans un aéroport (Oxford Dictionary of Weather (2^e éd., 2008). Dans tous les cas, l'apparition d'un danger (« *severe warning* ») est le point de départ de l'alerte, avec des territoires qui commencent déjà à être inondés ou qui pourraient l'être dans l'heure qui vient. En revanche, l'alerte d'urgence ne doit surtout pas être confondue avec l'alerte précoce, qui relève d'un usage différent et se décline dans une tout autre temporalité (IFRC, 2008).

Traditionnellement l'alerte précoce se décline en 3 phases : 1) l'observation ou monitoring en vue de détecter des signes avant-coureurs, 2) les prévisions des évènements probables et 3) l'émission de l'alerte. Pour une inondation, cette alerte précoce englobe une alerte et l'émission de messages (disant en substance que le changement climatique entraîne l'augmentation du risque de précipitations extrêmes par exemple), ce qui aurait comme réponses la mise à jour continue des cartes de risque et l'identification de groupes vulnérables, ou des actions de reboisement et de renforcement de maisons. Pour un cyclone, un typhon ou un ouragan, les messages d'alerte précoce peuvent avoir la même teneur (*i.e.* l'augmentation de la probabilité d'apparition de tels phénomènes), mais les réponses d'urgence préconisées seraient de prendre des mesures de prévention, d'atténuation ou de préparation en construisant des maisons et des abris résistants, voire de mener des plaidoyers pour un respect strict des codes de construction. De plus, ces dispositions seraient complétées par des séances de formation au sein des communautés identifiées comme vulnérables, et induiraient donc des actions différentes tout en connaissant le poids des incertitudes face à de telles décisions. Plusieurs retours d'expérience confirment également qu'une alerte précoce n'est efficace que si elle est immédiatement suivie d'une réponse (**Fig. 2.10**) et avant tout centrée sur la population à risque (IFRC, 2008 ; UNEP, 2012 ; **Mercy Corps et Practical Action, 2010** ; Bogardi *et al.*, 2006). L'objectif des systèmes d'alerte précoce axés sur la population est finalement d'encourager les individus et les communautés menacés à agir à temps et de façon adaptée de façon à réduire les risques de blessures, de décès et de dégâts matériels et sur l'environnement (United Nation, 2006), tout en étant très contestable, car très délicate.



Source : Kouadio (2014)

Figure 2.10 : Les étapes d'un système d'alerte précoce efficace.

Finalement, à la différence de la vigilance (qui est un état d'esprit qui s'adopte, se pratique, se construit ou se maintient), **l'alerte se comprend plus facilement, car elle est synonyme d'une action qui est déclenchée par un signal caractéristique : l'alarme**. Celui-ci est un signal univoque (ou un *stimulus*) qui doit déclencher des comportements pré-organisés et planifiés (Créton-Cazanave, 2010). Cela passe alors par une définition en amont de la situation dangereuse afin d'en tirer des indicateurs qui, une fois consolidés, deviennent des seuils pour la déclencher. Le signal associé à une alarme n'est toutefois pas discutable : **aucune place ne doit être laissée à l'évaluation de la situation**. Dès lors, "alors que l'alerte stimule et impose l'interprétation, l'alarme la clôture" (Créton-Cazanave, 2010).

Application dans le domaine hydrométéorologique en France

Dans ce domaine, l'alerte traduit la survenue indéfectible d'un aléa (= crue) qui aura des effets dommageables sur la société (= inondation). Une fois qu'elle est donnée, l'alerte doit se traduire par une conscience effective du risque en cours et par une réaction appropriée. Compte tenu de la gravité des situations qu'elle annonce, cette tâche incombe uniquement aux Etats et aux services de sécurité civile. En France, dans une approche régaliennne et très jacobine (Vinet, 2010), c'est l'État qui contrôle, administre et effectue l'alerte aux inondations (crues dommageables), en s'appuyant sur des services spécialisés. C'est aussi l'État qui est en charge d'en diffuser l'information jusqu'à la population. Certains dispositifs existent parfois de manière "alternative", mais à des échelles locales et en réponse à des enjeux territoriaux spécifiques. Ce terme d'alerte étant au cœur de cette recherche, les dispositifs existants ou en cours doivent alors être détaillés avec soin dans les sections suivantes.

2.2. Le Réseau National d'Alerte (RNA) : contraintes et limites

Créé à partir des années 1940 et mis en place à l'échelle nationale en 1952, le réseau national d'alerte (initialement conçu pour alerter d'une menace aérienne) est aujourd'hui essentiellement mis en place pour faire face à la survenue des risques et pour mobiliser les secours bénévoles (lors d'incidents majeurs type accident routier grave), et testé le premier mercredi de chaque mois. Les messages diffusés doivent rappeler à quel incident ils se réfèrent et être liés à une information complémentaire, notamment la phase de retour à la normale. En vue de préserver une équité dans l'information diffusée sur les comportements attendus, l'information des autorités immédiatement concernées par la survenue d'un événement grave peut se faire parallèlement à celle de la population. Cette information doit alors être transférée aux autorités supérieures : ministre de tutelle, état-major interministériel, etc.

2.2.1. Une action très encadrée par les services

De l'origine à la formulation de l'alerte

En France, la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC), rattachée au Ministère de l'Intérieur, définit l'alerte (et plus précisément l'alerte vers les populations à l'échelle locale) comme étant : " la diffusion par les autorités et en phase d'urgence d'un signal destiné à avertir des individus d'un danger imminent ou en train de produire ses effets" (DGSCGC, 2013). Le danger englobe donc tout événement pouvant porter atteinte à l'intégrité physique des individus et face auquel il est nécessaire d'adopter un comportement de type réflexe. L'alerte est réservée aux événements graves pour être reconnus des populations et susciter des comportements attendus ; elle est déclenchée pour un événement imminent ou en cours de réalisation afin de préserver un caractère mobilisateur sur les populations et est véhiculée par un signal dit d'alerte (DGSCGC, 2013).

Selon le 5^e alinéa de l'article L.2212-2 du Code général des collectivités territoriales, le maire est l'autorité de droit commun chargé, par application de ses pouvoirs de police, de prendre la décision de déclencher l'alerte. Son champ d'intervention est précisé par la jurisprudence du Conseil d'État. Le maire prépare les situations susceptibles de se présenter sur le territoire dont il a la responsabilité, et il doit aussi enclencher le dispositif d'alerte et d'information des populations si la situation l'impose. Les dispositions relatives à la diffusion de l'alerte et aux consignes de sécurité sont souvent rassemblées dans le Plan Communal de Sauvegarde (Douvinet *et al.*, 2013 ; Blanc, 2015). Le préfet est à l'origine de l'alerte ou ordonnera sa diffusion dans différents cas - lorsque l'événement couvre plusieurs communes (appartenant au même département) ou lorsque les opérations de secours aux échelles locales se retrouvent dépassées par exemple. 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 public est dans ce cas conférée par le gouvernement à un commandant militaire), « le préfet est chargé de la préparation et de la réalisation de la défense civile contre le danger d'attaque aérienne avec le concours des maires, dans les conditions prévues par le code général des collectivités territoriales ».

Dans la vision des services de l'État, une fois l'alerte déclenchée, les habitants doivent adopter un comportement de mise en sécurité, et un réflexe type de sauvegarde : évacuer ou se réfugier dans un bâtiment (DGSCGC, 2013). Par principe, tout déclenchement de l'alerte doit être suivi d'une information sur les consignes à suivre et sur la nature de l'événement, jusqu'à la fin de la situation de péril. En cas de menace précise et soudaine, d'une situation critique, l'émotion, inquiétude ressentie en présence de cette menace servent à avertir d'un danger imminent à travers des appels à se tenir sur ses gardes. Elle peut également s'interpréter comme une notification qu'un moment dangereux est imminent ou a été effectivement déclaré. Elle indique alors que des mesures doivent être prises immédiatement en vue de protéger les vies et les biens. (Oxford Dictionary of Weather, 2008). La DGSCGC (Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises) distingue d'ailleurs la décision liée au déclenchement de l'alerte (autorités investies pour la diffusion de l'alerte, la préparation du message et l'identification du moment de la diffusion) de la décision réellement effective de cette alerte.

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 lesquels la compétence de l'alerte relève du préfet de police (surtout concernant Paris). Au niveau national, ce sont le Premier ministre, le Ministre de la Défense et le Ministre de l'Intérieur qui disposent de la possibilité du déclenchement de mesures d'alerte, cela pour des zones géographiques importantes (titre III de la constitution et articles L.1142-1 et L.1142-2 du code de la défense). En supplément à tout ceci, deux cas particuliers sont à relever. Une alerte peut être déclenchée sur un site soumis à un PPI, Plan Particulier d'Intervention, compte tenu du fait qu'ils présentent des risques de nature particulière pour les populations environnantes, et par le Commandant des Opérations de Secours (COS), à une échelle inter-régionale. Dans le premier cas¹³, 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 alors pour le compte de l'autorité de police. Dans le second cas¹⁴, le COS ne déclenchera une alerte qu'en cas de péril imminent ou lorsque l'autorité de police ne peut être mobilisée dans les brefs délais requis.

Les textes de loi légifèrent également la forme des messages, en tenant compte de leur portée psychologique et de leur dimension sociale. Une alerte peut ainsi prendre la forme d'un « signal » (format court¹⁵), « message essentiel » (format intermédiaire) ou « message détaillé » (grand format¹⁶). Pour les deux derniers types, on s'arrange à ce qu'ils puissent respecter à la fois les six contraintes suivantes : attirer l'attention, localiser les destinataires, nommer l'événement, caractériser le danger, prescrire le comportement de sauvegarde et renvoyer vers un moyen d'information. La réaction des populations suite à une alerte étant fonction de la crédibilité qu'elles lui accordent, tous ces aspects sont définis avec une grande attention. La mention « ALERTE ORSEC » constitue d'ailleurs la signature privilégiée des alertes officielles. Les messages sont rédigés de telle sorte qu'ils soient interprétés sans équivoque et qu'ils ne laissent aucun doute quant à la situation immédiate de péril. À ce titre, un accent particulier est mis sur la matérialisation des messages en leur donnant soit une voix, une couleur (identité auditive ou visuelle) et un signal sonore caractéristique (signal national d'alerte).

De la formulation à la diffusion de l'alerte vers les populations

Différentes structures sont impliquées dans la diffusion même de l'alerte vers les populations. Il s'agit essentiellement des services publics comme privés de radio et de télévision et de structures partenaires (ayant manifesté un intérêt dans la diffusion de l'alerte sur les vecteurs leur appartenant : écrans présents dans des lieux publics, médias web, réseaux sociaux). Concernant les vecteurs (alerte et information), ces derniers avant d'être retenus sont évalués selon cinq critères : capacité à alerter les populations, capacité à informer les populations, qualité et performance du vecteur de diffusion du message, capacité à ajuster la cible des messages, capacité à toucher les populations en différents lieux comme l'illustre le graphique suivant (**Fig.2.11**).

Pour tous ces vecteurs, le cadre réglementaire prévoit qu'ils assurent (après authentification et sans délai ni modification, de façon aussi répétitive que de besoin) la diffusion de consignes de sécurité¹⁷. Une fois le contenu du message réalisé puis le vecteur d'alerte ou du message défini, il est question de déterminer en localisant avec le maximum de précision possible, les populations qui seront concernées par l'alerte. Il s'agit de cartographier la zone de compétence de l'autorité responsable du déclenchement et de faire également un point sur la zone de couverture des moyens d'alertes disponibles. On parle ainsi de zone d'alerte et d'information et de bassin d'alerte (regroupement de plusieurs zones d'alerte). **La procédure pour déterminer ces zones se subdivise en cinq étapes** : identification de la zone d'effet de l'événement sources du danger, caractérisation du danger avec une mise en évidence des enjeux associés, identifiant du maire ou du préfet responsable de la zone

¹³ Article 5 du décret de n° 2005-1158 du 13 septembre 2005.

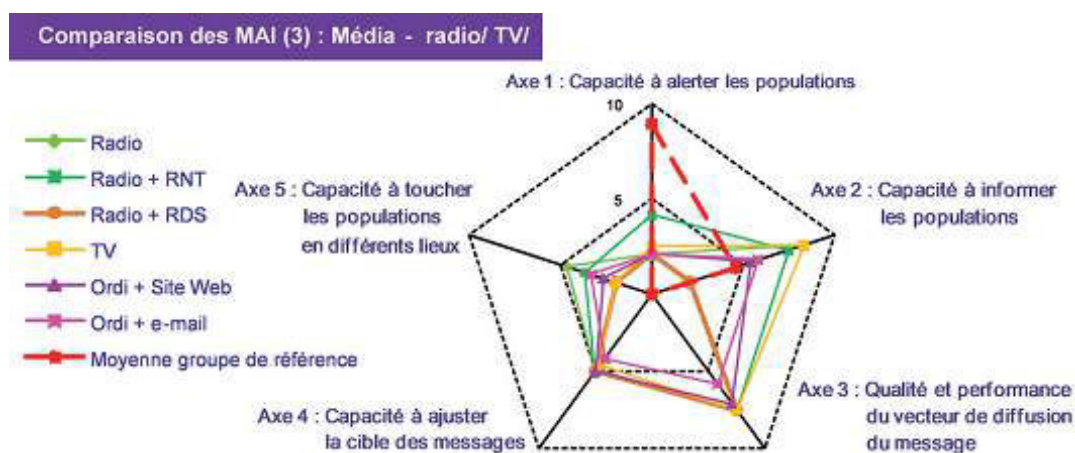
¹⁴ Article L.1424-4 du code général des collectivités territoriales.

¹⁵ Exemple : « **ALERTE ORSEC ECOUTEZ RADIO 107.7FM** »,

¹⁶ Exemple : *Alerte ORSEC : ce message vous concerne si vous trouvez sur la commune de..... Incendie dans un bâtiment.... Un risque d'explosion est identifié à XXX. Veuillez rejoindre le bâtiment le plus proche. Pour plus d'information, écoutez RADIO... sur... FM* ».

¹⁷ Article 7 du décret n° 2005-1269 du 12 octobre 2005 relatif au code national d'alerte et aux obligations des services de radio et de télévision.

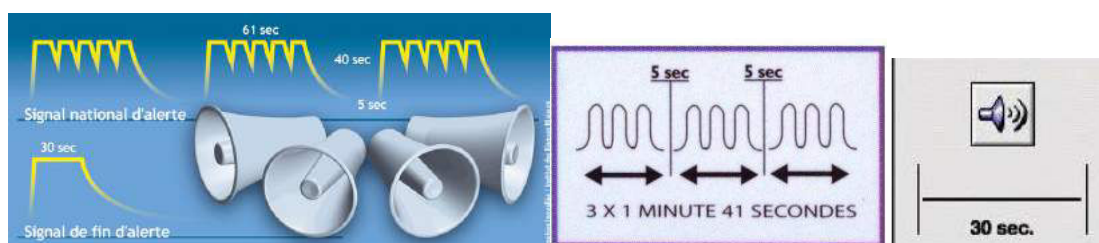
concernée (non obligatoire), analyse de la zone de couverture des moyens d'alertes disponibles en incluant si possible des zones blanches (dépourvues au départ de moyens d'alerte) et enfin croisement des zones d'alerte d'information avec les zones d'effet.



Source : Guide ORSEC (2013)

Figure 2.11 : Comparatif des méthodes d'alerte et d'information.

Quant au signal national d'alerte, il s'agit d'un son émis par des sirènes appartenant au réseau national de l'alerte (environ 4 500). C'est un signal unique défini et décrit par le code de l'alerte en son arrêté du 23 mars 2007. Ce son modulé ascendant puis descendant d'une minute quarante et une seconde (1 mn 41 s) séparée par un silence de cinq secondes, permet d'attirer rapidement l'attention de la population de jour tout comme de nuit, en cas de danger immédiat afin qu'elle prenne les mesures de sauvegarde appropriées.



Source : <http://www.iffa-rme.fr/content/le-signal-national-dalerte-0> (2015)

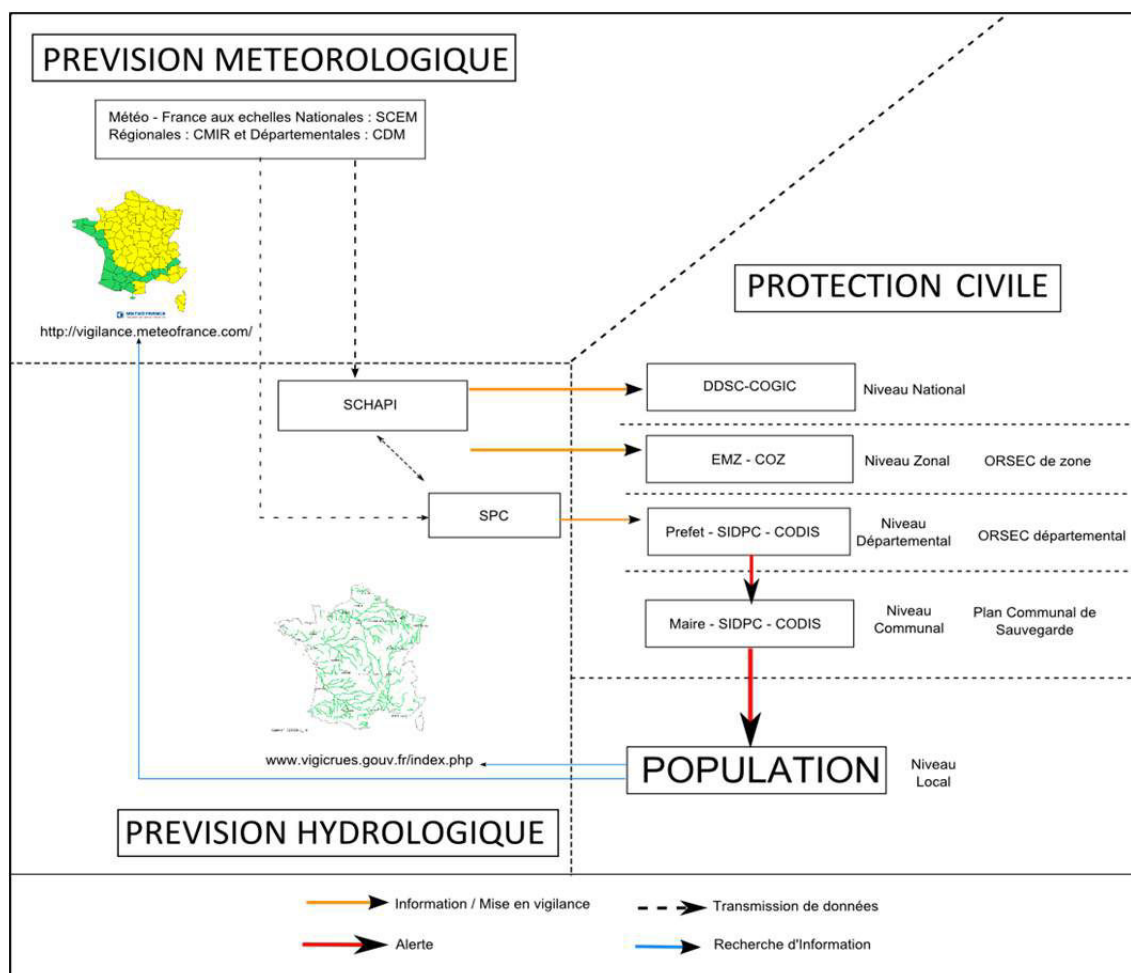
Figure 2.12 : Représentations du signal national de début et de fin d'alerte.

2.2.2. Un "spaghetti" administratif qui complexifie les prises de décision

Un dispositif qui fait interagir de très nombreux acteurs

La conclusion du rapport n° 14-034/14-015/02 du Ministère de l'intérieur (MI, 2015) relatif à la mission d'expertise mandatée suite aux crues de décembre 2013 à février 2014 en Bretagne (rapport définitif après une phase contradictoire) fait explicitement mention des difficultés que cause le millefeuille administratif français sur la question des inondations en France, malgré la bonne volonté des acteurs. « Si les mesures actuellement envisagées vont dans le bon sens, il n'est pas certain que le « millefeuille administratif, sur lequel l'Etat n'a guère de prise, ne vienne pas faire obstacle à leur mise en œuvre concrète et ce malgré l'engagement du préfet de la Région Bretagne et du préfet de la Loire-Atlantique ». Entre l'échelon gouvernemental et l'échelle communale, plus d'une cinquantaine d'intervenants sont recensés, ce qui peut causer des redondances dans la transmission et la validation des informations depuis la prévention jusqu'à la gestion de crise et de l'après crise (**Fig. 2.13**). Le Ministère de l'intérieur, le MEDDE (environnement), la MAAF (agriculture), le Ministère de la Santé, le Ministère de l'Éducation, le Ministère de l'Économie et des Finances et leurs directions et services

spécialisés respectifs (entre trois et cinq) constituent une longue chaîne d'actions et décisions. C'est un vrai « spaghetti » administratif dans lequel la population a de la difficulté à se retrouver (pour ne pas reprendre le terme de "millefeuille" parfois utilisé pour parler du découpage administratif (MI, 2009 ; MEDEF PACA, 2014 ; Loi n° 2010-1563 du 16 décembre 2010 de réforme des collectivités territoriales). Afin d'illustrer ce propos, lorsque l'on passe de la vigilance à l'alerte, le SCHAPI transmet son bulletin de prévision hydrologique à la fois à la Cellule Gestion de crise de la Direction générale de la sécurité civile et au préfet de département, lui-même recevant des instructions de cette même direction par l'intermédiaire du préfet de zone (de défense et de sécurité) ou du préfet de bassin hydrologique.



Source : Kouadio (2014)

Figure 2.13 : Schéma de synthèse de la vigilance et de l'alerte pluie-inondation.

Cela contribue à un manque de visibilité et à une certaine incohérence dans l'interprétation et l'application des messages transmis, mais aussi à une difficile définition des responsabilités en cas de bilan ou d'actions à entreprendre. À ce sujet, Vinet (2007) donne l'exemple des enquêtes effectuées après les crues de l'Aude en 1999 dans les communes qui connurent des problèmes de gestion de crise (notamment à Cuxac d'Aude). Celles-ci ont mis en évidence le dialogue de sourds entre les autorités (mairies et préfetures). Les unes déplorent ne pas avoir pas été prévenues et avoir dû se débrouiller « toutes seules », les autres arguant que la procédure d'alerte avait été respectée. En outre, alors que la chaîne d'alerte était réputée fiable (car existante depuis plusieurs décennies), elle a, au fil des années, été engluée dans un « procédurisme » technique, peu ou inégalement inefficace dans la mesure où certaines communes ont été alertées et d'autres pas, ce qui ne manquait pas d'augmenter la rancœur des « petites » communes (Vinet, 2007).

La juxtaposition d'acteurs a aussi des incidences techniques. Le même rapport (n° 14-034/14-015/02) remet en question le nombre, l'utilité et la cohérence de certaines sources d'informations mises à la disposition des SPC : trois sites extranets et un « Bulletin de Précipitations » édité suivant un format différent du modèle national ; un seuil pour « Avertissement Précipitations » peu pertinent (par exemple trop bas pour la rivière de Morlaix). À cela s'ajoute l'hétérogénéité des réseaux hydrométriques, avec parfois des réseaux de mesures juxtaposés : l'un relève de la DIREN (Direction régionale de l'environnement), les autres des Services d'annonce de Crue (SPC) relevant des DDE (Direction départementale de l'équipement) ou des DDAF (Direction départementale de l'agriculture et de la forêt), souvent situés à quelques centaines de mètres des premiers (Vinet, 2007).

Des responsabilités illisibles pour le justiciable

La protection de la population est à la charge du gouvernement et du maire (LOI n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile) en France. En tant qu'autorité de droit commun le maire est alors chargé, par l'application de ses pouvoirs de police, de déclencher l'alerte face aux crues sur le territoire dont il a la responsabilité (article L-2212-2 du Code Général des Collectivités Territoriales ; Douvinet et Denolle, 2010). Par prolongement, l'alerte relève aussi de la sécurité civile et des services spécialisés du Ministère de l'Intérieur ou de ses représentants (Préfets, maires et SDIS), alors même que la vigilance dépend des Services en charge de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et ceux spécialisés de Météo-France et le SCHAPI. Si les services fournissent une information objective et critique sur l'aléa (en amont), les responsables de la gestion de crise (le préfet et le maire) sont les seuls à pouvoir activer les secours en adéquation avec les plans d'urgence préalablement définis et à donner l'alerte (**Fig. 2.13**).

En cas de carence du maire ou lorsque l'aléa dépasse ses compétences territoriales, ou quand les capacités logistiques, techniques ou financières de la commune sont dépassées, c'est le préfet du département qui, tout en prenant en charge l'alerte (ou ordonnera au maire de la diffuser), prendra la direction des opérations de secours à travers l'activation du dispositif ORSEC. Plusieurs exemples mentionnés dans les retours d'expérience témoignent que cette procédure met parfois à rude épreuve les autorités et leurs services. Dans tous les cas, la population ne peut être alertée que par ces autorités. On comprend alors que des questions de responsabilité, de prise de décision, de recours à l'autorité compétente, d'usage ou même de remise en cause du pouvoir peuvent très vite se poser en cas de crise entraînant des incompréhensions (Circulaire interministérielle¹⁸ N° IOC/E/11/23223/C relative à la procédure de vigilance et d'alerte météorologiques et N° 2012-32 de la préfecture du Jura¹⁹).

Ce constat peut entraîner des conséquences parfois fatales. Une telle "défaillance" (si on peut la qualifier ainsi) a même été reconnue en décembre 2013 par le Premier ministre (M. Valls) à la suite du passage de la tempête Dirk en Bretagne : « *Il y a eu sans aucun doute une erreur d'appréciation* » ... « *Je vais demander aux préfets concernés, notamment au préfet de Région de tirer un certain nombre d'enseignements, faire un certain nombre d'évaluations (...) pour comprendre, pourquoi le niveau d'alerte (...) un cran au-dessus n'a pas été donné* ».

Le dispositif actuel paraît donc fortement technocratique (**Figures 2.13**). Il peut même paraître désuet et loin des nouvelles techniques d'information et/ou de communication. Peu de citoyens savent d'ailleurs associer le son des sirènes aux comportements à adopter en période de crise(s) (78% d'après une enquête²⁰ réalisée par le cabinet Ifop pour le MDDE en 2013). Ce constat s'explique aussi par l'absence d'exercices de simulation et par l'excès d'informations, ce qui amène le citoyen à placer le risque loin de ses préoccupations centrales. Si le nombre de jurisprudences est en augmentation sur les responsabilités en cas d'inondations meurtrières (plusieurs procédures sont en cours par exemple suite aux inondations du 3 octobre 2015 dans la région de Cannes), le système reste toujours peu clair pour la population et pour tous les acteurs, qui se renvoient à tour de rôle les responsabilités induites.

¹⁸ http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2011/10/cir_33875.pdf.

¹⁹ http://www.jura.gouv.fr/content/download/2472/16191/file/2012_032.pdf

²⁰ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Les_Francais_et_les_risques_naturels-2.pdf

2.2.3. Un dispositif qui a déjà montré ses limites par le passé

D'après l'AFPCN, le contrôle de l'État sur l'alerte avait pour objectif de lui donner la capacité d'organiser la gestion de crise au niveau du département, tout en suscitant un état de vigilance et de responsabilité chez les maires ainsi qu'une adaptation du comportement du citoyen. Sa mise en œuvre a été étudiée comme une chaîne séquentielle d'information, depuis l'opérateur jusqu'au citoyen, mais en passant par le Préfet puis le Maire. Toutefois, ces caractéristiques constituent la principale faille du système, ce dernier étant incapable de traiter des phénomènes localisés à caractère soudain, « *même si leurs conditions d'apparition ont été correctement anticipées, y compris dans des cas de vigilance jaune. Plusieurs événements l'ont montré. Si des améliorations de processus internes ont permis d'accroître la fiabilité générale, il n'en reste pas moins que ces événements ont eu des conséquences catastrophiques dues en partie à l'absence de suivi précis à l'échelle infra départementale dès lors que leurs conditions de déclenchement sont connues* » (AFPCN et IMDR, 2012).

Les inondations de mars 1930 dans le bassin du Tarn

En 1930, le téléphone, en plein essor, demeure un objet rare en campagne et l'annonce des crues se fonde sur des informations hydrométriques et pluviométriques, transmises principalement par télégraphe depuis les stations en amont aux stations de l'aval, à partir d'une certaine cote d'eau atteinte ou d'une quantité de pluie conséquente (Boudou, 2015).

Dans le haut-bassin du Tarn, la soudaineté de la crue, dans cette région caractérisée par un régime torrentiel des cours d'eau affluents de la Montagne Noire et des Cévennes, a conféré à l'alerte transmise aux communes riveraines du Thoré, de l'Arnette et de l'Agout, un caractère insuffisant car non déclenchée en temps utile. Dans le Tarn moyen et inférieur, l'annonce de la crue aux habitants a également souffert en général de lenteurs et de défaillances. À Lavaur par exemple alors que le lundi 3 mars à 10h30, les hauteurs d'eau atteignaient déjà 3m au-dessus du niveau de la crue de référence de 1975 dans certaines communes en amont : « *C'est le tocsin de la cathédrale qui a, vers 1 heure du matin, 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 ça et là par les rares points lumineux de lanternes* » (La Dépêche, 04/03/1930).

Selon (Boudou, 2015) quatre éléments caractérisent la défaillance de l'alerte à cette époque :

- *une temporalité et des habitudes riveraines rendant difficile l'alerte aux populations* (l'alerte n'a pas pu être transmise à certaines communes du fait du repos dominical),
- *une intensité exceptionnelle de l'évènement qui a mis en lumière la vulnérabilité des réseaux* : situés le long des cours d'eau, ils sont en grande partie voire totalement détruits par la montée des eaux, enlevant la possibilité d'alerter les populations vivant en aval,
- *une crue exceptionnelle difficilement prévisible et souvent sous-estimée* : pour les autorités parfois un zèle dans l'alerte et les dispositifs dans les secours, parfois une négligence ou lenteur volontaire en vue d'éviter d'affoler les populations, hésitant parfois à communiquer l'importance de la crue aux habitants. À Saint-Sulpice, c'est ainsi une crue banale qui est annoncée par les autorités malgré une hauteur d'eau sans précédent.
- *une négligence humaine pour les populations* : les riverains du Tarn, habitués aux caprices de la rivière, ne sont pas en mesure d'imaginer une telle catastrophe, avec un aléa d'une ampleur inconnue. Une grande partie des habitants assiste par ailleurs à la représentation du Cirque Hagenbeck en dépit de la montée des eaux et de l'annonce du danger. Ce n'est qu'à la fin du spectacle (aux alentours de 22 heures) que ces derniers découvrent la catastrophe et commencent à donner l'alerte aux populations restées à domicile (Boudou, 2015).

Les inondations de l'Aude en novembre 1999

Dans la nuit du 12 au 13 novembre 1999, il est tombé dans l'Aude jusqu'à 229 mm en 3h à Lézignan-Corbières (Ducrocq *et al.*, 2003). Vinet (2003) relève plusieurs insuffisances sur l'alerte relative à cet événement. Tout d'abord la transmission des messages d'alerte et leur interprétation par les autorités ont fait défaut. En effet, ce n'est qu'en fin d'après-midi (alors que des secteurs à Argelès, sur le littoral audois ou à Lézignan-Corbières sont déjà inondés) que l'information sur des pluies de

forte intensité arrive. Le communiqué de presse, trop tardif, ne sera pas repris par les journaux du soir. Une couverture limitée des messages a également été relevée. Il se trouve par exemple que le service d'annonce des crues du bassin du Tarn, installé à Montauban, a bien prévu l'arrivée de la crue du Tarn sur Montauban, mais le SAC n'était pas en mesure de suivre celle du Thoré. Par ailleurs, dans certaines communes, la population était déjà en état de vigilance avant même que lui parviennent les alertes officielles. Ainsi, sur le bassin versant de l'Orbieu, c'est un observateur de terrain qui va avertir le SAC, car il est surpris de ne pas avoir connaissance de la moindre alerte (alors que l'Orbieu venait de franchir la cote d'alerte à Lagrasse). On assiste alors à l'application inverse de la procédure officielle, car c'est le SAC (lui-même en vigilance depuis 13 h 20) qui va alerter la préfecture vers 17h. De même sur le Thoré à Labruguière, sur l'Orbieu à Lagrasse ou sur la Cesse à Agel et Bize : ce sont des observateurs *in situ* qui ont donné l'alerte. Selon Vinet (2013), c'est principalement la remontée des informations depuis les mairies, les gendarmeries ou les centres locaux de secours, où convergent les appels de sinistrés, qui a fait prendre conscience de la crise aux autorités.

Vinet (2013) relève, également des failles dans l'interprétation des alertes : plusieurs maires n'ont pas été alertés ou s'ils l'ont été, se sont parfois plaints de l'opacité des messages et du manque de suivi de leur hiérarchie dans l'information sur la crise. Les messages d'alerte sont livrés sans plus d'éléments d'appréciation sur la gravité du phénomène. Certains maires n'ont pas pu appréhender et prendre conscience de l'ampleur de la catastrophe à venir, et n'ont donc pas répercuté l'alerte auprès des populations. Cela a eu pour conséquence une alerte à deux vitesses : certaines communes ont pris des mesures rapides pour alerter leurs administrés : sirènes, porte-à-porte, haut-parleur, évacuation préventive, prévention des populations des écarts non protégés par les digues. D'autres n'ont rien fait en toute bonne foi, par crainte d'affoler la population pour rien. Ce fut le cas à Cuxac-d'Aude où le maire suit la montée des eaux sur l'échelle de crue, mais hésite à faire évacuer la population.

Ruissellement urbain et inondation du centre-ville de Marseille en septembre 2000

Suite à des cumuls compris entre 200 et 212 mm en 4h, cette crue a inondé le 19 septembre 2000 la ville de Marseille et ses environs suite au débordement de l'Huveaune (temps de réponse : une demi-heure). L'eau a dévalé les rues depuis les plateaux, situés entre 40 et 50 m d'altitude, jusqu'au Vieux-Port (DREAL PACA, 2011). À ce sujet A. Douguédroit (2008) relève un dysfonctionnement du système de pré-alerte de la part du Centre d'exploitation du réseau d'assainissement, ce qui entraîna une intervention post-événement des équipes de services et ce qui, selon elle, a pu contribuer à accroître l'ampleur des inondations et la désorganisation de la circulation en ville. Pour le Directeur du réseau d'assainissement de la ville, la situation était vite devenue exceptionnelle : « *D'habitude, nous sommes renseignés deux heures à l'avance* ». Or il ne s'agit pas d'un événement sans précédent (Deloffre et Frasse, 1978). En effet, d'après le rapport de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) publié sur son site E-Risk à propos des risques majeurs sur Aix-Marseille²¹ : « *Le risque d'inondation sur la commune de Marseille correspond aux crues torrentielles de la plupart des ruisseaux communaux, en particulier, l'Huveaune, le Jarret et le ruisseau des Aygalades, et au ruissellement urbain dû à l'imperméabilisation des sols de la commune. Le centre-ville est le principal secteur concerné. L'inondation majeure de l'Huveaune de 1978 et l'orage torrentiel du 19 septembre 2000 inondant une partie de la ville a montré la vulnérabilité d'un site urbain tel que Marseille* ». On est donc en droit de se demander pourquoi des mesures adéquates n'ont pas été prises depuis 1978.

Une multitude d'exemples qui rejoignent le même constat

Ces constats ont également été observés lors d'autres inondations passées : en septembre 1992 pour Vaison-la-Romaine et plusieurs autres communes (Benech *et al.*, 1993) (46 morts, et 460 millions d'euros de dommages) ; à Orange en 2002, également en septembre (24 morts et 680 millions de dommages) ; en 2005 encore en septembre, dans le Gard, principalement à Nîmes et à Montpellier (aucune victime, mais 17 millions d'euros de dommages (Dumas et Rajaonson, 2005) ; en juin 2010 dans le Var (23 morts et 700 millions de dommages) (MEEDD et MIOMCT, 2010 ; Martin, 2010) ; et plus récemment en janvier 2014 toujours dans le Var (3 morts, 260 exploitations agricoles sinistrées, 300 entreprises inondées, plus de 200 millions de dégâts) (Cerema, 2014). Face à ce constat, la

²¹ <https://erisk.ccr.fr/faces/erisk-evenement-detail.xhtml?i6event=001348>

nécessité d'une politique globale intégrée de gestion des risques impliquant la participation de toutes les parties concernées s'est vite imposée comme une solution à envisager.

Un retour d'expérience mené sur les crues du 18 et 19 juin 2013 dans les Pyrénées apporte un éclairage sur les difficultés qui peuvent subsister, surtout lorsqu'il s'agit de phénomènes tels que les crues rapides (DREAL Midi-Pyrénées, 2013). En effet, ces crues échappent très souvent au dispositif de vigilance mis en place, qui comme cela a été déjà mentionné plus haut, les prend à peine en compte. Elles laissent peu de temps aux autorités pour alerter à temps les populations en leur donnant des directives claires et judicieuses (PRITNAT, 2006), entraînant des conséquences parfois très dramatiques comme le montrent les crues du 12-13 juillet 2013 dans le Béarn ou le 18 et 19 janvier 2014 dans le Var (DREAL PACA, 2014 ; PRITNAT, 2006). Le procès-verbal de l'assemblée des maires du Vidourle en date du 7 octobre 1933 suite aux inondations du Vidourle, permet de se rendre compte d'une réalité qui n'est pas nouvelle :

« Considérant que les inondations de 1932 et celle de 1933, qui ont revêtu un caractère catastrophique, pourraient être fortement atténuées, si les populations avaient été alertées à temps »
« Considérant qu'il est inadmissible qu'un pareil manque d'organisation qui vient de coûter des pertes de vies humaines et des pertes matérielles de plus de trente millions puisse être toléré plus longtemps par ceux qui en sont les éternelles victimes. (...). La protection contre le retour de tels cataclysmes est une fin beaucoup plus importante. Devant la carence des pouvoirs publics, les sinistres groupés pourraient et devraient faire entendre une voix, courtoise sans doute, comme il sied dans une démocratie, mais ferme et résolue. Ils ne devraient pas, au surplus, se lasser de dire que le danger est de plus en plus redoutable et que de nouvelles ruines risquent à chaque instant, de s'ajouter à celles qui existent déjà. »

2.2.4. Pistes d'amélioration et évolution

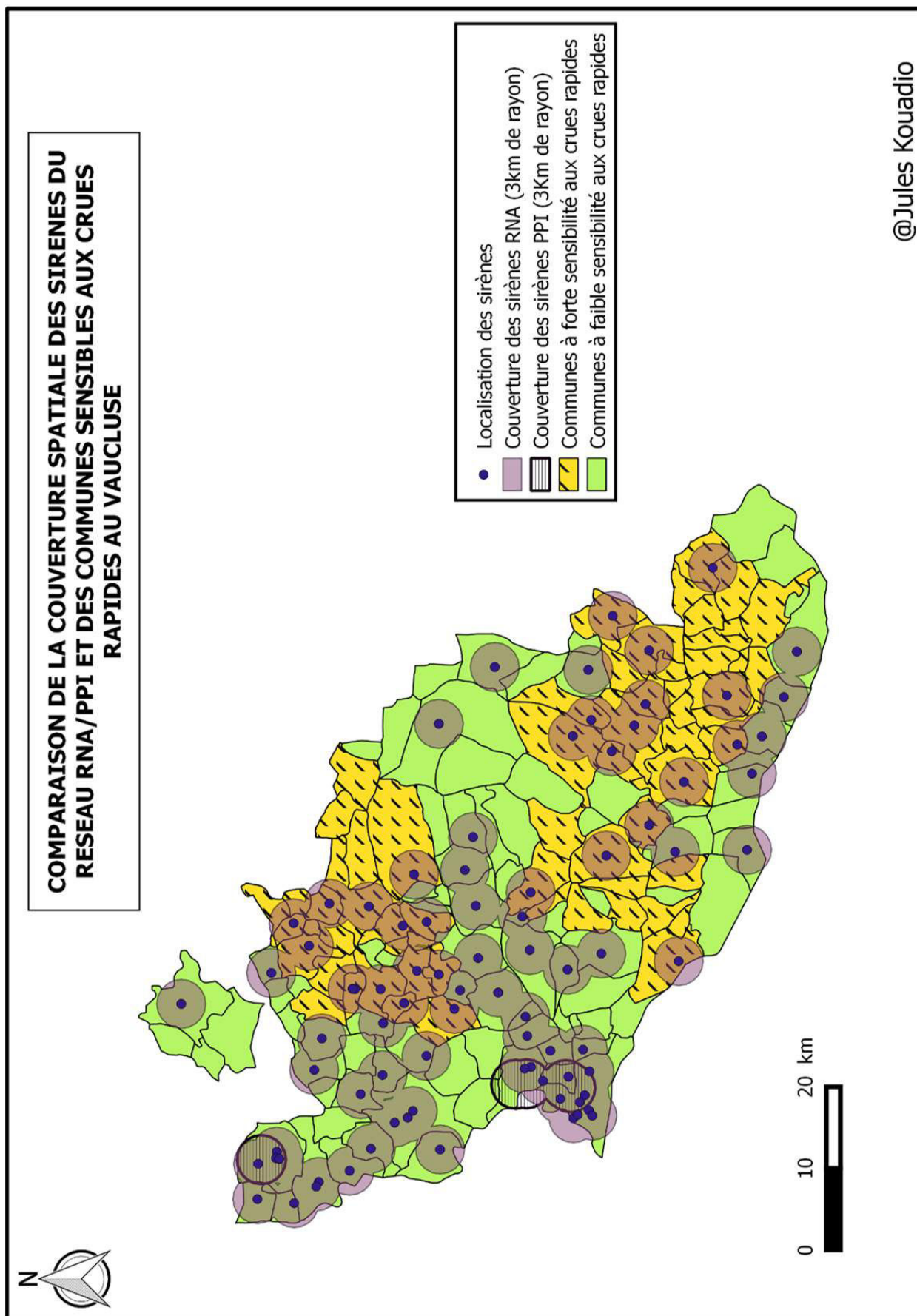
La réforme attendue du SAIP pour 2017

En 2015, l'État a travaillé à la mise en place du SAIP²² (Système d'Alerte et d'Information des Populations), qui a d'ailleurs abouti à la mise en œuvre d'une application du même nom le 8 juin 2016 (voir Chapitre 3). Au-delà de l'application, le SAIP a pour finalités de fédérer dans un réseau unique le RNA, les sirènes communales et les sirènes des Plans particuliers d'Intervention (PPI) et d'organiser l'alerte en suivant une logique de bassin de risque, donc de bassin d'alerte. Prévues pour être fonctionnelles durant l'année 2017, sa réalisation est urgente pour deux principales raisons :

- **L'obsolescence de l'actuel réseau national d'alerte** : l'activation de certaines sirènes est impossible par les autorités, car elles sont sur des sites privés. En effet, si les sirènes du RNA peuvent être utilisées pour relayer l'alerte en cas d'activation du Plan Particulier d'Intervention, l'inverse n'est pas vrai : une sirène PPI ne sera déclenchée que lorsqu'un événement sur le site duquel elle relève apparaît.
- **L'inégale couverture spatiale des moyens d'alerte au niveau communal**. En zoomant à l'échelle du département du Vaucluse, plus de la moitié (53%, 81 sur 151) des communes ne sont pas couvertes par le réseau des sirènes RNA en mars 2016. Cela peut s'expliquer par le manque d'entretien des anciennes sirènes quand un nouveau dispositif d'alerte a été acquis : avec une moyenne d'âge de 42 ans (81 ans pour la plus ancienne et 21 ans pour la plus jeune), les sirènes référencées sur le Vaucluse ne sont plus fabriquées pour la plupart d'entre elles. Les entreprises qui les ont fabriquées n'existent plus ou ont changé de nom. Il est ainsi difficile de retrouver les caractéristiques techniques de ces appareils en vue d'en comprendre le fonctionnement ou d'en assurer l'entretien.

La couverture spatiale théorique des sirènes (définie avec un rayon de 3km) est d'ailleurs bien plus forte sur les communes situées à proximité du Rhône et ses principaux affluents (les grands cours d'eau) alors que les communes sensibles aux aléas crues rapides (identifiées dans la partie I) ne sont couvertes qu'à 48% (en jaune et sans cercle grisé dessus).

²² http://www.irma-grenoble.com/05documentation/04dossiers_articles.php?id_DTart=125&id_DT=13



Source : Kouadio (2016) d'après données du SIDPC Vaucluse

Figure 2.14 : Comparaison de la couverture spatiale des sirènes du réseau RNA/PPI et des communes sensibles aux crues rapides au Vaucluse

Alors que certaines communes semblent « suréquipées » en sirènes (12 sirènes RNA et 4 PPI dans le secteur d'Avignon et ses communes voisines), d'autres se retrouvent « sourdes » pour ne pas dire « isolées » : bien qu'entourées de communes dotées de sirènes, elles ne peuvent pas être touchées par les signaux (à l'exemple de Buoux, Sivergues, Cabrières d'Avignon). Le nombre et la nature des équipements et la localisation des dispositifs d'alerte sont supposés être fonction de la nature et de la localisation des risques auxquels la commune est confrontée. Aussi, on peut ici se demander pourquoi toutes les communes ne sont pas dotées de manière équitable du même système ?

Les systèmes d'alerte massive

En plus des dispositions officiellement reconnues, certaines communes ont décidé de renforcer leur système d'alerte, en faisant appel à des entreprises privées spécialisées dans les systèmes d'appel et d'envoi de messages en masse. Les solutions proposées peuvent être multiples. Certains systèmes sont externalisés : dans ce cas, le site internet de la société sert d'interface en vue d'accéder aux outils permettant de déclencher et de gérer l'alerte à partir d'un serveur et du réseau de télécommunication de l'entreprise. D'autres communes ont opté pour une solution hybride : certaines entreprises proposent l'appliquatif sur lequel la mairie fera fonctionner son serveur ainsi que son réseau téléphonique. C'est par exemple le cas pour les communes d'Avignon et de Piolenc. La première s'est dotée du système ANTIBIA qui comprend une salle de réception des urgences et un serveur d'alerte. Ce dernier permet la transmission d'une alerte à une population volontairement recensée. Mis en fonction à partir de la caserne des sapeurs-pompiers d'Avignon, sur proposition de la cellule des mesures d'urgence et après accord du maire ou de son représentant, cet outil est connecté à 32 lignes téléphoniques. Il permet ainsi d'alerter près de 650 foyers par heure. De son côté, Piolenc utilise le système d'alerte Viappel! de la Communauté de communes Aygues-Ouvèze en Provence (CCAOP) ou un EMDA (Ensemble Mobile de Diffusion de l'Alerte) lorsqu'il s'agit de diffuser un message d'alerte sur toute la commune ou sur une zone concernée.

Selon la nature et l'emprise spatiale du danger, les autorités ont le choix entre des moyens de diffusion ciblée et des systèmes à diffusion massive, c'est-à-dire qui vont toucher toutes les catégories de population de manière indifférenciée (**Tableau 2.2**). Dans un grand nombre de communes, on retrouve les Ensembles Mobiles d'Alerte (EMA ou mégaphones) ou les *toocsins*. Le premier présente plusieurs atouts : être peu onéreux, être adapté à des aléas aux effets circonscrits dans l'espace, être opérationnel pour alerter et informer les populations en parallèle. Cependant, des limites existent : une couverture réduite à cause de l'isolation croissante des habitations (difficulté à percevoir les sons de l'intérieur), un périmètre de diffusion restreint, et la nécessaire définition en amont des canaux de diffusion. Quant au second (le *toocsin*), c'est un dispositif d'alerte massive, mais compte tenu du fait qu'il ne peut servir à l'information, il présente l'inconvénient d'être très mal interprété par la population et il nécessite un important travail d'information préventive en amont²³.

Compte tenu de l'interdépendance de l'ensemble des réseaux (communication, assainissement, routier, approvisionnement, évacuation, électricité...), les dispositifs de masse ont souvent démontré leurs limites lors d'événements majeurs tels que les inondations, les séismes ou les tsunamis (FFSA /GEMA, 2011 ; Rouzeau *et al.*, 2010 ; CETE et CERTU, 2005 ; Vinet, 2008), renforçant ainsi la nécessité d'améliorer les systèmes de prévision.

²³ http://www.irma-renoble.com/PDF/05documentation/00dossiers/13alerte/Tableau_moyens_alerte.pdf

Désignation	Médias supportés	Lignes téléphoniques utilisées, dédiées ou opérateur national	Accès au système (Internet, téléphone, en local)	Gestion de la base de données, importation automatique de la part du fournisseur, importation de fichiers, formulaire en ligne, déclaration à la CNIL...	Options : Cartographie, confirmation de l'appel, suivi des campagnes d'appels, appel en cascade...	Efficacité : nombre de personnes atteintes en une heure, temps nécessaire pour déclencher l'alerte (temps sur le site ou sur le logiciel)	Autres spécificités
Viappel ! de Cedralis	Téléphone (fixe et portable), sms, e-mail, fax, écran d'ordinateur, écran TV	Lignes opérateurs	Internet et téléphone	Importation automatique des données annuaires. Importation de bases de données existantes Excel ou autre (de la part de Cedralis). Création de formulaire en ligne. CNIL : Cedralis prépare le dossier, mais c'est la commune qui le remet	Cartographie avec SIG, confirmation par appui sur une touche, suivi en temps réel (pas sur la carte), appel en cascade	70 000 personnes/heure (si message de 30 secondes). Envoi entre 1 et quelques minutes (si campagne déjà programmée ou non)	
Medialert de Cogis Network automate d'appel local	Téléphone (fixe et portable), sms, e-mail, fax	Lignes de la mairie si automate d'appel local et lignes opérateurs si on passe par Cogis Network	En local (logiciel monoposte)	Importation possible des données annuaires. Importation de bases de données existantes Excel ou autre (de la part de Cogis). CNIL : aide proposée de la part de Cogis	Cartographie avec SIG, confirmation par appui sur une touche, suivi en temps réel (pas sur la carte), appel en cascade	15 000 personnes/heure (si on passe par les opérateurs) sinon en passant par les lignes de la mairie, on a 450 foyers contactés en 2 h 30 (si message de 30 secondes). Envoi en 5/10 minutes environ (si campagne déjà programmée ou non)	Choix du mode de diffusion : par la mairie ou par l'intermédiaire de Cogis (envoi en nombre). Personnel d'astreinte peut avoir un écran différent pour limiter ces capacités. Serveur Vocal Interactif : répondeur pour diffuser de l'information
AlarmTILT de M-PLIFY	Appel vocalisé sur Téléphone fixe et portable, sms, fax, e-mail, flux RSS, courrier postal, client mobile (iPhone...), systèmes tiers (téléphone satellite, pager, Panneaux à Messages Variables, radio) ...	Lignes opérateurs	Internet et téléphone	Gestion intégrale des annuaires et des contacts dans AlarmTILT. La mise à jour de l'annuaire se fait par encodage manuel, import fichier, par page de souscription directe au service, et par synchronisation avec la base de données du client. Création d'un formulaire en ligne aux couleurs de la Mairie	Module AlarmTILT de SIG évoluée avec les fonctionnalités étendues de Géo-Mapping, GéoTracing, Géo-codage, Géo-fencing	Possible entre 2400 et 84000 appels heures pour un message de 30 secondes. Moins de 10 secondes pour déclencher une alerte. Il est également possible de programmer un lancement en indiquant l'heure et la date de début de l'alerte ou de l'information	L'utilisation d'AlarmTILT est possible pour les services techniques et internes de la commune, de la protection civile... pour la gestion des astreintes, de la logistique des interventions et de l'accompagnement de l'alerte.
SIREN de Micromedia International	Téléphone (fixe et portable, appel vocalisé ou non), sms, e-mail, fax	Lignes de la mairie	Monoposte et téléphone (possibilité aussi par Internet, mais à voir avec la société)	Importation de bases de données existantes Excel ou autre. Création de formulaires en ligne (mais le site de la collectivité doit héberger le logiciel SIREN). CNIL : aux soins de la commune	Cartographie sans SIG (c'est la mairie qui positionne les habitants sur la carte), confirmation par appui sur une touche, suivi en temps réel (mais pas sur la carte), appel en cascade	Le logiciel se sert des lignes de la mairie donc efficacité limitée par le nombre de canaux de communication accessibles par le logiciel. Envoi entre une et quelques minutes (si campagne déjà programmée ou non)	
ANTIBIA	Téléphone (fixe et portable), sms, e-mail, fax	Lignes de la mairie	Internet et téléphone	Gestion intégrale des annuaires et des contacts		32 appels en 30 secondes, ce qui représente 700 foyers par heure.	

Source : IRMA (2011)

Tableau 2.2 : Comparatif de quelques systèmes d'alerte massive

Des systèmes d'avertissement en appui à l'alerte : le projet RHYTMME

La complexité du relief et les excès du climat méditerranéen rendent difficile l'anticipation des épisodes hydrométéorologiques intenses à la base des crues torrentielles (Meriaux et Westrelin, 2013). En effet, le réseau actuel de radars qui se compose essentiellement d'appareils, conçus pour fonctionner en zone de plaine avec portées de 120 km, ne voit pas correctement les précipitations en zone de montagne. Le réseau de pluviomètres au sol ne permet pas non plus d'apprécier la forte variabilité qui caractérise les précipitations dans ces régions, et de nombreux projets ont été menés sur ces aspects (Delrieu, 2006 ; Braud *et al.*, 2014).

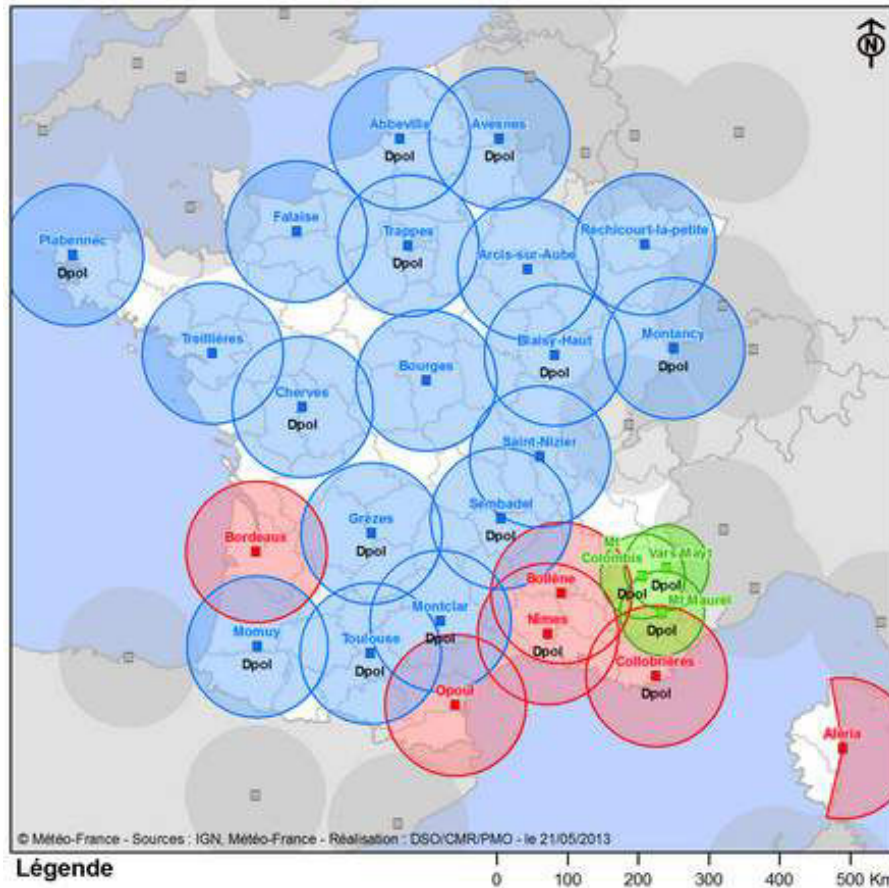
Suite aux inondations dramatiques de 2010 (53 victimes en Vendée le 28 février ; 27 décès en Dracénie le 15-16 juin), l'Etat a aussi engagé des réflexions sur l'alerte dans le cadre du PSR - Plan Submersions Rapides (DGPR, 2011). L'objectif du PSR est d'inciter les différents territoires à bâtir des projets de prévention pour garantir en priorité la sécurité des personnes, pour ces aléas, par une démarche pragmatique, partant de projets ponctuels, mais sur des zones cohérentes (bassins de risque). Dans le cadre de l'axe 2 du PSR, intitulé « Amélioration des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte », de nombreuses initiatives sont soutenues.

En phase expérimentale en 2015 et en cours de déploiement en 2016, le projet RHYTMME²⁴ (Risques Hydro-météorologiques en Territoires de Montagnes et MEditerranéens) est relatif à la détection et à la caractérisation des précipitations en montagnes à travers le déploiement d'un réseau de radars Doppler polarimétriques en bande X. Ces radars nouvelle génération fournissant des cumuls de précipitations toutes les 5 minutes, à l'échelle du km² et sur une portée de 60 km. Ils permettent de mieux mesurer les précipitations en montagne et ainsi anticiper les aléas naturels qui en découlent. Les radars viennent renforcer le réseau actuel de radars de bande C et D de Météo-France qui est associé au projet ARAMIS. L'objectif visé par ARAMIS était d'anticiper les crues sur les bassins non jaugés et d'avoir un support d'information pour une utilisation multidisciplinaire, et ainsi déceler les variations dangereuses des précipitations et des débits de nombreux cours d'eau. Développé par le CEMAGREF et Météo-France, ce système est basé sur le traitement des données pluviométriques (radar et réseaux de mesures) et une modélisation « pluie-débit » (Lavabre et Gregoris, 2005).

Actualisées chaque heure et diffusées sous une forme cartographique, les données fournies par les radars en bande X sont une aide à la décision fournissant une information spatialisée sur les risques associés à une situation donnée et observée en temps réel. Les données en temps réel sont surtout alimentées par des données fournies par Météo-France : estimations de pluies provenant des radars, estimation des lames d'eau en temps réel, calcul du déficit hydrique, évaluation de l'écoulement hydrologique, base de données régionales des principaux bassins (géologie, couverture végétale, urbanisation, climat local). L'identification des zones vulnérables se fait ensuite de manière corollaire avec les radars en bande X dans les territoires du sud-est de la France (**Fig. 2.15**).

L'expertise humaine et les données issues de diverses bases hydroclimatiques sont également prises en compte en vue d'obtenir une échelle de gravité des événements étudiés. Les débits calculés pour des points non jaugés sur le réseau fluvial sont comparés à des valeurs de référence statistiques, ce qui permet tout d'abord d'obtenir des cartes d'estimation du risque hydrologique avec des périodes de retour et une échelle de gravité en trois couleurs : jaune, orange et rouge pour respectivement les débits de crue jugés courants, rares et exceptionnels (Pellen, 2007). Le jaune pour une durée de retour située entre 2 et 10 ans, l'orange pour 10 à 50 ans et le rouge pour des durées supérieures à 50 ans. Selon Javelle *et al.* (2010) l'intérêt de la méthode est double : on dispose de cette anticipation des débits sur de très nombreux bassins (y compris les bassins non jaugés) et on tente d'anticiper la crue par conversion immédiate des précipitations observées (en temps réel) en débit (probable ou attendu à court terme), d'où un délai raccourci pour déclencher d'éventuelles actions.

²⁴ <https://rhytmme.irstea.fr/>



Source : Météo-France (2013)

Les cercles des radars en bande S (en rouge) et C (en bleu) ont un rayon de 100 km. Les cercles des radars en bande X (en vert) ont un rayon de 60 km. Dpol : double polarisation

Figure 2.15 : Le réseau de radars de Météo-France en métropole.

Les données statistiques sont issues des cartographies des quantiles de pluie et de débit de la méthode SHYREG (régionalisation de la méthode SHYPRE : Simulation d'HYdrogrammes pour la PREdétermination des crues). Cette dernière associe un générateur stochastique de pluies horaires à une modélisation de la pluie en débit pour simuler des scénarios de crue (Javelle *et al.* citant Cernesson et Lavabre, 1994, Arnaud et Lavabre, 2000). Cette association permet l'étude des aléas pluviométrique et hydrologique, grâce à la simulation d'un grand nombre de chroniques de pluies et débits de très longue durée qui permettent l'estimation des quantiles et qui fournissent de nombreuses formes d'hydrogrammes de projet (Fouchier, 2010).

2.3. Des dispositifs locaux autonomes : des outils peu valorisés ?

L'État s'engage depuis 2011 dans l'amélioration des dispositifs d'alerte aux échelles locales et face aux crues rapides, mais c'est une réponse "au coup par coup" qui fait suite à des événements dramatiques spécifiques. Certains élus / syndicats de bassins / communautés n'ont pas attendu ces initiatives pour développer leur propre système, souvent indépendant du RNA. Il est en effet logique, voire légitime, que certaines communes ayant subi d'importants dommages par le passé puissent mieux assurer la protection de la population face à des événements intenses futurs, sans attendre une attention spécifique ou particulière venant d'« en haut » (de la part de l'État).

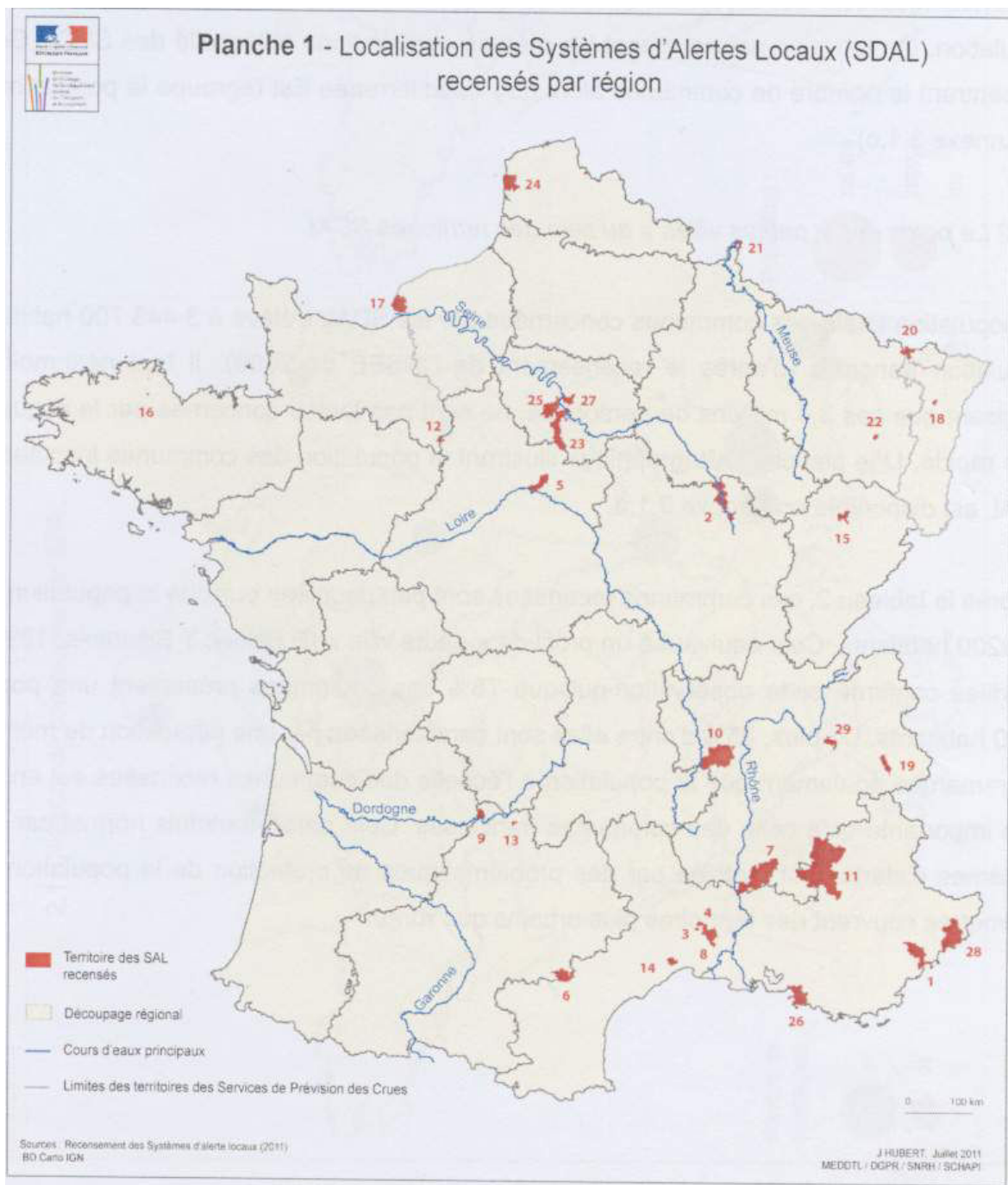
2.3.1. Les Services d'Alerte Locaux (SDAL)

Les SDAL sont des dispositifs d'avertissement (et d'alerte pour certains) implantés en dehors du réseau réglementaire. Ils tirent leur origine d'initiatives locales de communes, de communautés de communes ou d'agglomération, indépendamment des services spécialisés de l'état. Leur mise en place peut être motivée par des problématiques diverses, qui vont de l'urgence de protéger une population à une réaction immédiate suite à une crue dramatique. On trouve aussi des SDAL justifiés pour assurer une meilleure gestion des ressources en eau, ou du transfert de compétence de gestion d'ouvrage (de l'état vers les communes). Des logiques financières et politiques sous-tendent évidemment ces SDAL.

Dans le cadre du projet CSR (Crues Soudaines Ruissellement), lui-même inclus dans le PSR, le SCHAPI a entrepris en 2011 d'en effectuer régulièrement le recensement (Hubert, 2011). Il s'agit à travers cette démarche d'appuyer les collectivités et de coopérer avec celles dotées (ou souhaitant se doter) d'un dispositif spécifique d'avertissement. Cet appui est d'ordre méthodologique, technique (pour la conception et le fonctionnement des dispositifs, ainsi que le partage des données), mais aussi financier (pour rendre cohérents ces réseaux d'observation en cohérence avec ceux de l'État. En 2011, 65 SDAL ont été recensés à l'échelle de la France métropolitaine. Parmi eux, seuls 33 étaient à la fois correctement instrumentés et opérationnels. Les instruments sont généralement constitués de capteurs pluviométriques et hydrométriques, permettant l'obtention des hauteurs et des débits des cours d'eau affichés sur des courbes de tarage. Un SDAL est ensuite considéré comme opérationnel ou en voie de l'être à partir du moment où son réseau de stations de mesures a été mis en place et que les données sont transmises en temps réel vers les décideurs au-delà du franchissement de certains seuils. Les décideurs peuvent alors prendre les dispositions nécessaires à la gestion des événements qui suivront.

Sur les 33 instrumentés et opérationnels, 30 ont pu être évalués. Ces derniers couvraient 371 communes sur 13 régions et 27 départements, pour un linéaire total administré d'environ 15 000 km (par ordre de comparaison, on peut rappeler que le réseau surveillé par l'Etat est de 22 100 km en juin 2015). Cette première étude a également révélé que la région PACA (**Fig. 2.16**) était la mieux dotée, avec 8 SDAL, et mis en lumière le fait que 75% des communes couvertes ont une population de moins de 5 000 habitants. En termes de nombre de capteurs pluviométriques et hydrométriques, c'est le bassin parisien qui constitue la zone la plus pourvue, avec 100 stations sur un total de 375 dénombrées (248 hydrométriques et 127 pluviométriques). Concernant ces stations, un autre constat est tout aussi important à noter : bon nombre d'entre elles ne sont pas référencées dans la base de données nationale (BD HYDRO) et elles restent "isolées" dans la mesure où elles ne transfèrent pas leurs informations aux Services de Prévision des Crues auxquels elles devraient être rattachées. Elles sont entièrement gérées et administrées par les collectivités. En réalité, 17 initiatives locales complètement autonomes ont été mises en place pour s'affranchir d'une dépendance de l'État, qui peut parfois s'avérer pénalisante, comme les exemples évoqués précédemment l'ont, à de nombreuses reprises montré.

La localisation des SDAL est motivée par des enjeux de protection de la population (en effet, les périmètres couvrent des territoires plus urbains que ruraux) et ils sont plutôt récents (22 SDAL sont apparus à partir de 2001 et 6 d'entre eux ont émergé en 2010 et 2011). Deux systèmes sont perçus comme précurseurs, car mis en place avant 1990 : celui de la Communauté Urbaine de Nice Côte d'Azur en 1983 et celui de la ville de Marseille en 1985 (Hubert, 2011). Si la majorité des SDAL ont coûté moins de 300 000 €, 4 SDAL se démarquent nettement, car ils dépassent le million d'euros. Cette analyse traduit alors une hétérogénéité marquée de ces coûts, allant de 5 000 € (SDAL de la commune de Fons) à 1,5 M € (SDAL de la Communauté d'agglomération Havraise). Les analyses réalisées ont aussi montré que les SDAL ne dépendaient ni de l'importance de la population surveillée par système, ni du nombre de communes concernées. Ainsi, le SDAL du Syndicat Mixte du Bassin Versant du Lèz coûte 1,4 M € alors qu'il ne supervise que 44 500 habitants. Dans le même ordre d'idée, le SDAL de la ville de Nîmes coûte 1,35 M € alors que la commune de Nîmes est la seule à être comprise au sein du système. Pour finir sur ce point, on observe par ailleurs que les 15 systèmes initiés spécifiquement par un épisode de crue ont été réalisés très peu de temps après cet épisode. Seul le SDAL de la ville de Saint-Céré (Lot) a un comportement atypique : sa mise en place date de 12 ans alors que l'épisode de crue le plus ancien a été observé il y a près de 52 ans.



Source : Hubert (2011)
 Figure 2.16 : Localisation des SDAL.

2.3.2. Des réseaux d'alerte citoyens : l'exemple sur le bassin de Brévenne Turdine

Le SYndicat de rivières Brévenne-Turdine (SYRIBT) est un Établissement Public Intercommunal créé en 2006 qui a pour objectifs d'assurer trois missions :

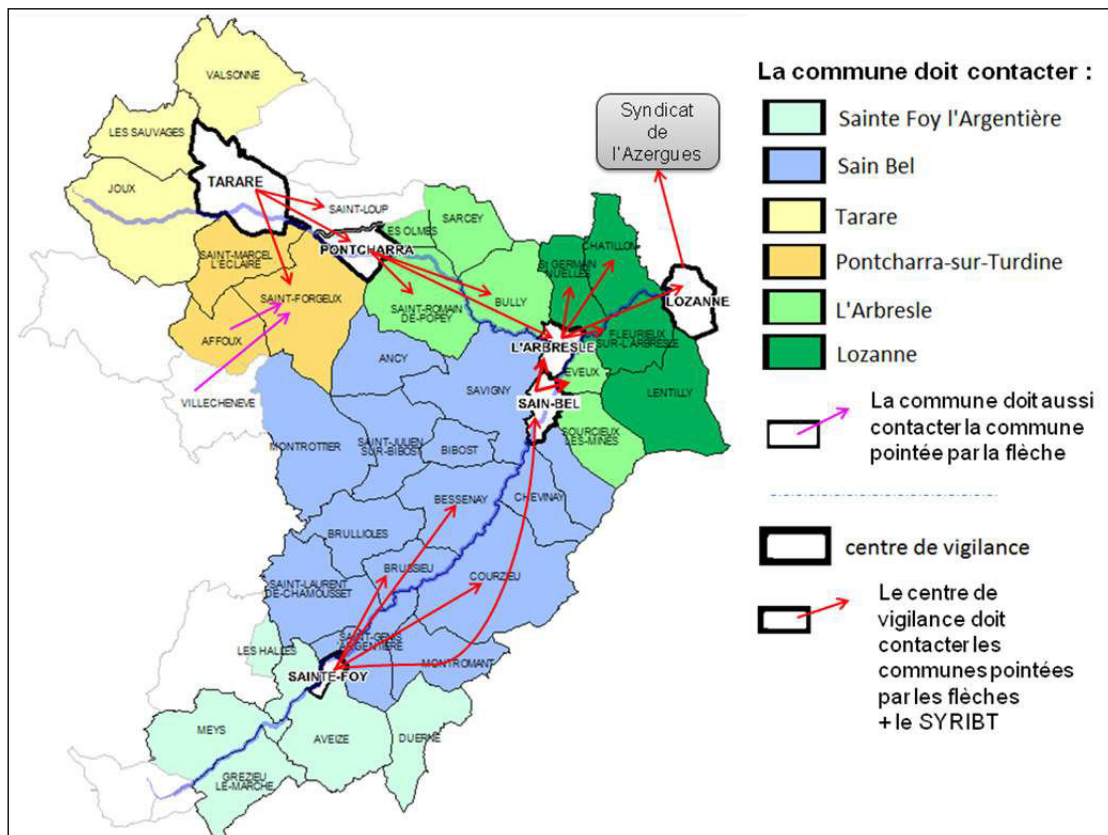
- réhabiliter, protéger et valoriser les milieux aquatiques relevant de sa responsabilité,
- veiller à la qualité des eaux,
- mieux informer et protéger les populations face aux risques naturels liés à l'eau.

Les rivières Brévenne et Turdine sont gérées par le SYRIBT, car elles ne font pas partie du réseau officiellement surveillé par le SCHAPI. Garant à ces titres du contrat de rivières et chargé de la mise en œuvre du PAPI (Programme d'Action de Prévention des Inondations), le SYRIBT regroupe 5 communautés de communes (Pays de l'Arbresle, Ouest Rhodanien, Chamousset-en-Lyonnais, Hauts du Lyonnais, Beaujolais Pierres Dorées) depuis 2008. Parmi les initiatives entreprises pour mener à bien ses missions, le SYRIBT a mis en place en 2011 un **réseau humain de sentinelles d'alerte**. Conscients d'une nécessaire solidarité entre l'amont et l'aval du bassin, des citoyens et des riverains volontaires surveillent la montée des eaux tout au long de l'année (avec une attention spécifique en cas de vigilance météorologique).



Source : SYRIBT (2013)

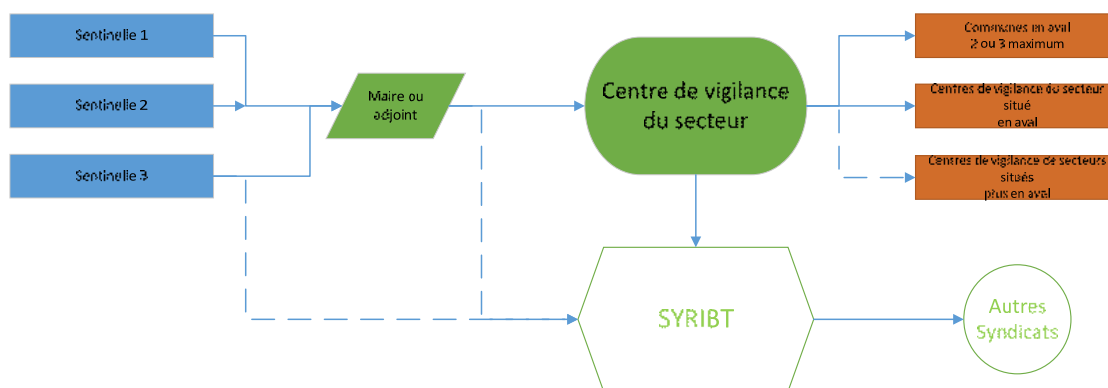
Figure 2.17 : Echelle limnimétrique utilisée par les sentinelles du SYRIBT.



Source : SYRIBT (2013)

Figure 2.18: Fonctionnement de la chaîne d'alerte des sentinelles du SYRIBT.

Mandatés et équipés pour relever le niveau des cours d'eau à l'aide d'échelles limnimétriques (explicitement marquées de « vigilance » et « alerte » au niveau de certaines valeurs), ils signalent à leurs élus référents que le seuil de vigilance ou d'alerte a été franchi (**Fig. 2.17**). Les riverains volontaires sont chargés de transmettre ce message dans les communes dites « centres de vigilance » situées en amont (**Fig. 2.18**).



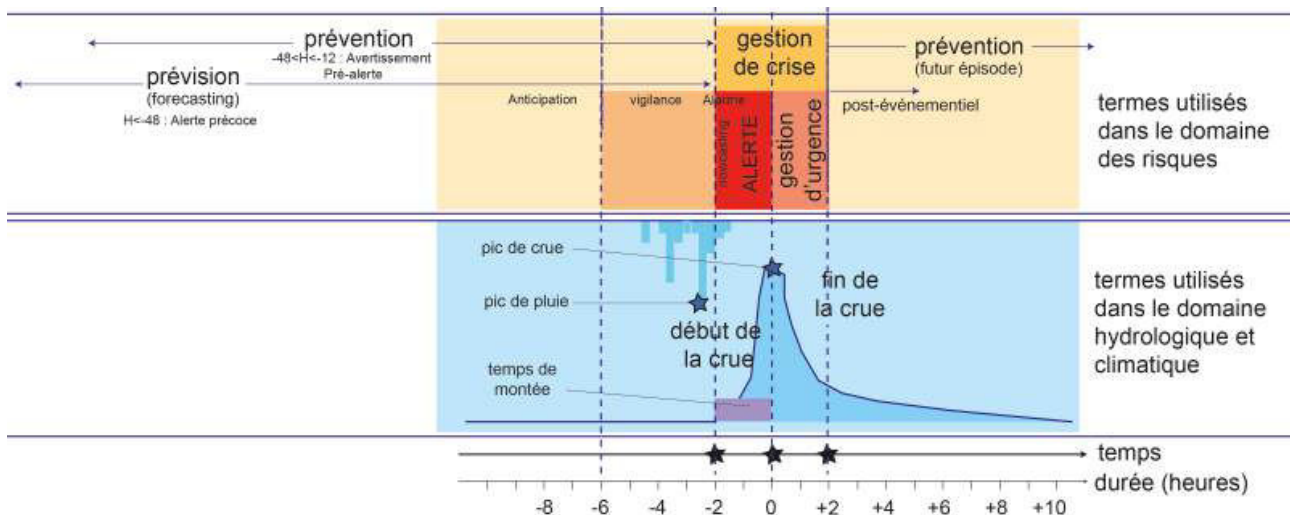
Source : Kouadio (2016)

Figure 2.19: Fonctionnement simplifié du dispositif « sentinelles ».

Elles centralisent l'information et la répercutent aux communes en aval de façon à ce qu'elles puissent prendre leurs responsabilités (alerte communale, mise en sécurité des biens et des personnes, activation ou non du PCS, etc.) (SYRIBT, 2013) (**Fig. 2.19**). À la différence des alertes issues de Météo-France (diffusées par anticipation) ou de la préfecture qui ont un caractère encore plus officiel, les alertes SYRIBT (sentinelles, réseau automatisé) qui prétendent refléter ce qui se passe réellement sur le terrain, n'ont aucune assise officielle. Un des objectifs clés de ce dispositif est de mobiliser un grand nombre de personnes en vue de les sensibiliser tout en les impliquant de manière active dans une stratégie globale face au risque inondation. Il s'agit par ce canal de contribuer à une culture et une conscience participative du risque chez les citoyens. Il s'agit également de disposer d'une base de données locale exploitable sur le fonctionnement des cours. Selon le SYRIBT le réseau de sentinelles constitue enfin un outil très important d'aide à la décision dans la mesure où les riverains volontaires s'engagent à remonter des informations de bonne qualité.

Conclusion du chapitre 2

Ce **chapitre 2** a permis d'étudier le fonctionnement et les contraintes des systèmes d'alerte mis en place pour faire face aux inondations à différentes échelles et d'avoir une meilleure connaissance de certaines initiatives qui ont été déployées aux échelles locales (**Fig. 2.17**). Il était également important de comprendre la complexité du processus (de l'identification de l'aléa au déclenchement de l'alerte). La multitude des responsabilités et le millefeuille administratif allongent les étapes devant aboutir à l'alerte, qui correspond toutefois à une temporalité courte (**Fig. 2.20**). Dans tous les cas, le code de l'alerte a pour objectif d'informer la population sur les caractéristiques de l'évènement, et vise aussi à lui fournir des consignes de comportement et/ou de mise en sécurité. Les canaux d'information ont évolué (tant quantitativement que qualitativement) depuis le début des années 1950 et pourtant, la procédure d'alerte est quasiment restée la même pour les acteurs concernés. Ainsi, ce sont le Premier ministre, les préfets ou les maires (qui devront ensuite immédiatement informer leur préfet), ainsi que les exploitants d'ouvrage (dans certaines conditions) qui sont habilités à la déclencher.



Source : Kouadio (2015)

Figure 2.20 : Schéma comparant la temporalité hydrologique des crues rapides avec celle de l'alerte.

L'alerte signifie une action qui part du haut (l'État) vers le bas (population). Certes, ce mode de communication « Top-down » permet un contrôle sur la nature, la provenance et l'exactitude de l'information véhiculée vers les populations, mais c'est à **sens unique** et les citoyens sont perçus comme des êtres normatifs et rationnels, ce qui est loin d'être la réalité. D'autres lacunes subsistent : les petits bassins versants (< 10 km²) sont dépourvus d'outils d'alerte sauf exception (les SDAL) ; le RNA n'est pas adapté aux contextes territoriaux ; le RNA est incapable de signaler des évènements localisés à caractère très soudain... Des travaux ont par ailleurs montré l'inefficacité des messages en cas de crise (Ruin *et al.*, 2007 ; Creton-Cazenave, 2008), la faible portée des dispositifs d'information préventive (Douvinet *et al.*, 2013) ou la faible appropriation des consignes de sécurité (Vinet, 2011 ; Salze *et al.*, 2014). C'est ce cadre qui justifie nos futurs choix méthodologiques.

Synthèse de la partie I

Cet état des lieux des connaissances actuelles sur les crues rapides, les dispositifs d'alerte et les smartphones a permis de dresser deux constats majeurs pour ces 2 entrées "thématiques".

>> Les écueils des dispositifs d'alerte actuels face aux crues rapides

Malgré divers progrès en cours, les dispositifs actuels ne permettent pas d'alerter, de manière efficace et prompte, lorsque des crues rapides se manifestent au sein de petits bassins versants dont les réactions hydrologiques sont courtes (< 1h, voire sur les autres bassins non couverts par *Vigicrues* et *VigiFlash*). Si la population a conscience que le risque inondation est présent à l'échelle nationale, elle n'est cependant pas suffisamment clairvoyante sur les risques existants aux échelles locales, au point d'ignorer, pour une grande part, ce qu'est une crue rapide et quels sont les moyens destinés à l'alerter en cas d'évènement majeur. Ce constat somme toute assez négatif semble lié à des limites immuables :

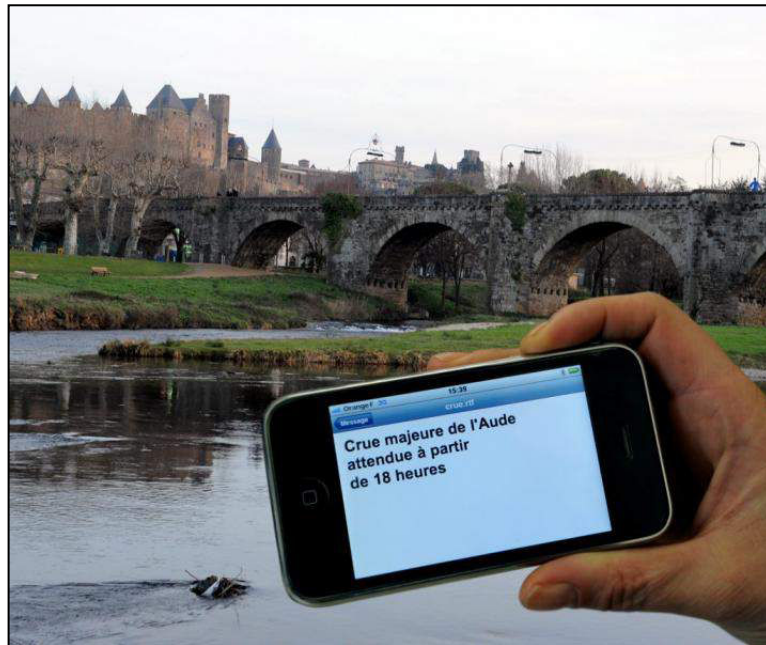
- des limites technologiques : l'état de l'actuel dans le domaine de la prévision des crues rapides en France ne permet pas d'anticiper toutes les crues rapides pouvant survenir sur l'ensemble des bassins sujets à ces phénomènes, notamment dans les bassins non jaugés ;
- des limites administratives : les lourdeurs propres à l'administration française permettent de garder le contrôle sur l'information et l'alerte transmises, mais c'est un handicap majeur, car cela ralentit la procédure de l'alerte en cas de crues rapides. Les responsabilités sont mal définies et complexes (elles interagissent et s'entremêlent) et sont donc sources de confusions et d'inefficacité en situations exceptionnelles ;
- de contraintes à la fois cognitives et perceptives : la population n'a pas connaissance des comportements à adopter en cas d'alerte et confond cette action avec la mise en vigilance, ce qui induit parfois des comportements inadaptés lorsque l'alerte est déclenchée (Creton-Cazenave, 2010 ; Boissier, 2013).

>> Des approches gratuites et participatives peu valorisées

Face à l'absence de couverture du réseau officiel de surveillance sur leur territoire, certaines communes ont décidé de prendre les choses en main en mettant en place leur propre dispositif, ce qui se traduit par l'existence de Systèmes d'Alerte Locaux (SDAL) ou de réseaux citoyens (sentinelles). La mise en place des SDAL reste pourtant coûteuse d'un point de vue organisationnel et financier. En effet si les communes ont la possibilité de bénéficier d'un appui technique de la part du SCHAPI (dans l'installation et la configuration de tels dispositifs), elles ne reçoivent aucun accompagnement direct de l'État en ce qui concerne leur acquisition, de même qu'en termes d'étude préalable au niveau des coûts, de leur efficacité et des retombées éventuelles directes et indirectes. Il faut donc se tourner vers des solutions gratuites, qui impliqueraient les citoyens au cœur des outils à mettre en place, et à ce titre le réseau sentinelles sur le bassin versant de Brévenne-Turdine est un bon exemple. Dans certaines communes, compte tenu de leur petite taille et des contraintes budgétaires, c'est le « bouche-à-oreille » et le porte-à-porte qui restent les canaux privilégiés. Par opposition, les grandes communes ont recours à des systèmes d'alerte massive, eu égard à l'importance de la population, mais les abonnements et les développements ont un coût non négligeable. Dans tous les cas, les outils numériques sont sollicités à un moment où à un autre lorsqu'il s'agit de toucher l'ensemble de la population, et c'est vers de telles solutions que ce travail poursuit alors sa réflexion.

Partie II

Orientations méthodologiques : Investir les outils numériques et les smartphones, une opportunité contextuelle ET scientifique



Source : www.ladepeche.fr

Une application smartphone indiquant un message d'alerte aux citoyens en cas de crues de l'Aude.

Introduction de la partie II	91
Chapitre 3 - L'émergence des outils numériques et les changements de pratiques générées dans le domaine du risque inondation	93
Chapitre 4 - Les applications smartphone en appui aux dispositifs d'alerte aux inondations en France : état des lieux, usages attendus et avis de la population	119
Synthèse de la partie II	149

Introduction de la partie II

Cette recherche s'oriente progressivement vers les outils numériques (de manière générale) et vers les technologies smartphones (en particulier), car ces solutions matérielles et logicielles pourraient être utilisées pour améliorer la transmission et la diffusion de l'alerte actuelle, et pour contribuer à mieux savoir où, quand et avec quelle ampleur les populations seraient en situation de danger en cas de crues rapides. Plusieurs raisons justifient cette orientation méthodologique. D'un côté, investir ces outils est une opportunité contextuelle (en France, plus de 24 millions de personnes en 2015 ont un smartphone ; MMA, 2015), mais également scientifique : ces outils bouleversent les pratiques, d'autant que les apports des outils numériques ne sont plus à montrer (Donnat, 2009 ; Rieffel, 2014). D'un autre côté, une profusion d'applications émanant quasiment toutes de structures privées est observée depuis 2013, notamment parce que les opérateurs des réseaux de télécommunication refusent d'appliquer les standards internationaux du *Cell BroadCast* (CBC). Des discussions avaient déjà été conduites avec le Ministère de l'Intérieur dès 2005, mais les projets ont été annulés suite à l'arrivée en 2009 d'un nouvel opérateur en France. Le CBC ne nécessite ni la 3G ni la 4G pour son déploiement, et il permettrait de diffuser massivement des SMS multilingues sur tous les téléphones, provenant de tous les pays et servis par tous les opérateurs, sur des zones ciblées en cas de crise.

La mise en place d'une alerte massive *via* des SMS viendrait compléter de nombreux besoins et plusieurs systèmes allant dans cette voie existent déjà dans divers pays (*Wireless Emergency Alerts*, *Emergency Alert System*, *Emergency Public Warning System*, *Flash Flood Guidance Systems* par exemple). En revanche, en France, même si certaines collectivités ont opté pour cette solution, il n'y a pas ce type de système à l'échelle nationale. En effet, les opérateurs attendent que ce soit la puissance publique qui prenne en charge le coût (élevé) lié à la mise aux normes de leurs antennes relais. Serait-ce alors une fuite de responsabilité de la part de l'État ou une résistance des opérateurs à adopter ce standard ? Sans pouvoir répondre à une telle question, un constat s'impose : plusieurs applications ont été développées depuis 2013 en France, et l'offre devient même foisonnante.

Cette partie II justifie alors les choix méthodologiques qui ont été opérés.

Le **chapitre 3** propose de discuter des enjeux et des opportunités associées à l'usage des outils numériques. Il s'agit notamment de mesurer les mutations territoriales induites par ces outils (tout en les relativisant) et d'insister sur les changements observés (en cours) entre pratiques ordinaires et des contributions volontaires à la géographie, en particulier dans le domaine des risques.

Le **chapitre 4** fait un état des lieux et une analyse comparative des applications existantes sous smartphones dédiées à l'alerte aux inondations en France. Tous ces développements sont intéressants au regard des usages attendus, mais certaines limites apparaissent aussi, car les systèmes ont été conçus dans une approche là encore "descendante" et sans réelle collaboration avec les citoyens, ce qui fera le lien évident avec le prototype développé dans la partie III.

Chapitre 3

L'émergence des outils numériques et les changements de pratiques dans le domaine du risque inondation



Source : Christophe Deleu pour shutterstock.com
Illustration de l'ère numérique

Introduction du chapitre 3	95
3.1. Une profusion de solutions, vecteur de multiples changements	95
3.2. Le numérique à l'origine de mutations territoriales paradoxales	98
3.3. Pourquoi s'orienter plus spécialement vers les smartphones ?	103
Conclusion du chapitre 3	117

Introduction du chapitre 3

Depuis la première révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, jusqu'à l'avènement de l'Internet des objets à partir des années 2000, les pratiques et les rapports à la technologie n'ont jamais autant relevé du domaine numérique (Goodchild, 2007). La naissance de l'informatique dans les années 50 est en fait la pièce maîtresse à l'origine de ce changement de paradigme. L'ordinateur est aujourd'hui à la fois personnel et multitâche, stockant de plus en plus de données et les traitant de plus en plus vite. Ses capacités ont aussi été décuplées avec Internet, à travers l'informatique distribuée, les traitements partagés et l'ouverture à l'usage civil du GPS notamment. Le nomadisme n'est plus une entrave, mais une valeur ajoutée pour la communication, qui devient plus sereine, ubiquiste et contextualisée. Face à ces éléments de contexte, ce **chapitre 3** a pour objectif de montrer les changements induits par l'ère du numérique (§3.1), de démontrer que ces technologies contribuent à des transformations (positives ou négatives) des territoires (§3.2), avant de voir que les smartphones occupent déjà une place importante dans la gestion de crise (§3.3), ce qui permettra ensuite de voir les liens avec l'alerte (**chapitre 4**).

3.1. Une profusion de solutions, vecteur de multiples changements

Parler des mutations liées aux outils numériques rend inévitable une certaine limite : il ne sera pas possible d'atteindre l'exhaustivité et de présenter toutes les solutions, ni dans leur totalité ni dans leur diversité. Évoquer les outils numériques relève aussi d'une tâche délicate, dans la mesure où cela implique de parler d'un univers en mouvement et qui évolue rapidement. Ces freins étant assumés, il s'agit ici de dégager des constantes observées dans les pratiques actuelles.

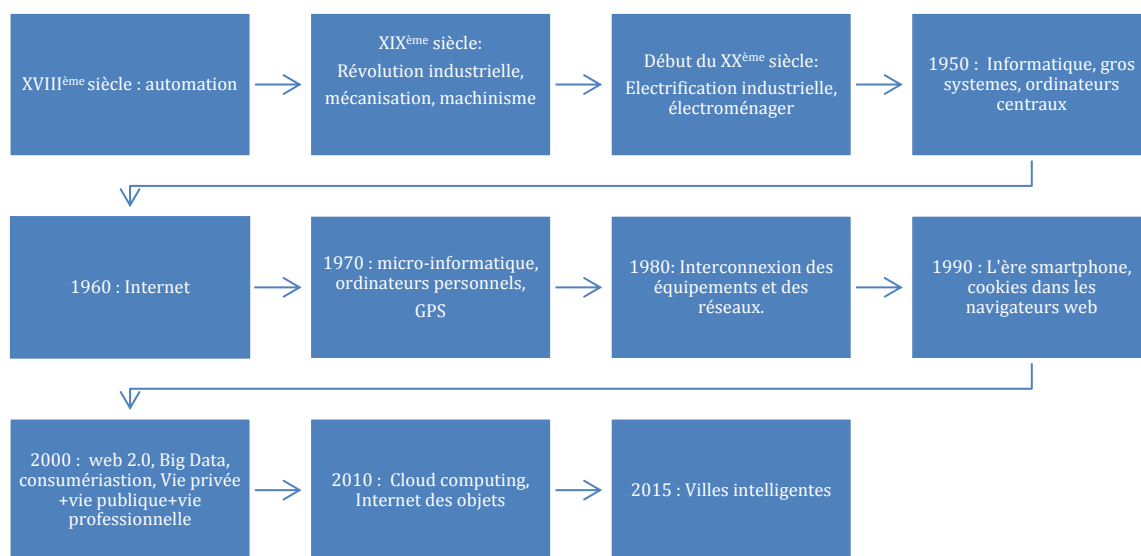
3.1.1. Des transformations permanentes et sans cesse en évolution

Selon J.M. Charon (2011), l'ère numérique a démarré dans les années 1960, avec la rencontre de l'informatique et des télécommunications. Elle a entraîné des transformations socio-économiques et culturelles d'une échelle similaire à celles provoquées par la révolution industrielle (Shepherd, 2004, citant Drucker, 2002). Les interactions sociales, plus nombreuses et plus variées s'opèrent à travers les technologies de l'information et de la communication. La capacité à mobiliser et traiter des connaissances, leur pouvoir addictif et productif (parfois hors de contrôle) constituent les raisons pour lesquelles les outils numériques ont radicalement transformé les modes de vie et de travail (Shepherd, 2004). Par ce fait, ils sont à la fois vecteurs d'hétérogénéité et à l'origine de normes et de pratiques sociotechniques qui s'universalisent de plus en plus (**Fig.3.1**).

On peut tout d'abord constater que les outils numériques sont « omniprésents » (téléphones, ordinateurs, maison) et la forte dépendance de l'homme vis-à-vis de ces outils (et à leurs prétendus effets pervers) est aujourd'hui sujette à caution. Par ailleurs, sa mise en œuvre a un coût qui peut se traduire par des fractures numériques (urbain/rural, nord/sud, pays riches/pays pauvres, etc.), par des inégalités induisant une difficile appropriation par la population et des contournements de la loi (fraudes), ou par des impacts environnementaux, et pourtant, force est de reconnaître les attraits et les apports indéniables associés à ces nouveaux usages et pratiques.

Les outils numériques sont également à la base d'importants changements dans les processus de création et de fabrication (automatisation des tâches) : l'homme s'occupe de la conceptualisation et c'est la machine « qui calcule et travaille », ce qui entraîne la disparition de certaines tâches et la naissance de nouveaux métiers. Le cas de l'impression 3D est un bon exemple : on peut désormais imprimer des maisons et des bâtiments, et même des villes, à l'aide d'imprimantes géantes manipulant du béton et du matériel de construction. Selon Khoshnevis (2004), « pouvoir construire une maison en béton en une journée ne relève plus du fantasme ». Si les avantages semblent certains (en termes de réduction des imperfections dues au travail manuel ou du gâchis des matériaux, de baisse des coûts de

construction, de gains en termes de restauration ou de reconstruction de bâtiments ou de monuments suite notamment à des catastrophes naturelles), il est clair que cette technologie laisse moins de place au travail manuel, ce qui sous-entend des suppressions éventuelles d'emplois.



Source : Kouadio (2016)

Figure 3.1 : Chronogramme des principales étapes à l'origine ou ayant marqué l'ère numérique.

On peut par ailleurs noter que l'ère numérique a contribué à la digitalisation des savoirs, des connaissances et des loisirs : avec l'apparition d'internet, l'interconnexion des réseaux et la création de gigantesques banques de données, un seul médiateur, l'ordinateur, peut servir pour l'apprentissage et la distraction. Les formations à distance en ligne (*e-learning*), les universités virtuelles, les MOOC ou les vidéo-conférences illustrent de tels aspects. Formation, éducation et distraction sont compatibles avec des plateformes comme *Halte aux catastrophes !*²⁵, *MIMIM'RISK*²⁶ ou même *Sauvie*²⁷, qui aident à la sensibilisation et à la prévention des risques. Le projet *Hackaton* dédié aux risques naturels (le 29 septembre 2016), visant à mutualiser des données de nature différente et sollicitant des développeurs, ou la plateforme des Humanités (Huma_Dis) sont aussi des exemples (parmi d'autres) d'une demande de plus en plus forte pour combiner connaissances, loisirs et savoirs dans une même démarche.

L'usage des drones²⁸ (initialement réservé au domaine militaire), à travers leurs applications à la géomatique pour l'action humanitaire (évaluation rapide des dégâts, interconnexion sans fil de sites, transport de vivres en zones à risques, détermination de trajets sécurisés, etc.), la couverture des événements publics (rencontres sportives, meetings, discours, etc.), privés (sorties en famille ou entre amis) ou professionnels (surveillance de matériels, ou de sites), démontre une fois de plus le potentiel quasi illimité de ces technologies en terme de portabilité et d'adaptabilité : portabilité, dans la mesure où elles peuvent être contrôlées à l'aide de différents terminaux (smartphone, tablette) ; adaptabilité car elles investissent de très nombreux domaines d'applications. La facilité d'interfaçage entre toutes ces technologies est également un fait notoire. Le fait aujourd'hui de pouvoir par exemple utiliser son smartphone à l'aide d'une seule application pour lire un code barre (en vue d'identifier et d'avoir les informations sur un produit en magasin), scanner un QR (*Quick Response*) code (pour avoir accès à des données, des fichiers ou des pages web) ou recourir au NFC (*Near Field Communication*) pour transférer des fichiers entre terminaux (pour les règlements bancaires ou l'accès au transport) témoigne de cet aspect. Grâce aux capteurs qu'il embarque (ou auxquels il est couplé), le smartphone est mis à

²⁵ <http://www.stopdisastersgame.org/fr/home.html>

²⁶ <http://www.minimrisk.fr/index.htm>

²⁷ <https://www.i-resilience.fr/app/sauvie/sauvie-et-les-catastrophes-naturelles/introin.swf>

²⁸ <http://www.makery.info/2016/09/05/champs-elysees-la-plus-belle-avenue-du-drone/>

contribution dans le domaine de la mesure des activités quotidiennes et des déplacements (Noury *et al.*, 2012). Le corps, à travers la mesure de données individuelles et personnelles, est potentiellement un nouvel objet numérique, grâce à des dispositifs tels que les chaussures numériques²⁹, le moniteur des fréquences cardiaques³⁰ ou des performances physiques lors d'activités ou des défis sportifs.

Avec une vitesse d'accès, de collecte et de diffusion de l'information instantanée (messagerie électronique, notifications sur smartphone, télé-réalité, *live-streaming*, *cellbroadcasting*), des pratiques sont réinventées, voire repensées. Par exemple, se rendre au kiosque chez le marchand de journaux est une activité qui a désormais un substitutif : lire son journal sur sa tablette ou son smartphone, ou être livré à domicile à travers un abonnement géré en ligne. Il y a donc une rupture ou une discontinuité avec le contact humain « direct » : basculement des réseaux sociaux (humains), selon les cas, en Réseaux Sociaux Numériques (RSN) ou en Réseaux Professionnels Numérique (RPN).

En outre, l'évolution du numérique est telle qu'on parle aujourd'hui de l'internet des objets, de villes « intelligentes », de « e-gouvernance » ou de « e-administration ». L'ordinateur personnel n'est donc pas le seul appareil connecté à internet. De leur côté, les administrations disposent ou s'équipent de capteurs interconnectés disséminés dans les espaces publics, pour mieux administrer leurs populations en se basant sur la profusion de données collectées. En somme, on assiste aujourd'hui à l'humanisation du numérique, c'est-à-dire à une réification de l'homme et de ses espaces vécus perçus et pratiqués sous forme numérique. Même si cette copie n'est pas parfaite, elle aspire à le devenir à travers les avancées constantes dans ce domaine et elle est instrumentalisée.

3.1.2. Le "numérique pour tous", source de débats et de questionnements

Lors des deux phases initiales du Sommet Mondial sur la Société de l'Information (SMSI³¹), en 2003 et en 2005, les Nations-Unies ont convenu d'un ensemble d'actions à entreprendre afin de renforcer la coopération entre les états membres et de chercher des réponses communes aux problèmes liées aux usages et aux défis du numérique. Les Nations-Unies reconnaissent ainsi les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) comme des vecteurs de développement dans la plupart des domaines d'activités, et leurs apports semblent de plus en plus significatifs. L'inclusion numérique, les réseaux sociaux, les réseaux large bande, la mobilité, le nombre de plus en plus important de cours en ligne libres d'accès et la collaboration en ligne sont devenus les domaines les plus plébiscités.

À travers les innovations, le développement devient à la fois progressif et marqué par plusieurs tendances : *éducation de qualité pour tous, liberté d'expression, accès universel et non discriminatoire à l'information et au savoir et respect de la diversité linguistique et du patrimoine culturel*. Cette évolution technologique implique, pour les Nations-Unies, d'inscrire cette dernière dans un projet de société : le "numérique pour tous". Que ce soit dans l'emploi, les services publics, les soins de santé et l'information sanitaire, l'enseignement et la formation, les affaires, l'administration, l'agriculture, les transports, la protection de l'environnement et la gestion des ressources naturelles, la prévention des catastrophes et la culture (...), l'application des TIC continue d'être continuellement encouragé.

Toutefois, le projet de société tel que présenté par les Nations-Unies ne fait pas l'unanimité. Y. Jeanneret (2008), après l'avoir analysé sur un plan rhétorique et sémiotique, en a déduit qu'il s'agit d'une notion ambiguë. En effet, le "numérique pour tous" s'inscrit selon lui dans un discours élastique, martelé et entretenu par le SMSI, rattachant à peu près tout et n'importe quoi. Il est également réduit à un vide sémantique, une expression creuse, sans cesse chargée de nouveaux enjeux. Il ajoute également que l'emploi de cette expression est le signe du succès formidable d'une confusion et d'une ambiguïté dans la mesure où notre société n'est pas la première et ne sera pas la dernière à se reposer sur des modes de gestion de l'information et n'est donc pas par conséquent « la société de l'information ».

²⁹ <http://www.digitsole.com/smart-shoe/>

³⁰ <https://itunes.apple.com/fr/app/instant-heart-rate-moniteur/id395042892?mt=8>

³¹ <http://www.itu.int/net/wsis/index-fr.html>

Toujours selon Y. Jeanneret (2005), ce terme n'est qu'un moyen de masquer ou de disséminer l'« industrie informatique » dans l'inconscient collectif. Pour lui, l'"industrie de l'informatique" fait office d'hégémonie alors qu'elle n'est jamais explicitement nommée, que ce soit dans les discours, les textes officiels ou les rapports du SMSI. Or, le caractère fondamental de l'informatique réside dans le fait que l'informatique est comparable à "*un cercle dont le centre est partout et la circonférence nulle part*" (Jeanneret, 2005). Ce qui renforce et officialise le caractère assez obscur associé à l'expression "société de l'information". Mais de quelle information s'agit-il ? À travers l'usage de cette expression, est mis en lumière un paradoxe : cette société est à la fois affirmée comme déjà existante alors qu'elle est encore à créer. Il faut donc savoir employer cette expression, en gardant à l'esprit qu'il s'agit plus d'un stéréotype, d'un "*paradigme technopolitique (équivalent de l'information/informatique) sur un syntagme communicationnel (un dispositif de débat public)*" Jeanneret, 2005.

De son côté, J.-L. Fullsack (2005) propose d'analyser l'ère numérique du point de vue du cadre relatif aux réseaux de télécommunication. Il définit ces réseaux (de télécommunication) comme l'ensemble des moyens matériels et logiciels mis en œuvre pour établir, maintenir et terminer une communication pouvant contenir des signaux de tous types (voix, texte, données, sons, images) entre deux ou plusieurs utilisateurs. Selon lui cet espace des télécommunications se compose aujourd'hui de cinq agents fondamentaux : les acteurs, le marché, la réglementation, les technologies et les services. Les acteurs sont constitués des opérateurs (propriétaires des réseaux), des fournisseurs (équipements matériels ou logiciels) et des prestataires de service. Le marché est détenu par une poignée d'entreprises majoritairement américaines, qui ont un monopole mondial. L'offre et la demande sont conditionnées et incitées par internet, et elles représentent plusieurs milliards d'euros en termes de volumes financiers en jeu. La réglementation (pour ne pas dire une déréglementation) pour sa part n'a qu'un mot d'ordre : la libre concurrence, qui a suivi la transformation en entreprises commerciales de quelques opérateurs du service public. Elle intègre de plus en plus des questions de sécurité et de libertés individuelles, mais est exclusivement guidée par des enjeux commerciaux prédominants.

3.2. Le numérique à l'origine de mutations territoriales paradoxales

3.2.1. Des outils qui, d'un côté, accroissent les inégalités territoriales

Derrière la profusion des outils numériques se cache une autre réalité : un accroissement des inégalités en matière de connexion, d'accès aux réseaux, de maîtrise des outils... Cette hétérogénéité peut se matérialiser à travers l'accroissement des écarts entre des villes ayant un rang hiérarchique différent (Bakis, 2012), par la variabilité, la disponibilité, la nature et la technicité des infrastructures et des services engagés. Un second facteur mis en avant par cet auteur concerne les conditions dans lesquelles émergent ces territoires numériques, à travers les arbitrages qui s'établissent entre aménageurs et décideurs sur la base de la rapidité de retours sur investissements dans les territoires. Les stratégies d'aménagement s'opèrent (toujours d'après Bakis, 2012) sur la base de l'opportunisme économique avant de s'inscrire dans un projet territorial global, comme si l'existence d'un « terreau » était un préalable au développement des infrastructures numériques.

Il y a de moins en moins d'homogénéité, car les territoires ont désormais la possibilité ou sont contraints de s'approprier (ou non) plusieurs technologies en même temps. Aussi, aucune d'entre elles ne peut faire office d'indicateur pour déterminer avec précision et exactitude le niveau d'homogénéité. L'hétérogénéité des territoires peut correspondre à des niveaux d'équipements hétérogènes ; c'est ce que confirment les travaux de Loukou (2012) sur la diffusion d'internet en Côte d'Ivoire. L'expansion d'internet n'a pas suivi la forte progression des abonnements relatifs à la téléphonie mobile cellulaire. D'après les statistiques de l'Union Internationale des Télécommunications, pour 100 ivoiriens, le taux d'utilisateurs individuels d'internet³² était de 0,23% en 2000, puis de 2,60% en 2010 et 21% en 2015,

³² http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2016/Individuals_Internet_2000-2015.xls

alors que ce pays enregistrait, aux mêmes dates, 2,93%, 82,20%, et 119,31% de taux d'abonnement individuels pour la téléphonie mobile cellulaire³³.

Cette réalité est aussi facile à voir si l'on s'intéresse aux taux de couverture des infrastructures téléphoniques en France. D'après les derniers chiffres publiés en juillet 2016 par l'ARCEP³⁴ (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes), relativement à son enquête annuelle d'évaluation de la qualité de service des opérateurs mobiles métropolitains (600 000 mesures en 2G, 3G et 4G) (Fig. 3.2), la qualité globale des services mobiles s'accroît, mais des disparités territoriales naissent du fait de celles qui existent entre les opérateurs. Cette enquête révèle, notamment, que sur la ligne TGV Paris-Calais, 58% des pages Web ne se sont pas chargées en moins de 10s avec Bouygues Telecom, tandis que parmi les 42% chargées avec succès, 0% ont été chargées en 2G, 27% en 3G et 15% en 4G.



Source : ARCEP (2016)

Figure 3.2 : Taux de couverture 2G, 3G et 4G des opérateurs téléphoniques en France.

Opérateurs	Echec	Succès		
		2G	3G	4G
Bouygues T.	55%	0%	27%	18%
Free	66%	0%	28%	6%
Orange	33%	0%	22%	45%
SFR	52%	0%	32%	16%

Source : ARCEP (2016)

Tableau 3.1 : Taux de pages web chargées en moins de 10s sur l'axe TGV Paris-Calais.

Pour le même trajet, 33% d'échecs sont observés chez Orange, alors que ce pourcentage est de 66% avec Free et 52% avec SFR. Ces chiffres sont également différents pour les lieux de connexion. D'après l'ARCEP, ces distinctions sont telles qu'elles peuvent amener à considérer les hétérogénéités en termes de couverture des infrastructures de télécommunication comme de nouveaux critères de distinction entre zones rurales, zones intermédiaires (agglomérations de 10 000 à 400 000 habitants) et zones denses (agglomérations de plus de 400 000 habitants). Il y a ainsi d'importants écarts en termes de qualité de services entre les différentes zones. La 4G en zone rurale est livrée avec un débit de 6 Mbit/s, alors qu'elle atteint 18 Mbit/s en zone intermédiaire et 30 Mbit/s en zone dense. Concernant les appels vocaux, environ 86% des appels sont de bonne qualité en zone rurale, contre plus de 95% dans les autres zones. Ainsi, si la mise à disposition des infrastructures dote incontestablement les territoires de réelles potentialités de développement, il n'en reste pas moins qu'elles accroissent des différences spatiales traduites par une hétérogénéité territoriale (Bakis, 2012).

³³ http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2016/Mobile_cellular_2000-2015.xls

³⁴ <http://www.arcep.fr/index.php?id=13272>

Ces constats sont aussi observés lorsque l'on spatialise la couverture 3G des quatre opérateurs. En 2012, la 3G couvrait 92.48% du Vaucluse et 89.86% du Var (**Fig. 3.3**), avec une présence inégale (voire une absence) des opérateurs dans certaines communes (Hébert, 2014). Les réseaux ne cessent néanmoins de progresser, car les deux départements sont couverts en totalité en avril 2016. Toutefois, la présence de tous les opérateurs cache une qualité inégale des services : Bouygues Télécoms affiche un taux de couverture de 47% sur la commune de Ménerbes (dans le Vaucluse) tandis qu'Orange et Free sont chacun présents sur plus de 95% du territoire de cette commune. Cependant, Bouygues est en avance dans cette commune pour la 4G : l'opérateur couvre 68% du territoire en avril 2016 tandis qu'en juillet 2016 les couvertures d'Orange, Free et SFR n'étaient respectivement que de 36%, 0% et 0% (d'après les données ARCEP, 2016).

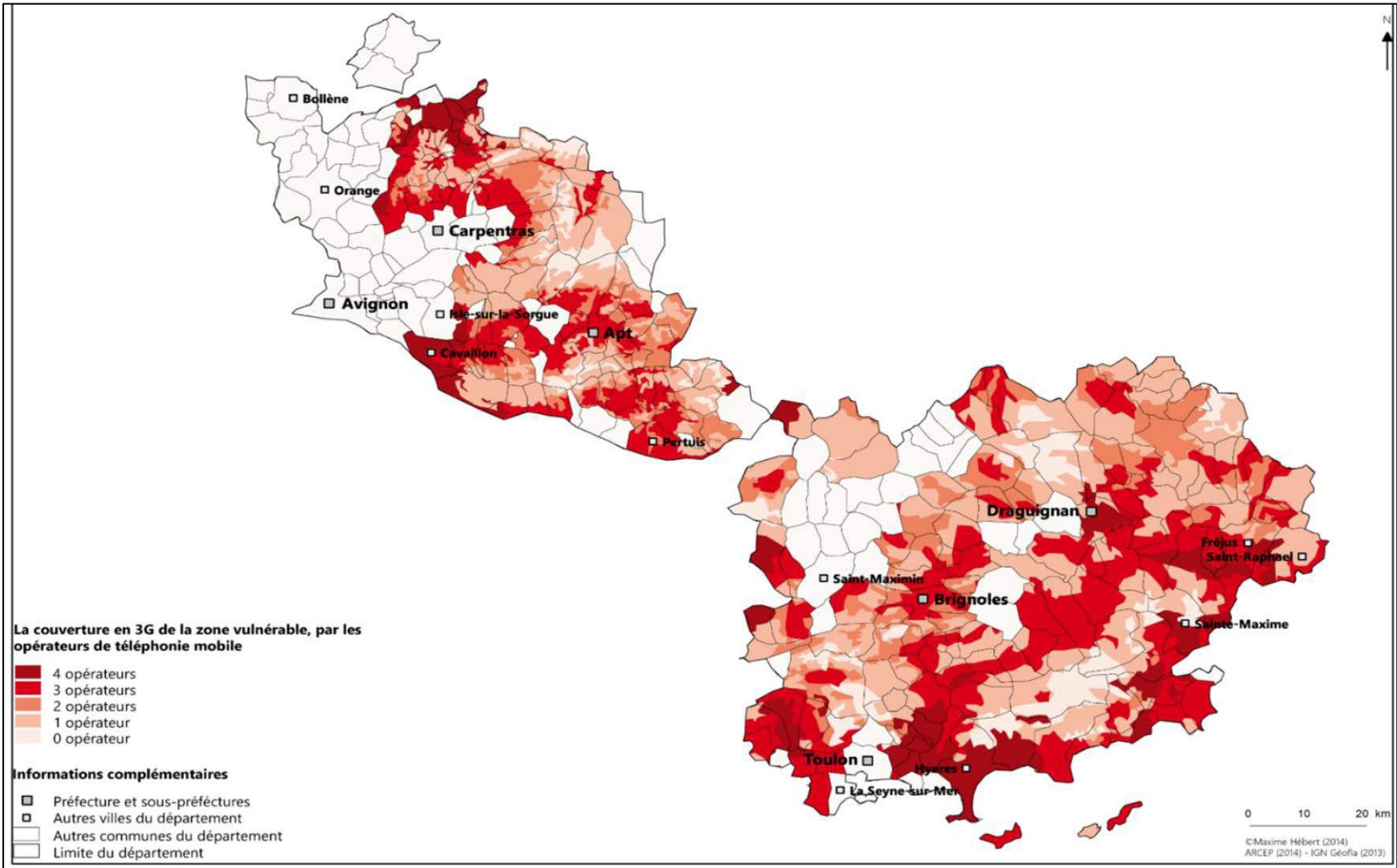
3.2.2. Des outils qui, d'un autre côté, peuvent être synonymes de mixités

À cette hétérogénéité territoriale s'associe une mixité au niveau de pratiques observables à une échelle humaine. Dans la mesure où les technologies numériques sont domestiquées, sinon imposées dans tous les lieux de vie et plus spécifiquement ceux de la vie professionnelle, de la vie privée et de la vie familiale), les frontières sont de plus en plus minces voire « inexistantes ». Les technologies sans fil et les médias qui les supportent ont rompu ce que Groeving (2010) appelle la « fine membrane entre le domaine public et le privé ». C'est l'ère de l'« espace hybride » (Souza et Silva, 2006) c'est-à-dire une médiation de nos activités quotidiennes à travers des nœuds digitaux, une réorganisation de l'expérience privée dans le domaine public (Bull, 2004).

Les sphères publiques, privées et familiales ont été définies à travers nos routines quotidiennes dans le temps et dans l'espace (Silverstone *et al.* 1994 ; Williams 1990). Pour Berry *et al.* (2013) ainsi que Habermas (1992), notre perception et notre construction de ces espaces sont aujourd'hui de plus en plus révélées par nos pratiques numériques. Par exemple, la maison relève de façon traditionnelle de la sphère du privé et les loisirs de celle du public. La sphère dite publique relève de l'audience ou d'une intention. Une audience qui collecte ou qui est susceptible d'être intéressée par les informations nous concernant. Une intention relative à l'action permettant la rencontre du public et du privé dans les intérêts du public (Berry *et al.*, 2013).

Par l'introduction de la télévision dans le cadre familial, ces frontières ont déjà été confondues par le passé. À ce titre, la télévision a introduit le loisir dans le cadre familial, tout en faisant partager des expériences privées et publiques en même temps qu'elle véhicule le sentiment d'appartenir à une communauté. Ces distinctions ont davantage été bouleversées par la communication mobile (Wei, 2013). Les consommateurs de technologies mobiles ont un ou plusieurs espaces où la connexion WiFi est disponible et ils s'y investissent fréquemment comme dans « leurs » espaces de bureau. De façon similaire, on peut décider d'aller passer une journée selon la proximité avec un réseau WiFi ouvert. La disponibilité de l'accès internet aide en outre à supporter le temps d'attente, par exemple dans une gare ou dans des magasins qui ne sont plus dès lors considérés comme des endroits où l'on est susceptibles de s'ennuyer dans l'attente de l'autre, ou pour lesquels l'engouement à l'idée de s'y rendre baisse. Pour certains développeurs et designers web, il y a différents espaces de travail en termes de terrasses de café. Il y a celui qui sert à la pré-production/création, celui de la production et celui des dates limites ou des créations dans l'urgence.

Chaque technologie a son type de voisinage et ses pratiques sociotechniques propres ; d'autres s'arrangent même pour trouver un café à la fois proche d'une borne WiFi gratuite et pour laquelle il ne leur sera pas forcément demandé de consommer pour occuper une place.



Source : Hébert (2014)

Figure 3.3 : Couverture 3G sur les communes sensibles aux crues rapides dans le Var et le Vaucluse en 2014.

Plusieurs activités familiales ou activités sociales sortent du cadre du foyer pour se poursuivre ou transiter par le cadre public grâce à des applications mobiles. La prise de rendez-vous en ligne pour une manifestation ou une activité politique, la retransmission en direct sur les réseaux sociaux, puis la publication des photos et des vidéos de l'évènement sont des pratiques courantes. Ainsi la croissance de l'accès et de l'usage des technologies numériques et la disponibilité généralisée d'internet ont fourni des moyens aux manifestants et aux gouvernants soit pour « cyber protester » soit pour influencer sur les évènements politiques et sociaux en facilitant l'organisation et l'action (Wilson et Corey, 2012). Cela a pu être observé lors des évènements associés à la période qualifiée de « printemps arabe » (IHEDN, 2014) en Égypte et en Tunisie (Nelson, 2008) ou avec les manifestations « nuit debout ³⁵ » menées à Paris : plusieurs personnes ont utilisé internet et les réseaux sociaux pour échanger de façon anonyme et critiquer le gouvernement tout en essayant d'organiser des stratégies d'actions concrètes sur le terrain dans les rues (Gwiadzinski, 2016).

Au-delà du public, du privé ou du professionnel, L. Forlano (2013) montre qu'il est possible aujourd'hui de se connecter à la sphère de l'"étranger" en vue de collaborer avec lui autour d'un projet public. Il souligne ainsi la nécessité de notions émergentes pour désigner ces espaces qui déterminent les façons dont les personnes, le lieu et la technologie sont interdépendants. Selon lui, la technologie dite urbaine n'est pas qu'invisible, congrue ou conforme, transparente et synonyme d'ubiquité ; elle est également visible ou incongrue, avec des limites architecturales, imprégnée de tension, de disjonction, de coutures et de frictions.

L. Forlano (2013) évoque une co-production à analyser selon trois axes :

- 1) la visualisation et la mise en œuvre de matériels digitaux,
- 2) l'expérience vécue découlant de pratiques sociotechniques
- 3) l'imaginaire co-construit.

Le premier axe s'observe à travers la création artistique ; c'est l'art digital collaboratif. La *Crown Fountain*³⁶ au Millennium Park de Chicago, le projet *Blinkenlight*³⁷ à Berlin et l'*Unnumbered sparks*³⁸ à Vancouver au Canada sont des exemples qui en témoignent. Le public devient l'artiste d'une œuvre commune qui progresse en temps réel et de façon interactive tout en remplissant la fonction d'espace de vie, de rencontre et de partage. Les pratiques associées aux terminaux mobiles illustrent bien (toujours selon Forlano, 2013) l'expérience vécue. Les accès WiFi permettent de se connecter à internet et d'appartenir à une communauté mondiale. Ils sont eux-mêmes rattachés à des espaces physiques digitaux bornés que partagent plusieurs personnes à la fois. On a ainsi des espaces de travail collaboratif qui sont créés en vue de pouvoir travailler de façon plus mobile et plus flexible.

La co-production à travers l'imaginaire se perçoit aujourd'hui grâce à l'exemple de la réalité augmentée. Celle-ci est un moyen de voir le monde d'une façon qui étend notre perspective au-delà des limites d'une caméra ou d'une carte. Elle permet ainsi d'éprouver ce que Chalmers *et al.* (2003) qualifient de ruptures digitales interrompant nos expériences vécues avec de nouvelles possibilités tout en étant au même moment limité par des frontières physiques et des perturbations extérieures. On peut construire des espaces que le monde physique et ses limites n'autorisent pas. L'homme et les technologies digitales coproduisent du sens au lieu. Le géo-marquage, permet ainsi d'apporter une connaissance tactique au lieu pour en faire bénéficier la communauté (par exemple les visites virtuelles illustrées par des étudiants à l'aide de géo-marquage en réalité augmentée). Au final, les espaces sont donc de plus en plus co-construits, co-partagés et co-vécus et donc de plus en plus confondus à travers la naissance d'une co-présence permettent ainsi de créer du lien à un niveau à la fois transversal et multiéchelle (humain, local, régional, national, continental et mondial).

³⁵ <https://nuitdebout.fr/>, <http://russeurope.hypotheses.org/4857>

³⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Crown_Fountain

³⁷ <http://blinkenlights.net/>

³⁸ <http://www.unnumberedsparks.com/>

3.2.3. Des effets spatiaux finalement complexes à mesurer

En dépassant une vision binaire des usagers du numérique (utilisateur ou non), il faut rappeler que les bouleversements sociétaux liés à son apparition sont la résultante de phénomènes complexes, et que les clivages intergénérationnels et socioculturels pré-existent et peuvent être accentués par le numérique (Rallet et Rochelandet, 2011). De même, si la société française est effectivement prudente, voire réticente aux usages du numérique dans son ensemble (Lebreton, 2013), les inégalités pouvaient être aussi bien renforcées que comblées, ce qui amène à la définition de « ruralités innovantes ». Ces contrastes sont loin des stéréotypes faciles et ils se vérifient par exemple par l'étude sur les pratiques de déconnexion volontaire qui concerne justement des cadres supérieurs, ayant une parfaite maîtrise des outils, mais qui se coupent des réseaux (Jauréguiberry, 2014).

Les réseaux de télécommunication soulèvent par ailleurs des problématiques technologiques, réglementaires et internationales (Fullsack, 2005). S'ils se présentent comme une source d'économie d'échelle, à travers les gains d'espace, d'installation et d'entretien (comme pour la fibre optique ou les réseaux hertziens), ils entraînent une obsolescence accélérée des technologies précédentes et leur mise au rebut si elles sont mal planifiées. L'introduction des nouvelles technologies ne revêt pas toujours un caractère « neutre ». Elle se fait toujours au détriment d'une autre technologie, souvent portée par un acteur qui n'a pas su faire face à la concurrence. Elle réorganise en continu l'espace et le marché des télécommunications, et ses effets spatiaux sont donc en perpétuelle évolution.

En outre le passage d'une technologie à une autre pose souvent problème car une nouvelle technologie amène à redéfinir de nouveaux services qui fonctionnent déjà bien à la place d'une autre que l'on souhaite remplacer, ce qui est alors source de résistances, de blocages et d'investissements inutiles. Au plan juridique, la diversité des acteurs, née de la déréglementation implique une multiplicité des équipements ainsi que des problèmes d'interconnexion, et des difficultés de normalisation. Cela induit des coûts pour l'interconnexion et également des pertes en termes de qualité de signal ou des risques de défaillance. Au niveau des questions internationales, l'interconnexion des réseaux nationaux soulèvent des problèmes de coûts et d'études de marché lorsque les opérateurs décident d'étendre leurs réseaux au-delà des frontières nationales.

La concurrence au niveau international des opérateurs nationaux amenuise, par ailleurs, leur efficacité face à la concurrence étrangère. Compte tenu du coût de transport de plus en plus bas lié à la fibre optique, on assiste à une surcapacité des pays industrialisés en termes de débit internet pour une demande intérieure relevant d'un ordre de grandeur bien inférieur. Par ailleurs, cette évolution des réseaux de télécommunication met en lumière les fortes relations entre réseaux de transport et pratiques en mobilité (avec les smartphones surtout), de même qu'entre réseau de télécommunication et réseau électrique. Ainsi pour mettre en place un réseau de télécommunication viable, l'électricité est un préalable surtout lorsque l'on s'intéresse à la réduction de la fracture numérique entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement.

3.3. Pourquoi s'orienter plus spécialement vers les smartphones ?

3.3.1. De nombreux bénéfices en cas de catastrophes naturelles

Le succès des applications *Red Cross*, de La Croix Rouge (pour aider une personne démunie), *Incident* (pour informer d'un incident en temps réel) ou *Quake-Up* (alerte séisme) illustre le fait que des applications mono-risque puissent être des initiatives gagnantes. Mais qu'en est-il durant les crues rapides en France (durant l'alerte) ? Est-ce possible de détecter une zone inondée en temps réel et/ou alerter avant même que les premiers dommages ne commencent ? Par là même, comment mobiliser le citoyen lorsque l'évènement redouté ne s'est pas encore produit ? Face à des aléas à courte cinétique tels que les crues rapides, plus la collecte et le traitement des données se fait sur un pas de temps court (voire de manière instantanée), plus la prévision est opérationnelle et plus ces outils deviennent une vraie aide à la décision. C'est la raison pour laquelle l'amélioration de l'alerte face aux crues rapides viendra plus d'une approche systémique que d'une solution technique (d'autant plus si elle est imposée

pour tous sans aucun accompagnement). Ainsi, les acteurs opérationnels doivent pouvoir décider d'une mise en vigilance (minimum pour un avertissement), d'une alerte (risque avéré) ou d'une évacuation (par crainte de connaître un niveau d'endommagement élevé) avec le même dispositif. Les conditions de mise en place d'un système d'alerte volontariste et innovant passent également par un jeu d'acteurs : l'état encourage l'action citoyenne ; les citoyens s'approprient un ou plusieurs outils ; les acteurs opérationnels et les autorités locales impliquent la population plus en amont dans les processus, tant décisionnels qu'organisationnels. Des signaux faibles récemment observés permettent d'envisager que cet objectif est réalisable et les bénéfiques à en tirer son nombreux.

Des applications pour relayer et diffuser les informations en temps réel

Les SMS et la radio étaient les moyens de communication utilisés par préférence dans les années 1980 (Auf der Heide, 1989), mais avec les avancées technologiques des années 1990 et 2000 (réseaux de télécommunications plus robustes, espaces mémoire de plus en plus grands, couplage avec l'appareil photo numérique), les téléphones sont passés du statut de simples terminaux d'appels téléphoniques à celui d'outils d'aide à la collecte et à la transmission des données. À travers l'usage du GPS, l'accès à internet et l'intégration des RSN, l'ère des smartphones se traduit par deux révolutions majeures. D'un côté, on est passé d'une communication à sens unique (du moins gérée à un seul niveau, entre acteurs et décideurs) à une communication « à double sens », à travers l'intégration du citoyen dans la boucle sans aucune assistance personnelle. C'est ce que l'on désigne comme étant de l'*information géographique volontaire nomade* (Goodchild, 2007 ; Roche, 2010) (cf. **chapitre 6**).

D'un autre côté, outre les pratiques des RSN depuis les smartphones, durant les attentats de Charleston en 2007 (la localisation du tueur a été possible grâce aux messages envoyés par les personnes situées dans la salle de cours) et au cours des élections au Kenya en octobre 2007, les premiers usages relatifs à des catastrophes naturelles ont véritablement émergé à la suite du tremblement de terre d'Haïti (12 janvier 2010 à 16h53, cf. heure locale). Plusieurs portails ont été activés quelques heures après l'événement, permettant la collaboration entre organismes humanitaires, les volontaires du groupe *Google* et le partage de données de géolocalisation (via « *OneResponse* » notamment). Des groupes de soutien ont aussi été créés quelques heures après le déclenchement de la crise, le groupe « *Haïti en avant* » ayant compté jusqu'à 17155 membres sur Facebook en avril 2010.

Lors du passage du typhon *Bopha* (4 décembre 2012) aux Philippines (1200 décès et 844 disparus), les RSN ont également été mobilisés à l'aide de smartphones. De nombreuses communes ont été plongées dans l'obscurité, ce qui a aussi rendu inopérants les systèmes de communication et d'information. Or, quelques individus ont réussi à se connecter ; ils ont alors pu donner signe de vie à leurs proches et ont permis aux actions humanitaires d'organiser le soutien aux victimes (le Comité International de la Croix-Rouge, CICR, a fait appel à Twitter pour trouver de la main d'œuvre pour la reconstruction des maisons par exemple). Lors de la tempête Sandy à New York en 2012, 20 millions de tweets et 1 million de photos échangées sur Instagram ont été qualifiés par J. Coscarelli (New-York Magazine du 30 octobre 2012) de « tempête sociale » (sans compter les 450000 photos et 290000 messages postés sur Statigram). Contrairement au système téléphonique classique (qui a été vite saturé), le réseau 3G a été efficace et des initiatives innovantes ont été mises à profit (mutualisation de connaissances pour *Hurricane Hacker* par exemple).

Des pratiques en plein essor en France

Ces pratiques semblent bien plus tardives en France, même s'il faut relativiser ce constat au regard de la gravité des événements et la taille des personnes impactées. L'année 2014 est néanmoins une année charnière, car les pratiques des RSN se sont multipliées à la suite de plusieurs phénomènes naturels dommageables. Outre le tremblement de terre du 7 avril 2014 dans les Alpes, il suffit de prendre deux inondations rapides pour s'en convaincre (**Fig. 3.4**).

En janvier 2014, la rivière Maravène (Var) entraîne des crues rapides et violentes (cf. **chapitre 1**) sur la commune de La Londe-Les-Maures (CEREMA, 2014). Le bilan humain (2 morts, 1 disparu) et matériel (600 logements inondés, 73 personnes relogées, 200 véhicules détruits) est lourd. La ville,

déjà présente sur les RSN via un compte *Facebook* et *Twitter*, a spontanément envoyé des messages pour informer les citoyens des comportements à suivre, précisé la localisation des zones sinistrées, organisé les aides ou fait appel au bénévolat (@villelalonde sur Twitter). La ville réagit, twitte et prodigue des conseils (Higonet *et al.*, 2014). Avec le SDIS 06, elle va aussi informer les citoyens sur les avancées des recherches suite à la disparition d'une petite fille (Saint-Martin, 2014). Les auteurs des tweets mentionnent qu'ils ont utilisé les RSN à cause de la défaillance des réseaux téléphoniques fixes et cellulaires, contrairement au réseau Internet (Higonet *et al.*, 2014).



Source : Twitter (2014)

Figure 3.4 : Exemples de tweets et de messages envoyés lors des inondations de 2014.

Autre exemple plus récent, les crues de la rivière Bitoulet (Hérault) du septembre 2014 en amont de Lamalou-les-Bains ont elles aussi fait l'objet d'une pratique sur les RSN à partir de smartphones. Le bilan humain a été dramatique (4 décès) et les dégâts matériels sont à nouveau très élevés (12 millions €). Diverses questions sont relayées sur les RSN, notamment pour comprendre le débordement « incompris » et « inexplicé » de tel ou tel cours d'eau. De leur côté, les SDIS ont étudié les 150 tweets associés à cet événement et les ont ensuite classés par catégorie (sites d'hébergement spontanés, crues, photos, etc.). Les agents rattachés à ces services ont même utilisé leur compte personnel pour communiquer. Le Retex (Retour d'expérience) mené après l'événement avec l'association #VISOV a permis de mettre en avant les pistes d'amélioration à apporter : partage des tweets en moins de 20 minutes ; tri des informations automatisé ; recueil des informations dans les outils opérationnels comme les Plans d'Urgence ; informations à coupler avec les accès routiers... (Martin et Blay, 2014 ; VISOV, 2015). Fait plus inhabituel : le Retex des crues dans le Var en 2014 a pointé le fait que des personnes avaient privilégié des appels urgentistes via *Twitter*, au détriment des classiques numéros de téléphone d'urgence 17 et 112 (Higonet *et al.*, 2014).

Des applications ayant leur place dans les Médias Sociaux en Gestion d'Urgence (MSGU)

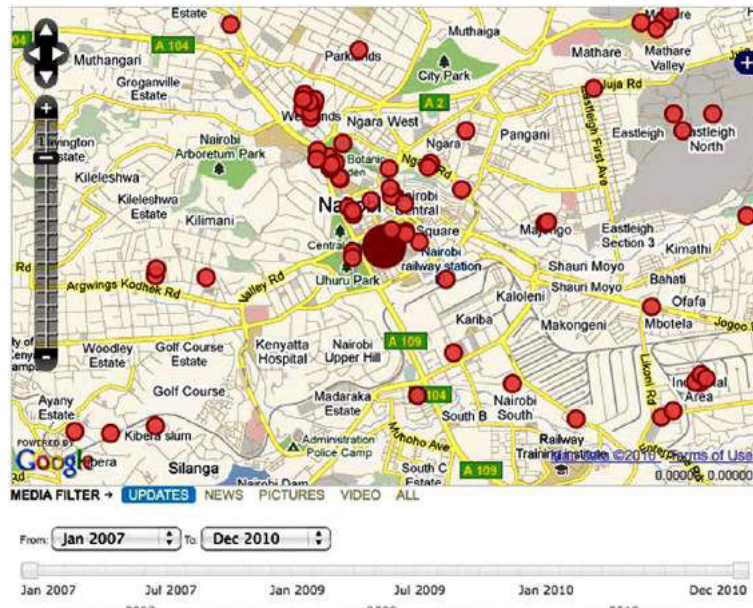
Face à la recrudescence des catastrophes naturelles depuis quelques années, les acteurs de la gestion de crise (élus, mairie) et les services de secours (pompiers, policiers) et de sécurité civile se sont saisis d'applications, dans le monde, mais aussi en France. Un temps pris de court, les associations caritatives et les services de l'État se sont organisés et ont adapté leurs dispositifs en fonction de ces nouveaux outils. Le concept de *Médias Sociaux en Gestion d'Urgence* (MSGU) - traduction de Social Media Emergency Management (SMEM) - est né suite au tremblement de terre de Christchurch (2011) en Nouvelle-Zélande et aux utilisations du RSN *Twitter* lors de la catastrophe de Fukushima (2011) et de *Facebook* lors des crues en Australie en 2009 (Bird *et al.*, 2012 ; Douvinet *et al.*, 2015). Des organismes de défense civile néo-zélandais ont rédigé le premier Guide des bonnes pratiques des Médias Sociaux en Gestion d'Urgence (Rive *et al.*, 2012). Ce guide indique différents niveaux à prendre en compte (juridiques, sociaux, technologiques et/ou comportementaux) et plusieurs initiatives ont porté sur cette question depuis 2014 (le colloque SMARS en mars 2015, mais on peut aussi citer la formation le 27 novembre 2014 organisée par l'ENSOSP Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers ; les formations aux médias sociaux les 1^{er} et 2 juin 2015 par le Haut Comité Français de Défense Civile, ou la création du groupe de travail CiviCrise à l'IRSTEA). Des différences culturelles subsistent encore dans l'intégration qui est faite de ces pratiques. Aux États-Unis, la *Red Cross* et la société *Dell* ont mis en place en 2012 la première plateforme de veille sur les médias sociaux pour l'aide humanitaire (Digital Operations Center). En France, les services institutionnels sont de plus en plus enclins à les intégrer, puisque les appareils réglementaires et juridiques ne le permettent pas véritablement. Toutefois, en temps de crise, les MSGU restent envisagés comme relais d'information à manipuler avec précaution (Guides *Twitter* et *Facebook* publiés par le Ministère de l'Intérieur, 2014). En 2016, la plupart des SDIS (Services Départementaux d'Incendie et de Secours) ont signé (contre un seul en 2015) une convention partenariale avec l'association #VISOV (Volontaires Internationaux en Soutien Opérationnel Virtuel) pour permettre aux pompiers de bénéficier d'une veille active sur les RSN en cas d'évènements (VISOV, 2015).

Des outils d'aide à la décision additionnels

En considérant que les réseaux de télécommunication ne soient ni saturés, perturbés et coupés, les smartphones sont d'une utilité tout aussi capitale en situation post-catastrophes. Après d'importants sinistres, les réseaux permettent aux populations touchées de reprendre pied en aidant à la coordination des premiers secours. Ils relient les survivants à l'internet afin qu'ils puissent informer les autorités de leur situation, obtenir des informations nécessaires à leur survie, et communiquer avec leurs amis et leur famille. Avec l'arrivée du smartphone, les possibilités d'action sont décuplées grâce aux applications dédiées. Elles intègrent la localisation et permettent de créer de façon spontanée et de mettre en action des équipes, des collaborations et des organisations depuis un espace virtuel vers un espace réel. À titre d'illustration, durant les premiers moments qui ont suivi le tremblement de terre à Haïti, la plateforme *Ushaidi*³⁹ a été utilisée pour collecter, visualiser et traiter les informations concernant les appels à l'aide. Elle a aussi été sollicitée pour rendre les mêmes services lors du tremblement de terre de 2011 qui a frappé Tohoku au Japon (**Fig. 3.5**) (Janet Marsden, 2013). Ainsi, après un désastre, le smartphone peut aider à répondre aux diverses questions (*Où puis-je trouver de l'eau potable, où sont situés les centres de secours officiels ou ad-hoc ? Cette route est-elle sans danger si je veux me rendre à tel endroit ?*) et peut même servir à proposer de l'aide de façon volontaire. Les applications telles que *Donate-N-Request* voire *WeReport* (Li *et al.*, 2015) ont aussi montré que de nouvelles limites pouvaient être franchies par l'intégration d'une bonne sémantique et des termes adaptés au contexte de crise, en l'occurrence le *Humanitarian eXchange Language Situation and Response Standard* (HXL⁴⁰) (Keßler et Hendrix, 2009) ou *Management Of A Crisis Vocabulary* (MOAC).

³⁹ <https://www.ushahidi.com/>

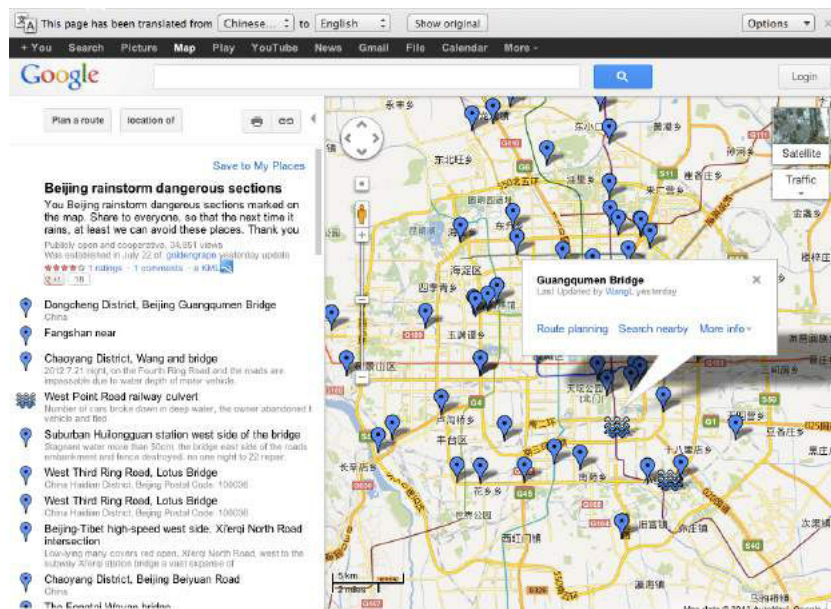
⁴⁰ <http://docs.hdx.rwlab.org/standards/>



Source : Marsden (2012)

Figure 3.5 : Capture d'écran de la plateforme *Ushahidi* suite au tremblement de terre de 2011 au Japon.

D'autres utilisations ont émergé de façon plus implicite. Par exemple l'intégration des données issues des réseaux sociaux devient une pratique spontanée pour les gestionnaires de crise, surtout lorsque des outils tels que *Emergent* (qui analyse en temps réels l'impact des situations de crise sur les réseaux sociaux numériques en vue d'en faire un outil d'aide à la décision) sont à leur disposition. Ainsi, pendant les crues soudaines⁴¹ de Beijing en juillet 2012, les citoyens publiaient des images sur *Twitter* pour fournir des informations sur les zones inondées et des cartes de crise ont été spontanément réalisées pour suivre et alimenter en temps réel l'impact des inondations via Google Maps⁴² (Fig. 3.6).



Source : Marsden (2012)

Figure 3.6: Capture d'écran de la plateforme Google Map suite au tremblement de terre de 2011 en Chine.

⁴¹ <http://iRevolution.net/2012/08/01/crisis-map-beijing-floods/>

⁴² https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zWSNyiK15duw.kvKZYm4oq_lw&ie=UTF&msa=0

Tous ces exemples témoignent de la place qu'occupent les technologies smartphone dans le quotidien des usagers, et traduisent les apports possibles en situation d'urgence. Les smartphones et l'infrastructure cellulaire sont des centres de données qui permettent aujourd'hui de stocker et relayer de nombreuses informations relatives aux catastrophes, ce qui n'est pas le cas des infrastructures physiques qui sont assez rapidement détruites (FEMA, 2012 ; Lhomme *et al.*, 2012). Les applications sont de plus en plus nombreuses (83 milliards selon Gartner en 2014) et la plupart participent à la "mouvance actuelle" : consommer vite, gratuitement, sans forcément conserver des traces, et partager. Le fait que des individus soient susceptibles d'avoir leur smartphone dans un environnement en instance de subir un désastre est un facteur important dont il faut dès lors tenir compte dans la planification des mesures de réponse. Aussi, plus vite les gestionnaires sont en mesure de quantifier et d'identifier l'étendue de la catastrophe, plus vite ils pourront soutenir les citoyens et apporter un appui aux premiers sinistrés. D'un autre côté, la notification « push » (intégrable à toutes les applications) offre l'énorme avantage de s'affranchir d'une collecte en amont des numéros de téléphone et l'envoi de messages peut aller très vite. La masse de données traitée aboutit à une meilleure prise de décision, non seulement en cas de crise, mais aussi pour la gestion du quotidien (Kouadio *et al.*, 2013).

3.3.2. Des technologies de plus en plus intégrées dans le quotidien

Une révolution en marche

Aujourd'hui, les smartphones sont considérés comme révolutionnaires pour plusieurs raisons :

- ils sont indispensables à la vie quotidienne ;
- ils transforment le comportement des consommateurs ;
- ils aident chaque jour les utilisateurs à se repérer et à se déplacer dans le monde ;
- ils changent la façon dont les particuliers consomment tout en aidant les annonceurs à rester connectés avec des milliers de clients potentiels.

Selon une enquête *Ipsos et Google* (2012), 83% des détenteurs d'un smartphone ne quittent jamais leur maison sans lui et 67% l'ont utilisé chaque jour au cours des 7 derniers jours. C'est un appareil utilisé partout, que ce soit à la maison (96%), lors d'un déplacement (84%), dans n'importe quelle boutique (83%), au restaurant (82%), au travail (71%), lors d'une rencontre privée (70%), à l'aéroport (56%), dans les transports publics (45%) ou à l'école (39%). Il est sollicité par 61% des utilisateurs pour des recherches standards, par 68% pour des détails sur un produit, par 82% pour des tâches en lien avec d'autres médias (53% regardent la télé en même temps), et par 94% pour une information locale.

L'arrivée du smartphone signifie d'importants bouleversements dans les habitudes, dans les relations interpersonnelles et familiales, ainsi que dans les priorités, rendant de plus en plus mince la frontière entre vie privée, vie publique et vie professionnelle (CNIL, 2011, 2012, 2014a et 2014b ; O'Reilly, 1996 ; Griffiths, 2000 ; Chak et Leung, 2004 ; Lemmens *et al.*, 2009 ; Lapointe *et al.*, 2013). Aux Etats-Unis, en Allemagne, en France, en Grande-Bretagne et au Japon, les étudiants de premier cycle et les lycéens constituent le segment de la population ayant connu la plus forte croissance d'utilisation. Ils représentent plus de la moitié (53%) des utilisateurs (Ipsos et Google, 2012). Guenaga *et al.* (2012) présentent cet appareil de façon paradoxale : c'est à la fois une menace et une opportunité pour cette tranche de la population. Menace, car il est source de distraction en classe et aux heures de cours ; il peut aussi entraîner un sentiment d'impuissance ou d'inutilité de la part des enseignants. C'est en même temps une opportunité, car ils servent à la mise en place de nouveaux modes de transmission de connaissance, basés sur l'accessibilité, l'interactivité et la portabilité inhérente à cet appareil. Véritable portail multi-activités, il répond dans 89% des cas à des besoins de communication (e-mail : 69%, réseaux sociaux : 72%), à 58% à des besoins d'information, et à 91% à des besoins de distraction. Il est aussi impliqué dans des décisions d'achat : 46% des utilisateurs de smartphones ont acheté quelque chose depuis leur appareil et 60% font des achats mobiles au moins une fois par mois (Ipsos et Google, 2012).

Une dépendance aux smartphones de plus en plus marquée

Lapointe *et al.* (2013) s'interrogent sur l'« intelligence » de l'usage du smartphone, mettant en évidence les dangers et les comportements à risques liés à la dépendance vis-à-vis des technologies de l'information en général, et des smartphones en particulier. En basant leur analyse sur le fait que l'addiction au smartphone n'est qu'une dérivée de celle résultant de la technologie (O'Reilly, 1996), ils dressent un profil psycho-social des utilisateurs en les rassemblant en quatre grands groupes :

- les « accros » utilisent les smartphones 2 à 20 heures par jour (5,4 heures en moyenne),
- les « copieurs », entre 1 et 10 heures par jour (pour 3,73 heures en moyenne),
- les « réguliers » sur une durée de 5 minutes à 10 h par jour (pour une moyenne de 1,99 h),
- les « modérés » entre 5 minutes à 6 heures (pour une moyenne de 1,76 h).

Lapointe *et al.* (2013) confirment que la dépendance (pour les accros et les copieurs) est telle qu'ils reconnaissent ressentir un certain "mal-être" et une sorte d'inconfort lorsqu'ils ne sont pas en possession de leur appareil. L'addiction s'installe pour des raisons liées à la personnalité et aux bienfaits perçus par les apports de la technologie (Griffiths, 2000). Pour le premier point en particulier, il s'agit de l'ennui, de la peur du rejet et du besoin de se sentir accepté, ce qui va de pair avec le sentiment de solitude, l'anxiété et le stress. Si les accros sont introvertis, conformistes, dépendants et timides, les copieurs sont quant à eux extravertis et ont une vie sociale assez active. Quelle que soit la catégorie, tous associent l'usage du smartphone avec le fait que cette technologie est utile, simple à manipuler, portable, pratique et, dans une moindre mesure, amusante et efficace. Ils ajoutent que l'accès à internet et à une multitude d'applications (avec en primeur le SMS) contribue grandement à leur usage. Les conséquences d'une telle addiction sont diversifiées (Lemmens *et al.*, 2009 ; Falaki *et al.* ; 2010 ; Chak *et al.*, 2004). Les impacts sont à la fois négatifs (conflits entre l'usage du smartphone et des tâches courantes) et positifs (gains en efficacité) sur la productivité. Les conséquences sont aussi observées sur la vie sociale (possibilité d'être connecté en permanence avec ses amis, mais en même temps, naissance d'une barrière avec ceux qui n'en ont pas ou d'un sentiment de négligence observé de la part de ces derniers) et sur le bien-être psychologique et physique (fatigue, manque de sommeil, frustration, stress ou culpabilité quand ils ne peuvent pas utiliser leur téléphone ou même quand ils l'utilisent).

De nombreuses recherches démontrent que le smartphone est un appareil qui peut servir dans un grand nombre de situations, et pas seulement en cas de catastrophes naturelles. À chaque nouvelle version, les smartphones sont équipés d'un nombre croissant et varié de capteurs. Depuis la caméra et le GPS, jusqu'aux accéléromètres ou aux capteurs intégrés, les applications deviennent capables d'établir de riches interactions avec leur environnement. Dans le cadre du projet RAVEN, les smartphones sont utilisés afin d'aider ceux qui tentent de faire face à une catastrophe (qu'elle soit naturelle ou non), pour rendre plus rapide la collecte de données en situation d'urgence extrême (Palmer *et al.*, 2012), avec une interface utilisateur à la fois intuitive, riche et simple d'utilisation. De leur côté, Marquardt *et al.* (2011) prouvent qu'une application ayant accès aux données de l'accéléromètre peut les utiliser pour récupérer le texte saisi sur un clavier à proximité, en enregistrant puis en reconstruisant les touches appuyées uniquement sur la base des vibrations observées émises par chaque touche du clavier. On peut également citer les travaux de Mulhern *et al.* (2013), qui ont développé un système basé sur les techniques de reconnaissance vocale et la connexion *Bluetooth* pour que les personnes souffrant d'un handicap physique puissent contrôler à distance leur télévision. Ces individus peuvent ainsi interagir de façon autonome dans un environnement domestique.

3.3.3. Des technologies au service d'initiatives citoyennes en pleine expansion

L'émergence d'un nouveau courant : le V.G.I.

Derrière les implications spatiales (multiples et combinées) liées à l'ère numérique, un autre courant vient bouleverser les pratiques dans de nombreux domaines, notamment celui de la crise. Il se traduit par ce que Goodchild (2007) définit comme de l'*Information géographique volontaire* (VGI : *Volunteered Geographic Information*). La VGI désigne la collecte de données spatialisées, produites

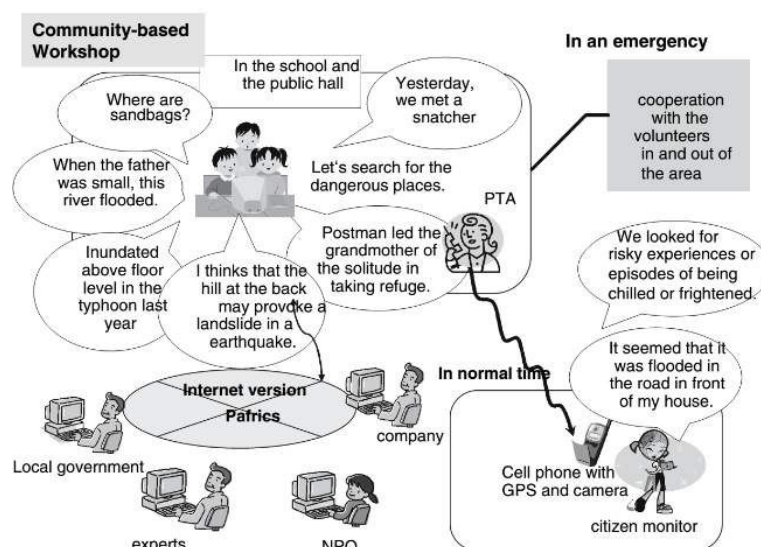
de façon informelle, c'est-à-dire par des citoyens « ordinaires », en utilisant des outils appropriés en vue de rassembler leur point de vue ou leur connaissance de l'espace géographique. Ce volontariat est (selon Coleman *et al.*, 2009, cité par Horita *et al.*, 2013) ; un moyen efficace pour développer, qualifier et contribuer à la production d'information à usage humanitaire. En outre, cela améliore la quantité d'informations et l'expérience des membres d'une communauté à travers *OpenStreetMap*, *Wikimapia* ou *Ushahidi* (Okolloh, 2009 ; Ziemke, 2012).

Ensemble, les individus forment un nouveau groupe d'acteurs : la communauté des volontaires et techniciens du numérique. Cette dynamique est réelle, dans la mesure où les terminaux mobiles équipés de capteurs GPS et d'accès internet deviennent les appareils personnels les plus utilisés au quotidien. Le web 2.0 a introduit un nouveau paradigme à travers lequel les utilisateurs peuvent aussi être des fournisseurs d'information, ce qui fait des citoyens des sources continues et en temps réel d'information de type VGI. On a donc d'importantes quantités de données accessibles à un coût réduit. Ces acteurs contribuent donc en permanence à la production d'une quantité considérable de données sur internet. D'après Horita *et al.* (2013) une étude aux États-Unis a révélé que 35% d'entre eux produisent et partagent du contenu en ligne (Flanagin et Metzger (2008), cité par Horita *et al.*, 2013).

Les contributions du V.G.I. dans le domaine de la prévention des inondations

Comme le signalent Van de Walle *et al.* (2010), des actions d'anticipation peuvent être prises en vue de réduire ou d'éliminer les impacts probables sur les personnes et les biens avant qu'une crise ne soit confirmée. C'est en tenant compte de cet aspect qu'Ikeda *et al.* (2010) ont travaillé à la mise en place d'un système de communication participatif sur le risque inondation. Il est question à travers ce dispositif de renforcer la capacité des communautés locales à faire leurs propres choix de gestion en ce qui concerne le risque de catastrophe à "faible probabilité, mais à graves conséquences".

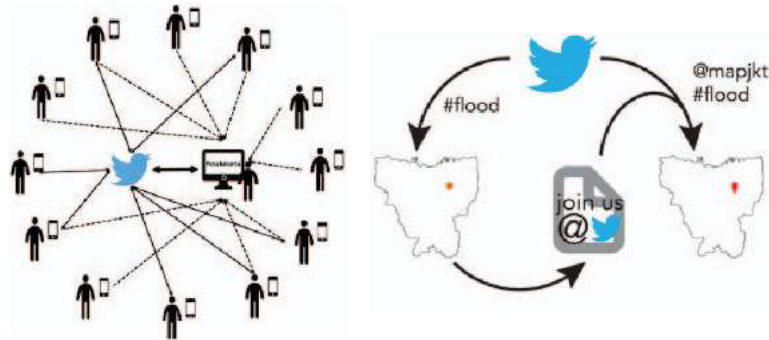
Cette approche passe par la promotion de la participation des populations locales et d'autres intervenants dans l'ensemble du cycle planification, conception, mise en œuvre des processus de réponse dans la gestion des risques de catastrophe. À travers une plateforme multilatérale intégrée de gestion des risques, il s'agit d'amener les acteurs locaux à s'exprimer et à donner leur avis en ce qui concerne la question des risques (Ikeda *et al.*, 2010). À l'aide de leur téléphone, ils se positionnent également comme premières sources d'information pour la surveillance des aléas probables se trouvant à proximité de leurs habitations ou des endroits habituellement fréquentés (Fig. 3.7).



Source : Ikeda *et al.*(2010)

Figure 3.7 : Plateforme participative proposée par Ikeda *et al.* pour la gestion du risque inondation.

Dans cette même dynamique, Perez *et al.* (2015) portent un projet commun entre l'Université de Wollongong (Australie), l'Agence de Gestion des Catastrophes de Djakarta (AGC) et Twitter Inc., PetaJakarta.org⁴³, qui a pour principal objectif de 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 celles-ci n'aient des conséquences désastreuses. Ce dispositif fonctionne à travers la collecte de données critiques et leur agrégation en temps réel. Elles sont principalement issues des tweets géo localisés des citoyens pour la coproduction automatique d'une carte de situation. Les citoyens contribuent dans l'espoir que les données qu'ils partagent seront à la fois utiles pour eux et pour leur communauté (Fig. 3.8). Ces données sont directement utilisées par les services d'urgence et par les citoyens en vue d'être mieux préparés.



Source : Petajakarta.org

Figure 3.8 : Fonctionnement du projet Petajakarta.

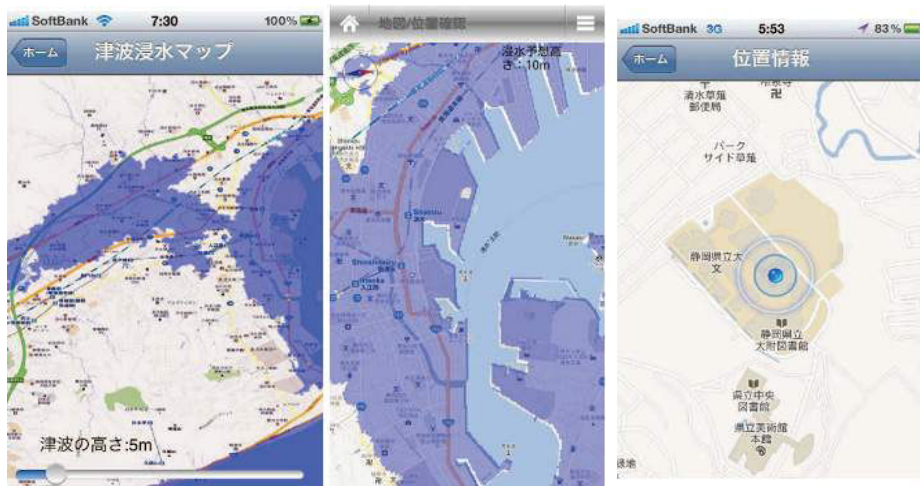
Perez *et al.* (2015) présentent cet outil comme un système sociotechnique auto-organisé dans la mesure où les citoyens sont libres de rejoindre, de consulter, de contribuer ou de quitter réseau à tout moment, seuls les tweets (adressés à @petajkt avec le tag #banjir) pertinents sont agrégés grâce à un système expert (*CogniCity*) en vue de minimiser les erreurs, le dispositif fonctionne beaucoup sur la base de la confiance : il faut prendre ce qui est posté pour vrai, même si on sait que des erreurs sont à envisager. Il s'agit comme le soulignent Balestrini *et al.* (2015) de partir d'une approche participative en vue de faire du sens à partir des données.

Les contributions du V.G.I. durant la gestion de crise

Ces initiatives sont bien plus nombreuses, car les catastrophes ont pour effet « d'éliminer les individualités » en vue de laisser s'exprimer l'esprit communautaire et le désir spontané d'apporter son aide ou sa contribution, si modeste soit-elle. Yuze *et al.* (2013) ont, dans cette optique, réalisé une application pour l'anticipation des zones inondables à la suite d'un tremblement de terre générateur de tsunamis. Cette application intègre un Model Numérique d'Élévation (MNE) chargé sur le téléphone, et la précision des zones impactées varie ensuite suivant l'espace mémoire disponible et le système d'exploitation de l'appareil (Android ou iPhone) (Fig. 3.9). L'idée est de pouvoir afficher sur une carte la zone potentielle touchée par l'inondation, indépendamment de la connexion internet en effectuant tous les calculs uniquement à l'aide du smartphone. Il offre, par ailleurs, la possibilité de signaler aux autorités ou aux proches qu'on est sain et sauf, et également le moyen de transmettre des informations personnelles à un serveur et d'en recevoir une fois l'accès internet rétabli.

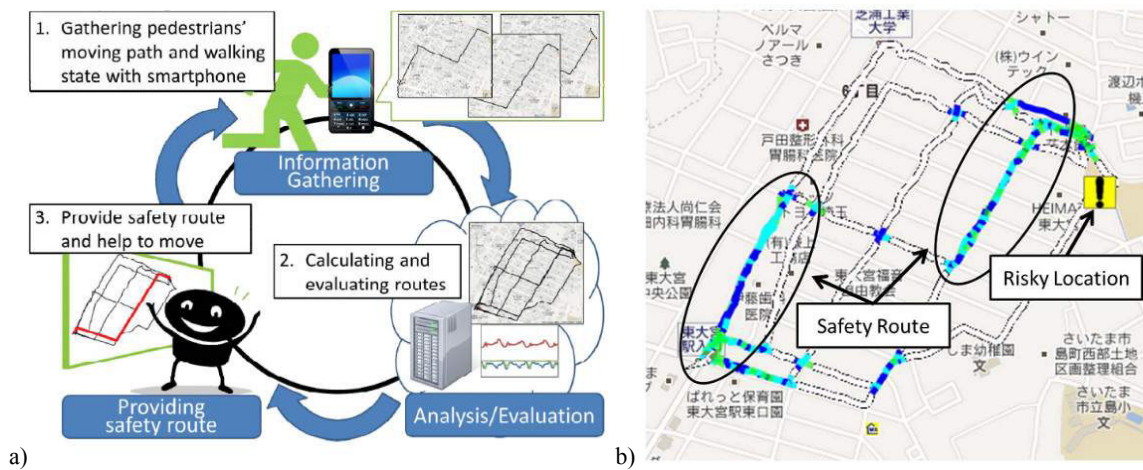
Un autre système, proposé par Kusano et Inoue (2013), permet de déterminer les itinéraires sécurisés suite à une inondation. Il est alimenté par et pour les piétons. Il est basé sur le recueil et le traitement en continu de leurs données de localisation, leur vitesse de déplacement, l'intensité du trafic pédestre ou la présence d'obstacles à surmonter (données obtenues grâce à l'accéléromètre). Une identification des passages sécurisés est ensuite générée (Fig. 3.10).

⁴³ <https://petajakarta.org/banjir/en/>



Source : Yuze *et al.*(2013)

Figure 3.9 : Captures d'écran de l'application proposée par Yuze *et al.*(2013).



Source : Kusano et Inoue (2013)

Figure 3.10 : (a) Principe du système et (b) carte générée par le dispositif de Kusano et Inoue.

En ajoutant aux données d'occupation du sol et d'élévation, les alertes officielles (temps réel), des données météo (vitesse du vent), des profils de routes (présence de feux, arrêts) et des données citoyennes (trafic automobile en temps réel et itinéraires habituels Yaqut et Cao (2012) proposent de leur côté, *Endroit*, une application de calcul d'itinéraire pour véhicules électriques. L'idée est aussi de proposer un itinéraire optimal et économique en termes de consommation d'énergie.

Des contributions qui rapprochent les données officielles des remontées citoyennes

Vitaveska *et al.* (2014) proposent, quant à eux, d'établir et de renforcer la coparticipation entre les citoyens, les autorités et toutes les parties prenantes autour du risque inondation, que ce soit dans l'urgence ou dans la gestion au jour le jour de cette problématique. Il s'agit ainsi de 1) travailler à la création et au partage d'une intelligence collective en ce qui concerne les événements et les lieux, 2) maintenir une vigilance permanente en vue d'améliorer la prévention, la protection et la préparation des crises futures, 3) implémenter de nouvelles approches participatives dans la planification, la prise de décision et la gouvernance. *WeSensIt* est le terme qui a été choisi pour désigner à la fois ce concept et l'application smartphone qui le concrétise (Fig. 3.11).



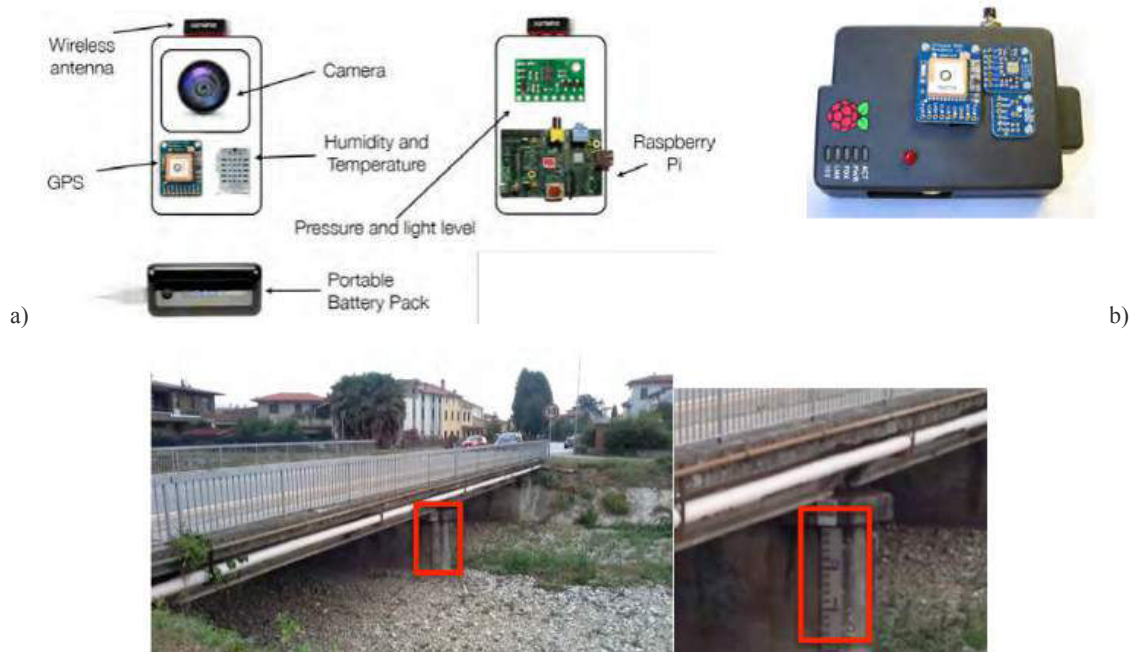
Source : Vitaveska *et al.* (2014)
 Figure 3.11 : Modèle représentant le concept *WeSensIT* (a) et interface de l'application(b).

WeSensIt, comme son nom l'indique, « *donne du sens* » à la donnée. Cette donnée provient de capteurs (passifs et actifs) et la collecte passive se fait en deux étapes : 1) implantation de jauges graduées dans les cours d'eau pour une lecture visuelle de leur niveau. 2) utilisation de l'application smartphone pour renseigner et transmettre le niveau observé en scannant un QR-code figurant sur la jauge. Ce QR code contient des informations de description et la localisation de la jauge (Fig. 3.12). La collection active se fait à la fois à l'aide de jauges numériques autonomes dédiées et de haute précision pour de mesure et la transmission via le réseau cellulaire, gérés par les autorités et installées à des endroits précis (étant d'un prix élevé, elles sont peu nombreuses) et de capteurs bon marché, néanmoins fiables et conçus spécialement pour les besoins du projet à partir d'un dispositif Raspberry Pi⁴⁴(Fig. 3.12). Ce dispositif est à l'endroit des citoyens qui souhaitent contribuer au projet sans forcément se servir de l'application, mais en ayant leur propre station de mesure.

Toutes ces informations sont compilées, stockées et maintenues dans un serveur cartographique. Elles sont accessibles à la fois par les citoyens et les autorités en vue d'apporter la réponse appropriée en cas d'inondation. Après un test en Angleterre, les premiers retours d'expérience de ce dispositif ont mis en évidence des retombées positives à la fois pour les autorités et pour les citoyens. Pour les premiers, c'est l'augmentation de la quantité de données livrées en temps réel, qui une fois combinées avec celles issues des capteurs haute précision permettent d'améliorer le dispositif de vigilance. Pour les seconds, le gain réside dans leur implication dans la collecte de données qualitatives et quantitatives leur permettant ainsi de jouer un rôle déterminant dans l'action des autorités au niveau local et d'être des sources d'information aussi bien pour leurs voisins que pour leur communauté.

Toujours dans le domaine des dispositifs intermédiaires faisant appel à la fois à des sources officielles et des données citoyennes, Alam *et al.* (2015) exploitent, de leur côté, des données images provenant des caméras civiles pour l'établissement d'itinéraires pour la circulation routière et intégrant des informations en temps réel en vue d'avertir les automobilistes en cas d'accidents, d'embouteillages et même de crues rapides. Il s'agit plus d'une application qui peut servir aussi bien aux autorités (suivre en direct le réseau de n'importe quel endroit de la ville) qu'aux citoyens qui depuis leurs mobiles obtiennent un itinéraire déterminé en fonction du mouvement et des déplacements des autres véhicules grâce à l'application LiTMas (Fig. 3.13).

⁴⁴ <https://www.raspberrypi.org/>

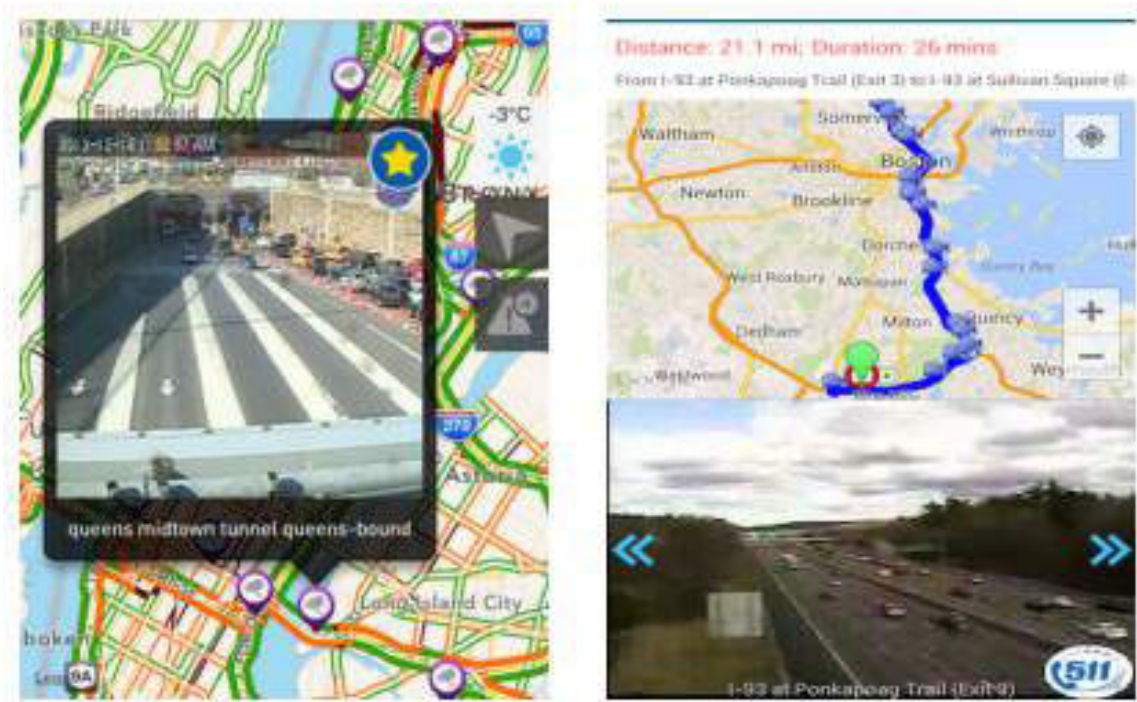


Source : Vitaveska *et al.* (2014)

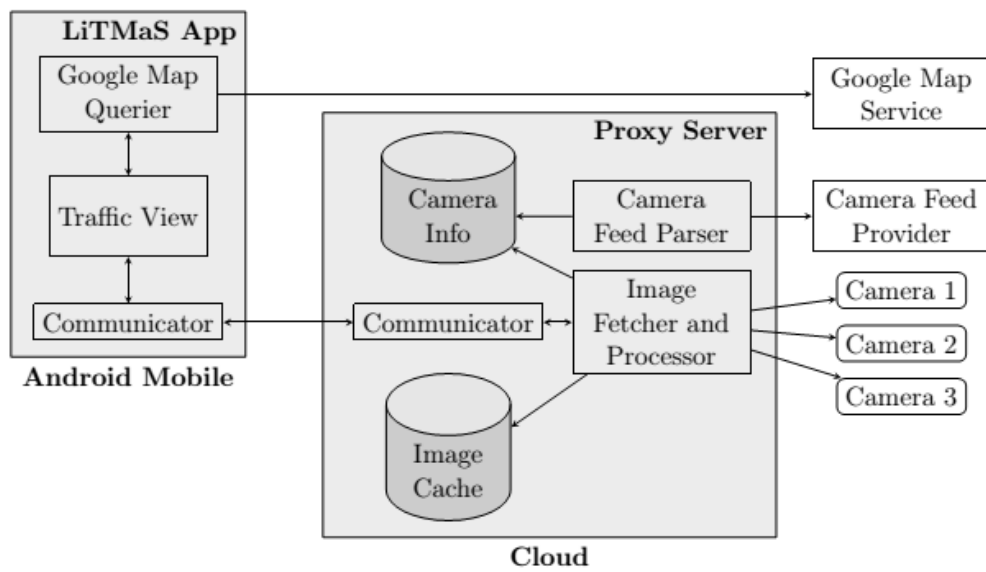
Figure 3.12 : Dispositif Raspberry Pi(a) et dispositif passif de collection avec QR code(b).

Mandurano et Haber (2014) travaillent par ailleurs sur un système d’alerte de proximité pour les personnes situées en dehors de leur maison quand celle-ci est susceptible d’être inondée. Il s’agit d’un dispositif couplé à une application smartphone (House Away), de contrôle et de sécurité du domicile permettant, à l’aide de capteurs disposés dans des endroits sensibles (caves, sous-sols, garages), d’être prévenus en cas d’accumulation ou de montées du niveau d’eau dans la maison. Ainsi, l’habitant d’une cité peut alerter ses voisins et même les autorités lorsque sa maison est sur le point d’être inondée.

Un autre exemple de collaboration entre des données citoyennes et données étatiques est proposé par Schnebele *et al.* (2014) : Evaluation des routes endommagées et de l’étendue de crues. Cette méthode testée lors des inondations provoquées par l’ouragan Sandy en 2012 combine images satellites, modèles numériques d’élévation, prises de vues aériennes de la branche civile de l’armée de l’air américaine (Civil Air Patrol), couches vectorielles officielles de la ville de New York descriptions apportées par les citoyens ainsi que des photos publiées sur les réseaux sociaux (**Fig. 3.14**). L’objectif de cette démarche est de combler le vide lié à la couverture spatiotemporelle prise en compte par les données si on les considère séparément.



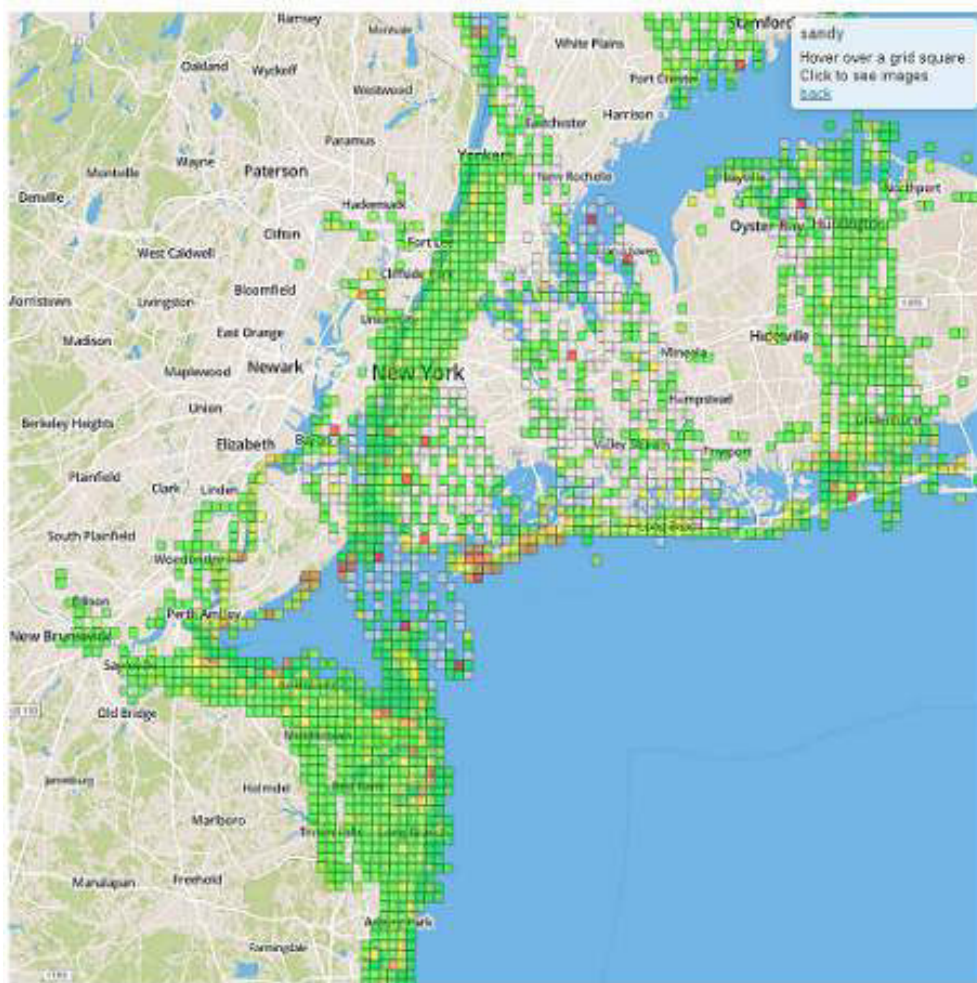
a)



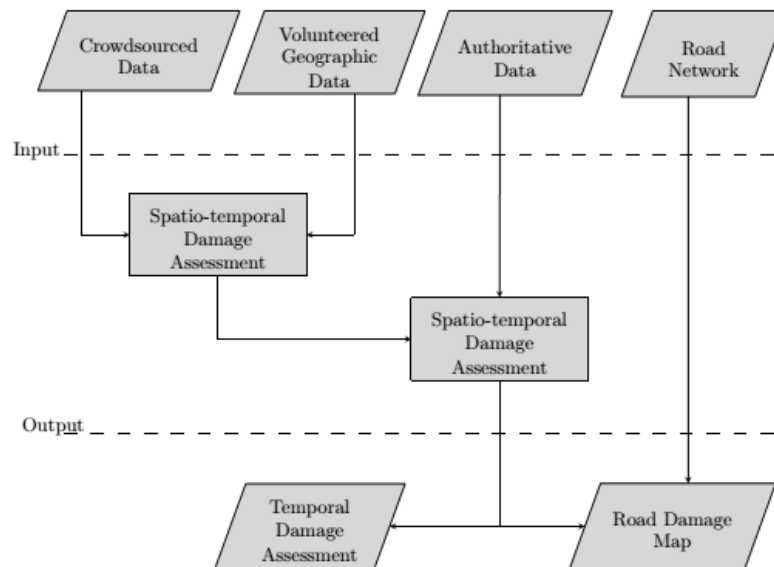
b)

Source : Alam *et al.* (2015)

Figure 3.13 : (a) Interface de et (b) architecture d'ensemble du système LiTMaS.



a)



b)

Source : Schnebele *et al.* (2014)
 Carreau rouge : sévère, jaune : moyen et vert : aucun

Figure 3.14 : (a) Evaluation des dommages à l'aide des images de la CAP et (b) procédé d'intégration des données non officielles dans la chaîne de décision.

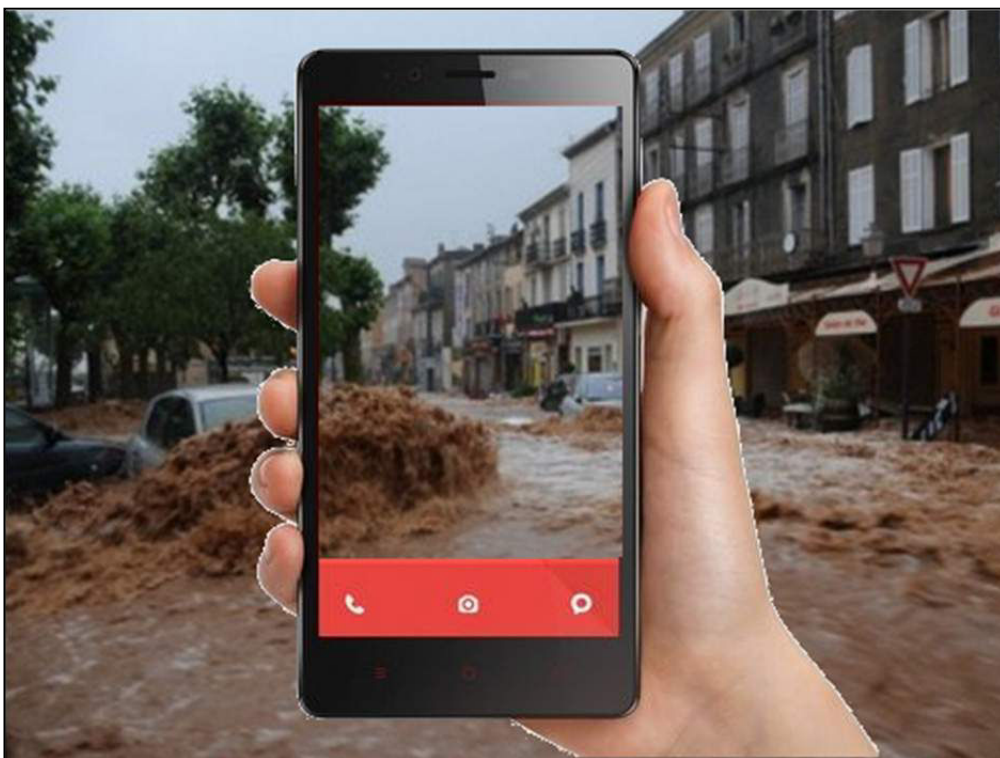
Conclusion du chapitre 3

Ce **chapitre 3** avait pour ambition de mettre la lumière sur les possibilités qu'offrent les outils numériques aujourd'hui. Sans ignorer les disparités qu'ils engendrent, ces dispositifs contribuent à de nouvelles dynamiques spatiales et ouvrent par la même occasion de nouvelles perspectives en matière d'aide à la décision. De par leurs usages multiples, ces outils sont aussi des vecteurs de rapprochement et de généralisation de pratiques qui n'ont, pour seules véritables limites, que le niveau d'équipement et la volonté d'y recourir (autrement dit la propension à être utilisé). Pour les populations, les outils numériques ont renforcé leurs demandes en termes de soutien social vis-à-vis de leurs proches et ont renforcé l'aide et de solidarité comme l'ont montré les récentes inondations du 3 octobre 2015. Du côté des managers, bien que les niveaux d'implication vis-à-vis des outils numériques soient variables et suscitent une certaine méfiance (en tous cas, en France), cela leur permet néanmoins d'être au plus près de la population, avec des niveaux de réponses ajustés au contexte local.

De manière plus spécifique, l'usage du smartphone, à travers l'implication du citoyen dans des dispositifs de type VGI, s'avère être une piste prometteuse dans la gestion du risque inondation. Les exemples présentés ici mettent en avant des dispositifs intégrés allant au-delà de simples applications. Il s'agit de véritables systèmes d'information qui ont, comme première ressource, une participation volontaire de la part du citoyen. S'il est volontairement impliqué, le citoyen peut jouer un rôle crucial pendant, avant et après une inondation. Le citoyen peut contribuer à une meilleure connaissance de ces phénomènes en se servant de son smartphone et grâce aux capteurs embarqués. Les possibilités sont quasiment infinies, que ce soit en termes de prévention, de prévision, de vigilance, de préparation, de gestion de crise, post-crise, de retour à l'équilibre, de mémoire individuelle et collective, ou de culture du risque. Parce qu'il vit dans un territoire qu'il connaît, l'individu peut avoir une compréhension et une connaissance actualisée et locale, qui pourraient compléter la lecture étatique qui, elle, est souvent globale et décontextualisée. Cependant, comment amener le citoyen à y trouver un intérêt même si le danger n'est pas imminent ? Comme l'impliquer également dans la procédure d'alerte alors que les dommages commencent et que les effets des pratiques peuvent prendre le pas sur des comportements rationnels ? Le chapitre suivant est l'occasion d'apporter quelques réponses à ces deux questions, et de concentrer les recherches sur les applications smartphone qui ont vu le jour depuis 2012 en France.

Chapitre 4

Les applications smartphone en appui aux dispositifs d'alerte aux inondations en France : état des lieux, usages attendus et avis de la population



Source : Kouadio (2015)

Photo montage réaliste à partir d'une image de l'AFP.

Introduction du chapitre 4	121
4.1. Caractéristiques et importance des technologies smartphones	121
4.2. Une émergence récente d'applications en appui à l'alerte en France	126
4.3. Quels usages attendus en cas d'alerte aux inondations ?	126
4.4. La population est-elle encline à ces technologies smartphone ?	139
Conclusion du chapitre 4	148

Introduction du chapitre 4

D'un point de vue scientifique, l'usage des smartphones questionne les chercheurs, car il tend à changer les façons dont on appréhende la géographie des risques et dont on peut valoriser les savoirs des experts citoyens (Bird *et al.*, 2012 ; Rive *et al.*, 2012 ; Higonet *et al.*, 2014 ; Kouadio et Douvinet, 2014). En faire un tel usage pose en fait de nombreuses questions, toutes légitimes et interconnectées :

- comment utiliser les données de géolocalisation sans franchir la limite de la vie privée ?
- quelles architectures matérielle et logicielle déployer pour ne pas dépendre des réseaux de télécommunication, potentiellement saturés ou coupés en cas de crues rapides ?
- quels sont les opérateurs en charge de la mise en service des applications ?
- quelles sont les réactions des personnes qui reçoivent un message d'alerte via leur téléphone mobile ? Comment ne pas provoquer des phénomènes de panique ou accentuer les réactions inappropriées (Ruin *et al.*, 2012 ; Creton-Cazenave, 2010) ?
- étant donné que les dispositifs d'alerte fonctionnent dans une approche "top-down" (« l'Etat alerte et la population réagit »), comment encourager les citoyens à transmettre des informations via leur téléphone, sans reproduire une approche top-down à un niveau local, autrement dit conférer à des citoyens un rôle de lanceur d'alerte pour que l'ensemble d'une population soit informé des risques encourus ou des gestes à adopter ?

Ce **chapitre 4** a dès lors pour objectif d'apporter des réponses à toutes ces questions et de faire un état des connaissances sur les applications développées ces dernières années en France. Après avoir rappelé les caractéristiques de ces technologies et étudié leur intégration progressive dans le quotidien (§3.1), la structure et le mode de fonctionnement de plusieurs applications sont détaillés puis comparés (§3.2). Les usages attendus dans le domaine de l'alerte sont ensuite discutés (§3.3). Des enquêtes ont, en corollaire, été menées dans plusieurs communes du Var et du Vaucluse, pour mesurer la propension des populations à l'usage d'applications urgentistes (afin de vérifier si les applications existantes sont utiles ou non) tout en améliorant la connaissance sur les conditions de réussite aux échelles locales (et voir ainsi si une application basée sur une approche "bottom-up" serait plus appropriée).

4.1. Caractéristiques et importance des technologies smartphones

4.1.1 Quelques éléments de présentation

Un *smartphone* ("ordiphone" en français) peut être perçu comme étant « un téléphone mobile doté des capacités d'un ordinateur, ce qui lui permet d'interagir avec d'autres systèmes informatiques » (**Tableau 4.1**). Il n'existe pas vraiment de définition officielle d'un « smartphone », si ce n'est la populaire référence au "téléphone intelligent", mais celle-ci est vite réductrice, car les téléphones sont intelligents dans la mesure où l'homme ne peut intervenir à tous les niveaux de leur fonctionnement. En plus de sa fonctionnalité originelle (pouvoir émettre ou recevoir des appels téléphoniques), un smartphone est en mesure d'effectuer d'autres tâches, ce qui était il y a encore quelques années initialement réservées aux assistants numériques personnels (PDA). Un tel téléphone a également la faculté de gérer et de traiter des informations provenant des différents capteurs intégrés (accéléromètre, connexion internet, WiFi, GPS) ou qu'il est possible d'associer à l'appareil en fonction des usages que l'on souhaite en faire (navigation, assistance, cartographie, géolocalisation, etc.).

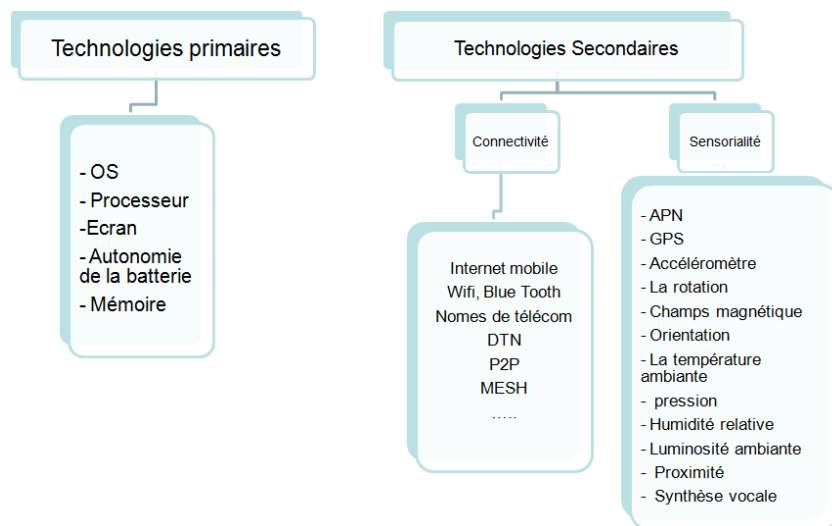
Doté d'un espace mémoire de plus en plus important, il est également possible de leur ajouter de nouvelles fonctionnalités, soit en les appareillant à des capteurs extérieurs, soit en y installant de nouvelles applications, soit en supprimant ou désinstallant celles fournies au départ par le constructeur. Ces possibilités d'adaptations et d'applications permettent de convertir le smartphone en un appareil hautement personnalisable.

Définitions	Sources
A mobile telephone with computer features that enable to interact with computerized systems, send e-mails, and access the web	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
A mobile telephone with extended features as a personal digital assistant, Internet browser, etc.;	Modern Language Association (MLA)
A mobile phone that is able to perform many of the functions of a computer, typically having a relatively large screen and an operating system capable of running general-purpose applications.	Oxford Dictionaries
A device that combines a cell phone with a hand-held computer, typically offering Internet access, data storage, e-mail capability...	American Psychological Association (APA)

Tableau 4.1 : Définitions du smartphone.

Le smartphone dispose de technologies dites primaires (système d'exploitation, processeur, mémoire, batterie, mémoire) et d'autres dites secondaires (**Fig. 4.1**). Ses capteurs (connectivité et sensorialité) lui permettant de se distinguer des autres téléphones. Plusieurs éléments permettent de classer assez vite un téléphone dans la catégorie smartphone :

- les applications qu'il propose et que l'on peut installer et/ou supprimer,
- la connectivité (WIFI, D2D, Bluetooth, NFC, 3G/4G, Edge, etc.) ;
- le clavier, qui est complet comme sur un ordinateur. La différence entre un smartphone et un téléphone mobile classique n'est pas liée à ce qu'il peut faire, mais surtout à ce que son utilisateur lui permet de faire.



Source : Kouadio (2014)

Figure 4.1 : Les technologies smartphone

Un téléphone est dit « *smart* » dans la mesure où il ne sert pas uniquement à émettre et/ou à recevoir des appels (technologiquement parlant). Aussi, plus les téléphones combinent différents capteurs et applications pour faciliter le quotidien, les tâches journalières ou les activités socioprofessionnelles, plus on entre dans l'univers des smartphones. Bon nombre de personnes rattachent le smartphone à la fonctionnalité GPS ou à la géolocalisation, mais ces fonctions existaient sur certains téléphones bien avant que le terme *smartphone* ne soit employé pour la première fois (c'est-à-dire en 2001 avec l'Ericsson R380). Un rapide retour historique semble alors nécessaire.

4.1.2 Rapide historique sur l'émergence et les évolutions des smartphones

Les fonctionnalités des smartphones ont considérablement évolué au cours des deux dernières décennies. Le premier téléphone mobile ayant été qualifié de téléphone dit intelligent fut mis en vente en 1992 par IBM (*Simon*). Portant également le surnom de « brique », il intégrait un fax, un tableur, un éditeur de textes et un agenda. *Simon* a toutefois fait l'objet d'un véritable échec commercial (**Fig. 4.2**) et il faut attendre 4 ans plus tard (avec la série des *Communicator* de Nokia) pour que le marché du smartphone explose. Les *Communicator* sont des téléphones pliants à deux écrans, dotés d'un clavier physique complet. Grâce à son système d'exploitation vedette Symbian, Nokia va améliorer les différentes versions au fil des années, avec le *Nokia 9000 Communicator* en 1996, *Nokia 9110* en 1998, *Nokia 9210 Communicator* en 2001, *Nokia 9210i* en 2002, *Nokia 9500 Communicator* et *Nokia 9300 Communicator* en 2005. Le succès de Nokia prit fin en 2007 avec l'arrivée d'*Apple* (avec iOS) et de *Google* (avec Android) qui dominent depuis le marché mondial (IDC, 2012).



Source : Kouadio (2015)

Figure 4.2 : Évolution chronologique des principaux modèles de smartphones.

Avant 2006, les constructeurs gardaient le contrôle à la fois sur le contenant et le contenu. Les smartphones étaient coûteux et demandaient certaines prédispositions en informatique pour une bonne prise en main (puisque ces téléphones étaient destinés au milieu professionnel et à celui des hommes d'affaires). Les utilisateurs en étaient très dépendants et ils devaient attendre la sortie d'une nouvelle version pour avoir ces nouvelles fonctionnalités, ou attendre que ces fonctionnalités soient disponibles sur le site de la firme. En 2007, *Google* et *Apple* vont avoir recours à des transferts de compétences et de savoir-faire importants. Toutefois, Android est le système d'exploitation le plus répandu à l'heure actuelle, avec plus de 80% de part de marché mondial devant de bien loin le second, iOS, qui lui ne détient que 13% (Source IDC) (**Fig. 4.3**).

Le smartphone semble changer de dimension, en permettant à tout individu de passer du statut de consommateur à celui de producteur : toute personne motivée peut créer des applications et des informations, puis les mettre en l'espace de quelques minutes à la disposition du grand public en ligne. Ce changement de pratique est facilité par l'introduction de nouveaux appareils, de plus en plus ubiquitaires et interconnectables, avec lesquels elles inondent le marché (tablettes, télévisions

numériques, appareils photo équipés de GPS, etc.), mais également par l'avènement de réseaux sociaux numériques (RSN) et la consommation accrue des entreprises (Yevseyeva *et al.*, 2014 ; Arabo, 2015 ; Alqahtani et Atkins, 2016). La démocratisation de la technicité, l'ouverture des bibliothèques de codes, puis la mise à disposition d'outils de développement, favorisent l'émergence de communautés d'utilisateurs : des contributeurs volontaires, des passionnés, des amateurs, des professionnels (...) font avancer les développements, chaque jour un peu plus.

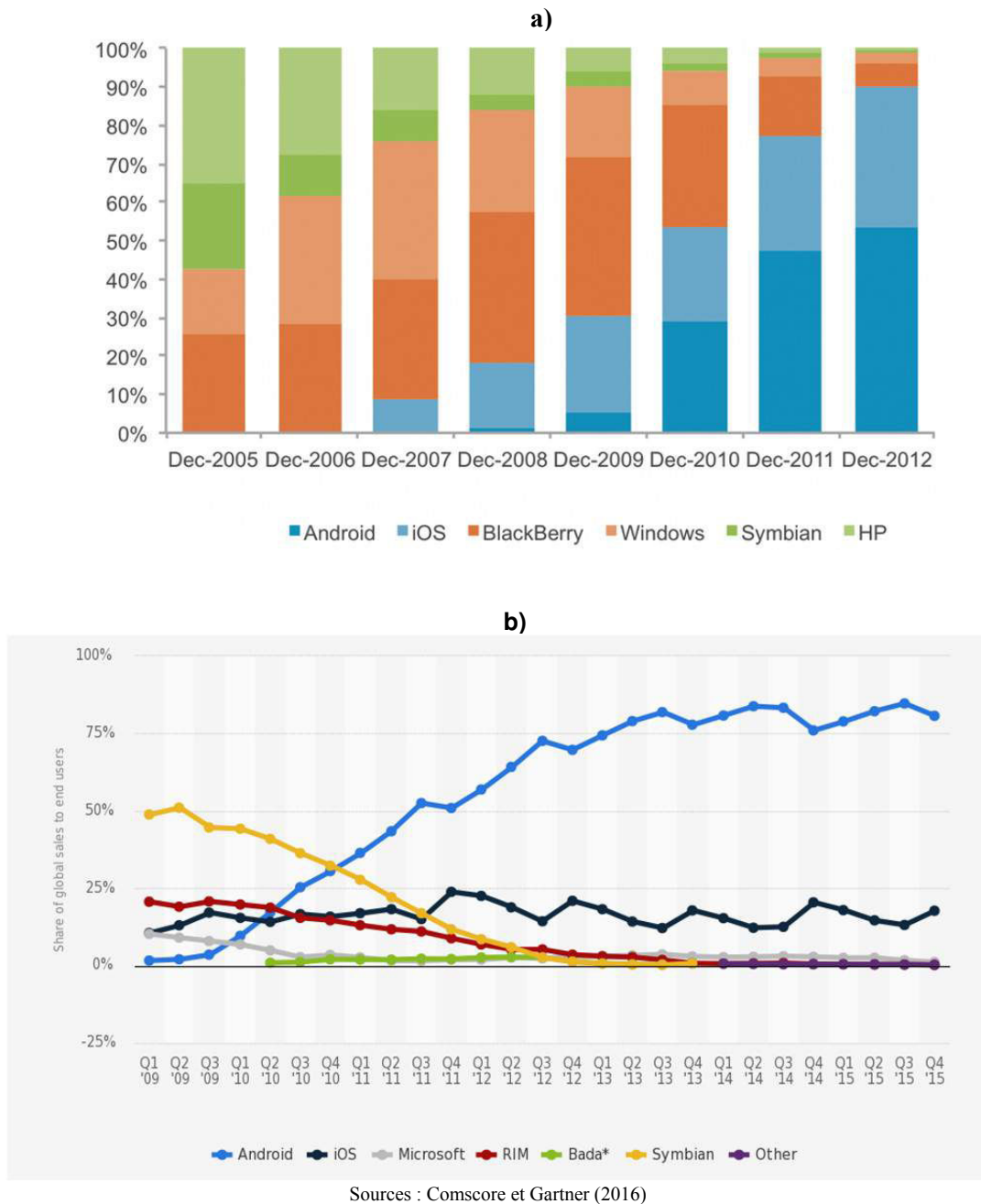
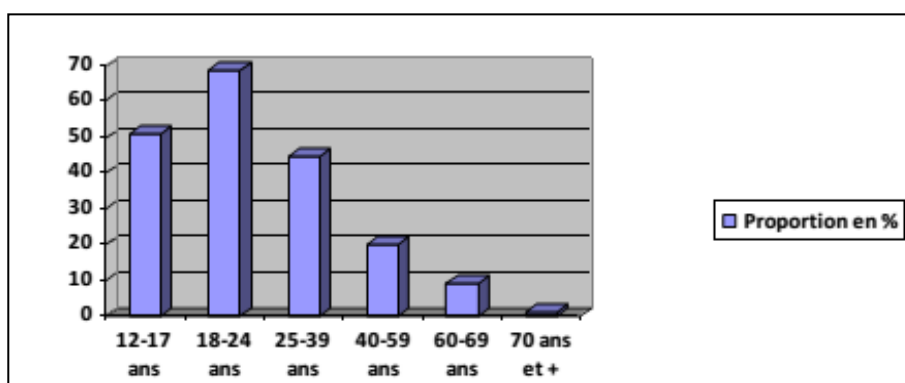


Figure 4.3 : Evolution des parts de marché des systèmes d'exploitation smartphone de 2005 à 2012 (a) et de 2012 à 2015.

4.1.3 Une pénétration rapide en France

Sans échapper à l'engouement mondial, le smartphone s'est vite implanté en France et il est en phase de devenir l'objet dont on ne se sépare jamais. Témoin des nombreuses interactions dont il est le support, le smartphone est le premier appareil que l'on tient en main au réveil, et c'est aussi le dernier que l'on abandonne avant de s'endormir (CNIL, 2011). Selon un rapport de la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) de 2011, 59% des utilisateurs sont des hommes, jeunes en majorité (15 à 24 ans) et issus des milieux urbains (43%). Il y a aussi des différences marquées de profils entre les systèmes d'exploitation : sur les 33% équipés du système *Android* et 27% d'équipés *iPhone*, respectivement 28% et 30% ont entre 35 et 49 ans. *Symbian* est majoritaire chez les hommes (57%) et bien appréciés par les 50 ans et plus (32%), tandis que *BlackBerry* est plus apprécié par les filles jeunes (14% ont entre 15 et 17 ans).

Les statistiques de *Google* révèlent par ailleurs que le taux de pénétration du smartphone est passé de 21% au premier trimestre de l'année 2011, à 38% au premier trimestre 2012, puis à 42% en décembre 2013, avant d'atteindre 84% en 2015. En 2013, 39% des français âgés de 12 ans et plus possédaient un smartphone (CREDOC, 2013) et parmi eux, 37% l'utilisent essentiellement pour la navigation internet, 30% pour l'envoi de courriels, 29% pour le téléchargement et 7% pour regarder la télévision. La possibilité de rester connecté à internet, à tout moment et partout (pas de temps mort), et celle de faire plusieurs choses en même temps sont des éléments qui reviennent très souvent dans les critères d'adoption du smartphone par les français. Il existe par ailleurs un lien avéré entre l'âge, le diplôme et le revenu dans l'importance des pratiques internet. Au niveau des applications, la pratique de téléchargement est la plus répandue chez les personnes âgées de 18 à 25 ans (69% d'entre eux), puis chez les 12-17 ans et les 25-39 ans (Fig. 4.4). Les usages liés à internet doublent ensuite une fois que l'on possède un smartphone : 34% des personnes possédant un téléphone ordinaire se connectent à Internet, mais ce sont plus 66% chez ceux qui ont un smartphone. Même si la durée journalière d'utilisation varie d'un utilisateur à l'autre, on l'utilise de manière intensive avec un nombre moyen d'interactions quotidiennes situées entre 10 à 200 fois pour un temps de contact situé entre 1 et 200 secondes (Verkasalo, 1999). On distingue les utilisateurs intensifs caractérisés par un usage quasi constant et très marqué en déplacement, et les utilisateurs modérés qui s'en servent uniquement de façon ponctuelle (Ipsos et Google, 2012). Les activités les plus répandues sont l'envoi de messages SMS, la vérification et l'envoi de mails, puis la recherche d'itinéraires, les réseaux sociaux et la lecture d'informations (actualités), sans oublier les achats en ligne et la visite de sites à la suite de publicités et les réseaux sociaux numériques. Il semblerait également que les appels téléphoniques soient une activité du jour, les SMS, de la nuit, et les logiciels de messagerie instantanée comme *WhatsApp*⁴⁵ et *Viber*⁴⁶, les applications et les transferts de données, de fin de soirée et très tard dans la nuit.



Source : CREDOC (2013)

Figure 4.4 : Influence de l'âge sur les pratiques internet à partir du mobile (en%).

⁴⁵ <https://www.whatsapp.com/?l=fr>

⁴⁶ <http://www.viber.com/en/>

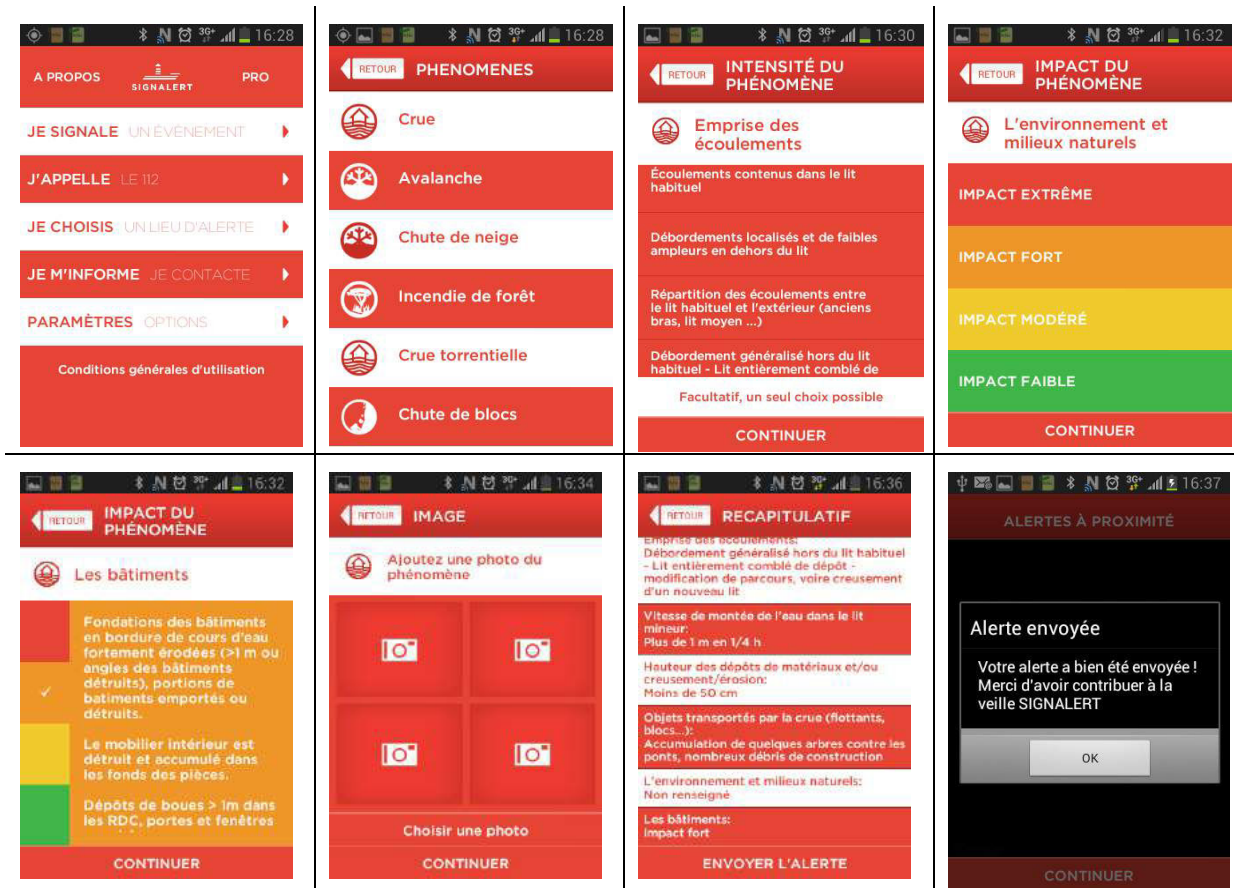
4.2. Une émergence récente d'applications en appui à l'alerte en France

Si les internautes partagent leur localisation en temps réel et leurs déplacements (*tracking*), ils souhaitent avoir en contrepartie accès à des réseaux urgentistes ou des appels de secours. C'est sans doute pour cette raison que les acteurs du monde humanitaire se sont très vite saisis de cette question, développant des applications (*Ushaidhi*, 18, *HumanLife*, *Croix Rouge*...) pour permettre à leurs agents de faire des états des lieux, des points de situation rapides ou des évaluations sur l'étendue des dégâts quelques heures après les catastrophes. C'est le début de l'ère du *Mobile Data Collection Systems* (MDCS) ; sans avoir besoin d'un téléphone, on peut renseigner des informations sur un formulaire et vite les transmettre à un centre de décision. C'est également le début de la communication à double sens, qui se fait au départ à travers une implication assistée et contrôlée des citoyens dans la collecte (Jung, 2011). Cette demande se traduit par le développement d'applications hyperspécialisées. Si les applications dédiées à l'alerte inondation ont émergé en 2009 aux États-Unis (*FloodAlert*), les applis françaises sont plus tardives, mais en plein essor depuis 2013. Certaines applications ont fait l'objet de développement dans des structures privées. Pour ne pas en faire la promotion, nous les appellerons par des lettres. D'ailleurs la profusion d'applications issues de structures privées sur le marché de l'alerte en France amène légitimement à se questionner sur les raisons d'une telle situation. Sans prétendre à l'exhaustivité, cette section a pour but d'étudier la structure et la logique inhérente au développement d'applications créées pour appuyer l'alerte aux inondations en France.

4.2.1 Des solutions logicielles émergentes

L'application S.

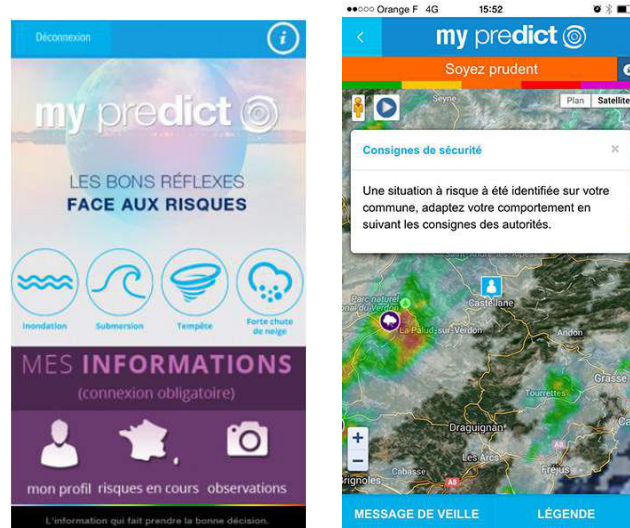
La conception et le mode de fonctionnement de cette application (**Fig. 4.5**) s'inspirent de l'usage de marqueurs et d'échelles d'intensité permettant une description fine, détaillée et en temps réel des crues observées. Les informations sont gérées sur une plateforme web (où des conseils de comportement sont indiqués) et des alertes peuvent être envoyées par une autorité (aux détenteurs de l'application) dans un périmètre délimitable. Dans sa version payante, il est également possible de demander une assistance d'urgence, de contacter les autres observateurs pour un même événement ou de définir les secteurs géographiques à surveiller, c'est-à-dire les espaces sur lesquels on veut recevoir des alertes. Ce système est doté d'un module d'exportation de données statistiques et cartographiques pour une réutilisation dans des systèmes annexes, grâce à l'intégration de systèmes de notifications automatiques nationaux et internationaux. Fonctionnant sous *Android* et *iPhone*, l'application S. (dont le rouge est la couleur dominante) présente un nombre important d'étapes à franchir ou de paramètres à renseigner avant de pouvoir envoyer l'alerte (**Tableau 3.2**). Ainsi, ce ne sont pas moins de 12 écrans allant de la localisation du phénomène aux photographies le caractérisant, en passant par sa description et la caractérisation de ces effets que l'utilisateur doit voir ou renseigner avant de valider son envoi.



Source : SIGNALERT (2016)
 Figure 4.5 : Captures d'écran de l'application S.

L'application P.

Basée sur les principes de la loi de Modernisation de la Sécurité Civile (mise en application en 2004), l'application *P.* (Fig. 4.6) fonctionne en « top-down ». L'information transmise aux usagers est d'abord graduée selon les différentes phases de la gestion de risque (prévention, anticipation, retour d'expérience et information) et précise ensuite la nature des comportements à adopter. Le principal objectif de cette application est d'inviter les utilisateurs à préparer leurs actions et à aller chercher de l'information complémentaire. Le comportement qu'on attend du citoyen, notamment lors de l'alerte, est fondé sur les recommandations des Plans Familiaux de Mise en Sécurité. Une fois le message reçu, l'utilisateur doit s'appuyer sur la connaissance de sa propre exposition et de sa vulnérabilité, ce qui peut être critiquable tant les comportements diffèrent en situation de crise (Creton-Cazenave, 2010 ; Lutoff *et al.*, 2016). L'expertise métier est ici apportée par des ingénieurs d'astreinte 24h/7jours, analysant plusieurs données hydrométéorologiques (les radars pluviométriques de Météo-France, les données maritimes de l'IFM, les impacts de foudre de *Météorage* par exemple) et les enjeux présents sur les espaces visés pour déterminer les dommages éventuels en cas d'événement prévu. L'information est envoyée aux services compétents dans un souci de ne pas doubler les alertes émises par les autorités. L'application *P.* permet enfin à son utilisateur de partager des observations de terrain par l'envoi de photos commentées et géolocalisées sur le phénomène en cours.



Source : <http://www.predictservices.com/particuliers.html> (2016)

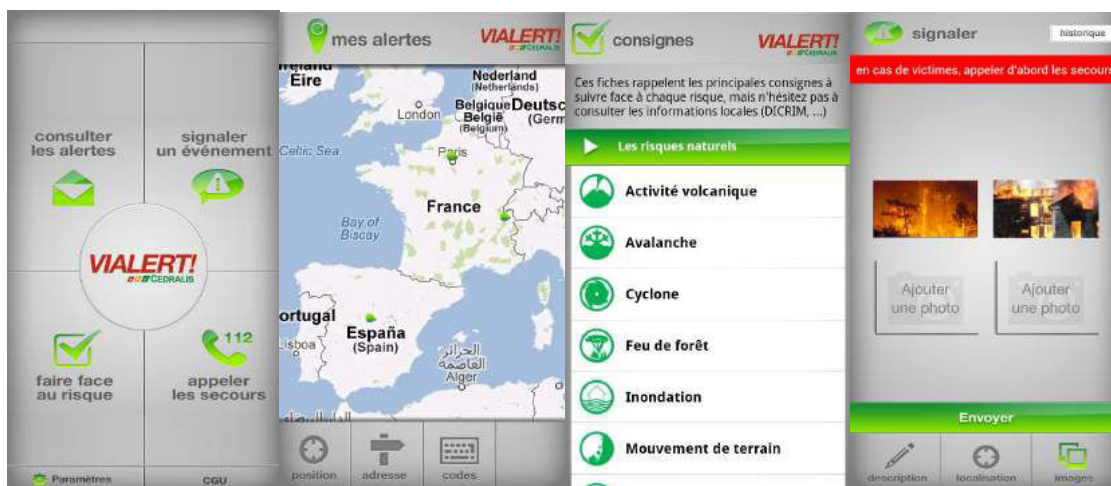
Figure 4.6 : Captures d'écran de l'application P.

L'application V.

V. (Fig. 4.7) a été développée pour prévenir les usagers en fonction du lieu où ils sont et non en fonction du lieu où ils habitent, ce qui permet de résoudre l'une des limites des SDAL, à savoir l'intégration des numéros de téléphone fixe dans la chaîne d'alerte. L'application part du constat que les habitants disposent de moins en moins de lignes fixes et qu'ils sont de plus en plus détenteurs de téléphones mobiles. L'application V. est gratuite pour l'utilisateur, qui s'abonne à des listes de diffusion (par mots clés ou par code événement) et qui peut signaler un événement à l'aide d'un formulaire simplifié (termes scientifiques vulgarisés avec photographies et coordonnées GPS de base). V. est toutefois payante pour l'autorité qui veut envoyer des messages d'alerte. Une fois la zone géographique sélectionnée (bassin versant, commune), le message est riche d'informations (textes et images de l'événement, flux RSS, sites internet ou RSN qui relatent l'événement, etc.).

Les usagers reçoivent une alerte même si le téléphone est en mode veille ou s'il est éteint, et la sonnerie s'intensifie jusqu'au retour d'un accusé de réception (signifiant que le message a bien été lu). L'administrateur peut connaître le nombre de personnes présentes (cf. détenteurs de l'application) dans la zone et savoir combien d'usagers ont bien reçu l'alerte. Selon ses concepteurs V. a pour objectif de renforcer le dispositif de diffusion de messages d'alertes selon le schéma suivant :

- le responsable émet un message d'alerte ou d'information ;
- le message est instantanément relayé par les serveurs des concepteurs ;
- le message est transmis via différents canaux (appel vocal, sms, fax, courriel, texto...) ;
- les destinataires ciblés sont immédiatement informés ou questionnés et peuvent remonter une information ou un accusé de réception ;
- les remontées sont ainsi consultables en temps réel.

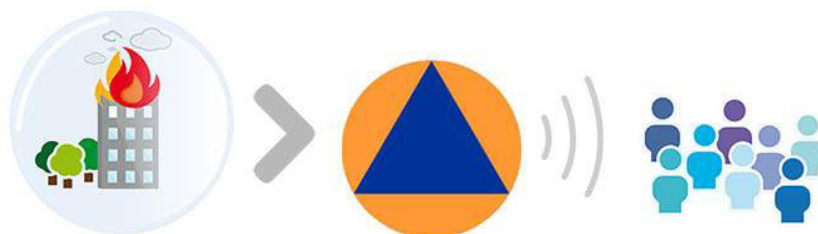


Source : <http://www.cedralis.net/vialert> (2016)
 Figure 4.7 : Capture d'écran de l'application V.

D'autres solutions issues de partenariats public-privé

L'interface *MyPublicAlerts* (créée par Deveryware) et l'application *Notico* (**Fig. 4.8**) sont issues d'un projet européen (ISAR+ FP7SEC2012-1). Elles visent trois objectifs :

- faciliter le dialogue entre les autorités et le grand public ;
- fédérer dans une approche systémique les compétences des autorités, les interactions Humain-application et l'ingénierie technique ;
- fournir une application multi-usage transcendant la question des risques.



Source : <http://www.deveryware.com> (2016)
 Figure 4.8 : Fonctionnement du couple (MyPublicAlerts-Notico) : un événement se produit, les autorités préviennent la population équipée de Notico.

De son côté, la ville de Nîmes a associé une notification « push » dans l'application officielle de la ville pour informer les administrés d'une vigilance ou d'un niveau d'alerte. Ce système permet de recevoir une information sans en être à l'initiative. La ville a défini sa propre échelle de vigilance (de 0 à 4) et les couleurs sont différentes du site www.vigicrues.fr pour éviter toute confusion. L'information s'adapte à des niveaux prédéfinis par la ville et toutes les phases de la gestion de l'urgence (avant, pendant et après une crue rapide par exemple) s'accompagnent de messages intégrés dans un référentiel (niveau des eaux attendues, type de crise, niveau de gravité, comportement). Divers scénarii ont été imaginés pour laisser le moins de place possible à l'improvisation.

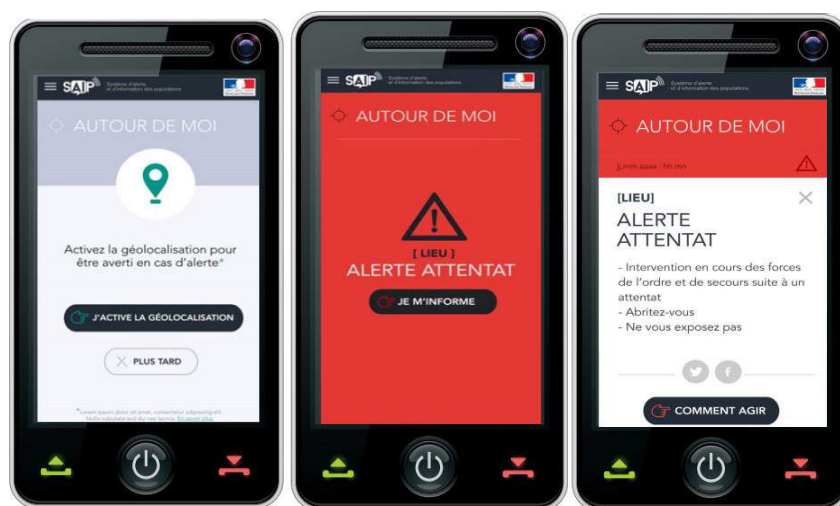
D'autres applications sont exclusivement nées de structures publiques. La ville de Nice a par exemple développé son application (« Risques Nice »), qui s'inscrit dans sa politique globale de gestion des risques et qui émane d'un choix politique du maire. Il s'agit ici de faire converger la sécurité, les risques (naturels, environnementaux) et la résilience autour d'une solution unique. Cette stratégie, qualifiée d'hyper-vision par l'équipe en charge du projet, est mise en œuvre par une

direction exclusivement dédiée à cette question depuis 2011. Dans cette optique, des capteurs (distribués dans la ville) permettent d'authentifier une information émanant d'un citoyen, et les messages sont diffusés en fonction d'un secteur géographique choisi par le maire. Compte tenu de la quantité importante des données remontées depuis l'application actuelle, une nouvelle application (« Service bleu ») sera exclusivement dédiée aux désordres. Les évolutions prévues pour cette solution impliqueront également un accès au réseau radio de Radio France.

L'application du Ministère de l'Intérieur : SAIP

Le Ministère de l'Intérieur a lancé le 8 juin 2016, à l'occasion de l'EURO 2016 de football, l'application SAIP (*Système d'alerte et d'information des populations*). Pensée dans une logique anti-attentat, cette application permet en premier lieu d'être alerté, via une notification push et un code de couleur rouge, en cas d'évènements relatifs à ce type de risque (**Fig. 4.9**). L'alerte est émise soit en fonction de notre localisation (entrée dans une zone à risque), soit en fonction de zones géographiques (jusqu'à 8 possibles) sélectionnées (avec la fonctionnalité « Suivre un lieu »). L'utilisateur est informé sur le type d'évènement (« Je m'informe »), les comportements à adopter (« Comment agir ») et il est invité à confirmer la réception et la compréhension du message (« J'ai compris »). Il a la possibilité de relayer l'information sur les réseaux sociaux. En plus du risque attentat, sont pris en compte les risques liés au nucléaire, aux ruptures de barrage et à la présence de produits dangereux. En juillet 2016, près de 500 000 téléchargements ont été recensés, ce qui est un point positif à un tel développement.

Mise à l'épreuve lors l'attentat terroriste survenu à Nice le 14 juillet 2016, cette application a toutefois reçu en retour des critiques virulentes⁴⁷. Outre le fait que les systèmes d'exploitation ne sont pas tous couverts (les alertes sont uniquement reçues par des smartphones qui fonctionnent sous iOS et Android), les messages d'alerte ont été diffusés bien tard (à 1h34 soit près de 3h après l'attentat) et des problèmes de serveurs et de connexion à Internet ont été mis en évidence durant cet événement. Les prochains épisodes cévenols seront l'occasion de voir si l'application est plus proactive et si elle est diffusée à bon escient auprès des populations concernées.



Source : Ministère de l'Intérieur (2016)
Figure 4.9 : Captures d'écran de l'application SAIP.

⁴⁷ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.deveryware.saip>

4.2.2. Deux types d'applications possibles

Une étude plus large a été menée sur 30 applications (sélectionnées pour leur disponibilité et leur facilité de prise en main) liées aux risques d'inondation dans le monde (**Tableau 4.2**). Elle permet de distinguer deux types d'applications :

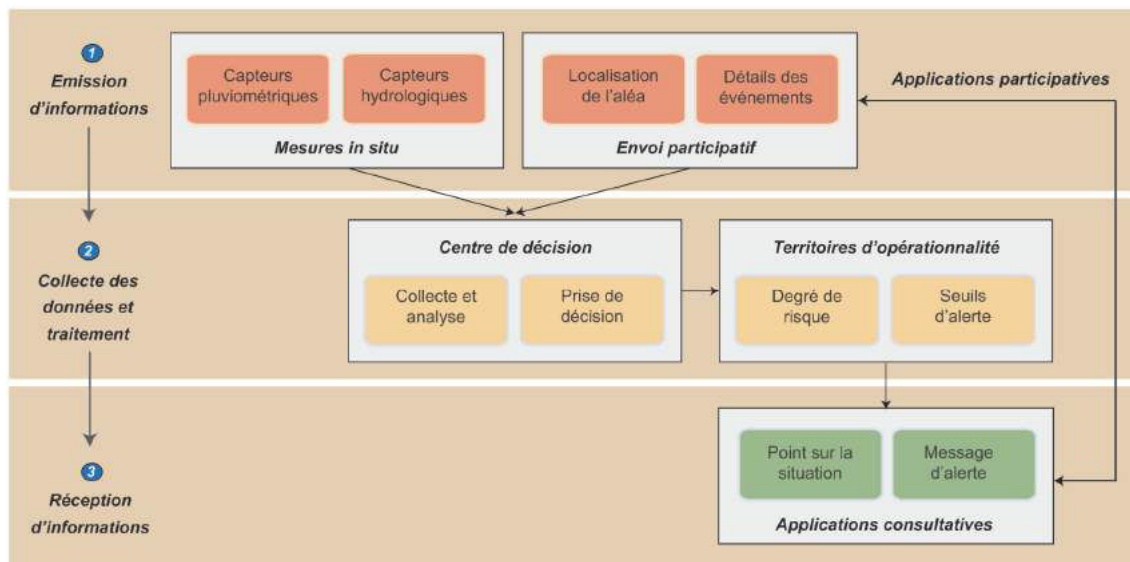
- les applications à **caractère consultatif (C)**, qui permettent à l'utilisateur de visualiser des informations et d'avoir accès à des instructions relatives à un danger, mais sans être associées à la survenue d'un événement en temps réel ; c'est le cas pour *FloodWatch* (développé sous iOS6) ou *FloodMap* (sous Symbian OS) ou de SAIP.
- les applications à **caractère participatif (P)**, qui sont automatiquement consultatives et offrent, en plus, la possibilité de localiser le danger en temps réel ; l'utilisateur devient un véritable « citoyen-capteur », car il peut déclencher l'alerte ou en être averti par d'autres citoyens (**Fig. 4.10**) ; c'est le cas de *Risques-Nice* (développée par la ville de Nice) ou de *NOAH* mis en place aux Philippines (les deux sont disponibles sous Android ou iOS).

Nom	Auteur	OS	Type	Multi/Mon	Taille	Prix	Fonctionnalité	GPS	Cartographie	APN	PA
Floodap Mobile	Atkins North America	Windows Phone	Consultatif	Mono	1,76 Mo	1,99\$	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
River and Stream PRO	Northwest Tech	Windows Phone	Consultatif	Mono	4,84 Mo	0,99\$	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
Emergency Alerts	Decapod Studios	Windows Phone	Consultatif	Multi	<1Mo	0,99\$	Multiples	Non	Non	Non	Non
Flood Patrol	AJWCC	Android, IOS	P et C	Mono	1,4 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
FEMA	FEMA	Android, IOS, BB	P et C	Multi	2,6 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
NOAH	DOAST-NOAH	Android, IOS	P et C	Multi	2,1 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
ThaiFloodMap	Jirak submannee	Android, IOS	P et C	Mono	<1Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
Eleris	ELERTS Corporation	Android, IOS	P et C	Multi	6,91 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
FEMA 100 Year Flood Zone	GCS Research	Android	Consultatif	Mono	6,31 Mo	0	Multiples	Non	Oui	Non	Non
Bandon Flood		Android	Consultatif	Mono	2,89 Mo	0	Multiples	Non	Non	Non	Non
S.	Signalert Sarl.	Android, IOS	P et C	Multi	3,5 Mo	Variable	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
P.	Predict Services	Android, IOS	P et C	Multi	3 Mo	Variable	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
V.	Cedralis	Android, IOS	P et C	Multi	5,1 Mo	Variable	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
Risques Nice	Ville de Nice	Android, IOS	P et C	Multi	3,3 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Oui
Arthis-Mons	Ville d'Arthis	Android, IOS	Consultatif	Multi	2,9 Mo	0	Multiples	Non	Non	Non	Non
Alerte Citoyens	PlayAdz	Android, IOS	Consultatif	Multi	2,4 Mo	0	Multiples	Oui	Oui	Oui	Non
IGAD-ASSIGN	Ansur Technologies	Android, IOS	Consultatif	Multi	<1Mo	0	Multiples	Oui	Non	Oui	Non
UN-ASSIGN	Ansur Technologies	Android, IOS	Consultatif	Multi	<1Mo	0	Multiples	Oui	Non	Oui	Non
FloodMap	Hard Note ES Co	Symbian Nokia	Consultatif	Mono			Mono	Oui	Oui	Non	Non
CMAAs	CMASHOLDINGS	Android, IOS	P et C	Multi			Multiples	Oui	Oui	Non	Non

OS : Système d'exploitation, P : Participatif, PA : Pro-Activité ; C : Consultatif, Multi : Multirisque, Mono : Mono-risque, APN : Appareil Photo Numérique

Source : Kouadio (2015)

Tableau 4.2 : Comparatif de quelques applications étudiées.



Source : Kouadio et Douvinet (2015)

Figure 4.10 : Chaîne de traitement de l'information face à un risque et position des applications étudiées.

Les applications à caractère participatif permettent à la fois la consultation et la transmission de données ; la décision (alerte, avertissement, etc.) est alors gérée par un centre de décision rattaché à une entité administrative forte (mairie ou État). Si l'on reprend l'exemple de l'application Risques de Nice, c'est la ville qui a directement conçu le système expert (avec l'aide d'un bureau d'études), ce qui

permet le traitement des informations envoyées par les citoyens (évitant ainsi toute fausse alerte), la collecte des données (envoyées par les capteurs ou par la population, ce qui complète ainsi la base de données de référence) et l'envoi de messages d'information sur les mesures à prendre en faisant un lien avec le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (Douvinet et al., 2013).

4.2.3. Traits communs et points de divergence

Les applications étudiées peuvent être mono-risque (5 d'entre elles) ou multirisques (avec une interface unique de contribution ou de consultation, mais pour différents phénomènes). L'usage du GPS se fait à travers des modes de cartographie intégrée (à condition que l'utilisateur ait accepté de transmettre ses coordonnées) et des photographies relatives aux aléas observés peuvent également être jointes dans le message émis. La taille de l'espace mémoire est suffisamment importante pour le stockage des données, tandis que la gratuité est dans la majorité des cas observée (gratuite pour 13 applis). Nous observons aussi des différences de pro-activité : soit l'utilisateur est obligé d'ouvrir l'application pour savoir s'il y a (ou non) une alerte ; on parle ici de pro-activité applicable ; soit cette pro-activité est systématique, c'est-à-dire que le système expert est capable de déclencher tout seul l'alerte à partir du moment où certains seuils sont franchis au niveau des capteurs. Cette alerte peut aussi dépendre du centre de gestion si ce dernier se base sur les avis, photographies ou informations envoyées de la part de la population. La population participe alors elle-même à cette pro-activité.

En regardant la couverture spatiale des applications, deux oppositions apparaissent : 1) des applications couvrent de vastes surfaces (Philippines, États-Unis ou Thaïlande) et leur mise en œuvre répond à des demandes étatiques (en lien avec la récurrence et la sinistralité des inondations) ; 2) les autres applications sont spécifiques à des entités communales (comme à Nice ou Athis-Mons en France par exemple) et les surfaces couvertes sont petites (< à 20 km²). Les enjeux et l'opérationnalité ne sont alors plus du tout du même ordre. L'application *River and Stream Pro* permet, par exemple, de surveiller plus de 9000 rivières composant le réseau hydrographique des États-Unis (ce système n'est pas développé par le SCHAPI pour la France) alors que l'application de Nice concerne 4 rivières. Les applications locales dépendent, en réalité, des initiatives politiques émanant des communautés de communes ou des villes ayant décidé d'inclure ces outils dans une politique de prévention des risques. Développer sa propre application nécessite des autorisations spéciales et une forte mobilisation des ressources (humaines, matérielles, budgétaires). De plus, ces systèmes sont conçus dans des contextes et avec des objectifs et des usages différents. Ils ne sont alors plus fonctionnels hors des territoires d'investigation. On peut par ailleurs trouver des petites briques qui permettent de déclarer un incident, mais ces données concourent à une information générale sans inciter à tel ou tel comportement.

La majorité des applications françaises dédiées à l'alerte sont multirisques, développées sur initiatives des communes et n'intègrent pas la notion du cours d'eau à la différence des applications issues de pays comme les États-Unis ou les Philippines qui sont, pour leur part, issues d'initiatives gouvernementales, beaucoup plus sophistiquées et couvrant l'ensemble du pays. Sur l'ensemble des applications étudiées, aucune finalement ne porte exclusivement sur les crues rapides. Cette absence peut s'expliquer par des lacunes dans les connaissances actuelles de leur mode de fonctionnement et de la précision des pluies intenses qui en sont à l'origine à échelle fine. Prévoir une inondation rapide nécessite d'avoir un certain nombre de certitudes sur la survenue du phénomène (pas seulement en étudiant l'intensité des pluies), et les incertitudes sur ces phénomènes sont encore trop nombreuses (Gaume et al., 2009). Certains cours d'eau sensibles à ce type de phénomène sont pourtant inclus de façon indirecte dans certaines applications (États-Unis ou Philippines), car les stations hydrométriques ont été intégrées dans un système de prévision élargi. En France, c'est d'ailleurs le cas pour certains cours d'eau du sud-est (Ouvèze, Narturby) à cause des récents événements de l'année 2010.

4.3. Quels usages attendus en cas d'alerte aux inondations ?

4.3.1. La connectivité : une capacité exploitable en continu et sous diverses formes

Une implication citoyenne accrue qui suscite une dé-hiérarchisation de l'information

Les smartphones peuvent aider les citoyens en cas d'alerte. Se préparer à une crue consistait, il y a dix ans, à avoir un kit d'urgence, un Plan Familial de Mise en Sureté (PFMS) et ne conserver que l'essentiel. Les smartphones ont en revanche créé de nouvelles pratiques. Avec un téléphone et en situation d'urgence, un citoyen peut désormais avoir accès à des numéros de secours intégrés (police locale, pompiers, compagnie d'électricité), créer un groupe de contact à l'aide d'une application de messagerie instantanée, se connecter sur un RSN quasiment toujours fonctionnel ou utiliser une application informant de manière automatique les proches ou les familles de la situation.

Quelle que soit la nature de la crise (naturelle, technologique ou géopolitique), on remarque que le flux informationnel est désormais très différent. Chaque citoyen est en capacité d'agir à travers le web social constitué des interrelations entre individus connectés (Millerand *et al.*, 2010) et ce ne sont plus seulement l'État et les autorités qui sont détenteurs de l'information et qui en déterminent le contenu et la temporalité de la diffusion. Ces multiples interactions permettent, voire favorisent, une forme de dé-hiérarchisation de l'information. Cette dernière, jusque-là cantonnée à un flux « top-down » des autorités vers la population, voit désormais apparaître des flux d'information ascendants et horizontaux, autrement dit du citoyen vers les autorités et entre les citoyens eux-mêmes (Coyle et Meier, 2009). Ceux qui sont très proches de l'épicentre du phénomène utilisent les technologies embarquées dans leurs outils (smartphones et autres objets communicants) pour envoyer des messages, poster des photos, des vidéos... (Vieweg *et al.*, 2010), avant même que les autorités ne s'en saisissent puisque les protocoles de régulation institutionnelle de l'information ne sont pas dimensionnés pour gérer des temporalités aussi courtes et rapides. L'impératif d'authenticité et de garantie des communications officielles ne cadre pas non plus avec ces modes de diffusion.

Aux États-Unis, C. Fugate, le responsable de la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), suggère d'arrêter d'utiliser les réseaux sociaux comme des mégaphones et d'engager plutôt 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 une optique de communication interactive et non directive. Déjà en 2011, il proposait au *Department of Homeland Security* de considérer le public comme une ressource et non un handicap durant les crises (Fugate, 2011).

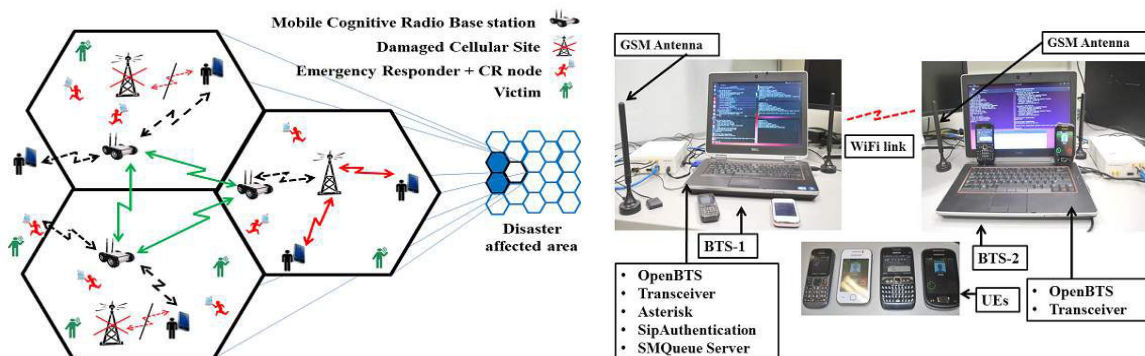
Plusieurs outils permettent également aux citoyens de contribuer à la cartographie de crise (*crisis mapping*), en ayant recours à des plateformes participatives basées sur les solutions libres comme *OpenStreetMap* et *Google Map*. Goodchild (2007) appelle la contribution venant des citoyens « *l'Information Géographique Volontaire* » (*Volunteered Geographical Information*) et dès 2007, il insistait sur le rôle que doivent jouer ces citoyens-capturs. Les catastrophes survenues depuis lui donnent raison. Le logiciel *Opensource Ushahidi*, développé au départ dans un contexte de crise géopolitique au Kenya pour avoir des informations géolocalisées, a été utilisé lors du séisme en Haïti par le bureau de coordination de l'aide humanitaire de l'ONU (*United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*, UNOCHA). Ces approches de type « *crowdsourcing* », se fondent une fois de plus sur du volontariat. Parmi les contributeurs, il existe deux catégories qui ne se situent pas dans les mêmes temporalités d'action ni dans les mêmes lieux : les « *veilleurs* » se situent en amont de l'événement et vont alerter les « *suiveurs* » qui seront directement impactés par la crise. En schématisant, la première catégorie recouvre une temporalité qui va de la prévention à l'alerte, tandis que la seconde émerge durant l'alerte et se positionne dans la crise.

Des applications fonctionnelles même en cas de coupure de réseaux : des développements en cours

Les réseaux opportunistes (ou *ad hoc*) visent à s'affranchir des réseaux de télécommunication (saturés, coupés). C'est le cas du réseau MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*) (Brownlee et Liang, 2011) ou de réseau MESH (Takahashi *et al.*, 2008). Il est désormais possible de faire de son smartphone un relais pour établir un réseau « pair-à-pair » entre plusieurs smartphones (Sicard *et al.*, 2010 ; Zhuang ; 2013), autrement dit sans avoir un nœud central, dans l'objectif d'aboutir à un réseau de plus en plus résilient. Des systèmes de routages tels que BATMAN (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking) ou AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) sont de plus en plus utilisés à travers les applications smartphones, notamment lors des opérations de secours où les réseaux classiques sont indisponibles (Wirtz *et al.*, 2011).

De nombreuses recherches sont en cours dans ce domaine :

- ProximAid⁴⁸ (*Proximal adhoc networking to Aid emergency response*) est une application Android développée par des chercheurs de l'université de Chypre (Koumidis *et al.*, 2015) dans le cadre du projet (CONCORDE). Elle est basée sur un mécanisme de balises WiFi pour une solution de réseaux ad hoc complètement distribuée et localisée pour l'aide aux interventions d'urgence⁴⁹. En plus de permettre la découverte de périphériques, les balises émettent deux métriques liées au réseau, LC (pour une connectivité locale entre appareils) et BC (pour une connectivité via un pont réseau) 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 co-localisés en vue de réduire la consommation d'énergie des batteries.
- En situation post-catastrophe, il est vital de restaurer les services de communication le plus rapidement possible. Actuellement les systèmes sans fil mobiles sont majoritairement utilisés comme solutions de secours. Mais elles demandent du temps de configuration, ont une couverture spatiale limitée et font appel à des accès satellites onéreux. Les solutions alternatives s'appuient sur les potentiels d'auto-configuration des périphériques à travers la création de réseaux *mesh*. Les travaux de Ghafoor *et al.* (2015) portent sur la réalisation d'un système radio en vue d'évaluer le potentiel de ces nouveaux dispositifs. Basé sur l'exploitation des ondes Wifi IEEE 802.11s⁵⁰ pour le contact avec le périphérique, et sur le réseau GSM pour des accès extérieurs, le prototype de ce système intègre la gestion des appels ainsi que la transmission des données (Fig. 4.11). Les premiers retours d'expérience relèvent que dans des conditions idéales, le système supporte un très grand nombre de connexions, mais au-delà de 50 appels, la qualité des communications s'amenuise.



Source : Ghafoor *et al.* (2015)

Figure 4.11 : Solutions alternatives classiques et prototype de réseau mesh.

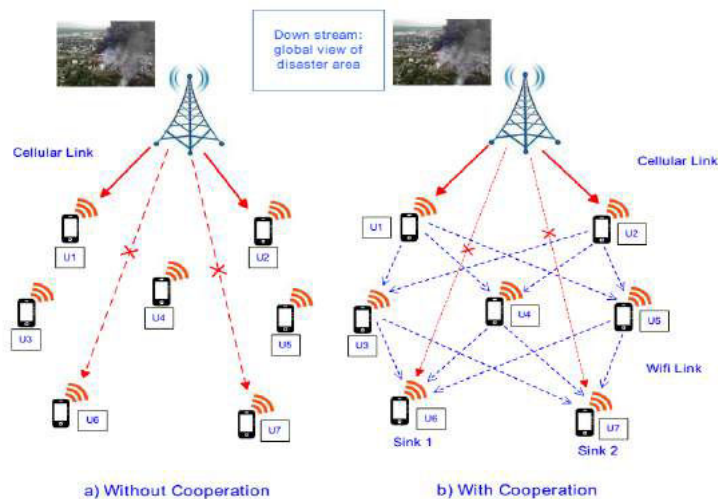
⁴⁸ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.helpNet>

⁴⁹ <http://www.concorde-project.eu/>

⁵⁰ <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11s-2011.html>

Différents scénarios sont actuellement explorés ou imaginés pour tester la résistance voire la robustesse de l'architecture du réseau cellulaire, notamment en cas de crise.

On peut par exemple imaginer qu'à la suite d'une crue rapide, l'infrastructure supportant le réseau cellulaire soit encore fonctionnelle. Dans ce cas précis, les appareils mobiles pourraient servir efficacement dans la distribution des opérations de sauvetage et de secours dans les zones sinistrées. Toutefois, on doit s'attendre à une saturation du réseau téléphonique donc à une réduction de la qualité des communications. En effet, en pareille situation, la connectivité totale ne peut pas être toujours garantie en continu, notamment entre la source et la destination d'un point à l'autre du réseau. Toujours dans le cadre d'un tel scénario, Do-Duy et Vázquez-Castro (2015) proposent une architecture réseau (**Fig. 4.12**) pour pallier les difficultés que peut engendrer cette situation. Elle est basée sur les appareils mobiles existants dans les réseaux cellulaires classiques, où la livraison de contenu à partir du centre de commandement de la gestion des catastrophes est garantie à tous les utilisateurs via une connectivité intermittente. Par ailleurs, l'ensemble des ressources du réseau cellulaire peut être répertorié en utilisant des techniques de coopération entre les liens WiFi et le réseau cellulaire.



Source : Do-Duy et Vázquez-Castro (2015)

Figure 4.12 : Topologie du réseau proposée par Do-Duy et Vázquez-Castro

On peut aussi imaginer que les opérationnels et les services de secours soient sur le terrain, dotés de smartphones et qu'ils aient besoin d'informations en provenance du centre de commandement pour être plus efficaces. L'architecture proposée permet dans ce cas de faire de leurs terminaux des appareils de multidiffusion interconnectés pouvant directement communiquer. Le modèle de réseau se compose alors de deux groupes d'utilisateurs. Le premier groupe d'utilisateurs (a) est composé des utilisateurs directement connectés à la station de base au moyen d'antennes-relais. Toutefois, en raison des effets de l'environnement sur la qualité du signal, ou des obstacles présents, des interruptions peuvent survenir ou donner lieu à une connectivité saccadée et intermittente. Ainsi, le second groupe constitue un réseau ad-hoc en tenant compte du premier groupe de terminaux comme source indirecte pour relayer le contenu multimédia demandé, sur la base de liens WiFi. Le schéma du réseau proposé peut alors être adapté avec le remplacement de la station de base par une station sans fil portable équipée d'une liaison satellite et radio (de courte portée).

4.3.2. Des limites qui semblent immuables

Des inconvénients propres aux smartphones

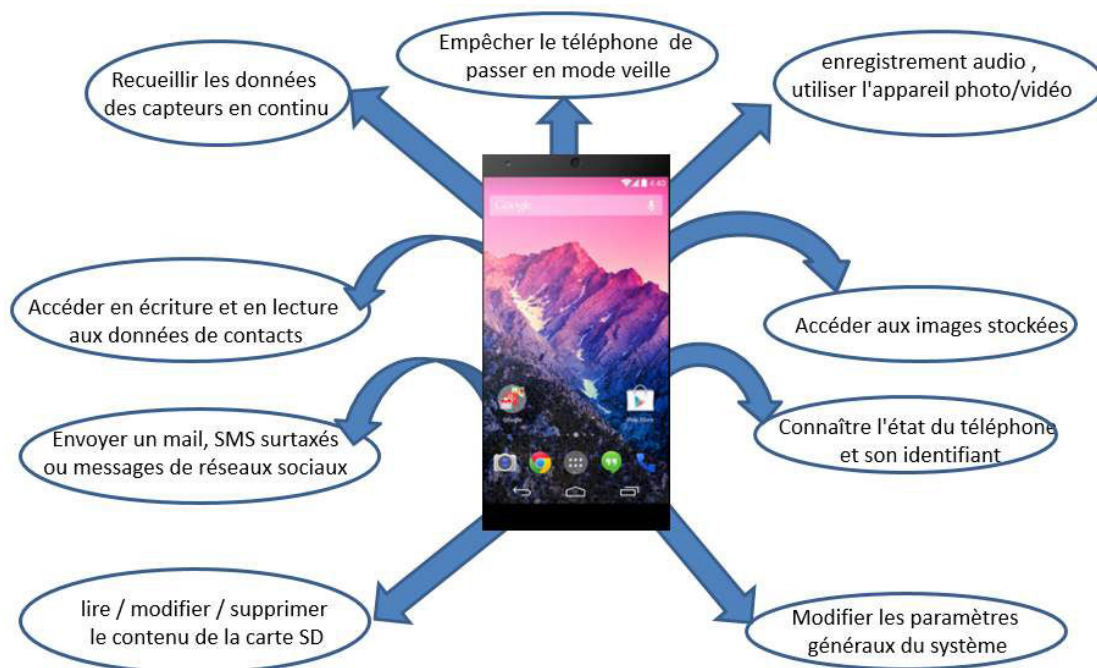
Le développement d'applications basées sur la géolocalisation (via le système GPS) et sur les risques (naturel et technologique) est limité en France à cause de certaines contraintes réglementaires et juridiques. En effet le smartphone cristallise aujourd'hui la même crainte que celle d'il y a quelques années (et qui existe toujours) avec la sécurité pour les PC : sommes-nous vraiment les seuls à accéder à nos données ? La réponse est vite négative (en tout cas pas pour tous les smartphones). Avec d'un côté la variété de plates-formes disponibles aujourd'hui, et de l'autre l'augmentation de la présence digitale des administrations tant publiques que privées, les utilisateurs sont en interaction constante avec leurs réseaux sociaux, chacune de ces interactions se traduisant par un nouveau point-source de données mesurables. Une enquête CNIL (2011) (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) a démontré que la majorité des applications accèdent en permanence ou dès qu'elles en ont l'occasion, à la mémoire interne ou à la liste des contacts ; elles lisent et modifient des données ; elles accèdent au GPS et transmettent tout cela via internet et cela sans consentement des usagers.

Plusieurs études récentes révèlent l'impossible anonymisation véritable des données collectées sous leur forme actuelle. La collecte massive de données sur l'individu constitue une véritable source de profilage psychologique et comportemental (WEF, 2011). Si au niveau des empreintes digitales il faut douze points pour identifier sans équivoque une personne, Montjoye (2013) nous apprend que seulement quatre données spatiotemporelles suffisent aujourd'hui pour nous distinguer dans une foule. Des données sont donc collectées (**Fig. 4.13**), surtout à partir des terminaux fonctionnant sous *Android*. Non seulement à cause des mises à jour régulières de ce système, de son ouverture à des améliorations tierces (téléchargées avec de moins en moins de contrôle) que Xing et *al.* (2014) qualifient de phénomène de « fragmentation *Android* », mais aussi et surtout parce qu'en tant que leader actuel du marché des systèmes d'exploitation mobile (selon IDC⁵¹), *Android* est d'après Kaspersky Lab et INTERPOL (2014⁵²) la cible privilégiée des attaques malveillantes collectant de façon frauduleuse des données privées. Où vont exactement ces données et dans quelle mesure ?

Face à l'ampleur de ce constat, il serait délicat, sans mesures préalables, d'inviter les citoyens à contribuer de façon volontaire au sens de Goodchild (2007), Mericskay et Roche (2011) à la remontée de l'information à travers une alerte citoyenne. Dès lors quelles données peuvent être partagées en toute sécurité ? Sous quelle forme et avec qui ? Dans quelle mesure pouvons-nous développer un cadre approprié pour protéger la vie privée ? Comment pouvons-nous empêcher l'utilisation abusive de ces données ? La protection des personnes physiques à l'égard de l'utilisation et des traitements des données de géolocalisation demeure régie en France par les lois 2004-669 du 9 juillet 2004 et 2004-801/182 du 6 août 2004 (portant sur les protections individuelles au sens large). Afin d'éviter que des personnes non autorisées n'accèdent aux données, il est obligatoire de prendre des mesures de sécurité (accès à un site avec un identifiant et un mot de passe), selon la norme 51 de la CNIL. Cet usage est aussi protégé par un ensemble de lois associées au droit pénal (article 226-1 et suivants sur la protection de la vie privée ; article 226-16 relatif aux droits des personnes résultant de traitements informatiques ; loi du 6 janvier 1978). Toutes ces contraintes semblent être un frein important, alors même que le développement d'applications récentes prouve le contraire.

⁵¹ <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>

⁵² <https://securelist.com/analysis/publications/66978/mobile-cyber-threats-a-joint-study-by-kaspersky-lab-and-interpol/> et <http://www.viruslist.com/fr/analysis?pubid=200676371>.



Source : Kouadio (2015)

Figure 4.13: Les accès frauduleux possibles aux données du smartphone.

Une fois que les utilisateurs ont donné leur accord, les développeurs ou les propriétaires de l'application peuvent suivre les traces émises par les capteurs inclus dans leur téléphone via des sites (Runkeeper par exemple) (Olteanu-Raimond *et al.*, 2012). Mais l'usage de ces données peut également se faire sans l'accord explicite des utilisateurs. Des chercheurs ont montré que la société Apple enregistrerait 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) (FenChong, 2012). Ces données sont téléchargées dans un fichier secret lors de la mise à jour du logiciel (du téléphone vers l'ordinateur). Une fois traitées par le ou les détenteurs, les données de géolocalisation sont de véritables mines d'information dont ils n'hésitent pas à se servir. Ainsi, les données sont recueillies sur « qui nous sommes, ce que nous savons, où nous avons été et où nous avons l'intention d'aller ». La quantité et le type des données sont alors très vastes : nos profils, nos dossiers médicaux, nos déplacements, nos recherches effectuées sur les sites Web, voire nos goûts et dégoûts, nos tweets, nos courriels, nos photos et vidéos peuvent vite se retrouver sur la toile. Et cette liste ne cesse de s'accroître (WEF, 2011). Dès lors, quelles données peuvent être partagées en toute sécurité ? Sous quelle forme et avec qui ? Dans quelle mesure pouvons-nous développer un cadre approprié pour protéger la vie privée ? Comment pouvons-nous empêcher l'utilisation abusive de ces données ?

Au final, la réussite d'une application implique prioritairement une bonne connaissance de l'environnement dans lequel elle sera déployée, et de ses aptitudes à répondre aux besoins exprimés par ses futurs utilisateurs, il a été prévu de l'expérimenter sur deux territoires sensibles aux crues rapides : les départements du Var et du Vaucluse. Deux pistes d'action ont dès lors été suivies : 1) mener des enquêtes par questionnaires administrés auprès des populations situées au plus près des rivières ou des cours d'eau sur 15 communes par département ; 2) évaluer la faisabilité du système avec les prévisionnistes et les gestionnaires des risques aux échelles locales (depuis les maires, les préfectures, le Service de Prévision des Crues SCP-Grand Delta jusqu'au SCHAPI), tout en mesurant la perception des élus et de la population face à la mise en place d'une telle application. En menant cette démarche, on souhaite également collecter les avis/conseils des futurs utilisateurs pour répondre au mieux à leurs souhaits.

D'autres limites sont communes aux réseaux sociaux numériques

Pour les responsables territoriaux et de gestion de crise, une des difficultés actuelles revient à différencier ce qui relève de l'information de ce qui relève du renseignement, c'est-à-dire à qualifier la nature du contenu informationnel. Cela nécessite un minimum de temps pour le faire (vérification et croisement des sources) et du personnel ayant cette expertise. La question du suivi des évolutions technologiques (matérielles, mais aussi logicielles) se situe aussi en « porte-à-faux » par rapport aux moyens des différents services de l'État. Par ailleurs, une autre problématique liée aux informations relayées revêt les aspects juridiques relatifs à la confidentialité des données et à la sécurité des utilisateurs (CNIL, 2011 ; VISOV, 2015).

La dimension interprétative de l'alerte (Creton-Cazenave, 2010) pose aussi problème, car les attitudes et les comportements relèvent de la compréhension des usagers des signes émis par leur environnement, que celui-ci soit physique, social ou numérique. À cet égard, la confusion sémantique qui perdure sur les niveaux de vigilance et l'alerte en elle-même est notable. En France, les degrés de vigilance associés à des couleurs (vert, jaune, orange, rouge) ne constituent pas des guides pour l'action. Une conception fonctionnaliste de la vigilance est d'ailleurs très souvent inopérante, car elle laisse en suspens la façon dont cette vigilance peut se distribuer à de multiples niveaux (Chateauraynaud, 2006). Dès lors, les RSN et les applications ne font que relayer cet état de confusion, voire contribuent directement à l'amplifier.

Un autre aspect sémantique mérite aussi que l'on y prête attention : les niveaux de langage observés sur les RSN sont différents pour les individus et ne correspondent pas forcément à ceux des autorités. Sur *Twitter*, la prise en compte des déformations syntaxiques s'avère utile pour recouper les informations « #inondations ». La perception des messages liés à l'alerte a été étudiée sous différents angles sans pour autant faire de consensus (Tversky et Kahneman, 1974 ; Douglas et Wildavsky, 1982 ; Fischhoff *et al.*, 1978 ; Slovic, 1987 ; Sjöberg, 2000). Cependant, ces études soulignent la difficulté de saisir et de quantifier ces dimensions cognitives au moment de l'alerte. Entre des gestionnaires qui doivent coordonner des opérations d'alerte et de secours en temps réel, et inversement, des populations en prise directe avec l'évènement, mais sans compréhension systémique et sans geste normatif, il est normal que des divergences d'approche existent (Starbird et Palen, 2010).

Dans les moments de forte incertitude (durant la vigilance), la question de la crédibilité de la source est alors déterminante. Pour Bird *et al.* (2012), la communauté n'accorde de crédit qu'aux autorités gouvernementales et aux médias traditionnels. Ces derniers révèlent aussi que *Facebook* bénéficie d'un taux de confiance supérieur aux autres sites internet. Dans les contenus des messages qui transitent durant la crise, les premières demandes concernent l'aide, l'information des proches et les questions quant aux disparus (Oleanu *et al.*, 2014). Parmi les dix mots les plus partagés sur Facebook durant Sandy, « *we are ok* » et « *power* » (« *lost power, have power, no power* ») occupent les premières places avant « *damage* » et « *hope everyone is ok* » (Garun, 2012). Une vigilance particulière doit aussi être portée au phénomène des rumeurs. Les rumeurs existent de tout temps (Renard, 2009) et sont les lieux d'expression de la pensée sociale du collectif dans lequel elles surgissent (Guimelli, 1999). Leur forme d'expression se fonde sur des mécanismes sociocognitifs qui varient peu dans le temps (Allport & Postman, 1947 ; Morin, 1969 ; Rouquette, 1990a). Ce phénomène n'est donc pas lié aux RSN mais les rumeurs collent aux canaux de diffusion propres au contexte social du moment (Douvinet *et al.*, 2015).

4.4. La population est-elle encline à ces technologies smartphone ?

Deux enquêtes de terrain ont été conduites au début des recherches (en 2013 et 2014) dans des communes du Var et du Vaucluse identifiées comme sensibles aux crues rapides (**Chapitre 1**) pour y évaluer la propension de la population à recourir à une application, pour les smartphones. On souhaitait collecter les avis et conseils des futurs utilisateurs pour répondre au mieux à leurs attentes et les impliquer dès le départ dans la mise en œuvre du dispositif envisagé. Le choix des communes s'est fait en trois étapes. En s'appuyant sur les résultats du chapitre 1, nous avons mené des enquêtes sur quelques communes, en particulier dans des quartiers situés à un kilomètre d'un cours d'eau non surveillé par l'État et où le risque de débordement par crue rapide semblait élevé.

4.4.1. Le protocole d'enquête

Comment construire un échantillonnage scientifiquement valide dans le cadre de ce travail ?

Un échantillonnage peut être considéré comme « valide » s'il est pertinent par rapport à l'objet et aux questions de la recherche, balisé théoriquement et conceptuellement, accessible et s'il répond aux balises méthodologiques et éthiques qui encadrent la recherche (Savoie-Zajc, 2011). Afin de respecter ces contraintes, il était nécessaire de définir une méthode de récolte de données spécifique en fonction du type de personnes interrogées (population/gestionnaires de crise). Pour répondre à ces éléments, l'enquête a pour premier objectif de récolter plusieurs types d'information par commune :

- les actions préventives menées jusqu'à présent (comme une entrée en matière générale),
- le système d'alerte existant et le niveau connaissance qu'en ont les habitants ;
- la perception qu'a la population du risque inondation à l'échelle de leur commune ;
- les pratiques relatives aux smartphones ;
- l'intérêt de ces derniers pour l'alerte et la prévention des inondations ;
- l'acceptabilité de la population envers la récolte bénévole de données.

La perception des dommages et la confiance que les habitants ont dans la façon de contrôler le contexte (situation de crise, dangers) ont ensuite été évaluée tout comme l'influence de leurs expériences personnelles et de la transmission de la mémoire collective. Des données relatives aux pratiques de la population ont par ailleurs été collectées. On a notamment évalué la fréquence, le type d'utilisation (contributive/consultative) et le niveau d'équipement des personnes interrogées. Les individus ont par ailleurs donné leur avis sur l'intérêt de se servir des smartphones dans la prévention des inondations et sur la façon dont ils envisageraient l'intégration de ces appareils dans les dispositifs en place.

Sur le **plan théorique**, comme le souligne Savoie-Zajc (2011), la démarche d'échantillonnage peut emprunter trois pistes : 1) celle de Pires (1997) qui propose d'effectuer une sélection sur soit une logique soit de cas uniques (mise en avant des critères de qualité intrinsèque et d'exemplarité, de valeur heuristique, son intérêt social et son accessibilité) soit de cas multiples (importance donnée à la diversification et à la saturation); 2) celle de LeCompte et Preissle (1993) pour lesquels il faut procéder selon une démarche stratégique et évolutive suivant les différents moments de l'étude (au début et pendant) afin d'affiner la qualité de l'échantillon en vérifiant progressivement les hypothèses de départ. Ainsi on peut soit évaluer la représentativité d'un point de vue, ou envisager des comparaisons ; 3) celle de Miles et Huberman (1994, cités par Creswell, 1998 p. 119) qui suggèrent qu'il faut plutôt répondre aux prérogatives relatives à l'intention réelle du chercheur à propos du cas étudié, l'opérationnalité de l'étude sur la base de fondements théoriques solides et les questions d'ordre pratique (accessibilité, facilité d'entrée, moyens, délais, disponibilité, coûts, etc.).

La démarche retenue a en fait été une combinaison de celles de Pires et de Miles et Huberman, dans la mesure où le critère de base sur lequel a démarré ce travail est celui de la possession ou non

d'un smartphone. En termes de moyens (un seul véhicule et quatre enquêteurs) la logistique offrait la possibilité d'effectuer la visite de plusieurs communes dans la même journée, mais pas d'avoir un grand nombre de personnes enquêtées chaque jour, ni à la fin de l'enquête.

Sur un **plan méthodologique**, il s'agit d'opérer un choix entre ethnographie (étude de la culture construite par un groupe social), ethnométhodologie (étude des interactions entre individus), phénoménologie (étude de l'expérience vécue par les individus) et échantillonnage théorique (démontrer une théorie) (Savoie-Zajc, 2011). Ce travail a suivi en fait une approche doublement phénoménologique : le rapport des individus aux inondations et le rapport avec le smartphone. Comment perçoivent-ils ce danger et comment le smartphone peut-il leur apporter ou non de nouvelles perspectives en ce qui concerne la gestion individuelle de ce risque ?

Les questions éthiques peuvent aisément remettre en question la pertinence du choix des communes sensibles (traitements géomatiques) et de celles enquêtées parmi elles (obtention d'autorisations préalables) ainsi que les moments d'administration du questionnaire (en semaine et pas le week-end donc moins de personnes présentes).

Quelle taille garder pour l'échantillon ?

Dans un cas de figure comme celui-ci, Gumucio *et al.* (2011) proposent, pour le calcul de la taille de l'échantillon, d'appliquer la formule suivante :

$$N = \frac{t^2 \times ((P) \times (1 - P))}{C^2}$$

avec t, le coefficient de marge du taux de confiance,
P, le taux d'utilisateurs du caractère déterminant,
C, la marge d'erreur du résultat final.

Puisque 40% de la population (Enquête CREDOC, 2013) possède un smartphone en France, on applique la formule à l'aide des valeurs suivantes :

t = 1.96 (il est obtenu sur la Table de correspondance de la loi normale centrée réduite pour un « t » lu sur la table avec un taux de confiance de 95%).

P = 42%⁵³ en 2013, mais arrondi à (**±40 %**) pour plus de fiabilité.

C = 6%, (taux fixé pour un taux de confiance de 95%).

$$N = \frac{1.96^2 \times ((0.4) \times (1 - 0.4))}{0.06^2}$$

$$N \cong 256$$

Autrement dit, pour un taux de confiance à 95%, le résultat obtenu est fiable à (**± 6%**). On s'est alors fixé comme but d'avoir au moins 256 réponses pour fiabiliser les résultats de l'enquête.

Déroulement et mise en place de l'enquête

L'âge limite des personnes sondées est fixé à 15 ans, car, on estime que l'on devient pleinement libre d'utiliser un smartphone à partir de l'entrée au lycée. À un âge inférieur, on risquerait de se heurter à une population qui n'a pas forcément conscience des différents risques et des moyens d'alertes qui peuvent être mis en place. Dans un souci de temps et de faisabilité, une méthode

⁵³ D'après « Notre planète mobile » par Google et Ipsos, sur une enquête de 1000 individus sondés (16 ans et plus) représentatifs de la population en France – mai 2013.

d'administration d'un questionnaire par grappes a été choisie afin de déterminer le nombre de personnes minimum à interroger. Ce sont finalement 15 communes qui ont été choisies pour mener des enquêtes. Dans ces 15 communes, le questionnaire a été administré entre le 25 avril 2014 et le 10 juin 2014, dans le Vaucluse et les 10,11, 15 et 16 juillet 2014 dans le Var. Cette enquête a été de type semi-directif à caractère fortement qualitatif. Elle a été réalisée à l'aide d'une application smartphone. À partir de l'outil *KoboForm*, interface graphique de création d'applications de collecte de données à partir de terminaux mobiles en mode hors ligne. Cette méthode a permis un gain en efficacité par rapport à l'encombrement du papier et en temps (en collecte et en traitement, car les données sont directement transférables sur ordinateur dans un fichier Excel grâce au module *KoboSync*), mais aussi une meilleure qualité des données et une valorisation de l'usage des technologies smartphones sur le terrain. L'application a été installée sur trois smartphones (tous des *Samsung Galaxy Young*) et deux tablettes (*Samsung* et *YooTab*), les 5 fonctionnant sous *Android* (**Fig. 4.14**).

Des données ont également été collectées avec *Office online* pour faciliter la géolocalisation et la remontée d'informations sur les traces ou les marques d'inondation observées sur le terrain, et des éléments évoquant la mémoire du risque. Les citoyens et les responsables rencontrés sont visibles sur le formulaire (<http://1drv.ms/1gnXHgh> et *Ushaidi*. Le lien <https://ffhunter.crowdmap.com/> permet de consulter une carte interactive des données qui ont pu être collectées à partir de l'application *Ushaidi*. Fortement tributaire de la disponibilité d'une connexion internet, il va de soi que ces deux dernières méthodes n'ont pas pu être employées tout au long de l'enquête (**Fig. 4.15**).



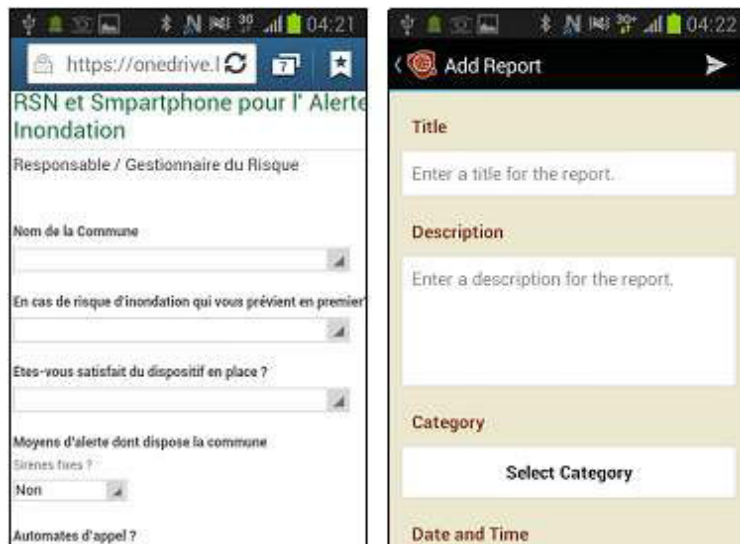
Source: Kobo project (<http://www.kobotoolbox.org/>)

Figure 4.14 : Captures d'écran de l'application Kobo.

Le questionnaire comprend 32 questions (**Annexe 2**) fermées (pour éviter les imprécisions) et une option de géolocalisation pour le lieu du sondage. Les questions se répartissent en 3 catégories :

- informations d'ordre personnel : âge, sexe, lieu d'habitation, durée de résidence dans la commune, profession et type d'habitation par exemple ;
- informations d'ordre matériel : type d'équipement informatique, téléphonie mobile (dont dispose la personne), les différentes inscriptions sur les médias sociaux ;
- perception du risque et liens avec les smartphones : avis sur la création d'une application ou d'un réseau social dédiés à l'alerte aux crues, réaction en cas de sirène, ...

L'objectif de ces enquêtes est de pouvoir confirmer ou non les postulats posés au début de la recherche : l'absence d'informations sur les crues rapides aurait un impact négatif sur la perception des habitants ; le fait d'habiter en zone inondable influencerait la perception du risque ; la technologie smartphone serait un frein pour envisager un système d'alerte participatif sur ces appareils et pourrait ainsi rendre caduque tout nouveau développement.



Sources : Ushaidi (<https://www.ushaidi.com/>) ; Microsoft(<https://products.office.com/fr-fr/mobile/office>)

Figure 4.15 : Captures d'écran Office online et Ushaidi.

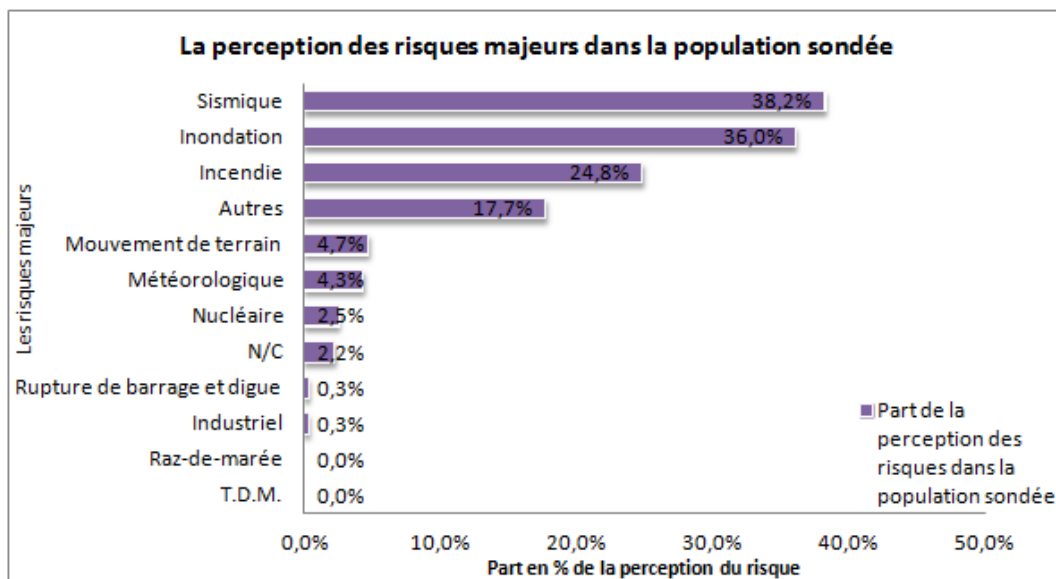
Pour récolter les données auprès des gestionnaires de crise, une méthode plus qualitative a été utilisée : l'entretien semi-directif. On s'intéresse ici à la prévention des inondations et particulièrement à la gestion de crise. Le but est d'obtenir des informations sur les actions menées et sur les systèmes d'alerte existant au niveau de la commune. On a également abordé les perspectives d'utilisation des smartphones pour l'alerte et la prévention des inondations dans la commune. Les entretiens ont eu lieu suite à une prise de rendez-vous, été menés en face à face dans les communes sélectionnées, et enregistrés par magnétophone lorsque cela était autorisé.

4.4.2. Résultats obtenus dans le Vaucluse

L'avis de la population

Les résultats obtenus ont été étudiés sur les deux départements de manière séparée puisque les conditions sociales, économiques et environnementales sont très différentes (cf. chapitre 1). Dans le Vaucluse, 322 personnes ont été enquêtées. La population se répartit de façon homogène pour le genre (47% de femmes, essentiellement représentées par les 20 à 59 ans ; 53% d'hommes essentiellement de 40 à 74 ans). Ces personnes sont rattachées à l'ensemble des grandes catégories socioprofessionnelles de l'INSEE, avec une dominante toutefois notable des retraités et des employés et un déficit d'agriculteurs exploitants (ce qui est fréquent pour des enquêtes menées dans ce département. Si l'inondation et les séismes sont assez bien perçus par la population (**Fig. 4.16**), néanmoins 57% des sondés (soit 183 personnes) savent par ailleurs ce qu'est une crue rapide pour l'avoir vécue, avec ou sans dégâts. Il y a donc près de 43% (soit 139 personnes) qui ignorent tout de même ce qu'est une crue rapide dans des communes vulnérables à ce phénomène.

Lorsque l'on pose la question relative aux moyens d'alertes face aux crues rapides connus par la population, la réponse récurrente et la plus alarmante qui revient, c'est que la population ne sait pas pour 66% des sondés (soit 212 personnes), comment elle serait alertée si cet évènement se produisait. Le seul système d'alerte qui se démarque des autres, c'est la sirène présente dans certaines communes, pour 18% des sondés (59 personnes). L'ensemble des autres systèmes a été cité par moins de 10% de notre population. Au niveau des équipements, 49% des interrogés (soit 159 personnes) possèdent un smartphone contre 50% (soit 161 personnes) qui déclarent ne pas posséder de smartphone (et 1% qui ne souhaite pas répondre). Ce taux d'utilisateurs de smartphones est légèrement supérieur au taux moyen de 42% vu précédemment (chiffres de juin 2014). Cela confirme que l'on dispose d'un nombre non négligeable d'utilisateurs dans des communes rurales.



Source : Hébert (2014)

Figure 4.16: Perception des risques majeurs dans la population sondée à l'échelle du Vaucluse.

56% des smartphones embarquent le système Android de Google, suivi de près par le système iOS d'Apple qui représente 40% des smartphones (d'après les enquêtes). Quand on étudie les durées d'extinction des smartphones des 159 utilisateurs, 90.6% (soit 144 utilisateurs) d'entre eux déclarent ne jamais éteindre plus d'une heure l'appareil pendant 24h, ce qui est un véritable potentiel pour un lancement optimal d'alerte. De plus, si on compare le nombre d'utilisateurs en fonction des classes d'âge par rapport au nombre d'utilisateurs qui n'éteignent jamais plus d'une heure le smartphone en 24 h, on constate que cette tendance de laisser allumer le smartphone, touche toutes les classes d'âge, avec près de 67% des utilisateurs de 15 à 19 ans et des plus de 75 ans, et cette habitude représente plus de 97% (soit 70 personnes) des utilisateurs de 20 à 39 ans.

Par ailleurs, lorsque l'on demande aux 322 personnes si elles pensent qu'un système d'alerte aux crues rapides sur smartphone serait utile, 63% (soit 204 personnes) pensent en effet qu'un tel système serait d'une grande utilité. Ce chiffre croit sensiblement parmi les utilisateurs de smartphones puisque 82% (130 personnes) pensent que ce système serait utile. Cette bonne réception se répercute dans l'ensemble des classes d'âges et surtout sur les personnes âgées de plus de 75 ans puisque 100% des utilisateurs (soit 3 personnes) sont favorables à ce système tout comme les jeunes de moins de 20 ans qui sont favorables pour 91% de ces utilisateurs (soit 10 personnes). Toutefois, on constate que les utilisateurs âgés de 60 à 74 ans sont peu enclins à une application puisque seulement 47% d'entre eux pensent que ce système d'alerte serait utile. Ce chiffre plus faible peut s'expliquer par différentes hypothèses, notamment par le fait que ces jeunes retraités ne s'estiment pas suffisamment experts dans l'utilisation d'un smartphone pour utiliser ce système.

En outre, 86% (soit 136 personnes et 42% de l'ensemble des personnes interrogées) des utilisateurs de smartphones confirment être disposés à faire remonter de l'information via l'application. Ce volontarisme est bien perçu par les utilisateurs, quels que soient les âges, car, de 15 ans à 59 ans, ils sont disposés à faire remonter l'information à plus de 80% et jusqu'à 93% (soit 67 personnes) des utilisateurs de smartphones de 20 à 39 ans. Néanmoins, 2 utilisateurs sur 3 (âgés de plus de 75 ans) sont volontaires pour faire remonter de l'information (ce chiffre plus faible a été confirmé lors de nouvelles enquêtes menées en 2016 dans des communes contiguës, avec 56 personnes sur 374 seulement prêtes à faire une telle démarche). Il est donc nécessaire, pour que l'application fonctionne, de s'adapter là aussi au public âgé pour l'encourager à utiliser le système d'alerte participatif.

L'avis des gestionnaires du risque et des élus locaux

Les avis du maire et de ses adjoints ont aussi été recueillis. 12 élus et gestionnaires des risques (dont 2 pour la commune de Lourmarin) ont pu être interrogés. Cette enquête secondaire (réalisée parallèlement à l'enquête des habitants) se base sur un questionnaire de 12 questions fermées, mais à choix multiples, adaptés à la gestion de l'alerte et à la perception d'un système d'alerte participatif sur smartphone par la commune et non plus pour connaître la perception des habitants sur le risque de crues rapides et les technologies smartphones. Comme pour l'enquête réalisée auprès des habitants, les élus et les gestionnaires des risques ont été interrogés à l'aide de smartphones et de tablettes, mais en s'appuyant cette fois-ci, sur le réseau mobile 3G pour enregistrer les données et montrer la puissance et le potentiel de ce réseau, même dans les communes rurales. Il faut savoir que lorsqu'un risque « pluie/inondation » est avéré, 9 communes sur 10 déclarent être prévenues par une alerte téléphonique de la Préfecture du Vaucluse qui les informe du niveau du risque et des communes alertées par Météo-France. Seule la commune de Cabrières d'Avignon déclare être prévenue par le SDIS le plus proche. Lorsque l'on demande si elles sont satisfaites du dispositif actuel, la moitié des communes ne sont pas vraiment satisfaites et 3 communes ne sont pas pleinement satisfaites. Deux communes (La Roque-Alric, commune dont l'essentiel des habitations est situé sur un piton rocheux et Vacqueyras, dont le cours d'eau le plus sensible aux crues est totalement canalisé et s'écoule de façon invisible sous le centre-ville) s'estiment en revanche tout à fait satisfaites, sans doute à cause de l'impression d'être en retrait face au risque d'inondation. Le dispositif actuel ne convainc donc pas majoritairement les élus locaux et il est bien à parfaire (**chapitre 2**).

Étant donné que 78% des 322 habitants interrogés dans la précédente enquête (251 personnes) estiment que c'est le maire qui est responsable de leur protection et donc de les alerter en cas d'une crue rapide imminente sur la commune, il est intéressant d'analyser quelles sont les communes qui disposent de moyens d'alerte à la population. En réalité, 6 communes sur 10 pratiquent le porte-à-porte quand il faut prévenir rapidement la population, et 2 communes sonnent les cloches de l'église. Mais par ces pratiques, seulement une petite partie de la population est informée du risque qui pèse sur la commune, ce qui rendrait évidemment très vulnérables les personnes non prévenues qui se rendraient dans la zone menacée. De plus, le fait de sonner les cloches de l'église n'indique en aucun cas à la population la nature et la virulence de l'évènement (exemple en mars 1930 ; Boudou, 2015).

Avis de synthèse

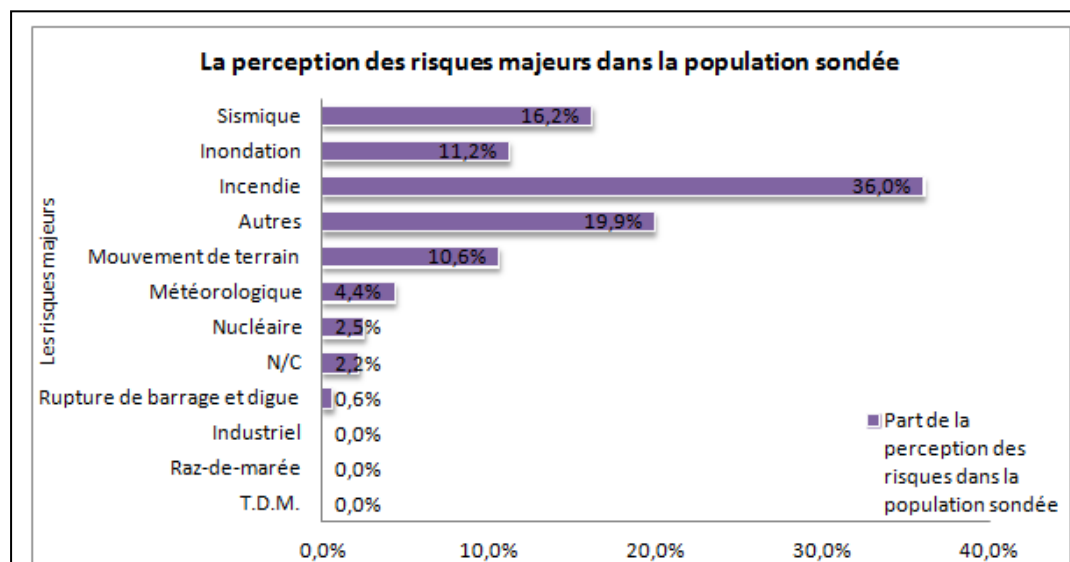
Les élus et les conseillers semblent, en apparence, contre l'idée d'une application participative d'alerte. Toutefois, si elle existait, les communes seraient prêtes à contribuer en invitant la population à participer, mais pour cela, il faut préparer un travail de communication à destination des maires pour leur expliquer le fonctionnement du système et il faudrait étudier la possibilité de faire remonter les informations de la population vers le maire pour qu'il reste garant de la sécurité des habitants.

4.4.3. Résultats obtenus dans le Var

L'avis de la population

Dans le Var, 137 personnes ont été enquêtées. 48% sont femmes (âgées de 15 à 84 ans) et 52% sont des hommes (de 15 à 86 ans). À la différence du Vaucluse, le risque d'incendie est la principale source d'inquiétude chez les populations varoises (36%) (**Fig. 4.17**). Cela se justifie par la présence de forêts et d'un couvert végétal important qui est de plus en plus grignoté par de l'habitat individuel. En outre, dans 22% des cas, le risque incendie a été cité en tandem avec le risque inondation. Les séismes et les mouvements de terrain arrivent de façon secondaire, ce qui n'est pas forcément très logique puisque toutes les communes enquêtées font face à tous ces risques (les habitants en font donc une graduation).

Pour les 137 personnes interrogées, les inondations ne constituent pas une source d'inquiétude (seulement 15 personnes confirment une telle idée). En y regardant de plus près, parmi les personnes inquiètes, seulement 5 sont conscientes du fait d'habiter en zone inondable. L'ensemble des sondés qui déclarent avoir subi des dégâts après une crue rapide (sur le bâti ou les véhicules) certifie bien connaître le phénomène, tandis que 50% des sondés en ont une connaissance sans pour autant en avoir subi les conséquences. Au final, 68 personnes identifient ces phénomènes sur leur territoire.

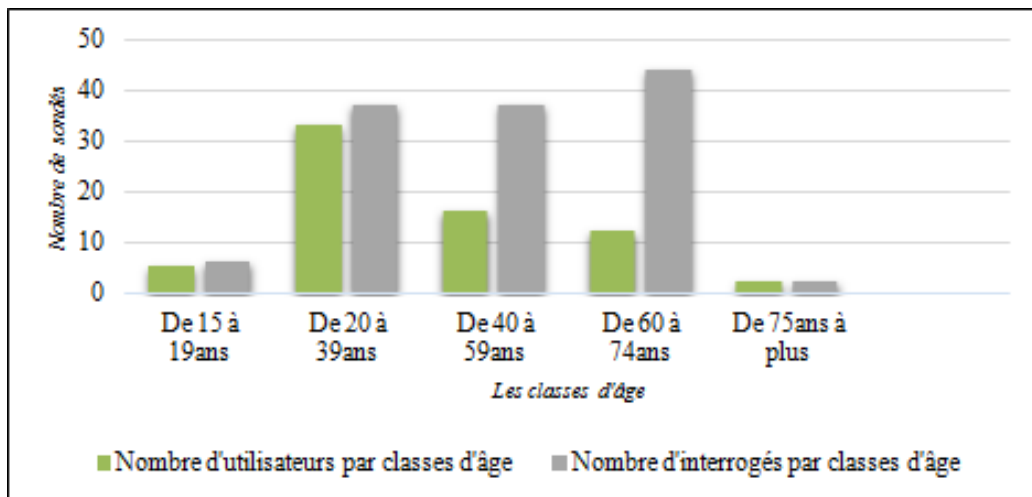


Source : Hébert (2014)

Figure 4.17 : Perception des risques majeurs dans la population sondée à l'échelle du Var.

Lorsque l'on demande aux habitants s'ils sont informés des risques naturels ou technologiques qui sont présents sur la commune, soit par un message d'information dans le journal de la commune, soit par un courrier dans la boîte aux lettres, soit par une affiche en mairie, seulement 22% des sondés (soit 30 personnes), disent en avoir au moins déjà reçu une fois. Seulement trois personnes affirment en recevoir régulièrement. Autrement dit, la population ne semble pas souvent informée des risques majeurs (surtout chez les habitants qui résident sur le territoire depuis moins de 5 ans), ce qui est le signe d'une information préventive insatisfaisante. Cette défaillance explique que la population ignore que la commune est fortement vulnérable aux crues rapides.

Lorsque l'on pose la question relative aux moyens d'alertes face aux crues rapides connus par la population, la réponse récurrente est (à nouveau) que la population ne sait pas pour 35% des sondés (55 personnes) comment elle sera alertée si un événement majeur se produisait. Une fois de plus, c'est la sirène qui se démarque des autres systèmes pour 32,2% des répondants. Il a aussi été fait mention des appels téléphoniques chez 15% des sondés, qui en ont déjà reçu ou en ont entendu parler. Près de 50% des interrogés (68 personnes) possèdent un smartphone avec, à nouveau, une surreprésentation des utilisateurs pour les jeunes actifs de la tranche 20 à 39 ans (**Fig. 4.18**). 50% des smartphones embarquent le système Android de Google. Une bien plus faible part revient au système iOS d'Apple, avec 6% d'utilisateurs. Une forte part (43%) revient aux autres systèmes non mis en avant à l'échelle française et mondiale. En outre, 79% (54 utilisateurs) déclarent ne jamais éteindre plus d'une heure l'appareil en 24 heures. Cette tendance (laisser allumer le smartphone) touche toutes les classes d'âge : 73% chez les 20 à 39 ans ; 100% des interrogés qui ont plus de 40 ans.



Source : Hébert (2014)

Figure 4.18: Proportion d'utilisateurs de smartphones par classes d'âge en 2014 à l'échelle du Var.

79% (108 personnes) déclarent être favorables à un système d'alerte qui passerait par les smartphones, même s'ils n'ont pas de téléphone (84% chez les utilisateurs de smartphones), ce qui confirme l'intérêt porté par la population pour de tels développements. 69% des personnes interrogées sont aussi disposées à faire remonter l'information d'une crue rapide via une application. On notera ici que 9 personnes sur 12 (de plus de 75 ans) sont volontaires pour faire remonter de l'information.

4.4.4. Que retenir de ces enquêtes ? Les applications existantes sont-elles utiles ?

Dans l'ensemble les réponses collectées auprès de 460 personnes habitant dans des communes considérées comme "sensibles" aux crues rapides (**chapitre 1**) confirment un manque d'information ainsi qu'une faible conscience des risques et des dispositifs d'alerte liés aux crues rapides. Il semble également que les applications soient très peu connues dans ces communes. Certes, la population peut attacher une importance moindre à ces développements pour différentes raisons (âge, connaissance des évolutions technologiques, accès à internet ou à la 3G/4G), mais d'autres enquêtes réalisées en 2016 en milieu urbain confirment elles aussi cette faible connaissance des applications existantes (projet mené par les étudiants de l'université d'Avignon dans le cadre d'une convention avec *Signalert*).

D'autres éléments sont également confirmés. L'absence d'informations (sur les risques et sur les dispositifs d'alerte existants) a un impact négatif sur la perception et la culture du risque, surtout dans des communes où la communication sur un risque peut se faire au détriment d'un autre (risque d'incendie contre risque d'inondation). Ensuite, la connaissance des comportements à adopter et des procédures mises en place n'a un réel sens que pour les personnes qui ont déjà vécu une inondation, soit sur leur lieu d'habitation, soit ailleurs. La conscience du risque est également perçue par les populations lorsque la commune impose ou propose une surélévation minimale pour leurs habitations ou l'usage de matériaux de construction spécifiques. Peu de citoyens vont chercher l'information sur Internet ou au niveau de l'autorité. Ce geste est généralement effectué par les nouveaux habitants, mais une fois qu'ils sont installés dans leur résidence, la mémoire locale et l'absence de catastrophe récente font disparaître un tel réflexe, qui demeure endormi jusqu'à ce qu'un événement vienne le réveiller.

Les réponses confirment néanmoins que les habitants formulent bien une attente vis-à-vis d'un système d'alerte plus efficace (pourquoi pas en passant par les smartphones) et pour lequel ils seraient prêts à contribuer au fonctionnement. L'aspect récent des technologies smartphone n'est pas vraiment un frein à la mise en place d'un système d'alerte participatif. En effet, des besoins et une attente réelle vis-à-vis d'un système innovant qui tiendrait compte des contraintes et des spécificités locales ont été

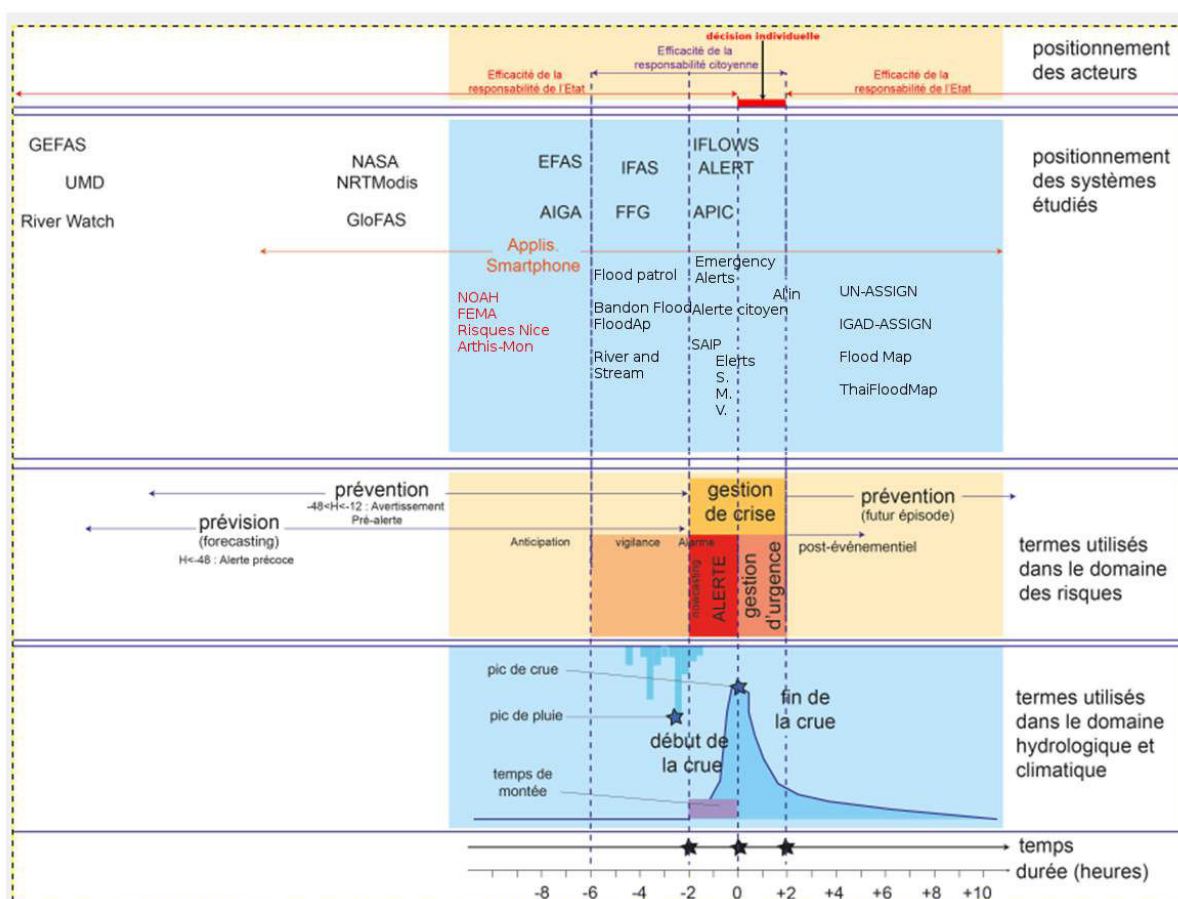
formulés de la part de toutes les tranches d'âge des populations interrogées. Cependant, la réussite et l'adoption de ce système nécessitent une implication des acteurs locaux dans le processus de leur conception. Les habitants doivent eux aussi être impliqués en amont du projet, ce qui a été avéré dans la mise en œuvre plus efficace d'autres documents (tels que les DICRIM-Jeunes, fait par les élèves de la commune, ou les PCS via les Réserves Communales de Sécurité Civile).

Il ne s'agit pas non plus de mettre en place un outil révolutionnaire ou un outil compliqué. Cette application doit être intuitive, facile à prendre en main, être opérationnelle même en cas de rupture ou de saturation des réseaux de télécommunication. Il faut aussi faire un lien avec les dispositifs en place, si insatisfaisants soient-ils, car ces derniers, proposés par l'Etat, constituent un cadre national minimal.

Conclusion du chapitre 4

Plusieurs applications ont été développées en quelques années pour apporter un soutien et une aide aux dispositifs institutionnels. Ces démarches sont légitimes puisque les opérateurs de téléphonie refusent (jusqu'à ce jour) d'appliquer les standards internationaux en matière de *Cell Broadcast*. Elles sont en cours de test et de déploiement, et en plein essor en France, d'autant plus suite aux attentats terroristes de 2015, qui ont mis sur le devant de la scène les applications urgentistes et multirisques, comme le prouve bien l'application SAIP mise en place par le Ministère de l'Intérieur le 8 juin 2016.

Les limites des dispositifs d'alerte actuels, l'important nombre de détenteurs de smartphones, la volonté avérée des populations de contribuer à l'alerte et l'insuffisance (voire l'inadéquation) des applications existantes constituent des arguments qui justifient la création d'un nouveau prototype. Ces arguments s'avèrent d'autant plus pertinents que le smartphone est un outil qui vise des finalités complémentaires : relais d'informations, remontée de données en temps réel, etc. (Fig. 4.21).



Source : Kouadio (2015)

Figure 4.19 : Positionnement des applications smartphone dans les temporalités du risque inondation

Synthèse de la partie II

Cette partie relative aux usages et aux pratiques par rapport aux outils numériques, en général, et aux smartphones, en particulier, a permis de dégager les constats suivants :

>> Les smartphones, une technologie souple, intuitive et interactive

Les smartphones sont des appareils que l'on pourrait qualifier d'« atemporels ». En effet, ils peuvent être mis à contribution à tout moment, aussi bien durant la gestion du risque inondation (Fig. 4.6) que pendant une alerte. Avec le GPS pour localiser et cartographier l'évènement, la photo pour en avoir un visuel, du texte pour affiner la description, le citoyen peut affiner un simple message d'alerte et y ajouter du contenant. Associés aux Réseaux Sociaux Numériques, cette information a la possibilité d'être rapidement et largement diffusée. Certes, la connexion internet ou la couverture mobile peuvent parfois faire défaut, mais avec les possibilités offertes par les réseaux opportunistes, et les projets en cours visant la réduction des « zones blanches » cette difficulté sera vite surmontée. En outre avec un dispositif réglementaire encourageant une forte dépendance du citoyen vis-à-vis de l'État on pourrait être amené à penser qu'impliquer le citoyen de sorte qu'il utilise à travers une démarche volontaire serait cause perdue. À condition que sa contribution soit valorisée et qu'il se rende compte de façon concrète de l'utilité de ses efforts, le citoyen peut s'avérer être un acteur prolifique et efficace en ce qui concerne la gestion du risque inondation.

>> Une opportunité pour mieux impliquer l'individu dans la temporalité de l'alerte

Compte tenu des limites et des contraintes des outils d'alerte actuels, nous proposons de nous tourner vers des solutions technologiques récentes, notamment les smartphones. Ces outils offrent de nombreuses possibilités, avec notamment un accès presque illimité à l'information en continu (en émission tout comme en réception) et une forte probabilité pour les populations d'en posséder un (ou d'en être équipé à tout moment). Ces outils pourraient ainsi apporter une réponse complémentaire aux dispositifs d'alerte. Certains développements le montrent (avec des applications qui émergent depuis 2013 en France, jusqu'à l'application SAIP mise en place le 8 juin 2016). Néanmoins, les applications développées restent consultatives et non participatives, et une attention particulière doit également être portée aux usagers. Par ailleurs, en faisant confiance à la population, comment éviter au maximum des effets de panique, dus à la diffusion d'informations erronées ou de rumeurs ? Comment également garantir un certain contrôle de la part de l'administration tout en évitant de tomber dans de longues étapes procédurières et lourdes à enclencher, de façon à ce que la population puisse recevoir l'alerte dans un délai très court (quelques minutes) ? Ce sont des exemples de questions que l'on propose de traiter la seconde partie de cette recherche.

En s'orientant vers les smartphones, on souhaite à la fois valoriser les savoirs des citoyens dans une approche « bottom-up », allant des dires d'acteurs vers les services de l'État, mais aussi accroître les connaissances sur les crues rapides dans les bassins non jaugés où les connaissances manquent encore. La localisation de l'évènement, la nature des écoulements et des objets charriés, leur vitesse de même que l'intensité des précipitations ainsi que les dégâts observés sont des paramètres qu'il serait utile de valoriser ... à travers une application par exemple.

Partie III

Création d'un prototype basé sur la collaboration citoyenne durant l'alerte : développements et expérimentations



Source : midilibre.fr (2016)

Une application smartphone pour signaler une route inondée.

Introduction de la partie III	153
Chapitre 5 - Modélisation conceptuelle de l'application <i>Al'in</i>	155
Chapitre 6 - Mise en œuvre, développement du prototype et test d'application	181
Synthèse de la partie III	215

Introduction de la partie III

Les développements techniques développés ici ont débuté dès l'année 2014. Des applications ont vu le jour depuis, comme relaté dans le chapitre précédent, mais tous les systèmes existants ont été conçus en suivant une approche descendante (« Bottom-Up ») et jamais en ciblant l'utilisateur au cœur du système (approche ascendante « Top-Down »). Aucune remontée d'information liée aux utilisateurs n'est opérée, même en cas de géolocalisation, et c'est un écueil qu'il nous semble important à résoudre si on veut replacer l'inondation et l'alerte dans le quotidien des individus.

Notre application, plus collaborative et plus intuitive, porte le nom d'*Al'in* (*Alerte Inondation*). Elle se base sur une **participation volontariste** des habitants (à travers la remontée d'information), mais également sur leur **implication** dans la mise en place d'un réseau de télécommunication plus souple. La conception et l'architecture de l'application suivent un procédé relativement simple : le citoyen envoie des informations de l'évènement qu'il perçoit (niveaux d'eau relatifs, immeubles ou bâtiments endommagés, intensité des pluies observées en temps réel, écoulements observés, routes ou passages bloqués), en remplissant un formulaire préconçu avec des questions et des réponses intuitives (ex : indiquer la hauteur de l'eau à partir des membres du corps par exemple, sans se baser sur des niveaux d'eau plus précis). En fonction de l'urgence de la situation et des conditions dans lesquelles l'utilisateur se trouve, cette information peut être détaillée ou synthétique, et relativement facile à utiliser ensuite par les acteurs opérationnels.

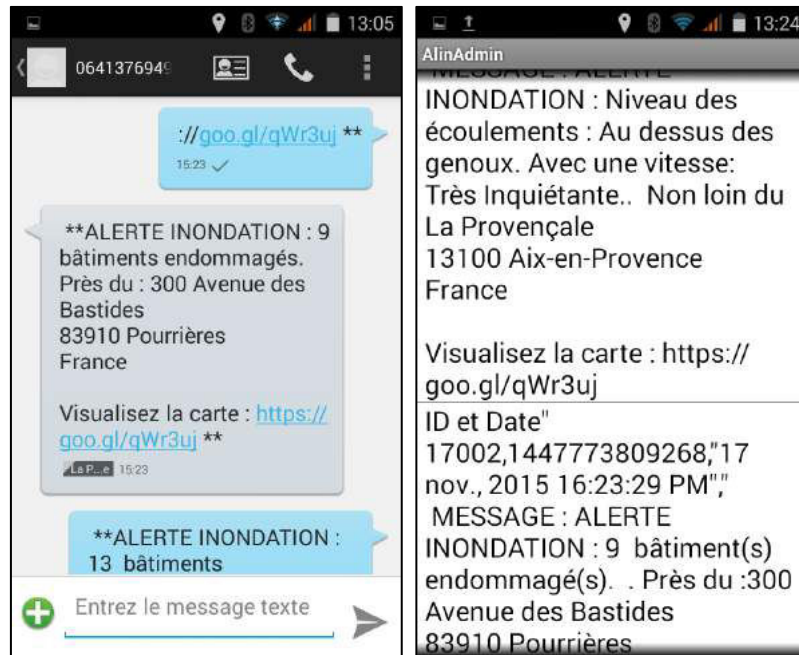
La partie III se structure ainsi autour de chapitres aboutissant à la conception de l'application :

Le **chapitre 5** présente la démarche conceptuelle de l'application *Al'in*, en s'appuyant sur la modélisation objet UML (*Unified Modeling Language*). Cette démarche répond à des objectifs précis et donne justement un rôle central aux usagers, notamment à travers les diagrammes de comportement.

Le **chapitre 6** présente cette fois-ci le prototype de l'application *Al'in*, en détaillant les menus déroulants créés et la gestion des données notamment. Une expérimentation menée dans 2 communes du Var et du Vaucluse permet aussi de tester l'opérationnalité de l'application et de cerner ses limites.

Chapitre 5

Modélisation conceptuelle de l'application *Al'in*



Source : Kouadio (2016)
Vues de présentation de l'application *Al'in*.

Introduction du chapitre 5	157
5.1 Choix conceptuels opérés	157
5.2 Les diagrammes comportementaux au cœur de la démarche conceptuelle	162
5.3 Les diagrammes d'interaction	172
5.4 Les diagrammes de structure	177
Conclusion du chapitre 5	180

Introduction du chapitre 5

Ce **chapitre 5** détaille les bases conceptuelles et informatiques d'une nouvelle application qui tient compte des remarques et avis formulés dans le chapitre 3. La démarche de modélisation passe par une description précise du système, en réponse à un cahier des charges initial ; celui-ci est préalable à tout projet informatique, car où il définit les objectifs que doit atteindre la solution proposée, indique les contraintes à respecter, doit être un outil de dialogue entre les différents acteurs et doit permettre de minimiser les risques d'erreurs depuis la réalisation jusqu'au déploiement (Collignon et Schöpfel, 2007). Le modèle ne doit toutefois pas être décrit du seul point de vue informatique. À cet effet, le langage UML (*Unified Modeling Language*) est bien adapté puisque sa structure permet de préciser les objectifs du modèle, son organisation et ses constituants dans une **logique ordonnée** pour le lecteur, quel que soit son domaine d'étude, mais aussi de voir les interactions entre le système et ses éventuels utilisateurs, et entre les utilisateurs eux-mêmes (OMG, 2012). Ce langage permet aussi d'aborder avec plus de souplesse les questions complexes et transversales que soulève l'usage d'une solution logicielle du type smartphone (Roques, 2003 ; Seiger *et al.*, 2015),

Ce **chapitre 5** se structure alors en suivant les principales étapes conceptuelles qui ont guidé ce travail : après avoir circonscrit le cahier des charges et justifié le choix du langage UML (§5.1), la première étape de la modélisation consiste à détailler les diagrammes de comportement (§5.2), qui clarifient les actions attendues des citoyens acteurs qui sont au cœur de la démarche conceptuelle, puis les diagrammes d'interactions (§5.3) et les diagrammes de structure §5.4). L'ensemble de ces éléments constitue les prémices nécessaires à la création purement technique de l'application (**chapitre 6**).

5.1. Choix conceptuels opérés

5.1.1. Les fonctionnalités attendues

Rappel des besoins identifiés

Différents besoins (implicites, cachés, inavoués, apparents ou explicites) ont été formulés par les élus et la population à l'échelle locale (cf. **chapitre 4**). Dans certaines communes, ces acteurs accordent une attention particulière à l'usage de systèmes innovants et des « nouvelles » technologies (systèmes d'appel en masse, réseaux sociaux, envoi de SMS aux citoyens, gestion par un prestataire privé), alors que d'autres préfèrent le porte-à-porte qui, selon eux, fonctionne très bien et ne leur a jamais fait défaut. Certains élus émettent aussi un avis très différent (confiance ou refus) sur les démarches qui viennent de l'État ou de la préfecture. La question du contrôle et de la vérification des informations remontées en cas d'alerte est en revanche revenue à plusieurs reprises. Dans la mesure où l'alerte est la chasse gardée de l'administration (représentée par le maire ou les services sous son autorité), cette dernière veut avoir son mot à dire dans la gestion des informations qui circulent entre citoyens dès que celles-ci sont susceptibles de porter le sceau « Alerte ».

Il ne s'agit donc pas de créer un système miracle qui balaiera l'existant ou qui résoudra tous les problèmes, mais plutôt de contribuer à améliorer les dispositifs existants en impliquant le citoyen le plus en amont possible. Il s'agit ici de constituer un système d'information intégré partant du « citoyen capteur » à l'« individu récepteur », en associant les acteurs locaux (préfectures, mairies) dans le montage de cette procédure (afin de contrôler la qualité de l'information). Dans tous les cas, l'objectif est de toucher au maximum les populations dans un périmètre de risque défini en temps réel, en venant compléter les autres dispositifs déjà en place (médias, sms, réseaux sociaux...). Le projet vise aussi les habitants qui n'écoutent pas forcément la radio, les randonneurs et/ou les piétons, les touristes..., brefs toute personne pouvant être localisée grâce à son téléphone portable, mais n'étant pas au courant d'une alerte aux crues rapides pouvant survenir à proximité d'elle.

Les comportements en temps de crise dépendent à la fois de l'information dont on dispose et, en amont, de la capacité de cette information à être non seulement bien réceptionnée, mais également

bien interprétée. C'est à ce niveau que la définition du type d'information que le « citoyen-capteur » peut faire remonter pour donner l'alerte est capitale. Par simplicité, on optera pour des réponses déjà écrites et élaborées à l'aide d'une grille de lecture accessible à un individu lambda et donc plus faciles à choisir et à envoyer. Ce choix peut conduire à éviter une mauvaise prise en charge de l'application et qui pourrait, plus tard, conduire à un refus total d'utilisation en cas de crise. Suivant l'information remontée, un degré d'avancement dans l'alerte et dans les comportements à avoir peut être proposé (ce qui rejoint les résultats obtenus par I. Ruin *et al.*, 2007). Il est par ailleurs essentiel de demander l'autorisation aux utilisateurs d'exploiter leurs données de géo-localisation. Il faut aussi prévoir que l'application soit disponible et fonctionnelle pendant plusieurs mois (ou plusieurs années), et donc pouvoir s'affranchir des contraintes techniques en termes de systèmes d'exploitation (Android, iOS, BlackBerry, etc.) et humaines (facilité de maintenance, de remise en service et d'évolution).

Un système-expert basé sur une collaboration citoyenne

L'application proposée a pour ambition de relever l'un des défis majeurs en matière de gestion des risques : réduire l'écart entre l'approche étatique (*top-down*), qui positionne (voire impose) l'État comme principal lanceur officiel d'alerte, et l'approche citoyenne (*bottom-up*), qui érige l'individu au rang de « citoyen capteur » (être capable de remonter ou de diffuser une information) et qui peut être le point de départ de l'information associée à une menace ou à un aléa. Les informations envoyées par les citoyens seront traitées par un **système expert** (interne au téléphone ou prédéfini par les gestionnaires du risque). Une fois le risque confirmé, un message sera automatiquement transmis à tous les numéros figurant sur une liste de contacts que le citoyen aura lui-même créé et dans un périmètre donné. Les personnes entrant dans ce périmètre relationnel seront informées du danger et des mesures à prendre. Par ailleurs, l'information transmise sera consultable par tous les citoyens même si elle n'a pas été validée. Il n'est toutefois pas à exclure qu'un centre de décision (autorités et/ou gestionnaires de crise) infirme (ou non) le(s) message(s) du « citoyen capteur ».

Ce système repose sur un principe simple : le citoyen envoie une information via l'application, sur une crue en formation ou sur des dangers en résultant, en remplissant un formulaire. En fonction de l'urgence de la situation, cette information peut être détaillée ou très synthétique. L'alerte, devenant disponible sur un serveur, peut être rapidement consultable par tous les citoyens (même par ceux qui n'ont pas forcément installé par défaut l'application). On parle alors d'une alerte dite passive et c'est à ce niveau que l'administration entre en jeu, en validant ou en rejetant les informations remontées sur le serveur. Une fois validées, les alertes sont ensuite diffusées dans un rayon délimité autour du point d'émission (5 km par exemple, ou par identification de codes postaux, à l'image de ce que propose ©DeveryWare via *MyPublicCitizen* ou *SAIP*) : c'est l'alerte active.

Cette approche se veut aussi être une innovation sociale, à travers l'implication véritable de la population dans la mise en œuvre de l'alerte. Cette implication induit l'installation du réseau de télécommunication "entre les téléphones", support de l'application (cf. les réseaux opportunistes), et des exercices d'utilisation auprès de la population. À l'exemple des projets *MeshBukavu*⁵⁴ en RDC et *Mesh Sayada*⁵⁵ en Tunisie, la population peut prendre une part active à la mise en place d'un réseau *mesh* communautaire, mais à condition d'être formée et régulièrement exercée à l'usage de ces réseaux. Ces exercices d'entraînement sont fondamentaux et à notre avis, lancer une application d'urgence sans en décrire les fondamentaux est illusoire. Notons à ce titre que l'application SAIP vient en doublon d'une précédente application, VIGI, créée en 2014 par le Ministère de l'Environnement pour avoir accès aux vigilances hydrologiques, mais qui a un usage plus que limité, car le nombre d'utilisateurs ayant téléchargé cette application est inférieur à 120 en 2016...

⁵⁴ <https://commotionwireless.net/blog/2014/10/27/mesh-bukavu-designing-a-network-from-scratch/>

⁵⁵ <https://commotionwireless.net/files/posts/041814-Case-Study-Sayada.pdf>

Un système qui se veut intuitif et pluri-optionnel

Différents scénarios peuvent se présenter pour une situation initiale identique. Il n'est toutefois pas simple de penser à toutes les configurations possibles, ce qui requière une certaine souplesse de la part du système à créer. Partons d'une situation simple : Monsieur X (qui peut être piéton, cycliste ou automobiliste) possède un smartphone sur lequel est installée l'application *All'in* ; il constate qu'il pleut depuis au moins 1 heure de façon intense dans le quartier dans lequel il se situe et...

Situation 1 : il observe l'apparition de ruissellements sur les routes. Les piétons peuvent encore se déplacer, car l'eau arrive à une hauteur égale à celle de leur cheville. Ils ont également avec eux leur parapluie et s'en servent, car l'intensité de la pluie le permet. Monsieur X n'est pas « inquiet » par cette situation, mais il décide alors de recourir à l'application pour faire un simple "signalement".

Situation 2 : il observe des ruissellements urbains avec un niveau situé au-dessus des chevilles des personnes qui osent s'y aventurer. L'eau commence toutefois à se retrouver à des endroits où l'on n'a pas l'habitude de les voir. Très peu de véhicules circulent et l'eau arrive à plus de la moitié des roues (environ 30cm). La visibilité est de plus en plus faible. La situation lui semble alarmante et il aimerait savoir que faire. Monsieur X utilise donc l'application pour faire le signalement, mais en retour, il aimerait une réponse des acteurs institutionnels, ne serait-ce que pour le rassurer.

Situation 3 : Monsieur X observe des ruissellements abondants et assez boueux, qui entraînent, à certains endroits, des branches et autres débris. La visibilité est mauvaise, mais Monsieur X remarque que les ruissellements prennent de plus en plus de vitesse. Rares sont les véhicules qui se hasardent à circuler sur les voies praticables. Il y a même des véhicules qui commencent à bouger. La situation est critique, car des personnes se trouvent en difficulté ou en situation périlleuse (**Tableau 5.1**). Monsieur X utilise donc l'application pour signaler et alerter sur une situation dangereuse, que lui peut a priori gérer tout seul, mais il aimerait que tous les habitants aux alentours soient informés.

Pluie	Dommages (humains /matériels)	Ecoulement	Circulation pïton/voiture	Photos Géo référencée
Intense sans vent violent Possible d'utiliser son parapluie	Léger/grave/très grave	Faible quantité d'eau ruisselante	Possible	Oui
Intense avec vent violent Possible d'utiliser son parapluie	Léger/grave/très grave	Abondante quantité d'eau ruisselante	Possible avec prudence	Oui
Intense avec vent violent ralentissant la marche Usage difficile du parapluie	Léger/grave/très grave	Abondante et rapide contenant des débits	Difficile et périlleux	Oui
Extrême - Impossibilité d'utiliser le parapluie- Impossible de sortir	Léger/grave/très grave	Boueux rapide et déplaçant des objets lourds	Impossible	Oui

Tableau 5.1 : Liste initiale des paramètres possibles à intégrer dans l'application.

Deux types d'approches doivent alors être considérées. La première (appelée « mode urgence ») prévoit une transmission par le citoyen d'une liste minimale d'informations, dans un souci de gain de temps. La seconde (appelé « mode standard ») donne bien plus de latitude à ce dernier pour intégrer plus de détails dans l'alerte qu'il transmet. Dans les deux cas, bien qu'accessibles en lecture aux autres citoyens dotés de l'application, ces informations ne leur seront diffusées qu'après validation d'un administrateur leur donnant ainsi un meilleur crédit. La dynamique du système permet de ressortir les grandes fonctions qu'il doit remplir ainsi que les interactions possibles entre elles. En outre, les informations que le « citoyen capteur » devra transmettre seront de la même nature et lui seront sollicitées à travers 2 formulaires à onglets indépendants, offrant des réponses à choix multiple. Quel que soit le mode choisi, les coordonnées géographiques des situations décrites seront

soigneusement enregistrées à des fins cartographiques, car elles serviront de repères au barycentre de la zone (ou bassin) d'alerte. Le **tableau 5.1** synthétise une liste non exhaustive de données que l'on souhaite pouvoir recueillir.

Il faut également bien cerner le rôle de chacun. Le « citoyen capteur » correspond pour nous à la première personne supposée être en contact avec le danger ou les dégâts qui en ont résulté. C'est lui qui constate en premier une forte pluie et la montée anormale d'un cours d'eau. Il est le point de départ du système. L'autre personnage important de ce dispositif est l'administrateur du centre de décision. C'est celui qui reçoit en premier le message envoyé par le « citoyen capteur », puis le valide en se basant sur le nombre de messages reçus ainsi que sur les outils dont se sert habituellement la sécurité civile pour vérifier qu'un événement a bien lieu. Il doit avoir la possibilité d'effectuer sa tâche à partir de son smartphone ou d'un ordinateur via une interface web. Il y a également à prévoir l'écran de consultation du détail des alertes qu'elles soient validées ou non par l'administration. Cet écran doit pouvoir faire apparaître une photo et la localisation sur une carte du danger ou des dommages signalés. Il doit aussi permettre de confirmer qu'on a bien lu l'alerte et qu'on est donc au courant qu'il s'est passé ou se passe quelque chose à cet endroit.

5.1.2. Le langage UML, pour une description facile à comprendre du système envisagé

Une démarche de conceptualisation déjà éprouvée

Les spécificités détaillées du langage UML ainsi que les questions relatives à son processus mise en œuvre ont déjà été utilisées pour présenter différentes applications (Riccio, 2015 ; Goto *et al.*, 2014 ; Fanti *et al.*, 2012 ; Seiger *et al.*, 2015). Le langage UML est un outil de base pour modéliser les connexions entre les composants d'un système distribué ainsi que de systèmes complexes demandant un niveau d'abstraction élevé. Roques (2003) en démontre l'efficacité en s'en servant pour modéliser un système de réservation de vols auprès de compagnies aériennes. Plusieurs travaux ont d'ailleurs démontré la valeur ajoutée, voire non négligeable, qu'apporte l'approche UML dans la réalisation d'applications sur smartphones (Parada *et al.*, 2011 et 2012 ; Quanyin *et al.*, 2012 ; Kraemer, 2011 ; Haugrud, 2009 ; Stuurman *et al.*, 2014 par exemple).

Le développement de l'application doit en réalité s'appuyer sur cette technique de conception pour faciliter son passage du monde des idées (le monde abstrait) à celui du concret (sa réalisation). Il s'agit, comme le précise Bernard Morand (2007), d'une phase de modélisation présidant l'écriture du code informatique. C'est aussi ce qu'explique Mouna Aouag (2014), en affirmant que cette étape facilite la compréhension du fonctionnement du système avant sa réalisation, en produisant un modèle. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une thèse d'informatique, la mise en application de ce principe est opportune, à la fois pour des questions de rigueur et de démarche qualité, mais aussi et surtout parce que ce travail demande un certain nombre de compétences en matière de développement d'applications si on souhaite véritablement avoir un contrôle total sur le rendu final.

Une démarche de conceptualisation complète

Né dans les années 1990 et fruit de la fusion de plusieurs méthodes de conception (Booch, Embley, Gamma, OOSE, Meyer, Shlaer-Mellor, Wirfs-Brock), le langage UML a gagné en maturité et en robustesse pour devenir un standard de référence en matière d'ingénierie logicielle (Sbihi, 2004 ; Vernier *et al.*, 2005 ; Morand, 2007 ; Brémond *et al.*, 2009 ; Pinet *et al.*, 2010).

Dans sa version la plus récente (2.5), le langage UML définit 13 types de diagrammes répartis en 3 catégories (OMG, 2015). Six types représentent la structure statique de l'application, trois sont relatifs aux comportements et quatre représentent les différentes interactions (**Fig. 5.1**) :

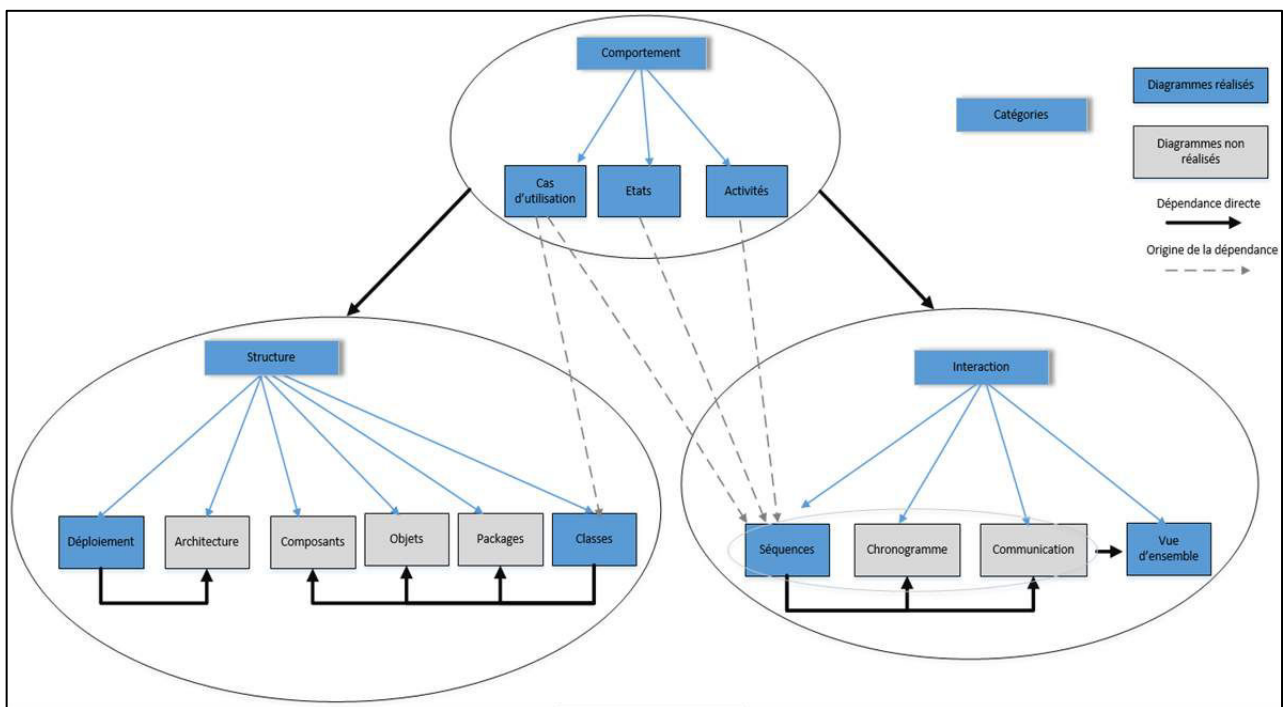
- les **diagrammes de structure** comprennent les diagrammes de classes, d'objets, de composants, d'architecture, de package et de déploiement ;
- les **diagrammes de comportement** comprennent les diagrammes de cas d'utilisation (utilisé par certaines méthodologies pendant la collecte des besoins), d'activités et d'états ;

- les **diagrammes d'interaction**, de leur côté, sont réalisés sur la base des diagrammes de comportement : les diagrammes de séquence, de communication, le chronogramme, et le diagramme de vue d'ensemble sont ainsi regroupés dans cette catégorie.

Tous les auteurs ne détaillent pas toujours les 13 types de diagrammes. Pour Goto *et al.* (2014) le langage UML peut être subdivisé en 2 diagrammes : les structures (décrire la structure des entités modélisées : classes, objets, package) et les comportements (le comportement des entités modélisées : cas d'utilisation, activités, état-machine). Le diagramme de classe concernerait ici la description des relations statiques entre les classes et met l'accent sur un diagramme moins populaire, le diagramme de package, qui rassemble les classes en groupes et fait apparaître les relations entre ces derniers. Pour Aouag (2014), il peut être apprécié comme une notation utilisée pour modéliser le développement de systèmes orientés objet. La modélisation « orienté objet » permet de modéliser les concepts d'un système (information, connaissance) sans se préoccuper de l'implémentation (Aouag, 2014). Certains diagrammes contiennent alors des informations parfois redondantes (**Fig. 5.1.**).

Quels diagrammes retenir ?

L'application souhaitée doit permettre aux citoyens de contribuer volontairement à l'alerte en cas de crues rapides. Aussi, pour dépasser le cadre d'une solution purement technique, qui consisterait à considérer les citoyens comme simples usagers (ce qui est une des critiques fortes de la plupart des solutions logicielles existantes), il était important pour nous de pouvoir modéliser le comportement de ces usagers et celui des individus susceptibles de recevoir les alertes qui seront diffusées. À ce titre, l'accent a été porté sur les diagrammes de comportement et en particulier sur les "cas d'utilisation" (ou « User cases »), c'est-à-dire sur les interactions entre le système et ses utilisateurs, mais aussi entre les utilisateurs eux-mêmes (OMG, 2012). Il était par exemple, pour nous, inconcevable d'envisager un diagramme d'objets sans avoir préalablement réalisé les classes (diagrammes de classe), desquelles découlent ces objets. La mise en œuvre du diagramme de classes demande une bonne définition des cas d'utilisation. Il en est de même pour la réalisation du diagramme de séquences, qui a pour diagrammes dérivés le chronogramme des activités et le diagramme de communication. C'est pour ces raisons que les diagrammes primaires (cas d'utilisation, état, activité, classe, déploiement et séquence) ont été retenus pour décrire *Al'in*. Sur 13 diagrammes, 7 seront ainsi détaillés, les autres étant indirectement présentés à travers ces derniers.



Source : Kouadio (2015)

Figure 5.1 Les diagrammes UML utilisés pour le prototype.

5.2. Les diagrammes comportementaux au cœur de la démarche conceptuelle

Ces diagrammes permettent de décrire plusieurs aspects du comportement du système modélisé, à la fois dans le temps (à travers différentes activités mettant en scène les acteurs) et dans l'espace (à travers son fonctionnement non seulement interne, mais aussi externe par ses interactions avec les utilisateurs). Les cas d'utilisation en sont donc la base.

5.2.1. Les différents cas d'utilisation

Définitions et importance des cas d'utilisation

Le cas d'utilisation désigne la spécification d'un ensemble d'actions effectuées par un système (ou par un sous-système), ce qui donne un résultat observable qui a, généralement, de la valeur pour un ou plusieurs acteurs ou d'autres parties prenantes du système (OMG, 2007). Il se définit par :

- un acteur déclencheur (l'individu qui initie l'utilisation) ;
- une pré-condition (sans laquelle le cas d'utilisation ne peut avoir lieu) ;
- une action de départ (qu'effectue l'acteur déclencheur) ;
- un scénario nominal (c'est la description détaillée du cas d'utilisation) ;
- une action de fin (qui conclut le cas d'utilisation) et une ou des exception (s) (ce sont des actions pouvant entraver la progression du cas d'utilisation).

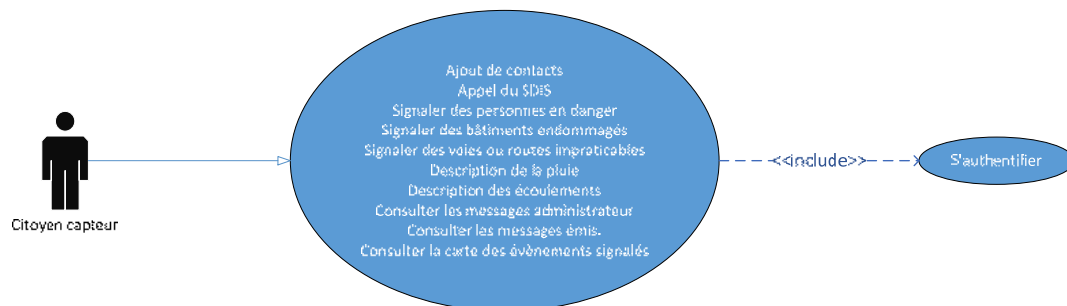
Pour Anthonysamy et Somé (2007), le diagramme de cas d'utilisation représente un aperçu assez abstrait d'un système. Chaque cas d'utilisation est spécifié sous la forme de descriptions d'interactions (sous forme de texte en langage naturel) entre un utilisateur et le système. Dans un diagramme de cas d'utilisation, l'extension stéréotype <<extend>> signifie que le cas d'utilisation complète un autre cas d'utilisation. En d'autres termes A<<extend>>B signifie que le comportement de B peut être complété par celui de A. D'un autre côté, il y a l'inclusion stéréotype <<include>> lorsque le cas d'utilisation utilise un autre cas d'utilisation. En d'autres termes, A<<include>>B signifie que faire A implique que l'on ait déjà fait B. La réciproque est en revanche impossible (faire A sans avoir fait B).

Les cas d'utilisation permettent par ailleurs d'exprimer les besoins en termes de services que doit assurer le système. Les diagrammes de cas d'utilisation distinguent alors deux concepts majeurs (Ziadi, 2004) : les acteurs et les cas d'utilisation eux-mêmes. Un acteur est une entité extérieure du système tandis qu'un cas d'utilisation est une fonctionnalité offerte par le système. Autrement dit, un acteur peut initier l'une de ces fonctionnalités. Un cas d'utilisation peut également être compris dans un autre cas d'utilisation ; ceci signifie que le service spécifié par le second est compris dans le service du premier. Un cas d'utilisation peut par ailleurs étendre un cas d'utilisation père, ce qui signifie que le service du premier est une spécialisation du service du second. Comme mentionné plus haut, les relations entre les cas d'utilisation sont notées comme des flèches de dépendance avec les mots-clés <<include>> pour l'inclusion et <<extend>> pour l'extension.

Sur la base du cahier des charges initial, des choix techniques adoptés, des échanges avec les autorités ainsi que des résultats de l'enquête dans le Var et le Vaucluse, les cas d'utilisation imaginés sont résumés dans le **Tableau 5.2** et synthétisés dans la **Figure 5.2**. Les principaux cas d'utilisation du « citoyen capteur » et de l'administrateur sont détaillés (en gardant les numéros indiqués). Chaque cas a été synthétisé par un tableau, qui aboutit à une lecture séquentielle du diagramme et qui permet un cheminement progressif, non seulement dans la logique d'utilisation en cours, mais également dans celle relative à l'ensemble de l'application, et par un graphique qui résume l'utilisation attendue et qui a été formalisée. Toute action de ces deux personnes entraîne une réaction du système. Décrire les cas d'utilisation les concernant revient d'une certaine manière à faire la même chose pour ceux du système. Il n'est donc pas nécessaire de présenter ici dans le détail cet aspect conceptuel (**Fig. 5.1**).

Acteurs	Cas d'utilisation
Citoyen capteur	A. Authentification du numéro du citoyen B. Appel du SDIS C. Ajout de contacts D. Signaler une personne en danger E. Signaler des bâtiments endommagés F. Signaler des voies ou des routes impraticables G. Description de la pluie H. Description des écoulements I. Consulter les messages administrateur J. Consulter la carte des évènements signalés
Administrateur	K. Consulter les messages émis L. Diffuser les messages émis
Système expert	M. Demande d'authentification N. Validation du numéro O. Affichage du menu principal

Tableau 5.2 : Les cas d'utilisation par acteur (avec une numérotation spécifique pour chaque action).



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.2 : Schéma général des cas d'utilisation du citoyen capteur.

Les cas d'utilisation du citoyen capteur

A. Authentification du numéro du citoyen

Toute action du citoyen est conditionnée par l'authentification de son numéro de téléphone à l'ouverture de l'application. Il faut donc permettre au système d'identifier dès le départ ses utilisateurs (**Fig. 5.3**), à des fins de sécurité et pour fiabiliser les statistiques attendues (nombre de connexions par exemple). Cela induit aussi une bonne gestion des informations et des données à caractère personnel. Cependant, cet aspect est pris en compte par le cas d'utilisation destiné à l'acceptation des conditions d'utilisation de cette application, conformément aux prescriptions de la CNIL (norme 51).

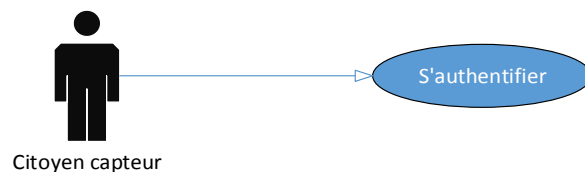
B. Appel du SDIS

Dans l'urgence, et au lieu d'aller jusqu'au bout de l'utilisation de l'application et de faire une description très détaillée de la situation, le citoyen a la possibilité de contacter directement les services de secours. Ce cas d'utilisation (**Fig. 5.4**) évite de perdre du temps pour trouver le numéro du SDIS chargé de leur sécurité, et fait partie des remontées souhaitées par les individus enquêtées (chapitre 3).

C. Ajout de contacts

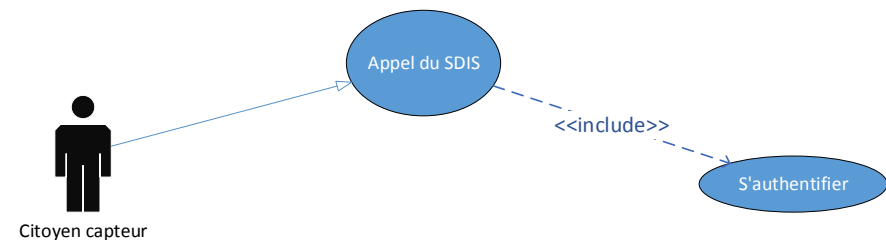
Pour éviter une profusion d'alertes dans tous les téléphones, le citoyen peut envoyer une alerte uniquement à ses connaissances (**Fig. 5.5**). Cette solution peut sembler contraignante, mais elle vise à responsabiliser le lanceur d'alerte. En effet, si les alertes sont fausses, elles sont envoyées aux personnes de connaissance et donc n'ont aucun sens. A contrario, ce cas d'utilisation pourrait faire paniquer des membres de sa famille. Il faut alors bien préciser la nature du message envoyé.

SOMMAIRE	
Titre	S'authentifier
But	Vérifier et enregistrer le numéro du citoyen
Résumé	Dès la première ouverture de l'application, il s'agit pour le système de vérifier et d'enregistrer le numéro de téléphone du citoyen.
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-condition - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Application installée Application ouverte Menu principal invisible ou verrouillé 	<ul style="list-style-type: none"> Accès au menu principal, déverrouillé
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le système demande à l'utilisateur de saisir son numéro pour contrôle. Le citoyen saisit le numéro Le citoyen clique sur le bouton « valider » Le système vérifie le numéro Le système autorise l'accès au menu principal 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Le citoyen saisit un numéro erroné.	Le système affiche un message d'erreur.
Pas de connexion internet.	Le système demande d'attendre le retour de la connexion



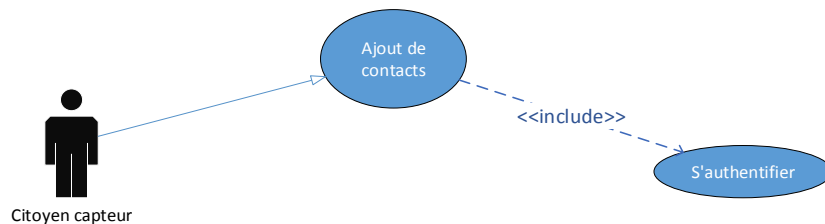
Source : Kouadio (2016)
Figure 5.3 : Représentation du cas d'utilisation « Authentification ».

SOMMAIRE	
Titre	Appel du SDIS
But	Lancer un appel téléphonique direct au SDIS depuis l'application
Résumé	Le citoyen appui un bouton pour appeler s'il le souhaite le SDIS sans avoir à renseigner un formulaire.
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-condition - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Menu principal disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Appel effectué
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le citoyen sélectionne le bouton d'appel du SDIS Le choix du SDIS 83 ou 84 lui est proposé Le citoyen sélectionne le SDIS qu'il souhaite contacter Le système émet l'appel suivant le choix du citoyen 	
Exceptions possibles	Réaction du système
L'absence de réseau téléphonique.	Le système informe le citoyen en le priant de patienter.



Source : Kouadio (2016)
Figure 5.4 : Représentation du cas d'utilisation « Appel SDIS ».

SOMMAIRE	
Titre	Ajout de contacts
But	Gestion de la liste des personnes pouvant être averties depuis l'application par le citoyen capteur
Résumé	Le citoyen ajoute les numéros des personnes qu'il désire avertir
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-condition - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Menu principal disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Ajout confirmé Annulation de l'ajout
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le citoyen clique sur le bouton de gestion des contacts Le système lui donne accès à un écran dédié Le citoyen clique sur le bouton d'ajout Le système affiche le répertoire téléphonique du citoyen capteur Le citoyen sélectionne le contact qu'il désire ajouter Le système demande confirmation La liste des contacts qui seront avertis est actualisée avec le contact sélectionné 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Aucune	Aucune



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.5 : Représentation du cas d'utilisation « Ajout Contacts ».

SOMMAIRE	
Titre	Signaler des personnes en danger
But	Signaler que quelqu'un se trouve dans une situation pouvant porter atteinte à son intégrité physique ou morale pendant ou à la suite d'une crue rapide.
Résumé	Le citoyen renseigne un formulaire afin de signaler à ses proches ainsi qu'à l'administrateur, qu'il est dans une situation danger ou que d'autres personnes le sont.
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-conditions - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Menu principal disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Réception par le citoyen d'un SMS de confirmation Annulation de l'envoi
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le citoyen active son GPS Le citoyen sélectionne le bouton « personnes en danger » Le citoyen renseigne le formulaire descriptif de la situation Le citoyen prend une photo Le citoyen valide le formulaire Le citoyen reçoit un message de confirmation L'administrateur reçoit un SMS Les contacts du citoyen reçoivent un SMS d'avertissement 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Pas de connexions internet	Le système affiche un message d'erreur



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.6 : Représentation du cas d'utilisation « Personnes en danger ».

D (liens avec E, F, G et H). Signaler des personnes en danger

Ce cas d'utilisation décrit la manière dont le citoyen souhaite indiquer un danger pour lui ou pour d'autres personnes (**Fig. 5.6**). La nature du danger n'est pas explicite. Le destinataire du message sait juste que quelqu'un est en situation périlleuse et qu'il y a urgence à lui porter secours. Le scénario nominal est le même pour différents cas d'utilisation (« signaler des bâtiments endommagés » (E), « signaler des voies ou des routes impraticables » (F), « description de la pluie » (G) et « description des écoulements » (H)).

I. Consulter les messages administrateur

Il s'agit ici de mettre en évidence le caractère non intrusif du dispositif. Les smartphones des individus équipés de l'application sont contactés par un message de l'administrateur (qui fait office d'autorité compétente) (**Fig. 5.7**). Les individus prennent conscience ainsi de la nature officielle du message. Ils savent que ce message provient au départ d'un « citoyen capteur », et qu'il a été de prime abord contrôlé et vérifié par l'administrateur avant d'être diffusé. Ceci n'enlève certes pas totalement le doute, mais a pour bénéfice d'éviter les mauvaises alertes ou les messages malveillants, non seulement pour toute la population, mais également pour les usagers du système.

J. Consulter la carte des événements

Pour mieux se situer par rapport à l'événement signalé, le citoyen doit pouvoir consulter une cartographie situant l'endroit ou la zone inondé(e). Un lien automatiquement généré par le système lui permettra de visualiser la carte sur son smartphone (**Fig. 5.8**). En connaissant sa position, il aura alors la liberté de prendre en toute conscience la direction qu'il souhaite, sachant que cette carte contient des points d'intérêt signalant le (ou les) danger(s) relevé(s). Il est attendu de l'utilisateur qu'il change de route si celle-ci est inondée ou qu'il se dirige vers les points hauts en cas de situations dangereuses, mais cette idée demeure sujette à caution, car une telle décision reste sujette à des biais perceptifs et cognitifs.

Les cas d'utilisation de l'administrateur

K. Consulter les messages émis

L'administrateur dispose de sa propre version de l'application, pour lui permettre de consulter et d'apprécier en temps réel les messages émis par les citoyens (**Fig. 5.9**). Il s'agit quasiment d'une seconde application (version administrateur : *Al'in Admin*), manipulant le même jeu de données, car le système est connecté aux applications appartenant aux citoyens capteurs relevant de son autorité. Il peut alors décider de contacter le citoyen émetteur pour avoir plus de détails. Ce cas d'utilisation sous-entend aussi que les services de l'État aient une personne ou un service d'astreinte pour être connecté en temps réel. Un membre des services en charge des secours sur une commune pourrait également jouer ce rôle. Le territoire concerné peut être variable (commune, intercommunalité, département).

L. Diffuser les messages émis

Après vérification, l'administrateur valide le message émis par le citoyen (**Fig. 5.10**). Il ne fait qu'appuyer sur un bouton pour confirmer cette étape qui se traduit par la diffusion du message sur tous les smartphones équipés de l'application *Al'in*. L'étape du contrôle préalable est garantie pour une diffusion au-delà du cercle des connaissances du citoyen émetteur. Il est possible d'envisager un rayon d'émission de l'alerte (5 km par exemple, comme pour SAIP) ; toutefois, cette fonctionnalité ne sera intéressante à implémenter que si le nombre d'utilisateurs est élevé (milieu urbain). La pertinence du rayon d'alerte dépend de la localisation des usagers au moment de l'émission. Cela offre l'avantage d'alerter au-delà d'un cercle fixe, mais l'inconvénient de toucher des personnes n'ayant aucun risque avéré d'être concernées par l'événement. Si le réseau « pair-à-pair » smartphone avait été initialement prévu (Kouadio *et al.*, 2013) pour palier l'indisponibilité d'internet, la transmission de l'information via un réseau WiFi de type mesh mis en place par la communauté, à l'image des choix opérés dans les projets Mesh Bukavu en République Démocratique du Congo (RDC) ou Mesh Sayada en Tunisie sera plutôt privilégiée (Johnson *et al.* 2007 ; NAF, 2014 ; Kouadio et Douvinet, 2016).

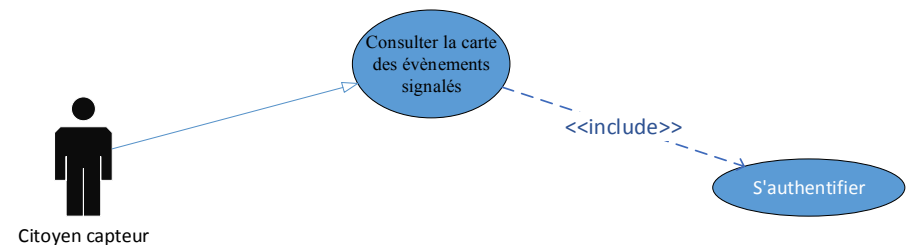
SOMMAIRE	
Titre	Consulter les messages administrateur
But	Tenir informés les autres citoyens capteurs détenteurs de l'application, une fois qu'une émission a été validée
Résumé	Le citoyen reçoit un SMS de la part de l'administrateur. Ce message contient les détails de l'évènement déclaré.
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-conditions - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Menu principal disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Le citoyen prend une décision à la suite du message
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le citoyen lit le message Le citoyen appuie sur le lien de la carte contenu dans le message Le système affiche la carte dans le navigateur web Le citoyen consulte la carte 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Le téléphone du citoyen est éteint	Aucune
Pas de connexions internet	Le navigateur affiche un message d'erreur



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.7 : Représentation du cas d'utilisation « Consultation messages administrateurs ».

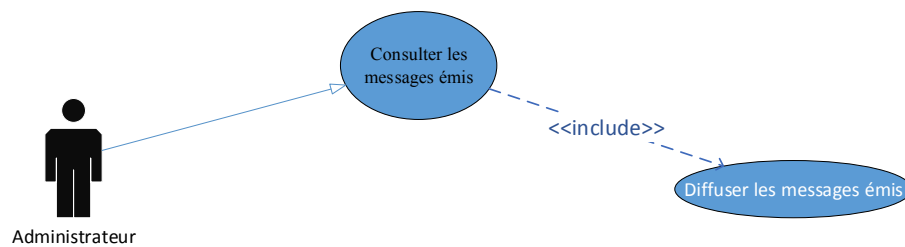
SOMMAIRE	
Titre	Consulter la carte des évènements signalés
But	Permettre sur sa propre initiative à tout détenteur de l'application d'avoir un aperçut rapide de la situation, dès qu'il ouvre l'application
Résumé	
Acteur	Le citoyen capteur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-conditions - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Application ouverte Disponibilité de la connexion internet 	<ul style="list-style-type: none"> Fermeture de l'application Accès à un élément du menu (autre écran)
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> Le citoyen accède à l'interface principale Le système affiche la carte en dessous du menu 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Pas de connexions internet	Le navigateur affiche un message d'erreur



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.8 : Représentation du cas d'utilisation « Cartographie ».

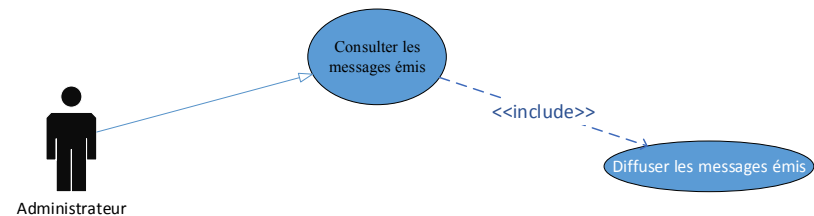
SOMMAIRE	
Titre	Consulter les messages émis
But	Permettre à l'administrateur d'avoir la liste chronologique détaillée des messages émis par les citoyens capteurs
Résumé	
Acteur	L'administrateur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-condition -actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Menu principal de l'administrateur ouvert Disponibilité de la connexion internet 	<ul style="list-style-type: none"> Le système affiche la liste des messages Retour au menu principal de l'administrateur
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> L'administrateur clique sur le bouton « listes des messages » Le système affiche de façon chronologique les messages émis 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Pas de connexion internet	Le système demande à l'administrateur de vérifier sa connexion internet



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.9 : Représentation du cas d'utilisation « Consultation messages citoyens ».

SOMMAIRE	
Titre	Diffuser les messages émis
But	Confirmer par l'administration, les messages émis par les citoyens capteurs
Résumé	
Acteur	L'administrateur
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré-conditions	Post-condition - actions de fin
<ul style="list-style-type: none"> Liste des messages affichés Disponibilité de la connexion internet 	<ul style="list-style-type: none"> L'administrateur reçoit un message confirmant la diffusion Le système affiche la liste actualisée des messages Retour au menu principal de l'administrateur
Scénario nominal	
<ol style="list-style-type: none"> L'administrateur clique sur le message qu'il souhaite diffuser Le système affiche une fenêtre de confirmation Le système diffuse les messages à l'ensemble des citoyens capteurs 	
Exceptions possibles	Réaction du système
Pas de connexion internet	Le système demande à l'administrateur de vérifier sa connexion internet



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.10 : Représentation du cas d'utilisation « Diffusion ».

Au final, tous ces cas d'utilisation, considérés comme le plus simple des sous-langages d'UML (Jivan et Gruner, 2009), résument les enchainements des actions attendues tout en indiquant les limites éventuelles et la réaction du système pour faire face à ces derniers. Cette modélisation reste pourtant très graphique et elle perturbe la transition entre la conception et le développement du système. C'est la raison pour laquelle il faut poursuivre la description des autres diagrammes de comportement.

5.2.2. Les diagrammes d'activités

Définitions et apports des diagrammes d'activités

Le diagramme d'activités permet une représentation graphique au sein de laquelle l'activité est mise en valeur (Riccio, 2015). Autrement dit, il doit aider à visualiser le déroulement des opérations et sert à modéliser l'enchaînement des actions et des décisions dans un cas d'utilisation ou entre plusieurs cas d'utilisation. Il peut en outre servir à spécifier une opération en décrivant la logique soutenant son fonctionnement. Il part d'un état initial (point de départ de la première activité) à un état final (point de départ de la dernière activité). Les activités sont représentées sous la forme d'un rectangle doté d'un demi-cercle à chaque extrémité. Les diagrammes d'activités sont caractérisés par l'usage d'une flèche servant à représenter la transition entre les tâches (**Fig. 5.11**).



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.11: Exemple de diagramme liant deux activités depuis le nœud initial jusqu'au nœud final.

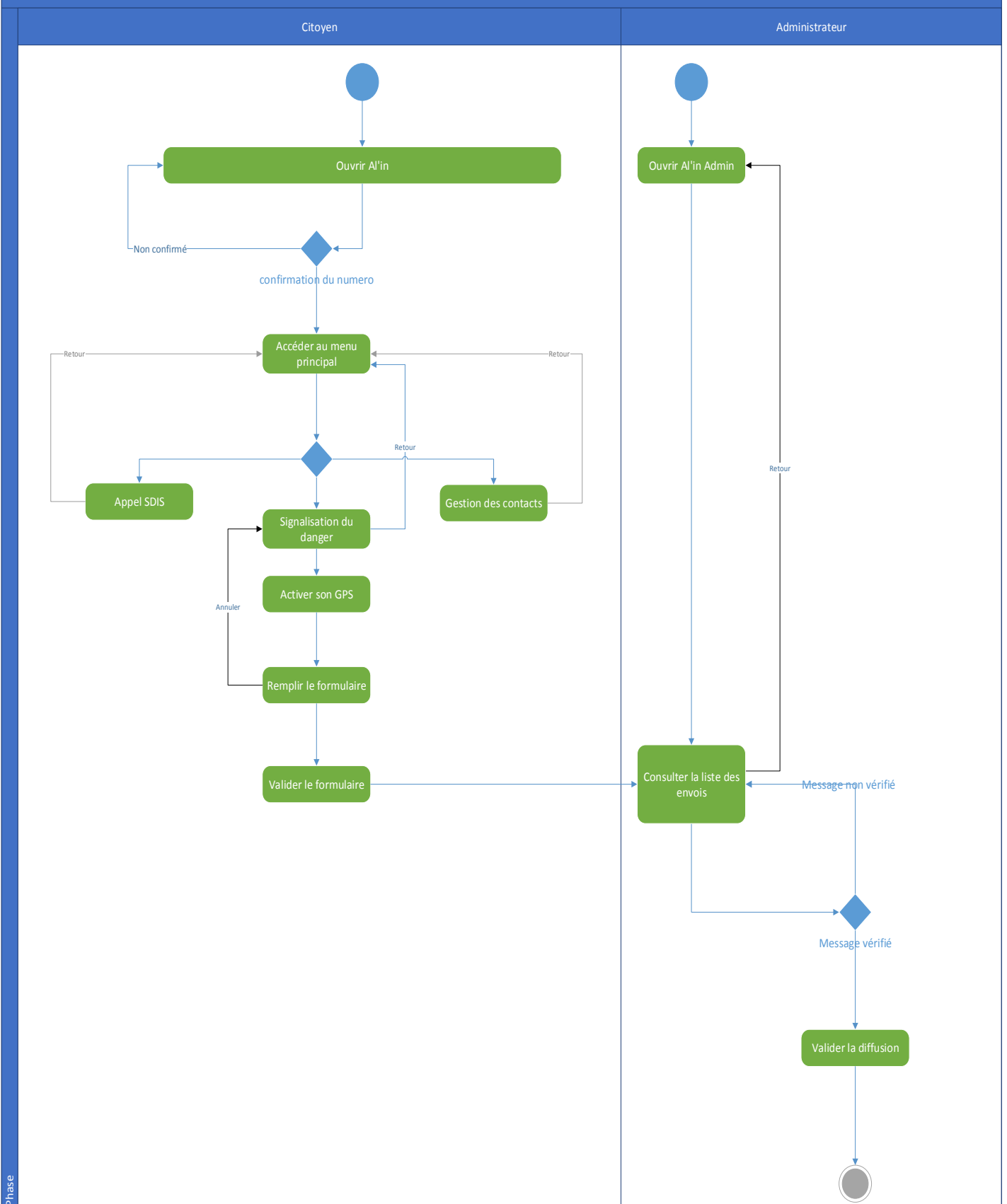
Le but principal du diagramme d'activités est de modéliser l'ensemble des processus métiers (business process). Il s'agit en fait d'un flux de tâches à accomplir (opérant de façon concomitante la plupart du temps) qui fait intervenir les différents acteurs du système (Geambasu, 2012). L'accent est mis sur la façon dont l'activité est réalisée au sein d'un système. Il peut être décomposé en plusieurs sous-processus ayant des caractéristiques spécifiques. Au final ces processus métiers « *représentent un atout intellectuel stratégique et critique qui a besoin d'être compris et géré de manière proactive* » (selon M. Schedlbauer (2010), cité par Geambasu, 2012).

Liens avec les cas d'utilisation

Le diagramme d'activités donne une vue macroscopique du système tout en reprenant les cas d'utilisation. Chaque action d'un processus métier non manuel s'appuie sur des interactions avec un élément du système informatique, elles-mêmes représentées par ces cas d'utilisation (Softeam, 2008). À titre d'exemple, l'action "Valider message" est liée au cas d'utilisation "Valider message", qui décrit de manière détaillée comment procède "l'administrateur" pour effectuer cette validation.

Le but du diagramme d'activités est de modéliser le flux procédural des actions qui font partie d'une activité bien plus grande. Dans les projets dans lesquels des cas d'utilisation sont présents, les diagrammes d'activités peuvent correspondre à un cas d'utilisation spécifique. Cependant, ils peuvent être utilisés indépendamment des cas d'utilisation pour la modélisation d'une fonction métier, comme l'achat d'un billet de concert ou l'inscription dans un établissement. Ils peuvent également intervenir dans la modélisation des fonctions de niveau système, telles que la façon dont une réservation de billets est stockée dans l'entrepôt de données d'un système global de vente d'une entreprise.

Dans le cadre de ce travail, le diagramme met en relation les précédents cas d'utilisation (à la fois du « citoyen capteur » et de l'administrateur) pour aboutir à la diffusion de messages émis (**Fig. 5.12**). La cohérence des tâches exécutées, entre la constatation d'un évènement à déclarer et la diffusion de l'alerte associée en passant par sa déclaration effective à partir de l'application, est ainsi vérifiée.



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.12 : Le diagramme d'activités du système proposé.

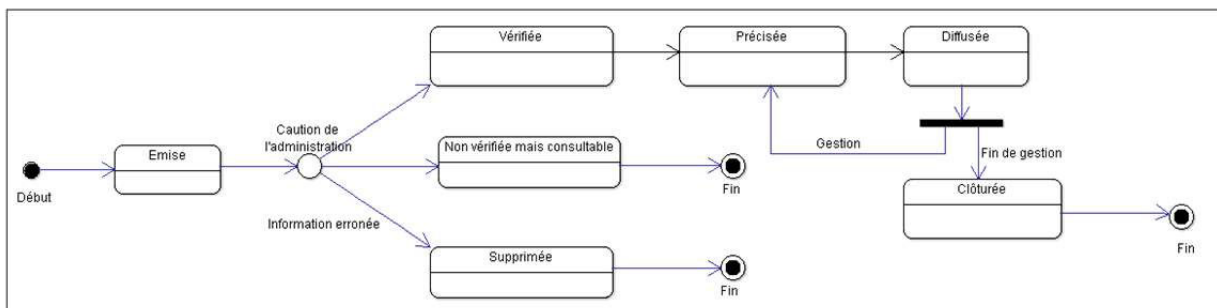
5.2.3. Les diagrammes d'état

Définitions et apports des diagrammes d'état

Basés sur trois notions (état, événement et comportement), ces diagrammes ont pour but d'offrir une vision complète et non ambiguë des comportements de l'élément auquel il est attaché. Un état est une situation que l'on peut qualifier de stable dans la vie d'un objet et dans laquelle il effectue une activité ou il attend un événement. L'événement est, en fait, une transition déterminant le passage de l'objet d'un état à un autre. Quant au comportement, il se présente le plus souvent sous deux formes : 1) les actions pouvant être interrompues : les activités et 2) celles ne pouvant l'être : les traitements. Réaliser un diagramme d'état suppose que l'on identifie au préalable un objet, une entité ou une unité du système dont la nature et donc l'état évoluent au cours des interactions entre les différents acteurs.

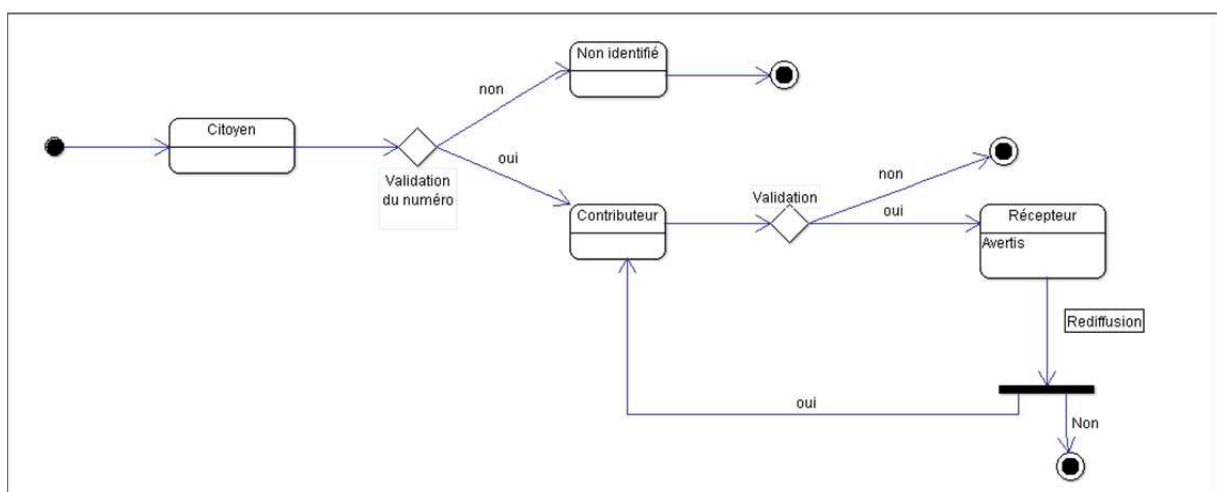
Mise en application

Dans le cas de l'application proposée, la principale entité dont la nature évolue au cours du fonctionnement du système est l'information émise par le « citoyen capteur ». En effet celle-ci passe par plusieurs phases depuis sa création jusqu'à sa diffusion par l'administrateur : réception, vérification, traitement, validation, diffusion (Fig. 5.13). En plus de l'information remontée, le citoyen qui installe l'application puis s'en sert peut lui aussi être considéré comme « une entité » dont la nature peut évoluer tout au long du processus relatif à la diffusion de cette information (Fig. 5.14). Tant que son numéro de téléphone n'est pas validé, le citoyen demeure un utilisateur quelconque. Son statut change une fois qu'il effectue cette action qui lui donne accès à toutes les fonctionnalités du système.



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.13: Diagramme d'état relatif à une alerte citoyenne émise.



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.14 : Diagramme d'état relatif au citoyen.

5.3. Les diagrammes d'interaction

Les diagrammes d'interaction modélisent les coopérations qui peuvent exister ou naître entre les objets du système. La notion d'objet fait référence à la programmation orientée objet (Ducournau *et al.*, 1998). Cette méthode définit les objets comme étant des structures de données symbolisant des entités du monde réel dans le monde logique, pour faciliter la réalisation du programme informatique auquel on souhaite aboutir. Les objets peuvent être considérés comme des représentants concrets de structures abstraites ou de plus grandes familles que l'on va appeler classes. L'objet est en fait ce qu'on appelle une instance, un exemplaire ou la représentation d'une classe. Dans le cas présent, un smartphone peut être considéré comme un représentant de la grande classe des ordinateurs, ou si on veut aller plus loin de celle des appareils électroniques ou des machines. Cet exemple permet en même temps d'introduire deux concepts fondamentaux de la programmation orientée objet : un objet peut hériter des propriétés (attributs et méthodes) d'un objet parent (ce qu'on appelle l'héritage) et être dotés (polymorphisme) de propriétés supplémentaires ou de modifier celles qu'il possède déjà (Dutoit *et al.*, 1993).

5.3.1. Les diagrammes de séquence

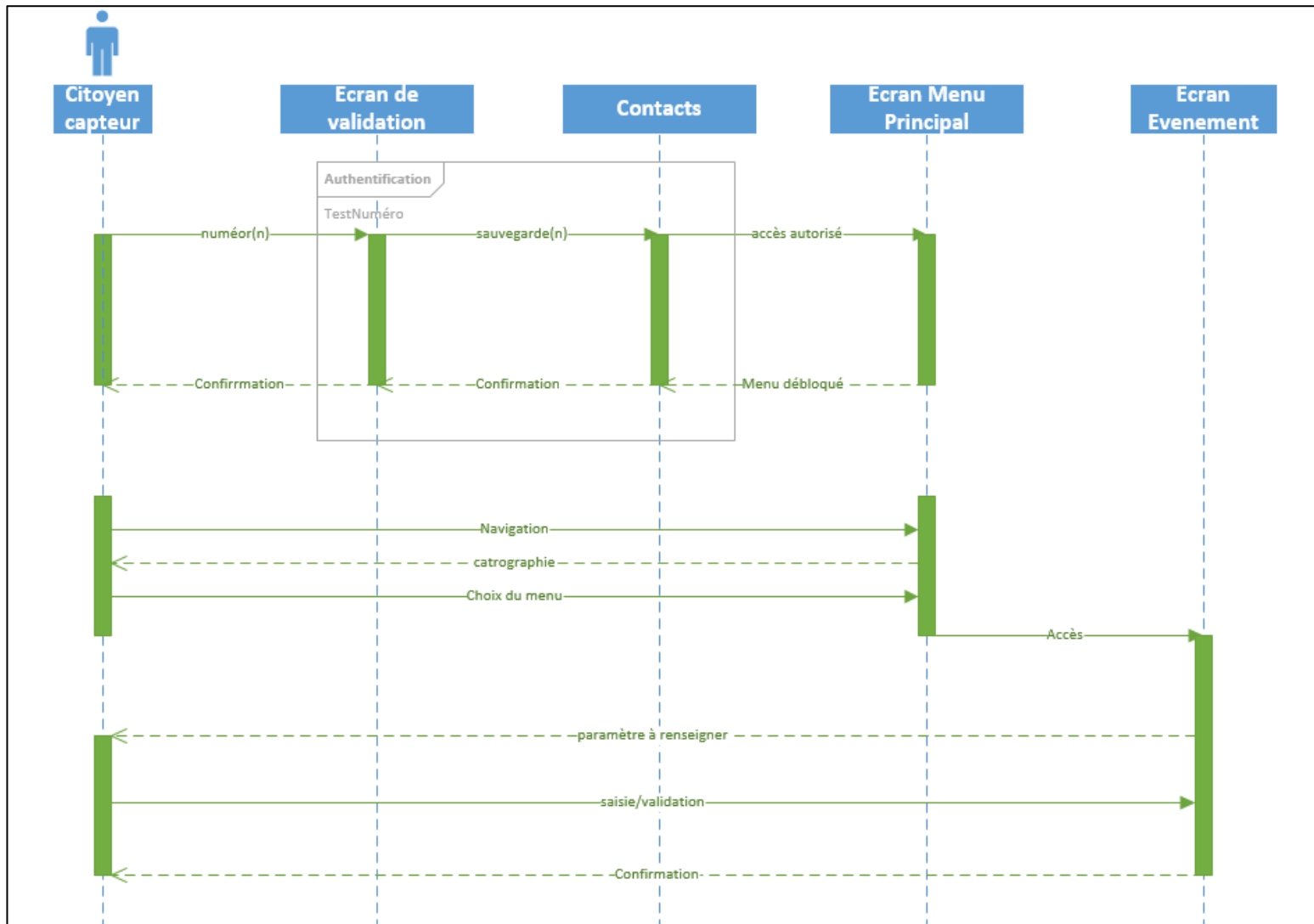
Définitions et apports des diagrammes de séquence

Le diagramme de séquence permet de représenter les collaborations entre objets selon un point de vue temporel. Ce diagramme met l'accent sur la chronologie des envois de messages. Il privilégie ainsi la représentation temporelle à la représentation spatiale, et est plus apte à modéliser les aspects dynamiques du système. Les diagrammes de séquence permettent en fait de décrire COMMENT les objets du système interagissent entre eux (en s'échangeant des messages) et avec les acteurs au cœur du système. Le formalisme des diagrammes de séquence permet de représenter les périodes d'activité des objets c'est-à-dire le temps pendant lequel un objet effectue une action, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un autre objet lui servant de sous-traitant.

Selon S. Lund et K. Stølen (2006), un diagramme de séquence est constitué d'un cadre qui représente l'environnement du système spécifié (ici une activité relative à l'application) et d'une ou plusieurs lignes de vie, symbolisant les composants du système. Les flèches représentent les messages envoyés entre les lignes de vie, ou entre une ligne de vie spécifique et le système dans sa globalité. L'élément de base du diagramme de séquence est l'événement, qui correspond à un message dont le genre détermine s'il s'agit d'un message transmis ou reçu. Autrement dit c'est, un signal avec une adresse de transmission et un destinataire.

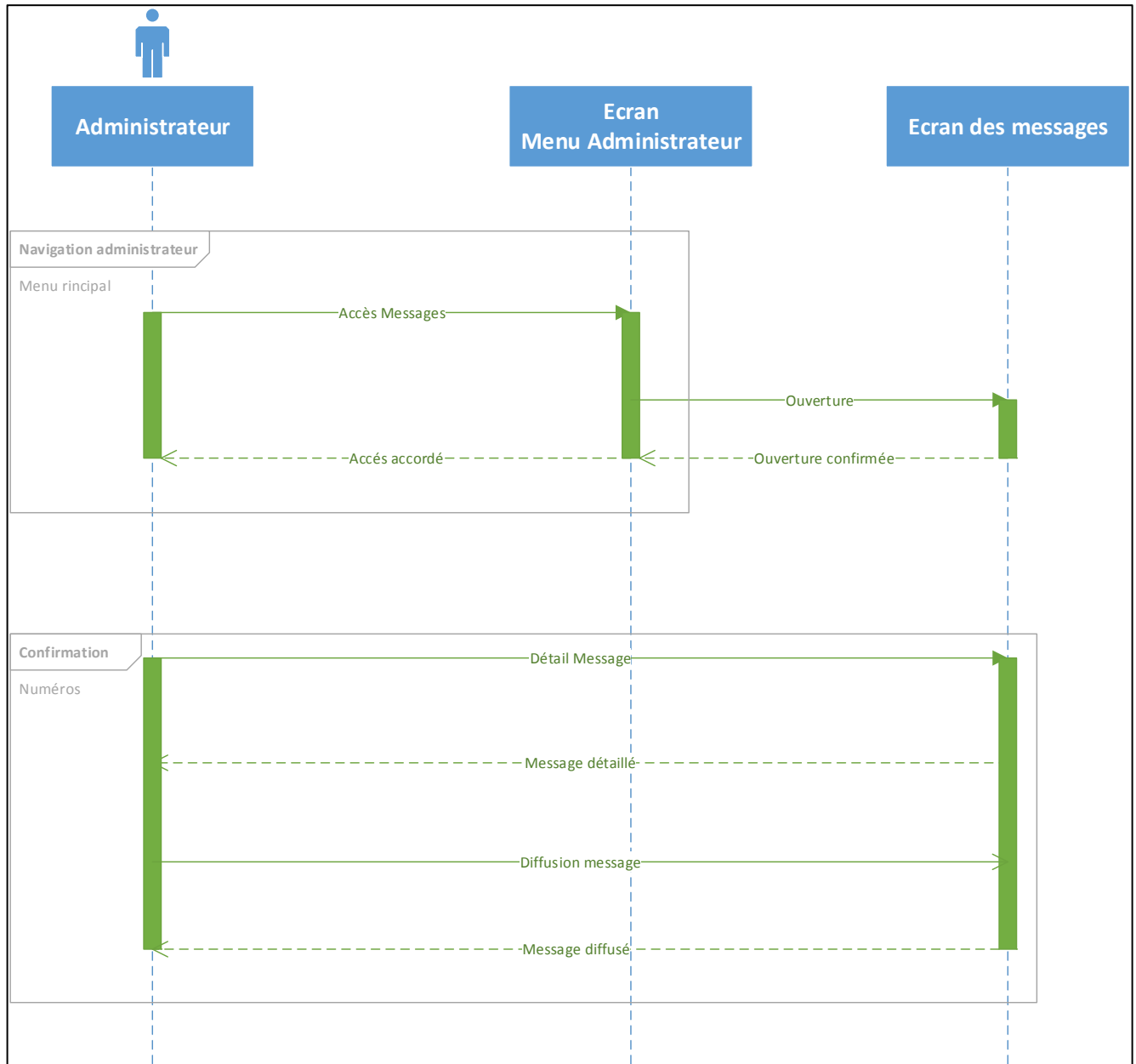
Mise en œuvre dans l'application

Les diagrammes relatifs aux cas d'utilisation du citoyen (**Fig. 5.15**) et de l'administrateur (**Fig. 5.16**) ont été schématisés pour accroître la lisibilité des actions attendues. À travers les interactions du citoyen et de l'administrateur, l'application offrira une interface permettant d'interagir avec les objets « contacts téléphoniques » (pour valider les numéros de téléphone) et avec la classe « événements » (pour leur déclaration, leur enregistrement puis leur diffusion). Chaque étape demande une attention particulière pour pouvoir anticiper les messages éventuels à afficher (validation ou saisie incorrecte). Des écrans complémentaires ont aussi été envisagés pour orienter et guider de façon optimale et économique les utilisateurs du système dans leur navigation.



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.15 : Diagramme de séquences relatif au citoyen capteur.

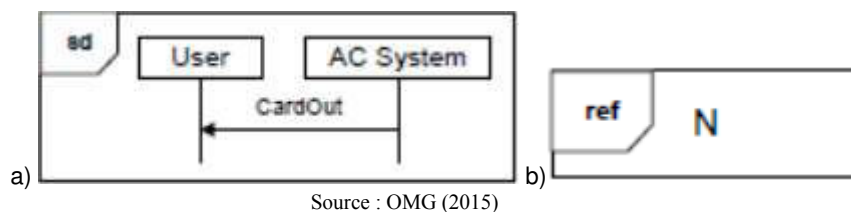


Source : Kouadio (2016)
 Figure 5.16 : Diagramme de séquences de l'administrateur.

5.3.2. Le diagramme de vue d'ensemble

Définitions et apports du diagramme de vue d'ensemble

Ce diagramme (aussi appelé diagramme de vue globale d'interaction) permet de déconstruire les scénarios complexes qui exigeraient de multiples usages de conjonctions telles que « si », « sinon » et « alors » pour gérer dans la programmation les situations conditionnelles. Sa mise en œuvre s'illustre par la combinaison d'éléments issus du diagramme d'activité avec ceux du diagramme de séquence pour afficher le flux d'exécution du programme (OMG, 2015). Il met l'accent sur le flux général de contrôle dans lequel chaque nœud peut représenter soit un diagramme d'interactions (séquence, communication, chronogramme) désigné également par le terme *Interactions* associé à une estimation de son temps d'exécution, soit une action spécifique de référence déterminante appelée *InteractionUses* déclenchant une autre *Interaction* ou la fin du processus modélisé (Fig. 5.17). Il s'agit en fait d'un diagramme d'activités spécifique qui est utilisé en faisant abstraction des messages et des lignes de vies, pour rendre compte à la fois de l'organisation des participants à l'interaction et du comportement du système suite à chacune de leurs actions.



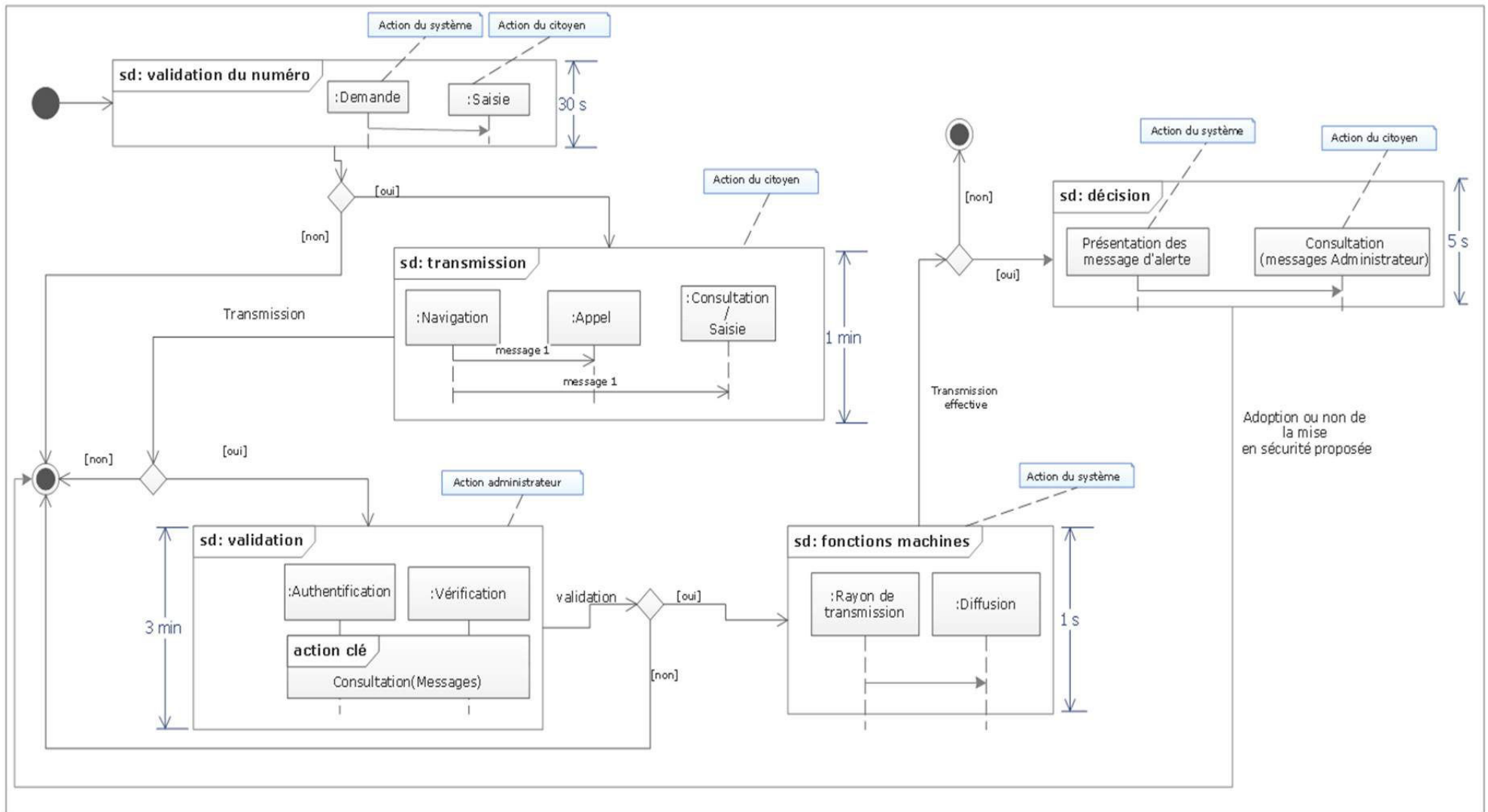
a : *Interactions* ; b : *InteractionUse*

Figure 5.17 : Notations graphiques utilisées par le diagramme global d'interaction.

Comme le diagramme de séquence gère les enchaînements linéaires des messages (étant centré sur les interactions entre participants) et puisque le diagramme d'activités porte sur les enchaînements non linéaires des actions de chaque participant, ce diagramme de vue globale sert au final à modéliser les enchaînements non linéaires des messages (Bennama et Bouabana-Tebibel, 2009).

Mise en œuvre dans l'application

Dans le cadre d'*Al'in* le diagramme de vue globale d'interaction a contribué à distinguer, tout en les connectant, les actions relevant du « citoyen capteur » (qui déclare l'événement) de l'administrateur (au centre du système expert) et du « citoyen récepteur » de l'alerte. On a une vue sur le fonctionnement du dispositif à réaliser à la fois sur les plans humains et logiciels (Fig. 5.18), mais aussi sur certaines contraintes auxquelles il faudra faire face. Il s'agit entre autres des délais de réactivité de l'utilisateur devant un menu, une information que lui présente le système ou une question qu'il lui pose, temps de réponse du système en cas de traitements immédiats distants (insertions de données, contacts d'ordinateur ou de serveurs) technicité (algorithmes de traitements à envisager).



Source : Kouadio (2016)
Figure 5.18 : Diagramme de vue d'ensemble.

5.4. Les diagrammes de structure

Les diagrammes de structure se focalisent, *in fine*, sur les dimensions matérielles et logicielles intervenant dans le fonctionnement du système. Sont présentés ici une première version de la structure de la base de données envisagée (le diagramme de classes) et le début d'architecture de l'application (le diagramme de déploiement).

5.4.1. Le diagramme de classes

Définitions et rôle du diagramme de classes

Le diagramme de classes permet de définir la structure de toutes les classes qui constituent un système : une classe est définie, en plus de son nom, par des attributs et des méthodes (Ziadi ,2004). Le diagramme de classes définit aussi des relations entre ses classes. Les associations d'UML sont des exemples de ces relations. Une association UML peut contenir des informations supplémentaires : le nom de l'association, le rôle de chaque classe dans l'association et les cardinalités de chaque classe dans l'association (Quan-yin *et al.*, 2011 ; Fanti *et al.*, 2015).

Si le diagramme de cas d'utilisation modélise à « QUOI » sert le système, en organisant les interactions possibles avec les acteurs, le diagramme de classes quant à lui spécifie la structure des objets et les liens physiques existants entre eux. Il permet donc d'identifier en exprimant la structure statique du système, « QUI » sera à l'œuvre dans le système pour réaliser les fonctionnalités décrites par les diagrammes des cas d'utilisation. Chaque objet est caractérisé par un certain nombre d'attributs, dont un identifiant unique. C'est la structure qui sert de point de départ à l'élaboration de la base de données constituant la logique structurelle des informations traitées par le système en vue de faciliter sa traduction en langage machine.

Mise en œuvre dans l'application

Trois classes se distinguent clairement : celle du citoyen (avec son numéro à valider), celle de l'évènement déclaré par le citoyen (qui sera associé à des coordonnées GPS, puis envoyé) et celle de l'administrateur (qui se chargera de la validation et donc de l'ordre de diffusion). Toutefois, certaines règles sont à mettre en évidence pour une bonne lecture du diagramme :

1. Un « citoyen capteur » peut signaler un ou plusieurs phénomènes
2. Un phénomène ne peut être signalé que par un seul citoyen
3. L'administrateur peut valider plusieurs messages
4. Un message ne peut être validé que par un seul administrateur

Une autre dimension tout aussi importante à relever est que, quelles que soient les informations relatives à des personnes en danger, des bâtiments endommagés, des soucis au niveau de la voirie et des écoulements, celles-ci peuvent être considérées comme issues d'une entité mère : un évènement. Ce dernier sera caractérisé par un identifiant, une date et une heure de déclaration, une adresse, des coordonnées GPS et une photo associée (**Fig. 5.19**).

Cette démarche illustre bien la notion d'abstraction induite par le concept de programmation orientée-objet (Fong et Se-Leng, 2000) qui a été abordée avant (point **5.3. Diagramme d'interaction**). De même que l'on a une classe mère et des classes filles, les notions d'héritage et de polymorphisme s'appliquent à nouveau : en effet, si toutes les classes filles ont en commun les propriétés de leur mère, elles se distinguent tout de même par leurs propriétés respectives.



Source : Kouadio (2016)
 Figure 5.19 : Diagramme de classe.

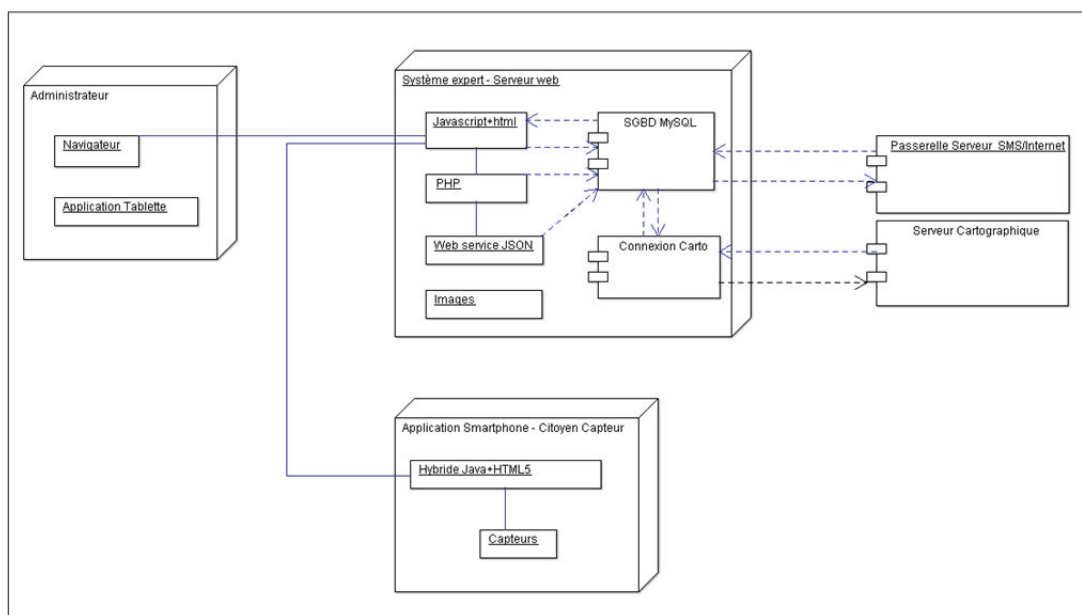
5.4.2. Les diagrammes de déploiement

Définitions et rôle du diagramme de déploiement

Ce diagramme porte sur l'architecture matérielle de l'application, en présentant les différents périphériques intervenant dans le fonctionnement du système. Le but ici est de mettre en avant la répartition des différents composants logiciels et les relations et liens qu'ils partagent. On a donc en relation grâce à des chemins de communication, des manifestations logiques et des spécifications de déploiement, des nœuds mettant en relation des artefacts (OMG, 2015). Un artefact représente une portion d'information concrète sollicitée ou générée pendant la réalisation et surtout le fonctionnement d'un logiciel. Il s'agit soit de fichiers exécutables (.exe ou .jar), de bibliothèques (.dll), de sources (.java, .php ou .cpp), de fichiers de configuration utilisés par le système (.xml ou .properties). Les nœuds quant à eux font référence aux lieux ainsi qu'aux dispositifs où sont déployés ou exécutés les artefacts (Wrycza *et al.*, 2014).

Mise en œuvre dans l'application

Le système à envisager devra présenter les fonctionnalités suivantes. Tout d'abord, il s'agira d'une application hybride et multiplateforme (sous HTML5, Android et iOS), à la fois pour le citoyen et pour l'administrateur. En effet, pouvoir s'affranchir aujourd'hui des contraintes liées aux systèmes d'exploitation (sans oublier bien sûr d'en cibler les plus populaires) permet d'assurer une pérennité et un usage sur du long terme à l'application et de pouvoir s'en servir même si on ne dispose pas de smartphone. On pourra donc renseigner et alimenter le système sans avoir vraiment besoin de l'installer grâce à un serveur web. Ce dernier détient toutes les informations du système (dans la base de données du système MySQL), gère l'ensemble des services (gestionnaire de services - JSON) et des applications (gestionnaire d'applications - scripts PHP / Java) dans le système, accepte les demandes à la fois de l'administrateur système et du citoyen capteur et déclenche l'envoi des SMS. Tout cela marche comme une version jumelle de l'application installable sur le smartphone. Envisager également un serveur cartographique, une base de données répartie sur différentes machines ou dans le *cloud* ainsi qu'un serveur SMS autonome, sont des éléments dont il faudra également tenir compte (à l'image du problème survenu pour SAIP le 14 juillet 2016). Il s'agit d'un bon moyen pour répartir équitablement la charge de travail afin d'accélérer le traitement des requêtes. La mise en œuvre d'UML dans le cadre de ce travail a permis d'aboutir à un diagramme de déploiement assez cohérent (**Fig. 5.20**).



Source : Kouadio (2016)

Figure 5.20 : Diagramme de déploiement relatif au système.

Conclusion du chapitre 5

Ce chapitre a permis de conceptualiser le plus possible les solutions espérées pour développer une application qui contribuerait à améliorer le dispositif d'alerte aux crues rapides, en ayant recours à une participation citoyenne. Cet objectif a été concrétisé grâce à plusieurs diagrammes conceptuels :

- le **diagramme de structure** permet d'avoir une idée plus précise des blocs utilisateurs, matériels et logiciels devant constituer le système,
- le **diagramme de comportement** décrit individuellement le rôle de ces blocs
- le **diagramme d'interaction** donne un autre aperçu des flux d'informations et des actions échangées entre les différents acteurs du système.

Un accent particulier a été porté à la réalisation des diagrammes de cas d'utilisation, qui ont constitué la base de ce travail de modélisation rendant compte au départ des subtilités et des difficultés qui pouvaient apparaître lors des interactions homme-machine dans une application smartphone. Il est évident que le passage des idées au monde réel ne peut pas prendre en compte toutes les attentes. Cette approche reste donc sujette à caution. Elle met aussi à jour des contraintes qui pourraient se poser lors de la réalisation, la mise en service et l'amélioration de l'application. L'authentification et la validation des messages émis, la gestion du degré de crédibilité des alertes, l'identification du rôle réel des acteurs du système et des dynamiques qu'ils induisent en sont de bons exemples. Tous ces éléments ont néanmoins constitué le socle sur lequel va ensuite s'appuyer la réalisation pratique de l'application, que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

Chapitre 6

Mise en œuvre, développement du prototype et test d'application



Source : shutterstock.com

Un développeur d'application.

Introduction du chapitre 6	183
6.1. Choix et présentation de l'armature technique	183
6.2. Mise en œuvre du prototype et paramètres retenus	190
6.3. Gestion et traitement des données collectées	196
6.4. Test d'application et premiers enseignements tirés	208
Conclusion du chapitre 6	213

Introduction du chapitre 6

Ce **chapitre 6** vient donner vie aux choix conceptuels présentés auparavant, et présente le fruit de nos réflexions : l'application *Al'in*. Celle-ci essaie d'apporter une réponse aux difficultés auxquelles l'État doit faire face dans le champ de l'alerte face aux crues rapides potentiellement dommageables. L'application accorde une place majeure aux citoyens en tant que « ressource » d'information et de connaissance dans le dispositif en place tout en confirmant la place des autorités comme source « référence ». Deux choix étaient possibles : faire fi de toutes les contraintes réglementaires et proposer une solution uniquement technique ; *a contrario*, mettre en place un système d'information intégrant une application collaborative pour / avec les citoyens en respectant pleinement le cadre réglementaire actuel, mais aussi en laissant le choix à d'autres acteurs (comme les chargés de sécurité civile et les prévisionnistes par exemple) d'apporter leurs compétences et leurs expériences au centre de décision. C'est cette seconde piste qui a été poursuivie : elle est, certes, plus contraignante et moins libre, mais elle vient répondre à un besoin réel et conforte la position prise depuis le début de nos travaux.

Ce chapitre aborde dans un premier point une justification de l'armature technique (§6.1), en décrivant le système d'exploitation sollicité pour la réalisation du prototype de l'application (*Android*) et l'outil de développement utilisé (*App Inventor*). Le traitement et la gestion des données collectées (§6.2) ainsi que les principaux menus déroulants créés (§6.3) sont dans un deuxième temps détaillés. Ce chapitre se conclut en analysant les leçons tirées à la suite de premières expérimentations menées dans deux communes du Var et du Vaucluse : Pourrières et de Cabrières-d'Avignon (§6.4).

6.1. Choix et présentation de l'armature technique

6.1.1. Le système d'exploitation Android à la base du prototype

Éléments justifiant l'orientation vers le système Android

Avec, comme chevaux de bataille, la démocratisation de la conception et des actions centrées sur l'utilisateur, l'entreprise américaine *Google* (à travers *Android*) a été le précurseur d'un mouvement qui a transformé, à partir de 2006, le marché initialement fermé de la téléphonie mobile. Les usagers peuvent désormais passer d'un fournisseur à un autre sans inconvénient pour accéder aux applications ou aux divers services. Avec les importantes ressources dont elle dispose, cette société a su adopter une approche globale pour mieux maîtriser le spectre de l'infrastructure sans fil, en tenant compte des exigences des fabricants de téléphones, des besoins des développeurs et des attentes des opérateurs. Elle s'est ensuite associée avec d'autres structures de la communauté du sans-fil ayant la même vision, en vue de répondre à une question cruciale : que faut-il pour créer le téléphone idéal ?

En 2007, l'*Open Handset Alliance* (OHA)⁵⁶ a été créée. C'est un consortium composé des plus grandes et prospères sociétés de téléphonie mobile au monde. Ses membres comprennent des fabricants de puces, des fabricants de téléphones, des développeurs de logiciels et les fournisseurs de services. L'ensemble de la chaîne reliant les téléphones (depuis leur conception jusqu'à leur livraison aux utilisateurs finaux) y est bien représenté. Associé à la philosophie libre (*open source*), ce modèle économique a permis à *Android* de se développer et de devenir le premier système d'exploitation au monde, grâce à une communauté de plus en plus croissante de contributeurs et de développeurs. En 2010, 160000 activations quotidiennes de mobiles Android ont été enregistrées (ce qui représenterait 60 millions d'activations annuelles selon Conder et Darcey (2011)). En 2 ans, ce chiffre est passé à plus de 700000. Ce moment est historique (Palmer, 2012) puisqu'il marque la fin de la domination de l'ordinateur personnel et le démarrage de ce que certains appellent l'ère "*post-PC*" (Bakker, 2012 ; Relvas, 2012). Depuis, *Android* est le leader du marché des systèmes d'exploitation pour terminaux

⁵⁶ <http://www.openhandsetalliance.com/>

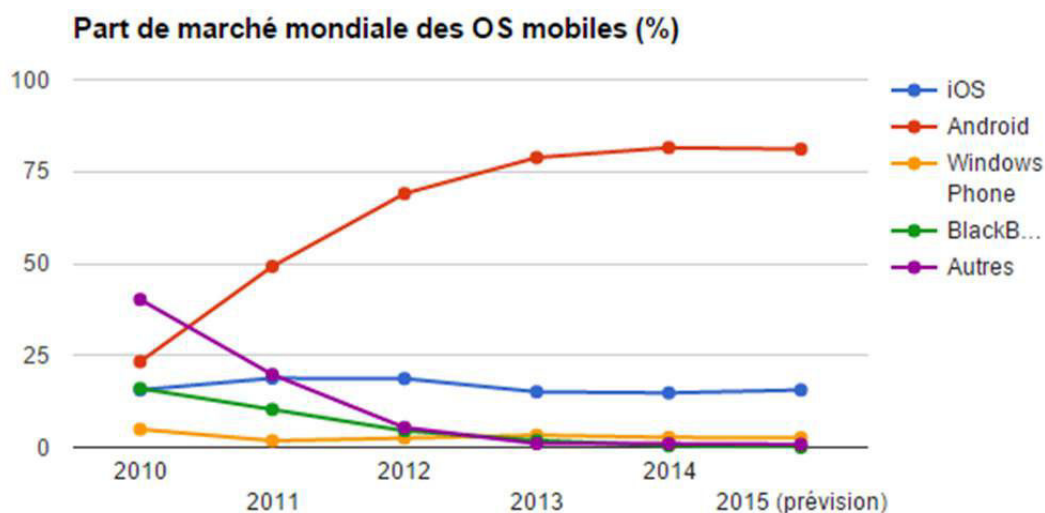
mobiles (**Fig.6.1 et 6.2**). En février 2015, IDC (*International Data Corporation*) estimait que 81,1% des 1,43 milliard de smartphones livrés dans le monde l'avaient été sous le système *Android*. En France, l'enquête Mobilitics⁵⁷, menée par la CNIL et l'Inria (2014), révèle de son côté que 66% sont équipés du système d'exploitation *Android* et 20% du système d'exploitation iOS d'Apple.

Android est par ailleurs un système d'exploitation basé sur le noyau *Linux* conçu spécialement pour les terminaux mobiles et permettant, une fois installé, de les manipuler essentiellement à partir de l'écran tactile dont ils sont équipés. Il a été créé par la société *Android Inc* ©, elle-même rachetée depuis 2005 à Google. Il fonctionne sur le principe d'une agrégation de logiciels permettant de disposer appareils mobiles instantanément opérationnels. Le système est bâti sur cinq couches logicielles majeures : les applications utilisateurs (interfaces homme/machine), les gestionnaires d'application (applications principalement en charge des tâches courantes et de la gestion des capteurs), les bibliothèques (fonctionnalités complémentaires indépendantes du système initial), le *runtime* (système pré-exécutant et également en charge des routines de fond) et le noyau *Linux* (Systèmes d'exploitation de base, maître d'orchestre en chef coordonnant l'activité de l'ensemble) (**Tableau 6.1**).

COUCHE APPLICATIONS UTILISATEUR					
Liste de contacts	Navigateur	Appels	Calculatrice	SMS
COUCHE GESTIONNAIRES D'APPLICATION					
Gestionnaires des activités, packages, fenêtres, ressources, localisation, notification, téléphonie, etc..					
LIBRAIRIES			RUNTIME ANDROID		
OpenGL, Surface manager, SQLite, Webkit, SSL, SGL, Media Framework, etc...			Machine Virtuelle Dalvik, Bibliothèques Systèmes		
NOYAU LINUX					
Drivers (USB, Camera, Bluetooth, Audio, Mémoire Flash, Clavier tactile, Batterie, etc...)					

Source : Shu *et al.* (2009)

Tableau 6.1 : Architecture du système d'exploitation Android.

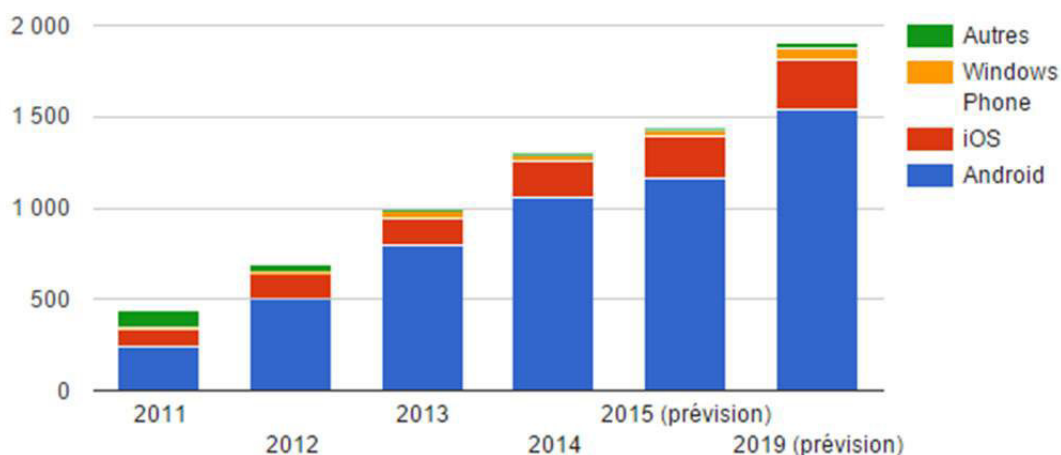


Source : IDC⁵⁸

Figure 6.1: Répartition par OS des livraisons mondiales de smartphones (millions d'unités).

⁵⁷ http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/La_CNIL/publications/DEIP/Lettre_IP_N-8-Mobilitics.pdf

⁵⁸ <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>



Source : IDC⁵⁹

Figure 6.2 : Ventes comparées 2011/2015 de smartphones par OS (millions d'unités).

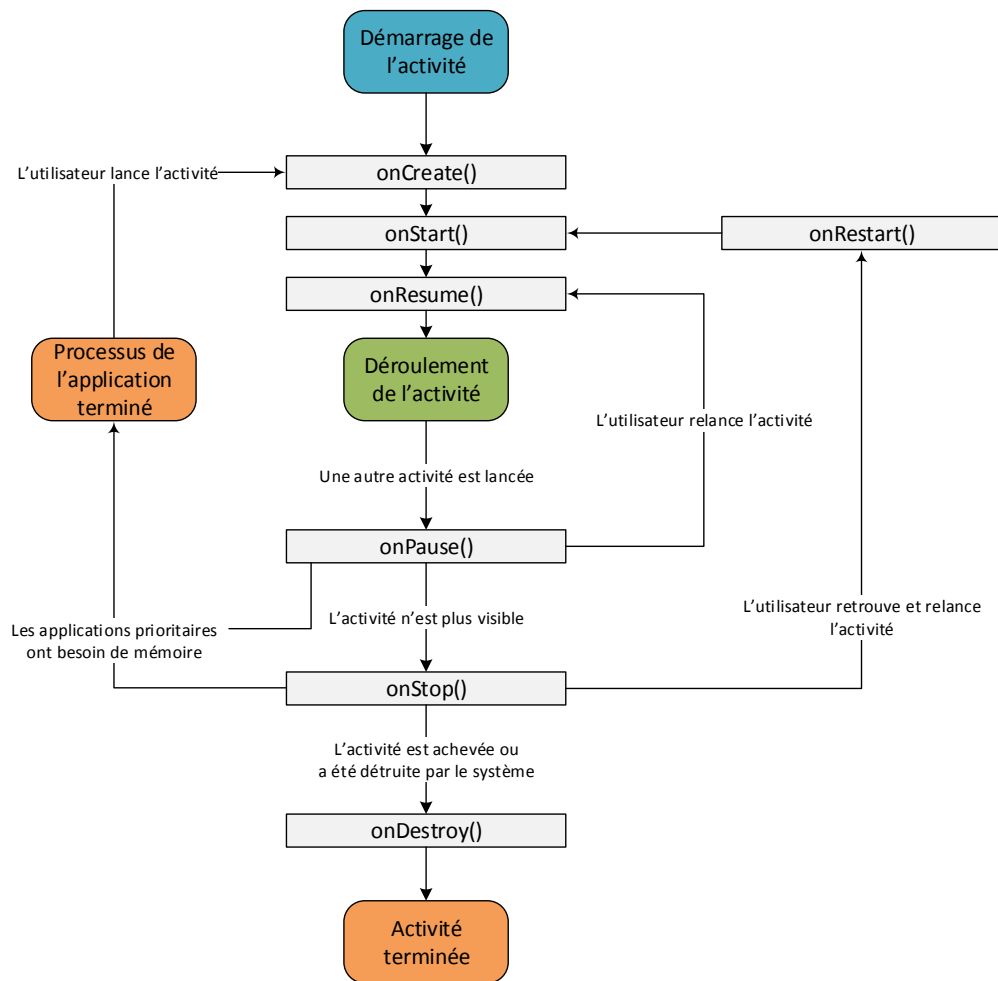
Envisager une application sous *Android* ne se justifie pas seulement par le fait qu'il s'agit du système le plus répandu et le plus utilisé dans le monde depuis 2012. En effet, il existe aussi une documentation fournie sur ce système, à laquelle s'ajoutent une communauté active de développeurs et d'entraide sur Internet et de nombreux outils de prototypage et de développement qui en facilitent la prise en main rapide et efficace. Toute personne motivée peut créer rapidement du contenu (une application) et le mettre en l'espace de quelques minutes à la disposition du grand public sur une boutique en ligne. Le développement sous *Android* est aussi moins onéreux et contraignant par rapport aux autres systèmes (comme iOS) : la licence développeur coûte 25 dollars américains par an pour *Android*, contre 100 pour iOS (en 2015). En outre, les applications Mac nécessitent un ordinateur Mac pour être implémentées, alors que le système *Android* est multiplateforme.

Traduction du formalisme Android pour développer une application

Trois concepts clés doivent être assimilés et maîtrisés quand on veut réaliser une application sous Android. Il s'agit du contexte, de l'activité de l'intention et des services (Conder et Darcey, 2011). Le contexte correspond au centre de commande : toutes les fonctionnalités spécifiques à l'application peuvent être consultées grâce à lui. Il s'agit d'une classe abstraite qui contient un grand nombre de méthodes nécessaires à des sous-classes : la plupart du temps l'activité et les services. Une application Android est une collection de tâches, dont chacune est appelée activité (**Fig. 6.3 et 6.4**). Le système d'exploitation Android utilise aussi un mécanisme de messagerie asynchrone pour faire correspondre les demandes de travail avec l'activité appropriée. Chaque demande est alors désignée par le terme « intention » (d'où le terme activité de l'intention).

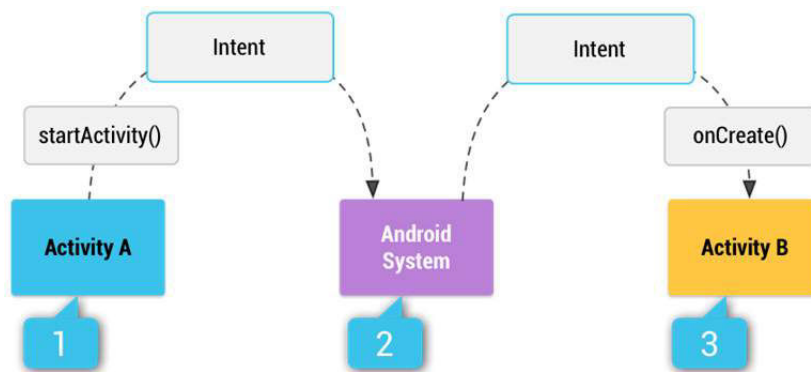
À ces trois premières notions s'ajoute aussi celle de service. Il s'agit de tâches qui s'exécutent sans interaction avec l'utilisateur. Très utiles en cas de lenteur des traitements, ou pour des actions ayant besoins d'être régulièrement exécutées en routine de fond (par exemple vérification de la disponibilité des mises à jour d'une application au niveau d'un serveur). Ces éléments constituent les blocs de construction pour chaque application Android (Gramlich, 2008). De façon synthétique, il faut comprendre que, derrière chaque écran présenté à l'utilisateur (depuis le démarrage de l'application jusqu'à sa fermeture en passant par son exécution), se cache une activité dont le fonctionnement est régi par des méthodes spécifiques (**Tableau 6.2**). Il s'agit en réalité d'un code écrit dans le langage de programmation JavaScript. Le passage d'un écran à un autre est, quant à lui, géré par une intention également écrite en JavaScript. Le maître d'orchestre de cette organisation est toujours le contexte.

⁵⁹ <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>



Source : Kouadio (2016) d'après developer.Android.com⁶⁰

Figure 6.3 : Le cycle de vie d'une activité.



Source : developer.Android.com (2016)⁶¹

[1] L'activité « A » crée une intention avec une description de l'action à exécuter qu'il transmet à startActivity().
 [2] Le système Android recherche sur toutes les applications à l'aide d'un filtre qui correspond à l'intention. Lorsqu'une correspondance est trouvée, [3] le système démarre l'activité correspondante (activité « B ») en invoquant sa méthode onCreate() et en lui passant l'intention. Source : Android.com

Figure.6.4 : Lien entre intention et activité.

⁶⁰ <https://developer.Android.com/reference/Android/app/Activity.html>

⁶¹ <http://developer.Android.com/guide/components/intents-filters.html>

Méthodes	Description	Destruction possible après démarrage	Suivant
onCreate()	Appelée lorsque l'activité est créée pour la première fois. C'est à ce niveau que se font les configurations statiques de l'application. Elle peut être manipulée comme un paramètre contenant l'état précédent de l'activité, et elle est toujours suivie par onStart() .	Non	onStart()
onRestart()	Appelée lorsque l'activité a été arrêtée et juste avant d'être relancée. Elle est toujours suivie par onStart() .	Non	onStart()
onStart()	Appelée juste avant que l'activité ne soit visible à l'utilisateur. Elle est suivie par onResume() si l'activité passe en priorité d'exécution ou par onStop() si elle demeure cachée.	Non	onResume() ou onStop()
onResume()	Appelée juste avant que l'activité n'interagisse avec l'utilisateur. À ce stade l'activité est en tête de la pile des activités devant être exécutées par le système, complétée par les inputs de l'utilisateur. Elle est toujours suivie de onPause() .	Non	onPause()
onPause()	Appelée lorsque le système s'apprête à démarrer une autre activité. Elle est utilisée pour valider les changements qui ne sont pas encore sauvegardés dans des données persistantes. L'arrêt des animations ou tout ce qui pourrait augmenter la charge de travail du système. Elle est suivie soit par onResume() si l'activité repasse en priorité ou par onStop() ou si l'activité devient invisible à l'utilisateur.	Oui	onResume() ou onStop()
onStop()	Appelée lorsque l'activité n'est plus visible à l'utilisateur. Cela peut arriver si l'activité est détruite ou si une autre activité (en cours ou une nouvelle) est positionnée en priorité d'exécution. Elle est suivie par onRestart() si l'activité revient en priorité pour interagir avec l'utilisateur, ou par onDestroy() si elle est définitivement perdue.	Oui	onRestart() ou onDestroy()
onDestroy()	Appelée avant la destruction de l'activité. C'est le dernier appel que recevra l'activité. À la rigueur elle sera rappelée avec la méthode finish() ou isFinishing() pour dire que l'activité est en cours d'achèvement.	Oui	<i>rien</i>

Source : Kouadio (2016) d'après developer.Android.com⁶²
Tableau 6.2 : Description des méthodes s'appliquant aux activités.

⁶² <http://developer.Android.com/reference/Android/app/Activity.html>

6.1.2. L'outil retenu pour le développement : la plateforme *App Inventor*

Tests de plusieurs outils de développement et retours d'expérience

Plusieurs outils de développement ont été testés dès le début des recherches doctorales : MIT *App Inventor*⁶³ (Android), *Eclipse*⁶⁴ et son module Android, *Intel XDK*⁶⁵ (HTML 5 et Hybride) et *Como Studio*⁶⁶ (Android et iOS), ou même *Sencha Touch*⁶⁷ (HTML 5). Ces solutions étaient a priori adaptées à nos besoins, sans prétendre être les seuls outils du marché. Après de longues heures d'auto-formation, nécessaires à la prise en main et à l'apprentissage des différents paramètres, certains outils se sont révélés complexes (surtout Intel XDK) alors que d'autres pouvaient subir des "plantages" en plein développement ou des arrêts sans raison apparente. Tous ces outils (**Fig. 6.5**) ont ensuite été utilisés en condition "réelle", car ils ont été sollicités dans le cadre d'un travail mené en 2013 à la demande du CME (*Centre Méditerranéen de l'Environnement*), dans le cadre du projet Risk'Net⁶⁸ qui a abouti au développement de l'application CRRAC⁶⁹ (topoguide valorisant le patrimoine naturel et humain du Mont-Blanc et informant sur les risques ; CNM, 2014).

La plateforme *Como Studio* a finalement été retenue : idéal pour réaliser des applications de type commercial ou de présentation d'entreprise, cet outil offre également l'avantage de les générer en une seule fois à partir d'un développement unique en version *Android*, *iOS* et *web*. Ce gain de temps se traduit également par une large palette de gadgets et de modules préconçus (gestion des fichiers pdf, album photo, gestion des capteurs, mise en pages des textes, personnalisation des menus, messages push, module de cartographie, etc...) que le développeur peut facilement paramétrer et intégrer à son application. Toutefois, la force de cet outil est également à la base de sa faiblesse : il est impossible de modifier la structure de données qu'impose l'interface, et il est impossible de créer une application qui impose l'usage d'une base de données qui ne soit pas de type « vitrine ». Il s'agit également d'un outil disponible uniquement sur abonnement (46, 80 dollars US/mois en 2015).



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.5 : Plateformes de développement testées dans le cadre du projet Risk'Net.

⁶³ <http://appinventor.mit.edu/explore/>

⁶⁴ <https://www.eclipse.org/>

⁶⁵ <https://software.intel.com/fr-fr/intel-xdk>

⁶⁶ <http://www.como.com/>

⁶⁷ <https://www.sencha.com/products/touch/#overview>

⁶⁸ <http://www.risknet-alcotra.org/fr/>

⁶⁹ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.conduit.app_fefdb242788f4e45b1384fd1967ac6d8.app

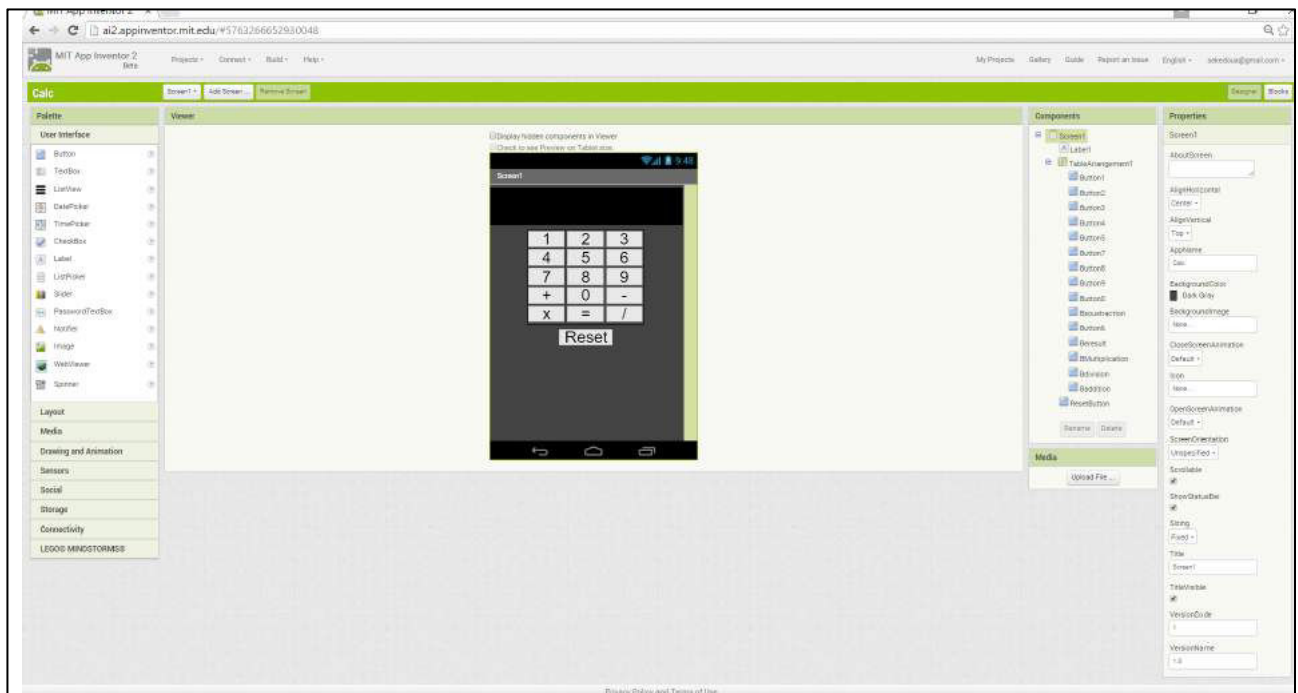
Orientation vers l'outil App Inventor

Le prototype de l'application *Al'in* a finalement été réalisé à partir d'*App Inventor*⁷⁰. Il s'agit d'une plateforme web éducative d'apprentissage et de programmation visuelle propulsée par Google et le MIT, *Massachusetts Institute of Technology* (Bhagi, 2012 ; Shih *et al.*, 2013). Cet outil fournit de nombreux composants de haut niveau, ce qui facilite (à la condition d'un algorithme bien maîtrisé) l'utilisation des ressources du smartphone, la communication avec les ressources web externes ou la manipulation de bases de données distantes ou stockées sur l'appareil (GPS, accéléromètre, appareil photo, envoi et réception SMS, enregistreur audio-vidéo) (Wolber, 2010 ; Hsu et Ching, 2013).

En manipulant des blocs (et non des codes informatiques), l'outil *App Inventor* permet à tout détenteur d'un compte *Google* et sans expérience préalable en programmation, de créer rapidement et facilement une application. Basé sur deux principaux modes de fonctionnement, cet outil donne à ses utilisateurs l'avantage de se concentrer sur la conception du comportement d'applications plutôt que le débogage en cachant la plupart des détails techniques (Wolber, 2011 ; Hsu et Ching, 2013) :

- le mode « Designer » (**Fig.6.6**) permet de gérer le choix et l'agencement des composants (techniques et graphiques) que l'on veut mettre dans l'interface utilisateur de l'application ;
- le mode « Blocks » permet, au programmeur, de modifier les propriétés, les comportements et les interactions entre les blocs, mais surtout de créer des variables et de mettre en œuvre un algorithme (gestion des boucles, création de fonctions, gestion des conditions (**Fig. 6.7**)).

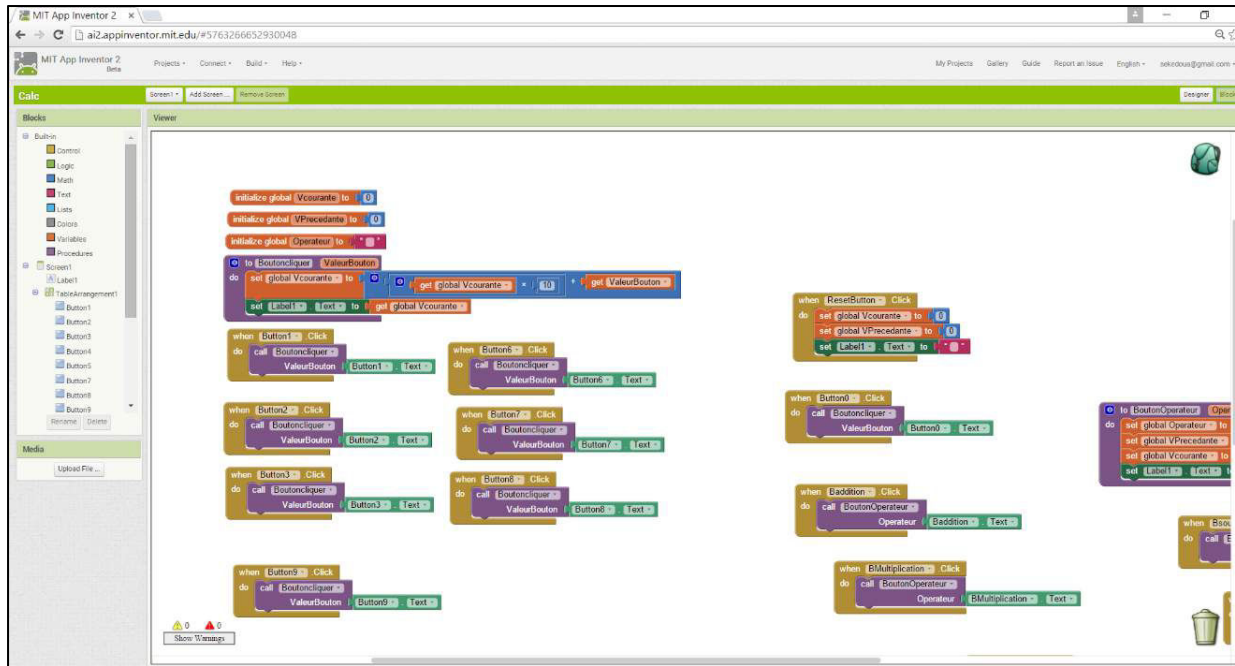
L'interface intuitive rend la prise en main facile et offre une quasi-totale assurance d'éviter un plantage lors de l'exécution de l'application. Enfin, en plus d'être gratuite, cette plateforme est dotée d'un espace de stockage permettant au développeur de conserver les blocs (que l'on peut considérer comme des portions de codes ou de programmes) qu'il a créé pour une application afin de pouvoir les réutiliser dans une autre.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.6 : Mode « Designer » de *App Inventor*.

⁷⁰ <http://ai2.appinventor.mit.edu/>



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.7 : Mode « Blocks » de App Inventor.

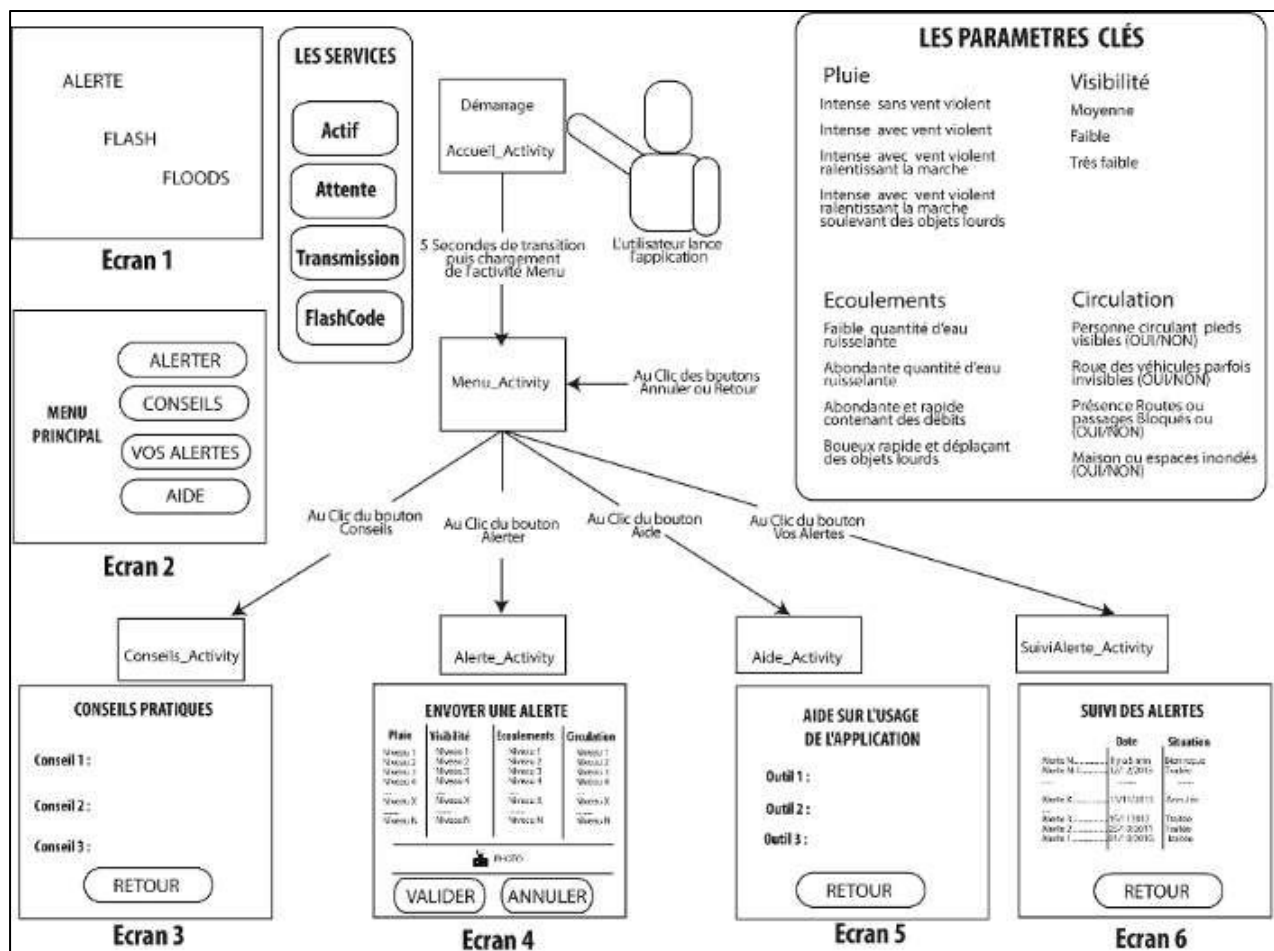
6.2. Mise en œuvre du prototype et paramètres retenus

Sur la base des objectifs et des contraintes précédemment mentionnés(e)s, et en s'inspirant des principes de fonctionnement relatés dans la littérature scientifique (Gramlich, 2008 ; Kumar, 2014 ; Conder et Darcey, 2011), un premier prototype de l'application (appelée *Al'in*) a été réalisé.

6.2.1 Vue d'ensemble

6 écrans principaux ont été envisagés pour l'application finalisée (Fig. 6.8) :

- **Accueil** : cet écran agit comme un écran de démarrage, avec le logo de l'application et la version. Il affichera de façon défilante des informations ou des points de situation ;
- **Menu principal** : sur cet écran, l'utilisateur peut choisir parmi plusieurs options, y compris le déclenchement de l'alerte, l'affichage d'informations pratiques, et la lecture du texte d'aide de l'application et aussi quitter l'application ;
- **Alerte flash** : c'est l'écran principal par lequel l'alerte sera lancée ;
- **Alerte détaillée** : c'est l'écran où on peut donner un grand nombre d'informations sur le phénomène observé ;
- **Conseils** : dispositions pratiques à adopter en cas de risque d'inondation ;
- **Alertes en cours** : état du suivi des alertes émises par l'utilisateur ;
- **Aide** : aide sur l'utilisation de l'application.



Source : Kouadio (2015)

Figure 6.8 : Architecture envisageable pour l'application suivant le formalisme Android.

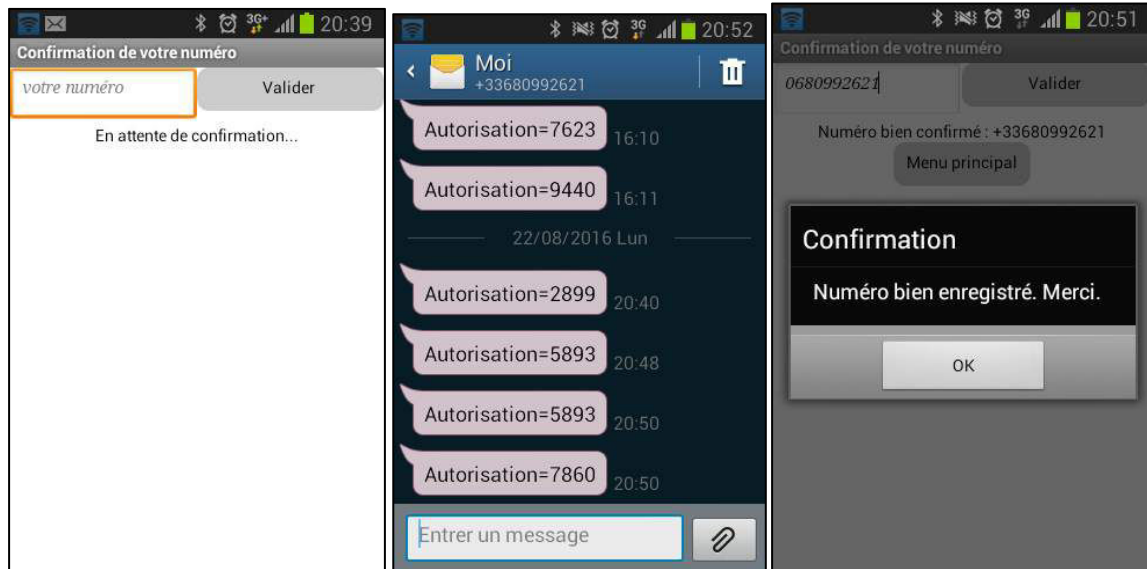
Les activités associées sont ensuite détaillées comme ceci :

- **Accueil_Activity** : Cette activité est celle qui est lancée par défaut au démarrage. Elle affiche simplement une mise en page (peut-être juste un grand graphique), joue de la musique pendant quelques secondes puis lance Menu_Activity ;
- **Menu_Activity** : Cette activité est assez simple. Elle présente en fait plusieurs boutons, chacun correspondant à une fonction de l'application. À chaque bouton est associée une routine qui, une fois le bouton cliqué, déclenche l'activité associée à ce dernier ;
- **Alerte_flash_Activity** : Le cœur de l'application sera implémenté ici. Cette activité doit gérer différents types de saisie de l'utilisateur (textes/descriptifs de la situation, photo), récupérer ses coordonnées GPS, transmettre ces données au centre de décision ;
- **Alerte_detail_Activity** : pratiquement identique à **Alerte_flash_Activity**, en diffère car il peut gérer un nombre plus important de données ;
- **Conseils_Activity** : Affichage d'un texte sur les bonnes attitudes à adopter en cas de danger d'inondation ;
- **EtatAlertes_Activity** : Affichage d'un tableau avec des éléments de suivi sur la prise en compte des alertes émises par l'utilisateur (Transmission en cours, Alertes prises en compte, Alerte générale émise, etc.) ;
- **Aide_Activity** : Affichage d'un texte sur le fonctionnement de l'utilisation de l'application.

6.2.2 Vue détaillée des principaux écrans

Écran Demande et confirmation du numéro de téléphone du citoyen capteur

C'est le premier écran présenté à l'utilisateur. Sans confirmation de son numéro, l'utilisateur ne peut accéder au menu principal. Ce déblocage s'opère grâce à un code qui est transmis par SMS au numéro saisi (Fig. 6.9). Si le SMS revient, ce code d'autorisation permet ainsi au système de vérifier que l'utilisateur a saisi le bon numéro.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.9 : Captures d'écrans relatives à la confirmation du numéro.

Une fois confirmé, ce numéro est enregistré dans une table appartenant à une base de données externe *Google Fusion : TAlinPhonesCC* (Fig. 6.10). Le point 6.3 relatif à la gestion et au traitement des données collectées apporte plus d'éclairage à ce sujet.

The screenshot shows a web interface for 'TAlinPhonesCC' with the subtitle 'Numéros mobiles des Citoyens capteurs'. It includes a menu bar (File, Edit, Tools, Help), a toolbar (Rows 1, Cards 1, Map of Location), and a filter section. Below is a table with two columns: 'Date' and 'Numero'. The table contains 9 rows of data.

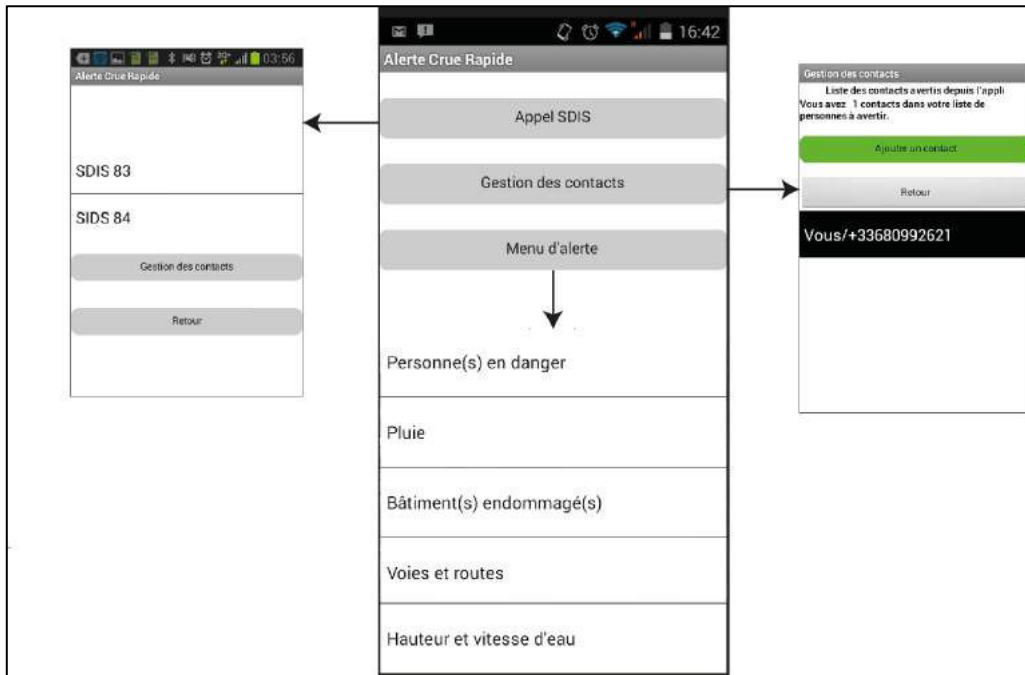
Date	Numero
nov. 15, 2015 01:37:33 AM	+33641376949
nov. 15, 2015 01:38:51 AM	+33644894449
nov. 15, 2015 01:38:01 AM	+33641296958
2015-11-15	+33641546017
2015-11-15	+33641426025
nov. 16, 2015 14:22:39 PM	+33641426025
nov. 17, 2015 16:10:59 PM	+33680992621
avr. 2, 2016 18:24:26 PM	+33602197565
août 22, 2016 20:49:28 PM	+33680992621

Source Kouadio (2016)

Figure 6.10 : Capture d'écrans de la table *TAlinPhonesCC*.

Menu écran principal

C'est l'écran en chef permettant d'accéder aux principales fonctionnalités de l'application qui sont représentées par trois boutons : **Appel SDIS** pour appeler en cliquant sur l'item portant leur nom soit le SIDS 83 soit le SDIS 84, **Gestion des contacts** pour la liste des personnes à alerter depuis l'application et **Menu d'alerte** pour les événements à déclarer. Ce dernier a principalement pour rôle de rendre visibles cinq items(5i) qui sont par défaut invisibles (**Fig. 6.11**).

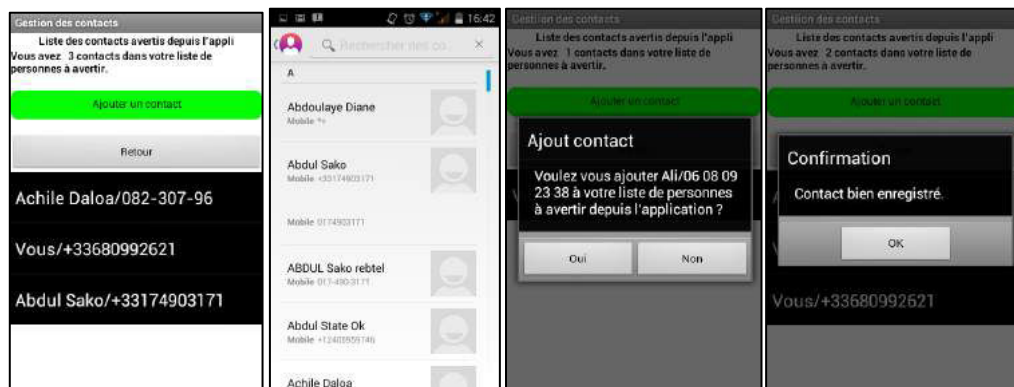


Source Kouadio (2016)

Figure 6.11 : Menu principal d'Al'in.

Écran Sélection et enregistrement des contacts à avertir

En cliquant sur le bouton **Ajouter contact** l'utilisateur affiche son annuaire téléphonique d'où il sélectionne le contact qu'il souhaite alerter. Les détails relatifs aux contacts ajoutés sont stockés dans la mémoire interne de l'appareil (*TinyDB*). La liste des contacts ajoutés est également consultable sur l'écran d'ajout (**Fig. 6.12**).

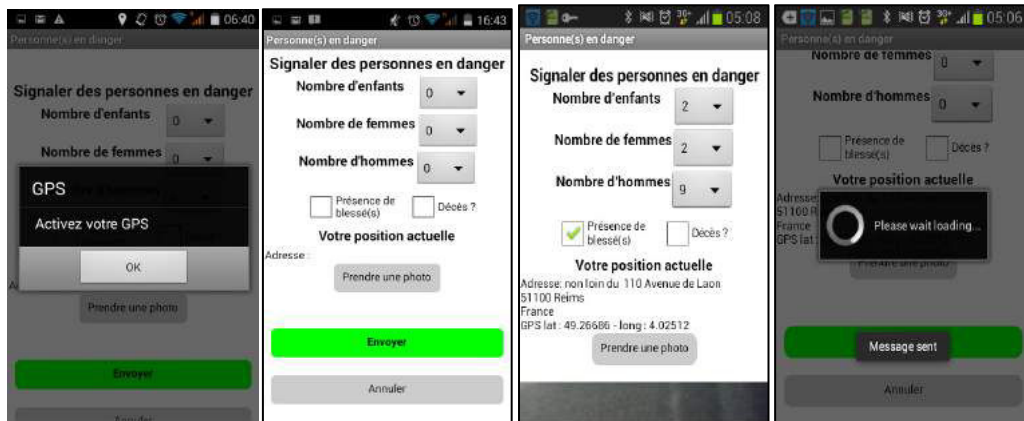


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.12 : Captures d'écrans relatives à la gestion des contacts.

Écran « Personne(s) en danger »

Comme pour tous les écrans du groupe des 5i, le système affiche préalablement un message demandant à l'utilisateur d'activer son GPS si cela n'est pas déjà fait. À partir de cet écran, l'on peut renseigner le genre et le nombre de personnes en danger (intervalle allant de 1 à 10) de même que signaler la présence éventuelle de blessés ou de décès (Fig. 6.13). Le système se charge quant à lui de retrouver et d'afficher la localisation en se servant du capteur GPS. L'utilisateur peut joindre une photo à cet ensemble d'informations avant de cliquer sur **Envoyer**.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.13 : Captures d'écran relatives à la déclaration de personnes en danger.

Écran « Pluie »

L'appréciation d'une pluie est un exercice subjectif lorsque l'utilisateur ne dispose que de ses yeux et de son expérience personnelle face à elle. Il s'agissait donc de trouver des symboles du texte ou des images qu'il peut facilement comprendre et interpréter à ce niveau. C'est l'option des images qui a été retenue à travers trois niveaux d'appréciations pour décrire simplement la pluie qu'il observe : **Pluie intense** (couleur verte) qui correspond à une pluie abondante provoquée par un ciel parsemé de nuages gris avec des éclairs apparaissant de façon sporadique. **Pluie très intense** (couleur orange) lorsqu'il s'agit d'une pluie abondante due à un ciel totalement gris avec des éclairs réguliers. **Pluie extrême** (couleur rouge) pour une pluie abondante causée par un ciel aux nuages gris avec la présence régulière d'éclairs et de vents violents. Un autre paramètre clé permet de donner un autre niveau d'appréciation de la pluie observée : l'utilité ou non de se servir d'un parapluie, ce qui permet de mesurer l'intensité des pluies sans données scientifiques à l'appui (Fig. 6.14).

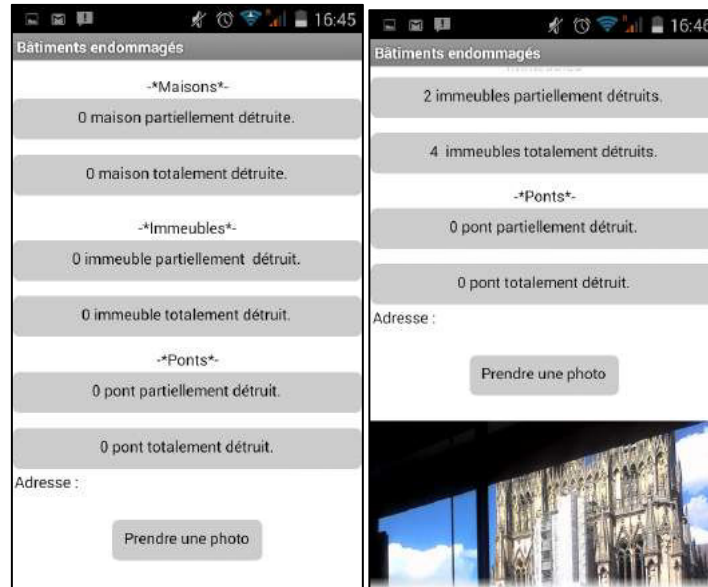


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.14 : Captures d'écran relatives à la description de la pluie observée.

Écran « Bâtiment (s) endommagé(s) »

L'utilisateur renseigne ici (à l'aide d'un menu déroulant) le nombre de maisons, d'immeubles ou de ponts partiellement ou totalement détruit(s) (Fig. 6.15). Ces données sont distinctement stockées dans la base de données externe. Le terme « Partiellement » correspond à un endommagement du bâtiment le différenciant en partie de son état initial (fissures, portes cassées). Le terme « Totalement » correspond à un endommagement du bâtiment le différenciant entièrement de son état initial, sans aller aussi loin que certains travaux menés sur cette question (Léone *et al.*, 2011).

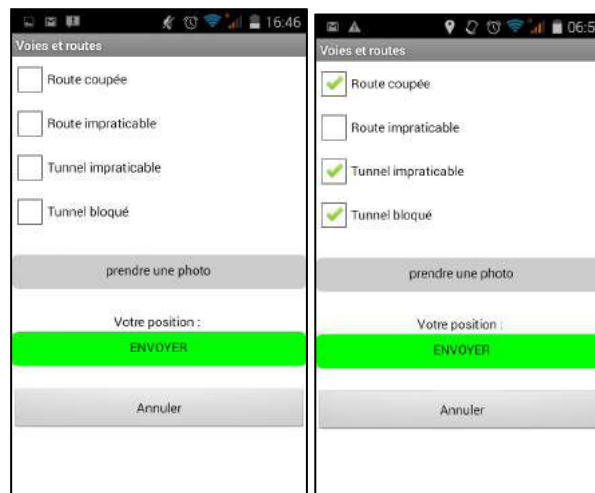


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.15 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.

Écran « Voies et routes »

À l'aide de cases à cocher **Route/Tunnel impraticable** ou **coupé/bloqué**, l'utilisateur précise l'état dans lequel se trouve le chemin qu'il observe ou qu'il souhaite éventuellement emprunter (Fig. 6.16). La route ou le tunnel « impraticable » permet d'évaluer son intégrité structurelle (destruction ou changement physique de la route) et son intégrité fonctionnelle (présence d'un obstacle naturel ou artificiel) qui peut ne pas être associée à une destruction physique de l'ouvrage.

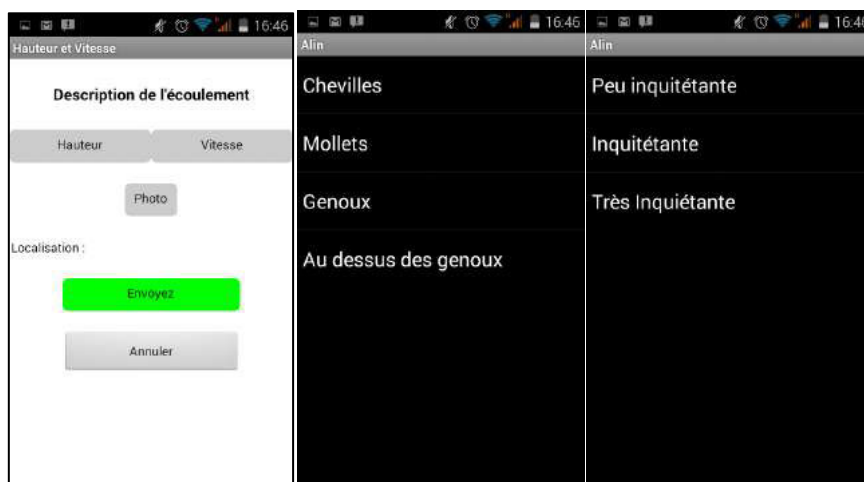


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.16 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.

Écran « Hauteur et Vitesse »

Comme pour la pluie, la difficulté consiste ici à trouver des éléments permettant de décrire la situation à laquelle pourrait être confronté le citoyen qui s'apprête à décrire un écoulement. Pour la hauteur, le corps est le premier "instrument" de mesure retenu : cheville, mollets, genoux (...) sont des références de niveaux facilement identifiables et significatifs (Fig. 6.17). Il ne s'agit pas d'aller "dans l'eau" pour prendre la mesure en se mettant en danger, mais d'observer son environnement immédiat et de rapporter le niveau de l'eau à sa taille. Pour la vitesse, son appréciation visuelle et surtout son ressenti sont également sollicités : on définit un niveau d'inquiétude face à ce qu'il voit.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.17 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.

6.3. Gestion et traitement des données collectées

6.3.1. L'importance de la base de données

Une des bases du fonctionnement de l'application *Al'in* est la gestion des données collectées. Dans la plupart des environnements de programmation, réaliser une application qui a une composante dont le fonctionnement requiert l'usage d'une base de données relève de la programmation avancée. Il s'agit parfois de configurer un serveur et une base de données telles qu'Oracle ou MySQL et ensuite d'écrire le code parfois complexe qui permet de communiquer avec cette base de données. *AppInventor* a l'avantage de simplifier cette tâche au programmeur grâce à des composants très intuitifs réduisant les communications avec la base de données à de simples opérations de stockage et d'obtention d'informations. Il est possible de créer des applications qui d'une part stockent de façon persistante les données directement sur le téléphone mobile et d'autre part, moyennant certaines configurations, qui peuvent partager des données avec d'autres appareils en les stockant dans une base de données web centralisée.

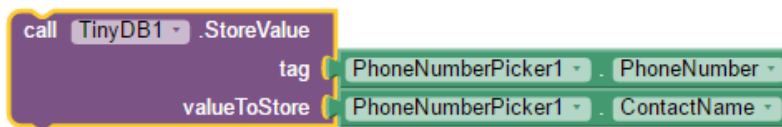
Les données stockées dans les variables manipulées par les composants et blocs classiques de *Appinventor* ont une durée de vie limitée à l'usage de l'application : une fois l'application fermée elles sont perdues. L'usage des bases de données permet donc de surmonter cette contrainte en stockant les informations de façon persistante : même après fermeture de l'application, les données restent disponibles. Par exemple, imaginons une application qui permet d'envoyer des SMS d'auto-réponse lorsqu'on est indisponible ou au volant ou autre. L'utilisateur prépare à l'avance un certain nombre de messages personnalisés suivant la situation dans laquelle il se trouve. Ces messages seront automatiquement renvoyés à la personne essayant de le joindre. Ainsi pour que cet outil fonctionne,

ces différents messages doivent être stockés de façon permanente dans une base de données, de telle sorte que chaque fois que l'application est ouverte, ils peuvent être sollicités suivant la configuration (« je conduis », « je dors », « je mange », etc..). *AppInventor* propose essentiellement trois modes de stockage persistant de données : *TinyDB*, *TinywebDB* et *Google FusionTables*. Ces trois modes de stockages ont été mis en œuvre dans la réalisation de l'application *Al'in*.

6.3.2. Mise en œuvre des composants associés

Stockage de données persistantes dans *TinyDB*

TinyDB est un composant de *AppInventor* qui sert à stocker de façon persistante les données directement sous Android, ce qui est un avantage indéniable pour les applications impliquant un haut degré de personnalisation et pour lesquelles l'utilisateur n'a pas besoin de partager ou de transmettre des données avec un autre appareil ou une autre application. Directement associées à l'application, les données sont mémorisées dans le téléphone grâce au bloc *TinyDB.StoreValue* (Fig. 6.18). Ce bloc est composé de deux paramètres qui sont *Tag* qui correspond à une valeur jouant le rôle d'identifiant pour la donnée à stocker et *ValueToStore* qui est la donnée à stocker. On peut donc considérer une base de données *TinyDB* comme une collection de paires (*Tag*, *ValueToStore*). Ainsi une exécution du bloc *TinyDB.StoreValue* de la Figure 5.17 peut avoir par exemple les données listées dans le Tableau 5.3. Une application peut donc stocker autant de paires (*Tag*, *ValueToStore*) que l'on souhaite. Si le *Tag* doit être au format texte, la valeur de la donnée quant à elle peut être de type texte, numérique ou être une liste. Le *Tag* étant unique, toute réutilisation écrase la valeur précédente à laquelle il était associé.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.18 : Bloc *TinyDB.StoreValue* utilisé pour le stockage du numéro de l'utilisateur dans *Al'in*

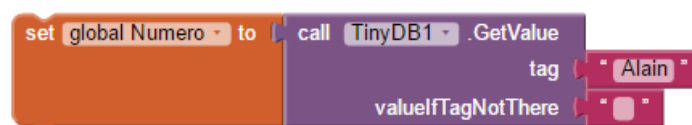
Tag	Valeur
Alain	+336809926##

Source : Kouadio (2016)

Tableau 6.3 : Tag et valeur stockés dans la base de données via *TinyDB.StoreValue*

Appel des données stockées dans *TinyDB*

Les données stockées grâce au composant *TinyBD* sont sollicitées par *TinyDB.GetValue*. Pour fonctionner, ce composant n'a besoin que d'un seul paramètre : le *Tag* de la valeur que l'on souhaite retrouver. Si on fournit la donnée « Alain » comme *Tag* à *TinyDB.GetValue*, ce composant sera lié par exemple au numéro « +336809926## ». On peut également lui affecter une valeur à renvoyer en cas d'absence de la donnée associée au *Tag* en renseignant le paramètre *valueIfTagNotThere* (Fig. 6.19).

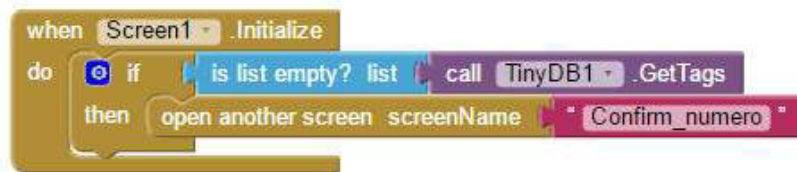


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.19 : Bloc *TinyDB.GetValue* utilisé retrouvé le numéro d'un contact dans *Al'in*.

Dès l'ouverture de l'application (information que l'on peut obtenir dans le programme grâce au bloc *Screen.Initialize*), les données sont accessibles quand *TinyDB.StoreValue* a été exécuté lors

que la dernière utilisation. Le composant TinyDB a été utilisé pour stocker le numéro de téléphone du citoyen pour pouvoir l'utiliser dans d'autres modules de l'application sans avoir à le redemander à l'utilisateur (Fig. 6.20). Le bloc GetTags (Fig. 6.20) renvoie une liste contenant tous les tags stockés dans TinyDB et permet ainsi de vérifier qu'il y a un enregistrement ou non.

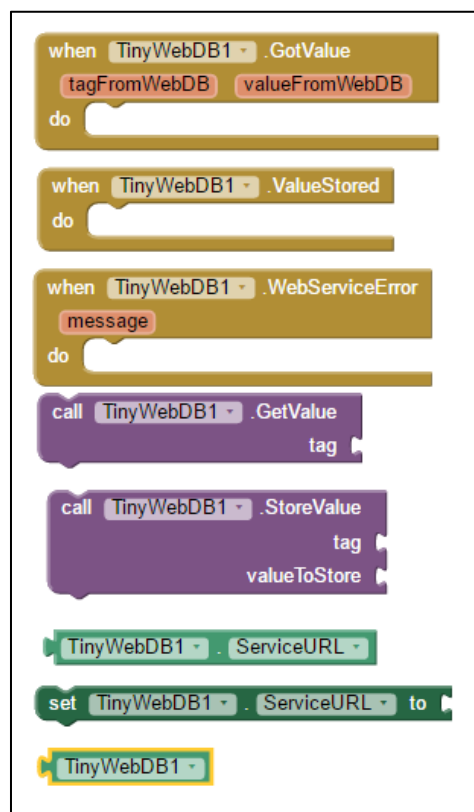


Source : Kouadio (2016)

Figure 6.20: Bloc *Screen.Initialize* utilisé dans *Al'in* pour vérifier si un numéro de l'utilisateur a été confirmé et ouvrir l'écran de confirmation en cas de non confirmation.

Le composant *TinyWebDB*

Certaines applications nécessitent, pour leur bon fonctionnement, le partage de données entre les utilisateurs pour des besoins de comparaisons ou tout simplement d'analyses statistiques. L'usage d'un entrepôt de données externe est une solution adéquate dans une telle situation (Fig. 6.21).



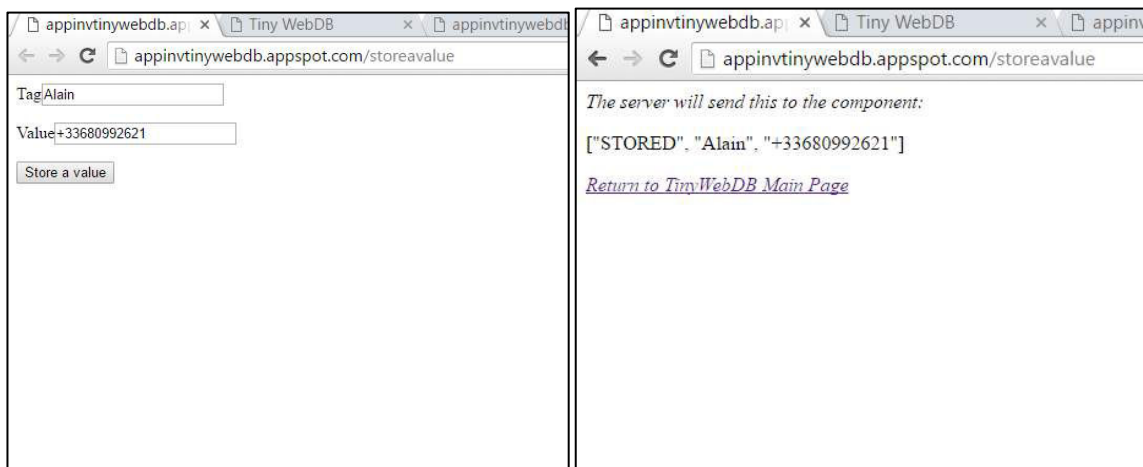
Source : Kouadio (2016)

Figure 6.21 : Blocs associés au composant *TinyWebDB*.

Le composant *TinyWebDB* équivalent web de *TinyDB* permet de stocker les données dans une base accessible via l'adresse web <http://appintinywebdb.appspot.com>. Il s'agit d'un service web mis en place par les créateurs d'*Appinventor* et mis à la disposition de tout développeur pour des besoins de test. Pour cette raison il s'agit d'un espace de stockage limité à 250 couples (*Tag*, *ValueToStore*). Par conséquent, les anciennes données sont automatiquement supprimées au fur et à mesure que de

nouvelles arrivent. Étant donné qu'il s'agit d'une base accessible à tous, rien ne garantit qu'un autre programmeur n'utilisera pas un ou plusieurs *Tags* identiques aux vôtres, ce qui causera l'effacement de vos données au profit des siennes. Reliés par défaut à l'adresse web mentionnée plus haut, les blocs permettant d'avoir accès à ce service dans *Appinventor* sont essentiellement *TinyWebDB.StoreValue* et *TinyWebDB.GetValue*. Tout comme pour *TinyWeb* les paramètres clés sont *Tag* et *ValueToStore*. Quand la requête de sollicitation de données (*TinyWebDB.GetValue*) est ensuite exécutée, la réponse du serveur est obtenue grâce au bloc *TinyWebDB.GotValue*, et de manière spécifique au composant *When TinyWebDB.GotValue* qui stocke le résultat dans la variable *valueFromWebDB* et le *Tag* de recherche retrouvé dans la base de données dans la variable *tagFromWebDB* (**Fig. 6.21**).

À défaut d'utiliser l'adresse *http://appinvtinywebdb.appspot.com*, les programmeurs ont aussi la possibilité de créer leur propre service pour plus de confort et d'espace de stockage. Ils peuvent alors renseigner la valeur *ServiceURL* du bloc *TinyWebDB.ServiceURL* avec l'adresse web du service créé. Ce service est accessible en dehors des blocs de programmation *Appinventor* via des pages web répondant à des requêtes de stockage (**Fig. 6.22**) et de sollicitations des données (**Fig. 6.23**).



Source : <http://appinvtinywebdb.appspot.com/storeavalue> (2016)

Figure 6.22 : Interface web de stockage des données sur *TinyWebD*.



Source : <http://appinvtinywebdb.appspot.com/getvalue> (2016)

Figure 6.23 : Interface web de sollicitation des données sur *TinyWebD*.

Dans l'application *Al'in* le composant *TinywebDB* a principalement été utilisé pour tester la possibilité d'externaliser en dehors des smartphones tous les contacts des utilisateurs de l'application pour leur gestion au niveau de la version Administrateur. Ce test a été concluant toutefois, compte tenu de leur principe de stockage des données (paires *Tag-ValueToStore*) il est difficile d'effectuer des

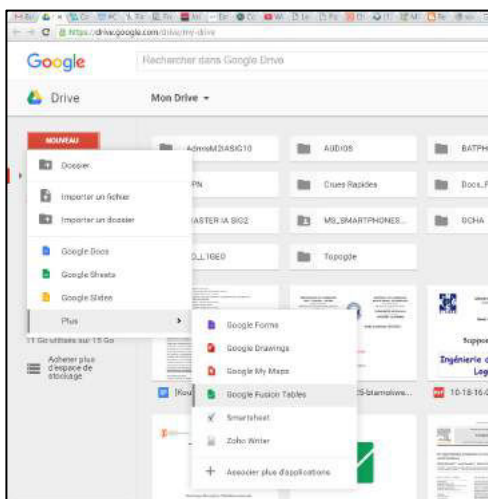
requêtes croisées ou de travailler sur plusieurs données en même temps. Ceci a conduit à explorer d'autres solutions de stockage dont Google Fusion Tables.

Google Fusion Tables

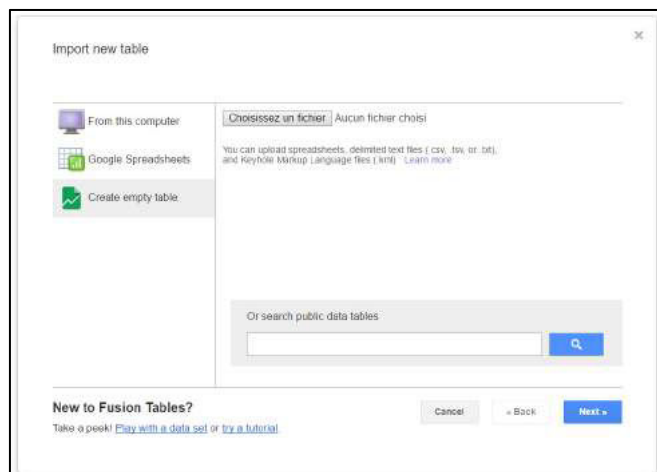
*Google Fusion Tables*⁷¹ est un service proposé par Google pour le stockage, la gestion, le partage et la visualisation des données. Ce système permet à ces utilisateurs d'agréger et de manipuler des données de diverses sources (classier Excel, CSV, KML jusqu'à 100 MB). Un des avantages offerts par cet outil est la gestion de données géo-localisées (adresses de rue, points, lignes polygones) à travers la manipulation de coordonnées GPS ce qui permet de générer automatiquement des cartes Google Maps aussi bien que des graphiques en rapport avec les enregistrements (Gonzalez *et al.*, 2010). *Appinventor* offre plusieurs outils de transaction avec *Google Fusion Tables*. Mais avant de s'en servir il faut en premier lieu posséder une adresse mail gmail afin de pouvoir ensuite créer une *Fusion Table*. Il est possible de lui affecter des données dès sa création ou de la créer totalement vide.

Une fois connectée à un compte *Gmail*, la création d'une *Fusion Table* passe par quatre étapes :

- 1) Allez dans son *Google drive*, cliquez sur le bouton (en rouge) **NOUVEAU** et naviguer jusqu'à **Plus**. Sélectionner **Google Fusion Table** (Fig. 6.24).
- 2) Plusieurs options apparaissent alors. En cliquant sur **Create empty table**, la nouvelle table est automatiquement créée et ouverte avec quatre colonnes consultables grâce à l'onglet *Rows* (Fig. 6.24). Il s'agit de *Text*, *Number*, *Location* et *Date*.
- 3) Il est possible de changer le nom ainsi que le type de ces colonnes (**Edit>Change Columns**) et même d'en ajouter (**Edit>Add Column**) (Fig. 6.25). On notera également que l'onglet *Map of location* sert à l'affichage sur une carte des informations géolocalisées. En outre il n'est pas nécessaire de créer un champ pour stocker l'identifiant unique de chaque enregistrement.
- 4) Cliquer sur le bouton **Share** (en haut à droite) pour gérer les droits d'accès de consultation et de modification en ajoutant les adresses mails des personnes à qui on souhaite les conférer.



Menu de création (a)



Fenêtre de choix du contenu de la table(b)

Source : Kouadio (2016)

Figure 6.24 : Création d'une *Fusion Table* vide (a et b).

Dans le cas de l'application *Al'in*, les premières réflexions nous avaient incités à créer une table par type d'évènement (pluie observée ; bâtiments endommagés ; voies et routes ; hauteur et vitesse). Toutefois, pour effectuer les requêtes en vue d'interagir avec cet ensemble de tables, il est apparu plus pratique de les combiner en une seule : *TAlinMaster* que l'on pourrait également

⁷¹ <https://research.googleblog.com/2009/06/google-fusion-tables.html>

considérer comme une grande table Evènement. Chaque évènement renvoie à des paramètres clés et à une localisation. Une seconde table a également été créée pour enregistrer les numéros de téléphone des utilisateurs de l'application après confirmation : *TAlinPhonesCC*. Les propriétés et la description de leurs champs sont présentées dans les **Tableaux 6.4 et 6.5**.

Champs	Type	Description
Date	Date et heure	Date et heure de la confirmation
Numero	Numérique	Numéro de téléphone du citoyen capteur

Source : Kouadio (2016)

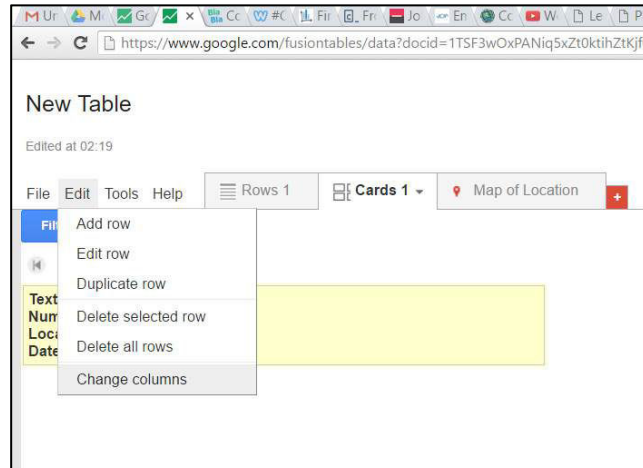
Tableau 6.4 : Structure de la table *TAlinPhonesCC*.

Nom du champ	Type	Description
TypeA	Texte	Le type de l'évènement
LienPhoto	Texte	Lien web vers sur le serveur ou est stockée la photo en rapport à l'évènement
Location	GPS	Coordonnés GPS
Adresse	Adresse	Adresse de l'évènement extraite du capteur GPS
Date	Date-heure	Moment de l'évènement
SMS	Texte	Message envoyé par le citoyen
Validation	Texte	Message validé ou non par l'administration
NbEnfants	Numérique	Nombre d'enfant(s) en danger
NbFemmes	Numérique	Nombre de femme(s) en danger
NbHommes	Numérique	Nombre d'homme(s) en danger
Blesses	Numérique	Nombre de blessé(s) éventuel(s)
Deces	Numérique	Nombre de décès éventuel(s)
nbMDP	Numérique	Nombre de maison(s) détruite(s) de façon partielle
nbMDT	Numérique	Nombre de maison(s) détruite(s) de façon totale
nbIDP	Numérique	Nombre d'immeuble(s) détruit(s) de façon totale
nbIDT	Numérique	Nombre d'immeuble(s) détruit(s) de façon partielle
nbPDP	Numérique	Nombre de pont(s) détruit(s) de façon partielle
nbPtDT	Numérique	Nombre de pont(s) détruit(s) de façon totale
icon	Texte	Identifiant de l'icône Google ⁷² à afficher

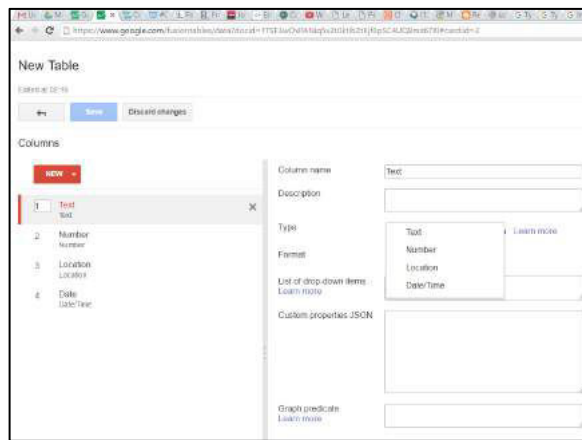
Source : Kouadio (2016)

Tableau 6.5 : Structure de la table *TAlinMaster*.

⁷² <https://www.google.com/fusiontables/DataSource?dsrcid=308519#map:id=3>



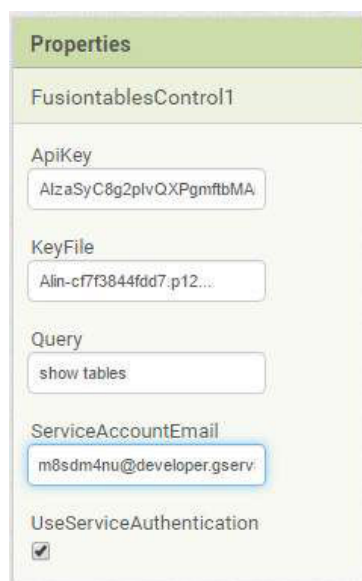
Menu de changement et d'ajout des propriétés (a)



Interface de modifications des propriétés(b)

Source : Kouadio (2016)

Figure 6.25 : Menu(a) de modification des propriétés (b) d'une Fusion table.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.26 : Les propriétés du composant *FusionTablesControl*.

Stockage des données dans les tables

Une application *Appinventor* communique avec une base de données *Fusion Table* à l'aide du composant *FusionTablesControl*. Toutefois, pour que cela soit possible, Google impose préalablement (par mesure de sécurité) de s'authentifier auprès de ses serveurs. Il existe deux moyens : 1) Utiliser un clé API⁷³. Il s'agit en fait d'un code alphanumérique que le développeur obtient à l'aide de l'interface *Google Developers Console*⁷⁴. Ce code servira à renseigner l'une des propriétés (**Fig. 6.26**) du composant *FusionTablesControl*. Cette procédure requiert, en outre, une connexion de l'utilisateur final avec son identifiant *Gmail* afin de pouvoir procéder à la manipulation de la base de données. 2) Utiliser une authentification de service. Il s'agit ici de générer (toujours depuis l'interface *Google Developers Console*) une adresse email spéciale ainsi qu'un fichier de sécurité. *p12* qui permettront, une fois combinés par le composant *FusionTablesControl*, d'avoir accès à la base de données et de pouvoir l'éditer à sa guise sans avoir à utiliser ses propres paramètres de connexion.

La procédure d'obtention d'une clé API est la suivante (**Fig. 6.27**) :

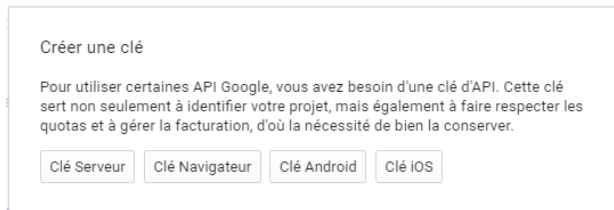
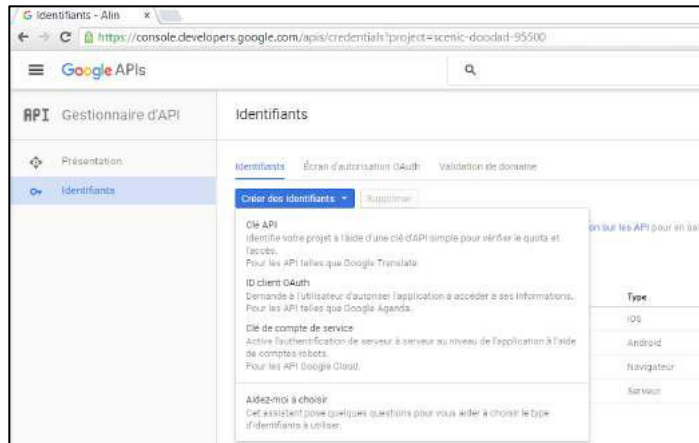
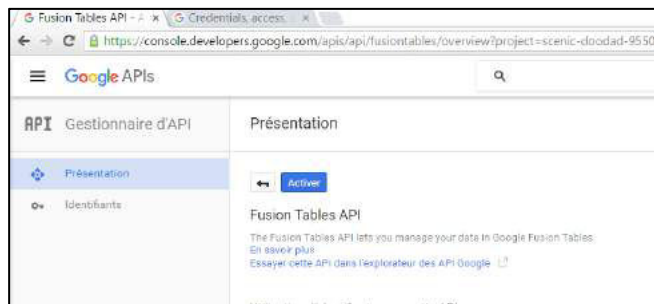
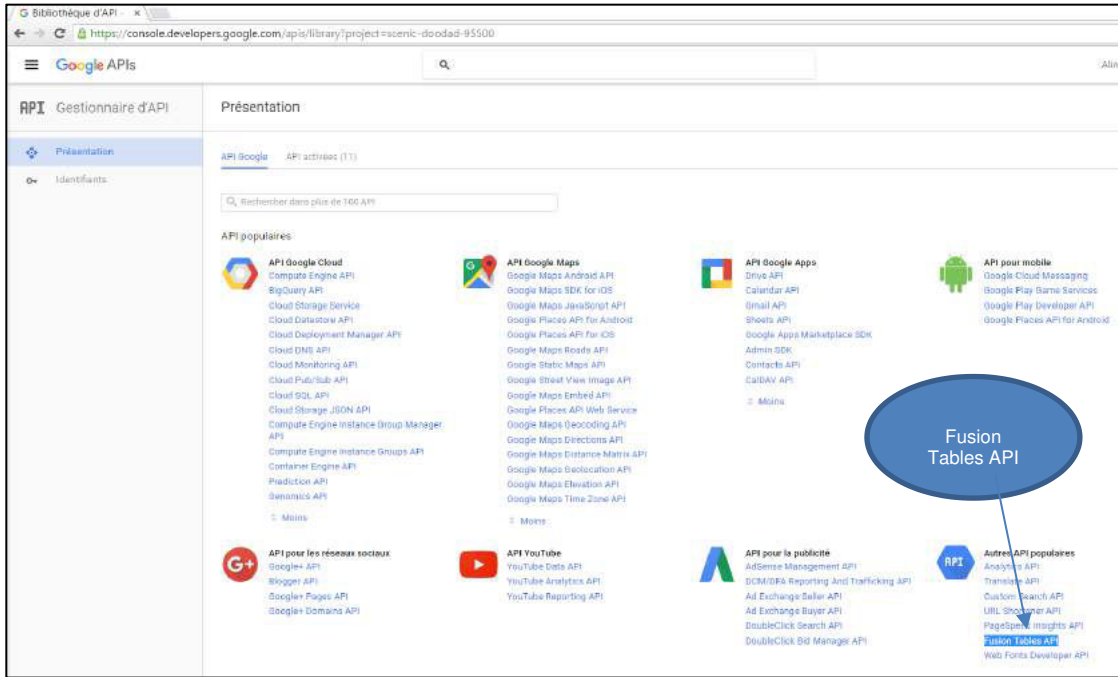
- 1) Accéder à *Google Developers Console*
- 2) Accéder au *Gestionnaire d'API* à partir du menu de gauche
- 3) Dans la section Présentation, au niveau des Autres API populaires, cliquer sur Fusion Tables API et activer ce service
- 4) Accéder à l'interface des Identifiants à partir du menu de gauche
- 5) Cliquer sur *Créer des identifiants* puis sur *Clé API*
- 6) Choisir *Clé Android* pour générer la clé de l'API

La création d'un compte authentifié commence à l'étape 4 de la procédure précédente (**Fig. 6.28**) :

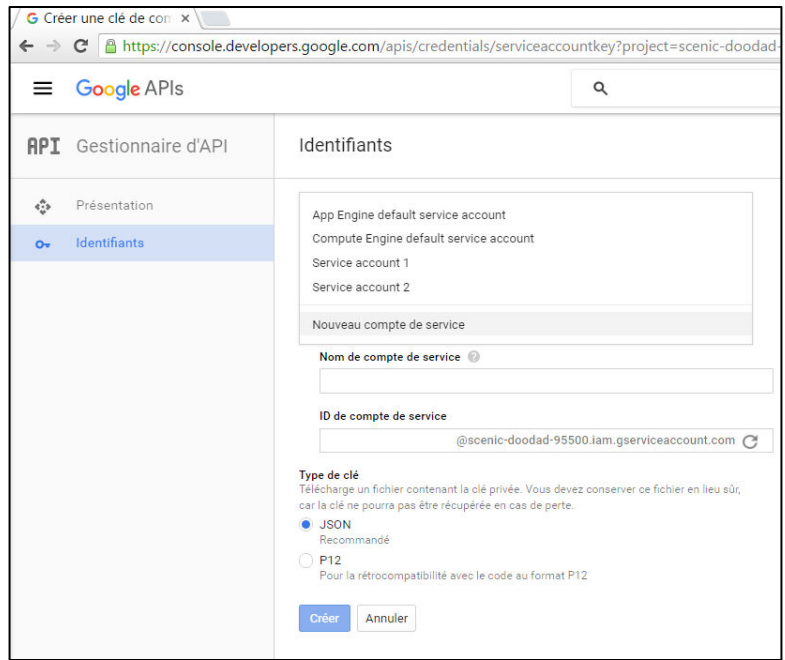
- 1) Cliquer sur *Créer des identifiants* puis sur *Clé de compte de service*
- 2) Sélectionner un compte de service existant ou générer un nouveau compte de service
- 3) Un fichier appelé contenant une clé *KeyFile* et ayant pour comme extension *.p12*, sera automatiquement générer et téléchargé sur l'ordinateur
- 4) Le compte de service ainsi que fichier (qui devra être chargé dans *Appinventor*) devront être renseignés dans les propriétés du composant *FusionTablesControl*.

⁷³ Application Programming Interface

⁷⁴ <https://console.developers.google.com/>



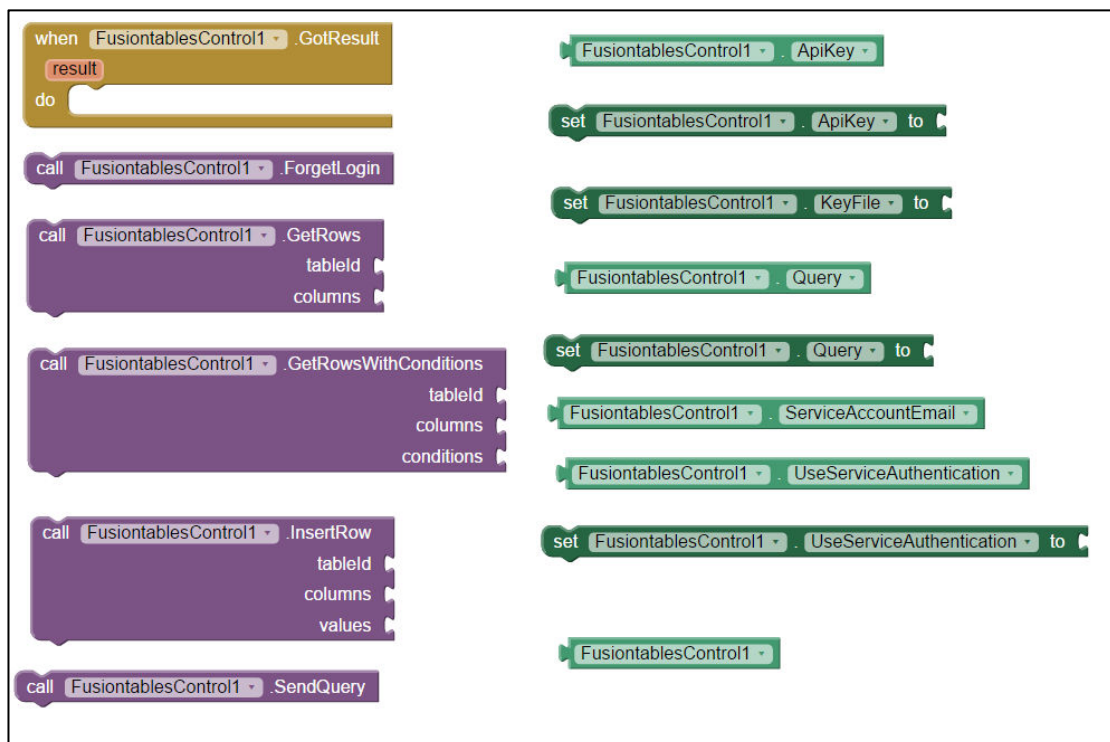
Source : Kouadio (2016)
Figure 6.27 : Principales étapes pour la création d'une clé API.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.28 : Dernière étape pour la création d'un compte de service et d'un fichier de clé .p12.

Une fois ces procédures finalisées, on peut mettre en œuvre les blocs associés au composant *FusionTablesControl* (Fig. 6.29) afin d'effectuer des requêtes manipulant les tables Google Fusion.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.29 : Blocs associées aux composant *FusionTablesControl*.

Prenons un exemple : la remontée d'informations liées à une route endommagée. Après avoir renseigné les détails de l'évènement et pris une photo, le citoyen cliquera sur le bouton **ENVOYER**.

Pour que ces informations soient enregistrées dans la table *TAlinMaster* l'ordre d'enregistrement doit être formulé sous la forme d'une requête SQL dont la syntaxe est :

« INSERT INTO T_{ID} (C₁,C₂,C₃,...,C_n)VALUES ('V₁', 'V₂', 'V₃',..., 'V_n') ».

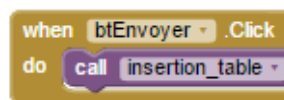
Avec T_{ID} l'identifiant alphanumérique de la table dans *Google Fusion*, C₁..C_n, le nom des colonnes de la table que l'on manipule et V₁..V_n les valeurs que l'on va affecter à ces colonnes. Il est important de noter que l'ordre des colonnes et celui des valeurs qu'on leur affecte doit être le même par souci de correspondance. En outre les valeurs doivent être entre quotes. Pour éviter des erreurs de syntaxe la procédure *quote* (Fig. 6.30) a été écrite pour effectuer ce travail de « mise en quotes ». Cette procédure fait appel au bloc *join* de *Appinventor* qui permet de joindre en un seul morceau plusieurs portions de texte ainsi qu'au bloc *replace all* qui permet de remplacer dans le texte toute occurrence de *segment* par *replacement* (Fig. 6.30).



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.30 : Procédure *quote*.

Cet ensemble d'instructions sera porté par le bloc *Set FusiontablesControl.Query to*, qui a été lui-même inclus dans la procédure (*insertion_table*) qui est exécutée lorsque le bouton **ENVOYER** est cliqué (Fig. 6.31 et 6.32), ce qui aboutit à créer une ligne supplémentaire dans la table *TAlinMaster*.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6.31 : Action déclenchée par le clique du bouton *ENVOYER*.

Les données relatives à la date et l'heure de l'envoi sont obtenues grâce aux composants *Clock* *Clock.GetMillis* et *Clock.Now*. La localisation de l'évènement est connue grâce à *LocationSensor*, qui permet de solliciter le capteur GPS de l'appareil en vue d'obtenir la latitude, la longitude et, lorsque l'information est disponible, l'adresse. Une fois la requête portée (*Set FusiontablesControl.Query to*), *FusiontablesControl.SendQuery* se charge de transmettre au serveur pour exécution. L'exécution (ou non) de la requête et le résultat sont connus grâce au bloc *When Fusiontablecontrol.GotResult* (Fig. 6.29). On peut ensuite exécuter, à l'aide du résultat (*Result*), un ordre d'affichage d'un message de confirmation obéissant à certaines conditions. Le bouton *ENVOYER* déclenche aussi la transmission de SMS à la fois aux connaissances du citoyen capteur, mais également l'administrateur du système. C'est le composant *Texting* qui est dans ce cas sollicité.

Les requêtes de sollicitation de données obéissent pratiquement aux mêmes règles de syntaxe que lorsqu'il s'agit de l'insertion de données. Le texte est le suivant :

« SELECT C₁, C₂, C₃,...,C_n FROM T_{ID} WHERE C_x=... ».

Ici *WHERE* indique le début d'une condition que la colonne C_x devra respecter. La sélection de données a essentiellement été mise en œuvre pour la version administrateur de *Al'in*. Il s'agissait de sélectionner les numéros de la table *TAlinPhonesCC* pour pouvoir les utiliser dans une procédure d'envoi de SMS (Fig. 6.32).

```

initialize global MasterTable to "1SLYs9-NPbRd_HkoCpzzcMLnDEpzriNaC393Tgcnu"

do
  to insertion_table
  do
    set FusiontablesControl1 . Query to
    join "INSERT INTO "
    get global MasterTable
    " (TypeA,LienPhoto,Location,Adresse,Date,Validation,SMS,id,Valeur,icon) "
    " VALUES "
    " ("
    call quote x get global type_alerte
    " ,"
    call quote x get global lien_image
    " ,"
    call quote x get global lati_longi
    " ,"
    call quote x join " Non loin du "
    get global adrss
    " ,"
    call quote x get global instant_denvoi
    " ,"
    call quote x get global Valid
    " ,"
    call quote x get global sms
    " ,"
    call Clock1 . GetMillis
    instant call Clock1 . Now
    " ,"
    50
    " ,"
    call quote x get global icon_logo
    " )"
  call FusiontablesControl1 . SendQuery
  end
end

```

Source : Kouadio (2016)

Figure 6.32: Variable *MasterTable* affectée de l'identifiant de la table *TALINMaster* et procédure *insertion_table*.

```

do
  to requette
  do
    set FusiontablesControl1 . Query to
    join "SELECT ROWID, id, Date, SMS FROM "
    get global MasterTable
    " WHERE Validation="
    call quote x get global Valid
    " ORDER BY id DESC LIMIT 4 "
  call FusiontablesControl1 . SendQuery
  end
end

do
  to requette_num
  do
    set FusiontablesControl3 . Query to
    join "SELECT Numero "
    " FROM "
    get global table_numeros
    " GROUP BY Numero "
  call FusiontablesControl3 . SendQuery
  end
end

when Batis . Initialize
do
  call requette
end

when FusiontablesControl2 . GotResult
result
do
  if contains text get result
  piece "affected_rows"
  then call requette_num
end

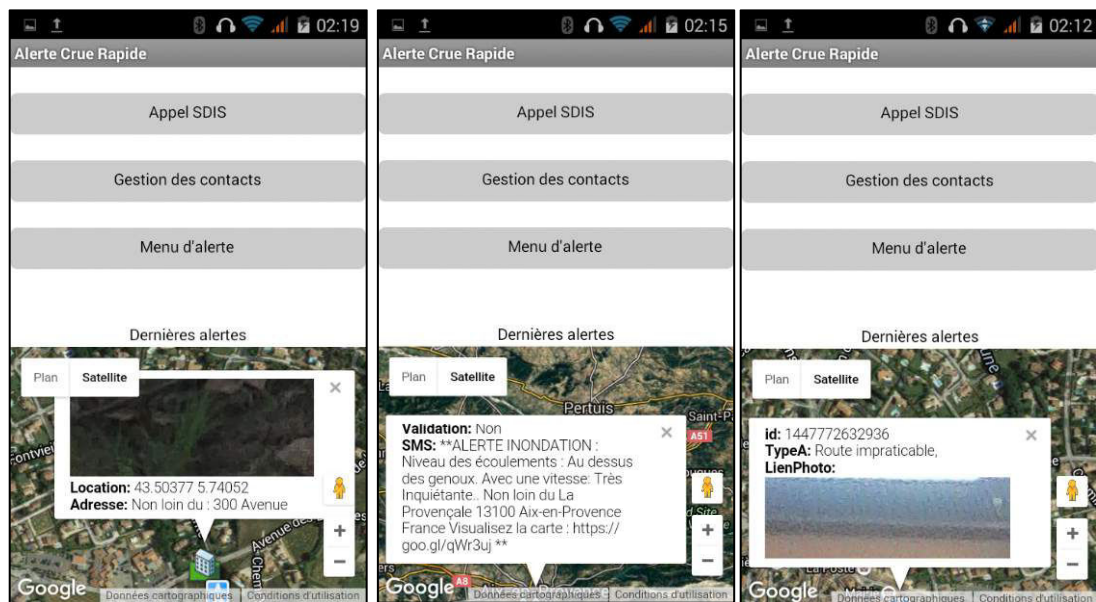
```

Source : Kouadio (2016)

Figure 6.33 : Blocs mis en œuvre pour la sélection de données.

Gestion des fichiers images

Au-delà des bases de données, l'autre défi à relever à travers cette application était de gérer le stockage des images associées aux informations saisies en vue de les rendre consultables par tous sur une carte. Les détails de la solution ne seront pas donnés ici, mais en résumé il faut juste retenir que ce sont en premier lieu le composant *Camera* et ses blocs associés qui sont mis en œuvre ici. Une fois la photo prise par le citoyen capteur, celle-ci est affichée à l'aide du composant *Image* dans le formulaire de description de l'évènement. Dès validation du formulaire, par le bouton *ENVOYER* la photo est enregistrée sur un serveur web privé grâce au composant *Web* de *Appinventor* et à ses blocs *Web.URL* et *Web.PostFile*, ainsi qu'à un fichier *.php*⁷⁵ (**Annexe 3**) situé sur le serveur dans le répertoire où sera sauvegardé la photo. Le lien web d'accès direct à ce fichier sur le serveur est sauvegardé dans la table *TALINMaster* lors de l'exécution de procédure *insertion_table*. C'est ce lien qui est appelé lorsqu'on clique sur l'icône le représentant sur la carte Google maps (**Fig. 6.34**). Cette dernière est affichée dès ouverture de l'application juste en-dessous du menu principal grâce au composant *WebView* dont la propriété *HomeURL* a été affectée de l'adresse web de la carte (générée depuis l'interface d'administration de la *Google Fusion Table TALINMaster*).



Source : Kouadio (2016)

Figure 6. 34 : Capture d'écran montrant l'affichage des détails de l'évènement ainsi que les images associées.

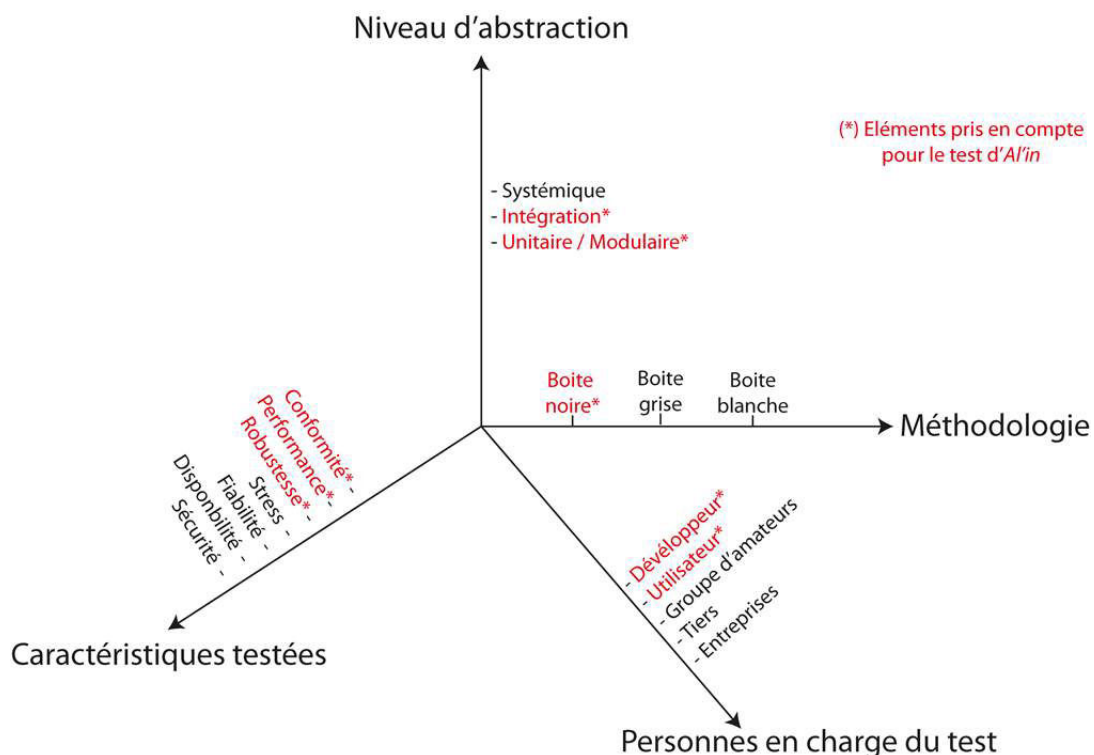
6.4. Test d'application et premiers enseignements tirés

6.4.1. Objectifs et philosophie de l'expérimentation

Tester un système, du point de vue informatique, c'est l'évaluer en observant ses points d'exécution pour déterminer des anomalies (Barr *et al.*, 2015). Plusieurs aspects d'un système peuvent ainsi être testés, ce qui implique l'existence de différents types de tests ou expérimentations, variables selon les disciplines ou les objectifs visés. Les travaux de J. Tretmans (2004 et 2008), A. Vernotte (2012) et E. Fourneret (2013) révèlent qu'un test doit tenir compte de quatre dimensions (**Fig. 6.35**) :

⁷⁵ Langage de programmation web sous forme de script exécutable par le serveur web. Plus de détail sur <http://php.net/>

1. Les **caractéristiques** : on trouve ici les tests fonctionnels, ou de conformité (*est-ce que le système a la fonctionnalité attendue ou est-il conforme à ses spécifications fonctionnelles ?*), les tests de performance (*est-ce que le système fonctionne aussi vite que nécessaire ?*), les tests de robustesse (*comment le système réagit-il lorsque son environnement se comporte de façon inattendue ?*), les tests de stress (*le système peut-il faire face à un flux important de requêtes ?*), les tests de fiabilité (*combien de temps pouvons-nous compter sur le bon fonctionnement du système ?*), les tests de disponibilité (*quel est le niveau de disponibilité du système ?*) et les tests de sécurité (*quels sont les possibilités et les degrés d'intrusion ?*) ;
2. Les **niveaux d'abstraction** : on mène ici un test unitaire ou modulaire (*est-ce que le bloc ou le sous-ensemble du système étudié joue bien son rôle ?*), un test d'intégration (*est-ce que l'information sortant du module A est conforme à ce que le module B attend ?*) et le test systémique (*est-ce que l'ensemble du système fonctionne correctement ?*).
3. Les **acteurs décisionnaires** : les tests de développement sont effectués par le développeur du système, alors que les tests d'acceptation sont menés soit en usine, soit auprès des utilisateurs, soit auprès des acteurs opérationnels, voire des tiers (indépendant), pour finir par des tests de certification (liés à des normes spécifiques) faisant l'objet d'un audit.
4. La **méthodologie** : on distingue deux approches : 1) La boîte noire (*black box*) : seule la structure externe du système est connue du testeur et peut être utilisée pour les tests en vue de savoir si le système répond aux exigences initiales. 2) La boîte blanche (*white box*) : la structure interne et en particulier le code et les algorithmes employés sont analysés. Un mix des deux existe également : la boîte grise (*grey box*) : les tests s'effectuent à partir de la structure externe des composants du système sans toucher à leur code.



Source : Kouadio (2016)

Figure 6. 35 : Approche quadridimensionnelle du test d'application retenu pour Al'in.

Pour tester l'application *Al'in*, l'approche de la boîte noire, avec un niveau d'abstraction élevé, a été retenue puisque c'est *App inventor* qui a servi à la réalisation du prototype. Pour rappel, cet outil fonctionne sur l'agencement de blocs et il favorise donc la programmation modulaire. Conformité, performance et robustesse ont été les principales caractéristiques testées (**Fig. 6.35**), tout en gardant la vision de l'utilisateur final comme principale finalité.

6.4.2. Définition et étapes clés du test d'application

Un groupe de trois personnes suffit pour constituer l'équipe pour le test : une personne joue le rôle de l'administrateur et elle est équipée de deux smartphones pour pouvoir disposer de la version administrateur (*Al'in Admin*) et de la version du citoyen (*Al'in*). Les deux autres personnes ont eu pour mission d'être des citoyens capteurs (avec *Al'in* installé sur leur smartphone respectif). Les tests ont été menés grâce à deux étudiants inscrits en Master I et II, et ont facilité la mise en œuvre du test.

Plusieurs étapes ont ensuite été nécessaires pour déployer avec succès le test d'application :

- 1) En amont, trois étapes sont primordiales afin d'engager les élus dans la démarche :
 - se rendre à la mairie pour rencontrer un élu et discuter avec lui de l'objet de notre présence ;
 - évaluer ses connaissances en matière de risque inondation et d'alerte ;
 - se munir d'une carte de la commune indiquant des points d'intérêt et les zones inondables ;
- 2) Une fois sur place, certaines vérifications sont nécessaires :
 - vérifier l'activation du GPS comme le demande l'application à son ouverture ;
 - valider la position des « citoyens capteurs » et leurs coordonnées ;
 - valider les points de positionnement définis avec le responsable rencontré dans la commune (il s'agissait de points situés à proximité de lieux endommagés par des inondations passées) ;
- 3) L'expérimentation peut ensuite être menée : les deux personnes définies comme « citoyen capteur » se déplacent de façon aléatoire dans la commune, tout en utilisant l'application à travers chacune des fonctionnalités du menu disponible sur l'écran principal (sauf l'appel du SDIS). De son côté, en notant les messages reçus, l'administrateur en validait un sur trois et parallèlement les citoyens capteurs lui demandaient confirmation de la bonne réception ou non de leur alerte.
- 4) Les citoyens capteurs fictifs prenaient aussi des notes sur les anomalies qui survenaient ainsi que sur les suggestions d'améliorations éventuelles qui leur venaient en tête.
- 5) Ce travail prend fin par un débriefing de toute l'équipe au bout d'1h30 d'expérimentations, soit près de deux heures après l'arrivée dans la commune concernée.

6.4.3 Apports et résultats observés lors de l'expérimentation

Ce protocole a été appliqué à plusieurs reprises en novembre 2014 dans deux communes des deux départements étudiés depuis le début de cette thèse (**Fig. 6.36**) : Cabrières d'Avignon (Vaucluse) et Pourrières (Var). Ces communes ont été identifiées comme les plus « sensibles » aux aléas de type crues rapides (**Chapitre 1**) et les élus locaux y demeurant ont surtout été les premiers à avoir répondu favorablement à notre demande. Plus de 150 alertes ont été envoyées pendant plusieurs jours au centre de décision. Certes, il aurait fallu mener d'autres expérimentations, lors d'événements réels et/ou en choisissant les citoyens directement, mais ce n'était pas l'objectif visé dans un premier temps.

Sur le plan fonctionnel, l'application est bien conforme aux attentes précédemment formulées et aucun souci technique n'a été observé. Le système d'information permet la collecte, le traitement et la diffusion des informations, qu'elles soient sommaires ou bien détaillées, à condition toutefois qu'il soit correctement sollicité, ce qui amène à envisager une formation préalable de personnes ressources.

À ce titre, les référents inondation (qui sont en théorie les relais des Services de Prévision des Crues) ou des volontaires au sein de chaque commune devraient être identifiés. Bien que garant de leur bon fonctionnement, le facteur humain est aussi l'une des principales causes de défaillance des systèmes d'information, par négligence, par naïveté, par transmission de mauvaises informations (Breas, 2002 ; Etienne de Sérerville, 2009 ; Barlette, 2011 ; DGOS, 2013). Il est donc capital d'en tenir compte dès le départ en vue d'éviter au maximum des résultats erronés ou de fausses alertes.

Sur les autres plans techniques (robustesse et performance), les principales leçons à tirer de cette expérimentation sont les suivantes : la disponibilité du réseau mobile et la couverture internet restent des handicaps majeurs. Par ailleurs, le laps de temps dans lequel ce procédé atteint son objectif peut aller de quelques secondes à moins de 5 minutes pour une dizaine de personnes à contacter à partir d'un smartphone si le réseau fonctionne correctement. Tout dépend du nombre de personnes à qui le smartphone doit envoyer le SMS. Il est donc important de réfléchir à un algorithme permettant d'optimiser la transmission des messages ou de gérer la transmission par un serveur dédié.

Du point de vue organisationnel, les autorités ont estimé qu'elles pourraient avoir certaines difficultés à trouver une (ou des) personne(s) dédiée(s) à ce genre d'outil, car tout le monde n'a pas la « culture smartphone ». La réponse à cette préoccupation passe également par la formation et par la démonstration de l'utilité et du bienfondé d'un tel système. La création d'applications ayant un sens pour la communauté à travers un contenu co-construit et relevant du patrimoine commun est une piste à explorer. Le développement de l'application SAIP ainsi que celui des autres solutions logicielles le confirment.



Source : Kouadio (2015)



Figure 6.36 : Discussions(a) avec les populations rencontrées et test(b) sur le terrain.

6.4.4 Limites du retour d'expérience et perspectives envisagées

Toutes les dimensions d'un test n'ont pu être mises à contribution et ce retour d'expérience présente donc des limites. À l'heure actuelle, une partie des fonctionnalités originelles a seulement été implémentée dans *Al'in*. La gestion de la visibilité et du rayon physique de l'alerte sont par exemple des fonctionnalités qui ne sont pas dans la version actuelle de l'application, car elles sont définies par le centre de décision. Aussi, faire une analyse d'un point de vue systémique n'a aucun sens.

Ce test d'application n'avait pas non plus les mêmes objectifs qu'un vrai retour d'expérience. Trois niveaux sont recommandés par le Ministère de l'Intérieur (BAPC, 2006) :

- le **niveau 1** pour les situations de sécurité civile n'ayant pas fait l'objet de l'activation d'une structure de commandement de la préfecture (production d'une fiche d'événement) ;
- le **niveau 2** qui fait suite à tout exercice ou gestion d'événement de sécurité civile (production d'une note de synthèse d'événement) ;
- le **niveau 3** pour les événements qui apportent soit le plus d'enseignements, soit se révélant totalement nouveaux, soit ayant entraîné des dommages importants (production d'un rapport de gestion d'événement).

Ces niveaux sont déterminés suivant la nouveauté et la gravité de l'événement. La nature des moyens mobilisés rentre également en ligne de compte. Ces définitions de niveaux ne se prêtent pas vraiment au cas présent parce qu'il n'y a pas eu d'événement et parce qu'il s'agit d'un test applicatif et non d'une initiative relative à la gestion d'un événement. Cela soulève bien entendu la question de l'efficacité de l'application en situation réelle, question à laquelle on ne peut répondre dans l'immédiat, mais qui serait une des pistes à envisager dans les années à venir (en lien avec une thèse qui débute en septembre 2016 et qui questionne les réseaux opportunistes face aux catastrophes naturelles).

Le système complet à envisager devra en outre présenter d'autres fonctionnalités clés pour en faire une application hybride et multiplateforme (HTML5, Android et iOS). Pouvoir s'affranchir aujourd'hui des contraintes liées aux systèmes d'exploitation permet d'assurer une pérennité et un usage sur du long terme à l'application (Kouadio et Douvinet, 2016), et on pourra donc renseigner et alimenter le système sans avoir besoin d'installer une application spécifique sur smartphone. Envisager un serveur cartographique, une base de données ainsi qu'un serveur SMS autonome sont également des éléments dont il faut tenir compte (**Chapitre 5**), en lien avec les discussions en cours sur ce point (cf. rapport du député Loïc Bellot écrit en juillet 2016 et envoyé au Premier Ministre).

Conclusion du chapitre 6

Ce **chapitre 6** a permis de présenter le prototype d'*Al'in* (avec les paramètres et les différents menus créés) et les résultats obtenus lors d'un test d'application expérimenté dans deux communes. Cette première version est encore perfectible, à la fois dans les énoncés du questionnaire préconçu et dans la manière de gérer les bases de données, mais elle a le mérite d'être fonctionnelle et de contribuer, sans grande prétention, à essayer de réduire les écarts entre les services de l'État (gardant la mainmise sur l'alerte) et les citoyens (qui se sentent dépourvus d'outils en cas de crues rapides). Pour en assurer l'usage, il faut poursuivre les expérimentations tout en formant les usagers potentiels, ce qui n'a pas encore été envisagé, ce qui est également valable pour les solutions logicielles actuellement sur le marché.

L'application *Al'in* se veut surtout originale, car elle combine l'alerte passive ET active. D'un côté, le message d'alerte peut contenir un lien vers une carte présentant tous les événements signalés. Cette cartographie est accessible et consultable à tous, même sans avoir reçu de SMS (comme le fait actuellement le site Waze). Après avoir consulté la carte, on peut décider quel comportement adopter. C'est l'alerte dite "passive". Il n'y a pas de réelle action d'intrusion dans le téléphone du citoyen, mais l'information est envoyée par une personne que l'on connaît ou on fait la démarche d'aller la trouver (l'information). C'est une façon de développer une « responsabilité citoyenne » (tant attendue dans la loi de Modernisation de la Sécurité Civile de 2003). Transmis à l'administration, ce SMS sera validé ou non par un gestionnaire pour une diffusion sur les mobiles des autres « citoyens capteurs » (ayant installé l'application) : c'est l'alerte dite « active ». L'évènement sera mentionné « validé » et le SMS portera l'entête « ADMINISTRATION ». Il ne s'agit pas d'un outil révolutionnaire ni d'une solution miracle, mais l'application proposée se positionne comme innovante sur cet autre aspect.

Synthèse de la partie III

Dans cette partie III, le prototype *d'Al'in* a été modélisé (conceptuellement) et expérimenté. Sans rappeler les conclusions des chapitres précédents, deux enseignements majeurs sont tirés.

>> Une solution pour rapprocher les services de l'Etat des citoyens

Les services de l'État (qui ne veulent pas perdre la mainmise sur les dispositifs d'alerte) et les individus (qui tiennent à leur liberté et ne veulent être informés que si le danger est réel et/ou visible) peuvent collaborer ensemble, et l'application a été développée dans ce sens. Cette solution peut aussi assouvir des besoins scientifiques, notamment pour observer et caractériser dans le temps et l'espace la cinétique des crues rapides apparaissant dans des secteurs non jaugés et/ou non surveillés. Conçue à l'aide de l'approche UML, elle tient compte au mieux de toutes ces attentes : le citoyen n'alerte que ses proches et l'État diffuse cette alerte au-delà de ce cercle restreint. Si les citoyens attendent toujours que l'État appose son sceau (gage de crédibilité), il ne faut pas non plus oublier que les citoyens eux-mêmes peuvent alimenter le système, l'éprouver voire l'affiner. Le système s'autorégule ainsi à partir de données citoyennes. Il ne s'agit pas uniquement de créer une application, mais d'aller bien au-delà : il est question de mettre en place un dispositif intégré faisant appel à la « science citoyenne » (Doesken et Reges, 2011). Ce dispositif revient finalement à faire passer le citoyen « dormeur / veilleur » à un citoyen « acteur », en transitant par le citoyen « capteur ».

>> Une technologie et un potentiel à ne pas surévaluer

Eu égard à la rapidité des développements technologiques, du potentiel et des services offerts aux utilisateurs, les résultats obtenus ne doivent toutefois pas occulter les réserves qui subsistent. À ce titre, nous pouvons reprendre la citation de B. Stiegler (2008) qui, parlant des technologies, évoquait leur aspect ambivalent, à la fois "remède et poison". Tout le monde n'utilise pas son smartphone de façon assidue et alerter une personne dont le téléphone n'est pas allumé est problématique (même si des solutions logicielles se développent sur ce point). Par ailleurs, bien que les opérateurs privés aient pour objectifs une couverture 4G de 99,6% de la population française à l'horizon 2027, la couverture actuelle se situe aux alentours de 25% (ARCEP, 2016). Le maillage est donc encore très irrégulier, ce qui pose problème, d'autant plus dans les petits bassins situés en montagne et qui sont justement sujets aux crues rapides. S'ajoutent à ce constat somme toute assez négatif, les problèmes d'endommagement des matériels (antennes, réseau électrique, etc.), inévitables lors d'évènements hydrométéorologiques, qui constituent des points de vulnérabilité des réseaux sociaux numériques, donc des smartphones. En revanche, les problèmes liés à la responsabilité et à la législation concernant l'information ne se posent pas lorsqu'il s'agit d'informations envoyées sous anonymat. Les choses sont néanmoins compliquées lorsqu'il s'agit d'une personne envoyant une information demandant assistance, ce qui explique le lien quasiment automatique sur les applications vers les centres de secours (numéro 18 ou 112).

Compte tenu du manque de dispositions légales précises autour de ces questions, il est ainsi préférable de considérer l'outil proposé comme UN élément (parmi d'autres) qui pourrait contribuer à améliorer les dispositifs actuels en France. L'introduction des technologies dans le domaine de l'alerte est récente et demande une appropriation par les politiques en place et par la population (pourquoi pas, dans une démarche co-construite entre tous). C'est la raison pour laquelle l'amélioration de l'alerte face aux crues rapides viendra plus d'une approche systémique que d'une solution technique (d'autant plus si elle est imposée pour tous sans aucun accompagnement).

Conclusion Générale



Source : DGPR (Ministère de l'Environnement)

Campagne d'information sur les risques liés aux pluies méditerranéennes (pouvant notamment être à l'origine de crues rapides) diffusée en septembre 2016 dans les régions du sud de la France.

Si la plupart des recherches menées dans le domaine des inondations ont porté sur les apports et l'utilité des smartphones durant la période de crise ou post-crise (De Longueville, 2009 ; Dashti et al., 2014 ; Cavalière, 2015), le potentiel et les usages attendus en cas d'alerte n'ont pas pour autant été étudiés jusqu'à présent (Kouadio *et al.*, 2015). Aussi, l'objectif de ce travail était de comprendre dans quelle mesure ces solutions pourraient jouer un rôle complémentaire dans l'alerte aux crues rapides, et de manière indirecte dans l'atténuation des dommages potentiels. En allant jusqu'à la création d'un prototype (conçu dans une approche ascendante), tout en essayant de mieux répondre aux attentes des usagers éventuels, ce travail exploratoire a permis d'apporter de nombreux éléments de réponse face à un tel enjeu, même si plusieurs pistes restent à explorer, aussi bien sur la place des outils numériques (en général) et des smartphones (en particulier) qui sont sans cesse en développement et en expansion.

Une meilleure connaissance des contraintes réglementaires et des limites actuelles des dispositifs d'alerte aux crues rapides

>> Des progrès en cours mais qui restent insuffisants face à la complexité des enjeux

L'alerte est une procédure très technocratique, fortement encadrée par plusieurs textes de lois. Etant donné la gravité des situations qu'elle annonce, et la responsabilité sous-jacente, les services de l'Etat contrôlent, administrent et effectuent cette alerte, et sont les seuls à pouvoir la diffuser jusqu'à la population en France (Vinet, 2011 ; Boudou, 2013 ; ORSEC, 2013 ; Kouadio et Douvinet, 2016). Cette alerte indique la survenue d'un aléa dommageable (qui aura des impacts sociaux, économiques ou matériels sur la société) et lorsque l'alerte est donnée, cela doit amener à une conscience effective du danger qui est en cours, et à une réaction (en théorie) appropriée de la part de la population et des services opérationnels (Durand, 2014). Tous ces éléments sont néanmoins difficiles à mettre en œuvre lors de situations réelles, et certaines pratiques dérogent aux préconisations (Ruin et Luoff, 2007).

Face à la récurrence des crues rapides, observées ces dernières années, de nombreux progrès ont été observés : amélioration des prévisions des pluies fortes aux échelles fines, déploiement du *Plan Submersions Rapides* depuis 2011 (avec notamment un volet sur l'amélioration des systèmes d'alerte), mise en place du service d'avertissement aux pluies intenses (APIC), installation de nouveaux radars dans les Alpes dans le cadre du projet RHYMME (**chapitre 2**), mise en place de l'application SAIP en 2016 (**chapitre 4**). D'autres améliorations sont aussi attendues pour 2017 : déploiement de la vigilance *VigiFlash* à l'échelle nationale (simulation des réactions hydrologiques attendus avec le modèle AIGA sur près de 4 000 bassins < 50km²), harmonisation du système d'alerte et d'information à la population, expérimentations de systèmes d'alerte dans les établissements scolaires... (**chapitre 2**).

Néanmoins, les dispositifs institutionnels souffrent encore de plusieurs problèmes :

- une assez faible considération pour les initiatives citoyennes (**chapitre 2**),
- la distribution spatiale des sirènes et leur portée sonore sont inégales (**chapitre 4**) ;
- la surveillance hydrologique opérée à l'échelle nationale porte sur 18% des cours d'eau, ce qui exclut la quasi totalité des petits cours d'eau de moins de 10 km² (**chapitre 1**) ;
- le Réseau National d'alerte (RNA), en grande partie hérité de la seconde guerre mondiale, semble désuet et il a déjà montré ses limites par le passé (**chapitre 2**) ;
- les acteurs de la chaîne de prévision sont très (voire trop) nombreux (**chapitre 2**).

Tous ces éléments rendent difficile une minimisation efficace des dégâts matériels et humains lors des phénomènes à courte acuité temporelle tels que les crues rapides. Ces aléas prennent à défaut les dispositifs existants compte tenu du caractère très localisé de leur apparition et de la taille réduite des bassins au sein desquels ils se manifestent. A l'échelle du département du Vaucluse, plus de la moitié des communes (53%, 81 sur 151) ne sont pas couvertes par la portée sonore des sirènes RNA. Cette couverture est plus efficace pour les communes situées à proximité du Rhône et ses principaux affluents (**chapitre 2**). L'inégale qualité des services rendus par les opérateurs téléphoniques continue par ailleurs d'alimenter la problématique des « zones blanches » et la réalité des inégalités territoriales

semble prévaloir sur les mixités spatiales (**chapitre 3**). Il est donc urgent d'améliorer le système en place, ne serait-ce qu'en mutualisant tous les outils qui existent (de l'échelle locale à la national).

>> L'individu, un maillon faible alors que l'on attend beaucoup de lui

Malgré un arsenal réglementaire relativement complet (**Annexe 4**) et qui a pour finalité le bien-être et la sécurité des biens et des personnes, l'individu reste peu impliqué dans la mise en place des politiques de gestion du risque inondation, et il trouve par conséquent peu d'intérêt à leur mise en œuvre, ce qui rejoint les précédents travaux de Goutx (2002). Trois éléments justifient une telle posture :

1. Les individus sont considérés comme des « ignorants », des « élèves » à qui les institutions doivent enseigner le risque d'inondation et les moyens d'y faire face (Gentric et Langumier 2009, cités par Goutx, 2012). Alors que la loi de Modernisation de la Sécurité Civile de 2003 demande aux citoyens d'adapter les bons comportements, et malgré les efforts d'information et de communication faits ces dernières années, l'individu est peu sensible à cette question, ce qui se confirme ne serait-ce que par la faible proportion des personnes qui ont connaissance des applications pour être alerté en cas d'événements par exemple (**chapitre 4**).

2. Les primes du dispositif CATNAT n'étant ni modulées selon les zones reconnues à risque, ni selon les efforts de protections réellement fournis, la faible (voire très rare) application des prescriptions sur le bâti existant dans les PPRI) amènent le citoyen à s'exposer volontairement sachant que quoi qu'il arrive, il sera indemnisé. L'enquête menée dans plusieurs communes du Var et du Vaucluse (portant sur les usages des smartphones) confirme ce manque de culture du risque face aux inondations (**chapitre 4**) alors que les expérimentations avec le prototype *Al'in* ont donné lieu à plus de questions et d'implications (**chapitre 6**).

3. Les outils d'information préventive (PPR, DDRM, DICRIM, IAL, repères de crues) et tout l'arsenal de préparation à la gestion de crise (PCS, Vigicrues, Réserves Communales de Sécurité Civile, Plans Familiaux...) s'inscrivent dans une démarche visant à développer une certaine culture du risque. Les technologies smartphones ont une place à jour en complément de tous ces efforts déjà réalisés, donc aussi bien en amont (**chapitre 3**) qu'en aval d'une crise (**chapitres 4, 5 et 6**). Mais la culture du risque reste encore une notion à définir car elle relève d'une norme sociale et d'un effet de mode, plus que d'une attitude réelle.

Eu égard à tous ces éléments, on comprend que l'individu soit peu sensibilisé à la question du risque inondation (qu'il faut replacer dans le quotidien) et que les comportements que l'on attend de lui durant un événement, et notamment au cours de l'alerte, soient loin d'être conformes aux préconisations.

Le recours aux smartphones comme un outil de remobilisation citoyenne

>> Des outils numériques de plus en plus sollicités durant les inondations

Les technologies numériques ont toujours été présentes en appui à la préparation de l'alerte. Que ce soit dans les capteurs installés dans les cours d'eau ou à l'échelle des bassins versants, dans les modèles hydrologiques, dans les radars ou dans les satellites, le numérique y joue un rôle déterminant. En permettant une interconnexion de toutes ces bases de données, recueillies à travers un réseau de télécommunication, le numérique facilite la collecte, accélère les traitements et fiabilise les analyses. En cas de déclenchement de la procédure d'alerte, les technologies numériques sont d'abord sollicitées dans une logique descendante, en fonction de la population visée, de la nature des événements et de l'urgence de la situation : la radio ou la télévision pour le quotidien, internet pour les « connectés », les

panneaux numériques pour signaler aux automobilistes un accident avéré sur leur chemin, les automates d'appels massifs pour cibler un territoire avec danger. Les smartphones sont, à cet effet, une piste très intéressante pour mieux intégrer dans ces outils les déplacements des personnes, et ce point explique en partie l'expansion de solutions logicielles et matérielles de ces dernières années (**chapitre 2**). Leurs usages dans une logique ascendante (*bottom-up*), à travers l'intégration des remontées citoyennes sur les réseaux numériques, sont aussi en plein essor. Les administrations commencent à intégrer le fait qu'elles doivent se positionner sur ces outils pour non seulement, atteindre une population qu'elles ne touchaient pas auparavant avec les outils traditionnels, mais également pour confirmer ou infirmer les informations qui y circulent, en faisant par exemple offices d'organismes référents (**chapitre 3**).

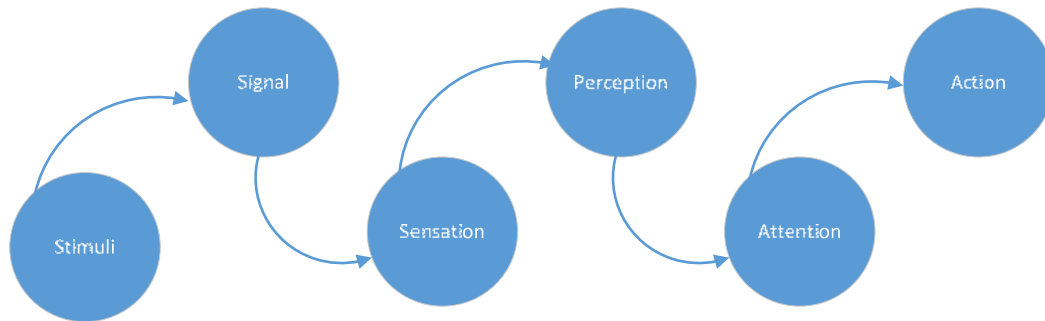
>> Des outils d'aide à la décision, supports de nouvelles initiatives citoyennes

Dans la mesure où le smartphone est l'un des terminaux le plus souvent utilisés en mobilité, il représente un support pertinent pour atteindre les personnes en déplacement (et qui font partie des plus vulnérables durant les crues rapides), et réduire ainsi leur exposition sans forcément attendre une alerte d'origine étatique. A travers une communication omnidirectionnelle enrichie (texte, son et images) et localisée, le smartphone s'affirme comme un appareil dont il faut désormais tenir compte en matière de gestion des risques (**chapitre 3**). Avec l'avènement du Web 2.0 et des smartphones, qui ont permis d'associer à la fois leurs propres données à leur localisation, les individus sont devenus de plus en plus actifs et présents dans le domaine de la production de données à caractère spatialisé : ces individus consultent, mais ils contribuent également de façon plus régulière et plus détaillée que celles issues d'institutions officielles (Goodchild, 2007 ; Elwood, 2008 ; De Longueville *et al.*, 2010b ; Gill et Bunker, 2012). En utilisant les observations faites en temps réel par les individus, et en explorant ces remontées d'informations en cas d'événements extrêmes, on peut compléter des données manquantes (comme, par exemple, pour mieux calculer les vitesses d'écoulement par *Large Scale Particle Image Velocimetry* ; Hauet, 2006). Les dispositifs actuels ont du mal à détecter le début des événements, et le début des dommages avérés. Le citoyen pourrait être davantage sollicité (prises de photos lors des campagnes terrain de l'ANR FLOODSCALE), et surtout y trouver un plus grand intérêt (sécurité).

Le premier obstacle à surmonter en vue de concrétiser cette ambition est de pouvoir obtenir le consentement du citoyen, comme l'impose la réglementation (**chapitre 4**). Il est capital d'aller au-delà de l'interprétation triviale du citoyen capteur, c'est-à-dire un individu qui fournit, sans s'en apercevoir, des mesures sur des propriétés observées. Il faut l'impliquer dans une démarche volontaire. Ensuite, même en combinant des données spatiales provenant de sources expertes, cette information (GVI) est à la fois peu structurée et insuffisamment documentée. En effet, le grand nombre et la grande variété des plateformes permettant la création de ce type de données sont génératrices de confusions et surtout d'une grande hétérogénéité. Ainsi, est-il naturel de s'interroger comme Bishr et Janowicz (2010), sur le type d'infrastructure de données spatiales à définir pour gérer de façon pertinente les données de type VGI. Comment passer d'une simple production de données à une production de connaissances, et faire émerger une « science citoyenne » ?

Une réponse à ces préoccupations passe tout d'abord par le renforcement du contrôle sur la chaîne de production des données, en mettant en place une méthode standard de création basée sur un nombre de volontaires bien formés. En second lieu, un « contrôle qualité » peut être géré à travers une démarche volontaire et grâce à une communauté d'utilisateurs qui peuvent agir comme des contrôleurs de l'information et de sa fiabilité. Une troisième option serait de transformer le défi que représente l'abondance des données en une opportunité symbolisée par l'extraction de l'information pertinente, en appliquant un mécanisme de validation multi-échelles. En d'autres termes, le problème de la qualité des données peut être réglé en agrégeant non seulement les inputs issus de différentes personnes mais en traitant ces derniers à l'aide d'un processus de regroupement selon leurs liens avec un contexte donné. Cette approche est confirmée par les travaux de Lee (1994) ainsi que de de Schade *et al.* (2010) qui proposent par exemple un procédé en cinq étapes (**Fig. C.1**) pour traiter les images postées sur le

site Flickr⁷⁶ ainsi que les métadonnées qui leur sont associées (titre, description, tags, date et heure, localisation) en vue de détecter et de localiser les inondations dans une zone géographique. Ainsi faire sens avec les données de type VGI devient possible dans la mesure où une information bien exploitée peut renforcer la précision des informations et les connaissances sur les événements en cours.



Source : Schade *et al.* (2010)

Figure C.1 : Etapes du procédé proposé par Schade *et al.*

>> Une nouvelle application, plus simple, plus intuitive, et participative

En France, les applications proposées pour alerter les populations obéissent à une approche descendante car ils dépendent toujours d'une autorité, même si, initialement, elles ont été réalisées par un acteur privé. Seul le maire ou l'autorité compétente est habilité à se servir de cet outil pour alerter la population relevant de son bassin de risque. Toutefois, ces applications intègrent très peu le point de vue et les avis des utilisateurs. Leur usage est en quelque sorte imposé par l'autorité. La population est invitée à utiliser une application sans même avoir été consultée au préalable, et elle n'en comprend pas les objectifs. Dans l'application SAIP, par exemple, l'utilisateur est un acteur passif car l'application n'est utilisée essentiellement qu'à titre consultatif. Il peut, certes, relayer sur les réseaux sociaux numériques les alertes qu'il reçoit, mais pas ses propres observations (**chapitre 4**). Certains utilisateurs n'ont pas non plus intégré qu'il fallait se situer dans un certain rayon de couverture (selon le réseau téléphonique et la source du danger) pour pouvoir recevoir des alertes ; elles s'en plaignent car elles ne comprennent pas pourquoi aucune alerte ne leur parvient lorsque des événements surviennent.

Face à ces constats, l'application créée (*Al'in*) tente de mieux concilier l'approche citoyenne et l'approche étatique (qui a pour mission de valider les remontées d'information et, si elle le souhaite, d'en informer des individus dans un rayon circonscrit). Elle répond à des besoins évalués aux échelles locales (**chapitre 4**) et part du principe qu'il faut rendre l'outil plus simple (vulgarisation scientifique), plus intuitif (indiquer le niveau d'eau en fonction d'éléments faciles à identifier) et plus participatif (le citoyen est le lanceur de l'alerte). L'utilisateur ne fournit pas non plus uniquement de la donnée : il a bien, en retour, de l'information qui peut le guider ou le rassurer (**chapitre 6**).

Le passage de la conception à la réalisation d'*Al'in* a nécessité de faire des compromis entre cohérence et fonctionnalité. La cohérence est liée au fonctionnement du système dans son ensemble et aux objectifs finaux que l'on a souhaité atteindre. Les fonctionnalités quant à elles dépendent de l'outil de développement utilisé. Dans le cas présent, la plateforme App-Inventor était la plus adaptée pour aboutir à une simplification des paramètres (le niveau de l'écoulement est par exemple évalué en fonction du rapport au corps (cheville, mollet, genoux) et l'intensité de la pluie selon l'usage ou non du parapluie. Toute observation déclarée par le système est ensuite considérée comme un événement, ce qui simplifie et rend plus efficace la mise en œuvre des requêtes (en lecture et en écriture) au niveau de la base de données (**chapitre 6**). Dans la mesure où ces données peuvent être consultées, alimentées ou partagées par tous (dans le respect de la réglementation), le lien avec les *Big data* va de soi.

⁷⁶ <https://www.flickr.com/>

>> **Quelle place finalement pour les smartphones dans l'alerte ?**

Compte tenu du manque de dispositions légales précises autour de ces questions, il est ainsi préférable de considérer l'outil proposé comme UN élément (parmi d'autres) qui pourrait contribuer à améliorer les dispositifs actuels en France. L'introduction des technologies numériques grand public dans le domaine de l'alerte est récente et demande une appropriation par les politiques en place et par la population (pourquoi pas, dans une démarche co-construite entre tous). C'est la raison pour laquelle l'amélioration de l'alerte face aux crues rapides viendra plus d'une approche systémique que d'une solution technique (d'autant plus si elle est imposée pour tous sans aucun accompagnement).

Perspectives envisagées

Même si à l'heure actuelle, le prototype ne prend pas en compte toutes les préoccupations (ce qui serait d'ailleurs impossible), le système d'information sur lequel repose son fonctionnement est conforme aux contraintes technologiques et juridiques de l'alerte aux inondations en France. Il est robuste et fonctionnel et l'idée de le breveter est envisagée. Il ne s'agit pas d'utiliser une application particulière unique (payante ou non) mais d'avoir la possibilité d'en implémenter au niveau local sur la base du système d'information proposé. *Al'in* serait en quelque sorte une version clé en main que les communautés pourraient directement utiliser mais ce n'est pas l'objectif car il est question d'apporter une solution locale aux problèmes locaux en proposant une application qui a du sens pour la communauté.

La modélisation UML permet d'explorer la plupart des facettes relatives au fonctionnement et à la conception, l'implémentation et la mise en œuvre d'un système d'information. Elle permet de partir du stade de l'idée (à travers la définition des objectifs initiaux) à la réalisation (en se servant d'un outil indépendant) sans oublier la conception (qui se nourrit des échanges avec les différents futurs acteurs et utilisateurs du système). Particulièrement adaptée au développement d'applications smartphones grâce au concept de cas d'utilisation, les outils de conception proposés par ce langage tiennent compte de la temporalité des interactions non seulement entre utilisateurs mais également entre l'utilisateur et le système et même, à un autre niveau, des actions du système en interne (**chapitre 5**). Cette particularité rend facilement transposable la modélisation obtenue lorsqu'il s'agit d'investir un domaine similaire.

Sans une approche globale intégrant l'ensemble des acteurs concernés par cette problématique, même la meilleure des applications ne pourrait fonctionner toute seule. Aussi, comment mieux valoriser le potentiel du citoyen et celui des outils numériques au sein d'une communauté dans une politique de gestion du risque inondation à travers l'usage des smartphones ? Voici à travers 7 étapes quelques pistes à explorer ou des éléments de réponse qui devraient être poursuivis :

Etape 1 : Connaître le risque, son histoire, ses traces

Il s'agit pour le maire ou pour ses responsables en charge de la question du risque inondation, d'aller au-delà des documents officiels (DDRM, DICRIM) et de les compléter par la connaissance locale, et citoyenne. Les retours d'expérience et les souvenirs des populations pourront être épluchés à ce sujet. La mise en place d'un observatoire d'échange et de discussion entre administrateur et administrés est un point de départ.

Etape 2 : Connaître sa population

Ici pourront entrer en ligne de compte les données du recensement. Il s'agira d'identifier avec précision des différentes catégories socio-professionnelles ainsi que leur répartition par tranche d'âge. Cette classification devra également mettre en évidence le nombre de détenteurs de smartphones, les types de systèmes d'exploitation avec toujours une répartition par tranche d'âge et par sexe.

Etape 3 : Identifier et comprendre le rapport de la population au risque

Ce n'est plus la culture du risque qui doit prévaloir, mais le rapport au risque. Selon qu'ils aient ou non déjà été exposés ou victimes, les citoyens ne perçoivent pas le risque de la même manière. Par conséquent si chez certains on peut observer une extrême prudence, chez d'autre c'est l'indifférence ou la négligence totale qui prévaut. Parler d'un manque sinon d'une absence de culture du risque induit d'une certaine manière une méconnaissance totale de l'existence potentielle du risque voire même une absence complète de questionnements personnels préalables sur le sujet. Chaque groupe social appréhende le risque à sa façon en l'intégrant dans son patrimoine construit de connaissances.

Etape 4 : Evaluer le rapport de la population aux outils numériques et aux smartphones

Le rapport au numérique : il est important d'identifier les usages des individus en ce qui concerne les outils numériques. Il s'agit de comprendre à quel point les outils numériques sont ancrés dans leur quotidien. Comment et où s'en servent-ils le plus souvent ? Comment plus spécifiquement le smartphone est-il sollicité et intervient-il dans leur vie sociale ?

Etape 5 : Impliquer la population pour tirer le maximum de bénéfice lié à leur mobilité

Avoir des personnes ressources, relais et responsables (3R). **Ressource**, dans la mesure où ces personnes peuvent être volontairement mobilisées. Elles participent à un projet d'intérêt commun, une co-construction sociétale dont l'objet sera d'aboutir à une amélioration du dispositif de gestion du risque inondation. Projet qu'elles s'approprient et nourrissent de leurs connaissances et de leurs expériences personnelles ainsi que de leurs expertises. **Relais**, car ces personnes seront les vecteurs et des sources d'information au sein de la communauté. Garants du bon fonctionnement du dispositif en place et de sa maintenance. Dès lors **Responsables**, ils participeront en outre comme dépositaires de la connaissance relative au dispositif de transmission des bonnes pratiques en cas d'inondation. La mise en place d'un réseau *mesh* wifi communautaire peut être un point de départ en termes de projet fédérateur et pérenne. Sur ce réseau pourra être déployé un système d'information à la base du système d'alerte local intégrant l'usage d'une application spécifique.

Etape 6 : Investir dans l'équipement

L'investissement dans l'équipement ne doit pas se faire sans la mise en place d'une stratégie mobile efficace. L'idée est de pouvoir améliorer la couverture et l'accès au dispositif numérique de mobilité. Pour réussir ce challenge deux contraintes majeures doivent être prises en compte : sécurité et choix de bons équipements. La sécurité consiste à la détermination du niveau de contrôle que l'on souhaite maintenir : opérer un choix entre filtrage des équipements admis, autonomie des utilisateurs et fourniture en amont du matériel qui sera utilisé puis définition de la stratégie de contrôle en aval. Les équipements portent à la fois sur les logiciels et le matériel. Il s'agit essentiellement de se doter de solutions offrant non seulement une gestion optimale des périphériques mobiles mais également leur suivi à distance tout en respectant les règles de confidentialité et de vie privée.

Etape 7 : Réaliser une application qui fait sens pour la population

Il s'agit d'une application qui répond véritablement aux besoins relevés plus haut et qui s'inscrit dans le quotidien des citoyens en tenant compte de leur rapport au risque. Cela se fera à partir des résultats obtenus lors des quatre premières étapes. A ce stade l'enjeu sera de ne pas essayer de réaliser une application qui peut tout faire, une sorte de couteau suisse surchargé. Il s'agira de trouver un bon compromis entre usages habituels et attentes pour une gestion de risque efficace du risque inondation tout en évitant d'ajouter un caractère anxigène au dispositif. Le système d'information envisagé pour l'application *Al'in* de même que l'application elle-même peuvent être exploités comme points de départ à cet effet.

Références bibliographiques

A

- Agasse E.** (2005) - *Les crues de rivières en Basse-Normandie. Expression d'un système hydrogéographique complexe en milieu tempéré océanique*. Thèse de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie, 551 pages.
- Ahnert P.** (2010) - *National Weather Service Flash Flood Warning Program. Early Warning for Flash Floods*, International Workshop, Praha 16p
- Alam S. M. I., S. Fahmy et Y. H. Lu** (2015) - LiTMaS: Live road traffic maps for smartphones. *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 2015 IEEE 16th International Symposium on a, Boston, MA, 2015, pp. 1-6.doi: 10.1109/WoWMoM.2015.7158217
- Alexander D.** (1993) - *Natural disaster*, UCL Press.
- Allport G. W., et Postman, L. J.** (1947) - *The psychology of rumor*. NewYork: Holt, Rinehart & Winston.
- Alqahtani M. et Atkins A. S.** (2016) - Mobile Maturity Models for Mobile Transformation. *Procedia Computer Science*, vol. 83, pp. 1070-1077.
- Anquetin S. et al.** (2013) - EAGER (Extreme events Archived in GEological Records) workshop, 2013 Nov. 7-8th, NCU, Taiwan; 5p.
- Anquetin S. et al.** (2004) - *Increasing the forecasting lead-time of Weather Driven Flash-floods*. Institute for Environment and Sustainability - Joint Research Centre. 47p.
- Anthony E. J.** (2007) - Problems of hazard perception on the steep, urbanised Var coastal floodplain and delta, French Riviera, *Méditerranée* n°108, pp.91-97
- Anthony P. et Somé S. S.** (2008) - Aspect-Oriented Use Case Modeling for Software Product Lines. EA-AOSD'08, Brussels, Belgium.
- Antoine J.M., Desailly B. et Gazelle F.** (2001) - Les crues meurtrières du Roussillon aux Cévennes. *Annales de Géographie*, n°110, pp.597-623
- Anziani A.** (2010) - Xynthia : une culture du risque pour éviter de nouveaux drames. *Rapport d'information de fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia*. n° 647 tome I (2009-2010) - <https://www.senat.fr/rap/r09-647-1/r09-647-1.html>
- Aouag M.** (2014) - *Des diagrammes UML 2.0 vers les diagrammes orientés aspect à l'aide de transformation de graphes*. Thèse Option : Systèmes distribués, Université Constantine 2
- Arabo A.**(2015) - Cyber security challenges within the connected home ecosystem futures. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 61, p. 227-232.
- Arnaud P. et Lavabre J.** (2000) - La modélisation stochastique des pluies horaires et leur transformation en débits pour la prédétermination des crues. Using a stochastic model for generating hourly rainfall and a rainfall runoff transformation model for flood frequency estimation. *Revue des sciences de l'eau*, vol 13, n° 4, pp. 441-462.
- 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*. Janvier-mars, vol. 8, n° 1. pp. 17-33.
- Artigue G., Dumas D., Mertz C., Wesolek E.** (2010) - *Episode pluvio-orageux du 15 juin 2010 sur le Var : Retour d'expérience sur la prévision météorologique et hydrologique d'un épisode diluvien exceptionnel*. Edition KERAUNOS - Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents. 20p.
- Artigue G., Johannet A., Borrell V., et Pistre S.** (2012) - Flash flood forecasting in poorly gauged basins using neural networks: case study of the Gardon de Mialet basin (southern France). *Natural Hazards and Earth System Sciences* n°12. pp 3307-3324, 2012

Associated Program on Flood Management (APFM) (2007) - *Guidance on Flash Flood Management - Recent Experiences from Central and Eastern Europe*. 66p.

Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles et Institut de Maitrise des Risques (AFPCN, IMR) (2010) - Journée vigilance et alerte, Système d'alerte local et attentes des utilisateurs. *Compte rendu* consulté le 03/10/2016 à l'adresse <https://afpcn.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/Compte-rendu-provisoire-du-12.01.10.pdf>

AFPCN et IMR. (2012) - *Prévision, Vigilance, Alerte, Bilan et Perspectives*. 41p. <https://afpcn.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/10/Synth%C3%A8se-GT-Alerte-finale-v2.pdf>

Aublet B. (2014) - L'action en situation d'urgence : facteurs d'efficacité dans la gestion du réseau routier en cas de crues rapides. L'exemple du département du Gard. thèse de Géographie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2014.

Auf der Heide E. (1989) *Disaster Response: Principles of Preparation and Coordination*. St. Louis, Missouri: C.V. Mosby Company (Chapter 2 entitled: "The Apathy Factor," pp. 13-32).

Auld H. (2008) - Réduire les risques de catastrophe associés aux conditions climatiques et à leur évolution, *Bulletin de l'OMM* n°57 (2) - Avril 2008, 118-125

Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP) (2016) - *Observatoire sur la couverture et la qualité des services mobiles*. Juillet 2016, Statistiques ARCEP.

B

Badiane A. (2015) - *Améliorer les connaissances sur les crues rapides survenues au XXème siècle dans le Vaucluse*. Mémoire de Master Mention : Géomatique et Conduite de Projets Territoriaux. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse.

Badoux A., Turowski J. M., Mao, L., Mathys N. et Rickenmann D. (2012). Rainfall intensity-duration thresholds for bedload transport initiation in small Alpine watersheds. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(10), 3091-3108.

Bahoken , F.(2009). Functional regions based on Intramax procedure, in Grasland C. & al., *Toolbox for flows and network analysis (Methodological Paper)*. *Deliverable D.5.1. EuroBroadMap. Vision of Europe in the World. Small or medium scale focused project* FP7-SSH-2007-1, 2009, pp. 20- 65.

Bakis H. (2014) - Le numérique territorial en ses lieux. *Netcom* [En ligne], 26-3/4 | 2012, mis en ligne le 04 mars 2014, consulté le 17 septembre 2016. URL : <http://netcom.revues.org/970> ; DOI : 10.4000/netcom.970

Bakker S. (2012) - *Cultural heritage in the post-PC era*. Mémoire de master non publié, Université de Leyde, Pays-Bas). Récupéré le 29 juin 2015, du site du Centre allemand de connaissance sur l'héritage digital : http://www.den.nl/art/uploads/files/Publicaties/CulturalHeritagePostPcEra-Sjoerd_Bakker.pdf

Balestrini M., Diez T., Kresin F. (2015) - From Participatory Sensing to Making Sense. *ENVIP'2015. Proceedings of the Workshop " Environmental Infrastructures and Platforms 2015 - Infrastructures and Platforms for Environmental Crowd Sensing and Big Data*.

Ballais H., Ballais J.-L. (1994) - *Éléments pour une histoire des inondations dans le Calvados aux XVIIIe et XIXe siècles d'après les archives départementales*. Travaux du centre de recherche en géographie physique de l'environnement, CREGEPE, Caen, 5, p. 19-44.

Ballais J.-L., Bonté P., Masson M., Garry G. et al. (2004) - L'évolution du risque d'inondation par les cours d'eau méditerranéens français : le rôle de l'accumulation dans le lit majeur, *Bulletin de l'Association de géographes français*, 81^e année, n° 2004-1. Proximités spatiales dans la ville. Risques naturels, risques de sociétés. pp. 64-74.

Banque Mondiale (2012) - *Information and Communications for Development 2012: Maximizing Mobile*. The World Bank, 2012.

Barlette Y.(2011) - Vers une implication et une action des dirigeants de PME dans la sécurité de leur système d'information In : *TIC et innovation organisationnelle : Journées d'étude MTO'2011* [en ligne]. Paris : Presses des Mines, 2012 (généré le 24 septembre 2016). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/pressesmines/144>>. ISBN : 9782356710970.

Barr, E. T., Harman, M., McMinn, P., Shahbaz, M., et Yoo, S. (2015). The oracle problem in software testing: A survey. *IEEE transactions on software engineering*, n°41(5), pp.507-525.

Barret I., Jacq V. et Rivrain J.-C. (1994) - Une situation à l'origine de pluies diluviennes en région méditerranéenne, L'épisode orageux des 22 et 23 septembre 1993 sur le Sud-est de la France. *La Météorologie*, 8^e série, n°7, pp.38-59

Barthelon C. (2006) - Valdaine : retour d'expérience RTM. *Actes de l'atelier transfrontalier sur les crues torrentielles*. pp.58-61. Projet n° 098 « PRINAT - Création du Pôle des risques naturels en montagne de la COTRAO » http://www.fondazionemontagnasicura.org/asset/Actes_atelier_torrents_188.pdf

Bauchard D. (2014). Bilan du printemps arabe. *La géopolitique du printemps arabe, 6^e séminaire* à Bruxelles 3 juillet 2014 • Breydel 2. pp 8-13. Consulté le 18/09/2016 à l'adresse http://www.ihedn.fr/userfiles/file/publications/Brusselsday_2014_web.pdf

- Bénard C.** (1990) - *Le cahier des charges d'une application informatique*. Editions d'organisation. 190p.
- Benech B., Brunet H., Jacq V., Payen M., Rivrain et Santurette P. J.-C.** (1993) - La catastrophe de Vaison-la-Romaine et les violentes précipitations de septembre 1992 : aspects météorologiques. *La Météorologie*, 8^e série, n°1, pp.72-90
- Bennama M., et Bouabana-Tebibel T.** (2009) - Formalisation du diagramme global d'interaction. *STIC 2009*.
- Bérenghier J.** (1993) - Les dommages causés à l'agriculture en Vaucluse et dans le sud de la Drôme le 22 septembre 1992 n : *Revue de géographie de Lyon*. Vol.68 n° 2-3, 1993. Risques naturels dans le couloir rhodanien : les excès pluviométriques. pp. 171-174
- Berry C., Harbord J. et Moore R.O.** (2013) - Public space, media space, *Basingstoke : Palgrave Macmillan*: 1-15 (Introduction).
- Bezahaf M., Lannone L., Dias de Amorim M., Fdida S.** (2011) - LORD : Tracking Mobile Clients in a Real Mesh, *Ad Hoc Networks*, vol. 9 (8), pp. 1461-1475
- Bhagi A.** (2012) - *Android Game Development with AppInventor*. Master thesis of Engineering in Electrical Engineering and Computer Science Massachusetts Institute of Technology.94p. Consulté le 24/09/2016 à l'adresse : http://appinventor.mit.edu/explore/sites/all/files/Resources/Thesis_FINAL_AnshulBhagi.pdf
- Bianco P. et Bardou E.** (2006) - Canton du Valais : Crues et laves torrentielles - Analyse des danger et dimensionnement des systèmes de protection dans le bassin versant de la Dranse. P58-61. *Actes de l'atelier transfrontalier sur les crues torrentielles. Projet n° 098 « PRINAT - Création du Pôle des risques naturels en montagne de la COTRAO »*
- Bird D., Ling, M. et 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.
- Bishr M. et Janowicz, K.** (2010). Can we Trust Information ? - The Case of Volunteered Geographic Information. In *Workshop at Future Internet Symposium Towards Digital Earth: Search, Discover and Share Geospatial Data*.
- Bjerklie D., Dingman S., Vorosmarty C., Bolster C. et Congalton R.** (2003) - Evaluating the potential for measuring river discharge from space, *Journal of Hydrology* n° 278, 17-38
- Bjerknes V.** (1904). Das problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Meteorologische Zeitschrift*, Wien 2 n°1, pp.1-7.
- Blanc P.**(2015) - Les PCS 10 ans après, point de vue du ministère de l'intérieur : Bilan, enseignements et pratiques. Quelles perspectives ? *Risques infos*, n°34 pp. 4-6. Nov. 2015 : Sauvegarde des populations : Le Plan Communal de Sauvegarde, 10 ans après. Institut des Risques Majeurs. http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques_infos/N34/risques_infos34.pdf au 22/09/2016.
- Blöschl G.** (2008). Flood warning - on the value of local information. *Int. J. River Basin Manage.* 6 (1), 41-50.
- Bogardi J., Villagran de León J. C., Dannenmann S. et Basher R.** (2006) - Early Warning Systems in the context of Disaster Risk Management, *Entwicklung & ländlicher raum* n°2/2006 , pp. 23 -25
- 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 Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2013.
- Bonnell P.** (2002) - *Prévision de la demande de transport. Habilitation à diriger les recherches*, Université Lumière Lyon 2, Lyon, 409 p.
- Bontron G. et Obled C.** (2003) - Prévision à moyenne échéance des pluies intenses en zone méditerranéenne par recherche de situations analogues. *IAHS Publ.* n° 273, pp. 257-262.
- Borga M.** (2007) - *Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting*. Research plan. University of Padova, 130.
- Borga M., Anagnostou E.N., Blöschl G. et Creutin, J.-D.** (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. *Environ. Sci. Policy* 14 (7), 834-844.
- Borrell V. E., Dartus D. et Alquier M.** (2007) - Forecasting flash floods in ungauged basins with satellite data. Predictions in Ungauged Basins: PUB Kick-off (Proceedings of the PUB Kick-off meeting held in Brasilia, 20-22 November 2002). *IAHS Publ.* 309, 200. pp. 249-257.
- Boudevillain et al.** (2009) - Cyclogenèses et précipitations intenses en région méditerranéenne : origines et caractéristiques. *La Météorologie*-n° 66- août 2009. pp. 18-28.
- 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. Récupéré le 16 juin 2016 du site tel-archives-ouvertes.fr : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01253728>
- Bourrelle P.-H., Deneufbourg G., et de Vanssay, B.** (2000) - *Les catastrophes naturelles, le grand cafouillage*, Osman Eyrolles Santé Société, Paris. 262p.

Bradford R. A. et al. (2012) - Risk perception - issues for flood management in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences* n°12, pp.2299-2309.

Braud. I. (2011) - Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des bassins versants périurbains. 1re conférence thématique de l'OTHU, Jun 2011, Villeurbanne, France. GRAIE, p. 5 - p. 16.

Braud I., Ayrat P.A., Bouvier C., Branger F., Delrieu G., et al. (2014) - Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash-flood understanding. *Hydrology and Earth System Sciences*, European Geosciences Union, 2014, 18 (9), pp.3733-3761

Breas L. (2002) - Aspects méthodologiques du contrôle de l'informatique et des systèmes d'information. Un exemple : l'assurance maladie. In: Politiques et management public, vol. 20, n° 3, 2002. *Actes de la journée d'étude. Cour des comptes-chambres régionales des comptes « L'évaluation du contrôle interne »* - 7 décembre 2001. pp. 71-96.

Brémond P., Grelot F., Abrami G., et Blanc C. (2009) - Caractérisation des stratégies de gestion pour la modélisation de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations : Lier les dimensions spatiale, organisationnelle et temporelle d'un système complexe. In *3^{èmes} journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD* (pp. 17-p).

Brownlee B. et Liang Y. (2011) - *Mobile Ad Hoc Networks: An Evaluation of Smartphone Technologies*. Royal Military Coll Of Canada Kingston (Ontario), 2011.

Bründl M. et Rickli C. (2002) - The storm Lothar 1999 in Switzerland - an incident analysis. *Forest snow and landscape research*, Vol. 77 n° 1-2 (01/06/2002). Disponible à l'adresse : http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2716/downloads/%C4%8Clanki_vaje/Brundl_Rickli_2002.pdf. Consulté le 08/09/2015

Bull. M. (2004) - *To each their own bubble': Mobile spaces of sound in the city*. In: Couldry N and McCarthy A (eds) *Mediaspace: Place, Scale and Culture in a Media Age*. New York: Routledge, 275-93.

Bureau de l'Analyse et de la Préparation aux Crises (BAPC) de la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles Sous Direction de la Gestion des Risques (2006) *Guide méthodologique « La conduite du retour d'expérience, éléments techniques et opérationnels*. Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement Territoriale .120p.

C

Caisse Centrale de Réassurance (CCR) (2016a) - *Les catastrophes naturelles en France - Bilan 1982 - 2015*. Accès : https://www.ccr.fr/documents/23509/29230/Bilan_CatNat_1982-2015.pdf/326b8219-e0cb-419c-a83f-4ec2837c3ddb

CCR (2016b) - *Rapport d'activité 2015 : Au cœur des enjeux d'aujourd'hui*. CCR. 44p. Disponible au 28/09/2016 à l'adresse : <http://content.zone-secure.net/CCR-RAPPORT-ACTIVITE-2015/publication/contents/pdfweb.pdf>

Calot G. et Nadot R (1977) - Combien y aura-t-il de naissances dans l'année ? In: *Population*, 32^e année, n°1. pp. 185-229, disponible au 03/10/2016 à l'adresse : http://www.persee.fr/doc/pop_0032-4663_1977_hos_32_1_16476

Calvet M., Lemartinel B. (2002) - Précipitations exceptionnelles et crues-éclair dans l'aire pyrénéo-méditerranéenne/High intensity rainfalls and flash floods into the Mediterranean Pyrenees. In : *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. Janvier-mars, vol. 8, n° 1. pp. 35-49.

Cavalière C. (2015) - *Des tweets pour l'observation des réponses sociales aux crues rapides de l'automne 2014 dans le sud-est de la France : quelles informations, quels traitements ?* Mémoire de Master « Sciences du Territoire » Mention « Systèmes Territoriaux, Aide à la Décision, Environnement » (STADE) Université Joseph Fourier de Grenoble.88p.

Centre de la Nature Montagnarde(CNM) (2014) - Rapport d'activité 2014. 16p. Récupéré le 24/09/2016 <http://www.centrenaturemontagnarde.org/wp-content/uploads/2015/05/rapport-activites-CNM-2014-version-web1.pdf>

Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de vie (CREDOC) (2013) - *La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*. Conseil Général de l'économie, de l'Industrie, de l'énergie et des Technologies (CGEJET), Autorité de Régulation des Communications électroniques et des Postes (ARCEP), 2013.

Centres d'Études Techniques de l'Équipement(CETE) Sud-Ouest et le Centre d'Études sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme (CERTU) (2005) - Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations. Direction de la Prévention des pollutions et des risques - Sous-direction de la Prévention des risques majeurs. 116p.

Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) Direction Territoriale Méditerranée (2014) - *Retour d'Expérience des intempéries sur le département du Var du 19 janvier 2014*, Volet 1 - Caractérisation hydraulique de l'événement ; 94p.

Cerema Direction Territoriale Méditerranée (2014) - *Retour d'Expérience des intempéries sur le département du Var du 19 janvier 2014*. Volet 3 - Information préventive, gestion de crise et post-crise. 59p.

Cerema Direction Territoriale Méditerranée (2014) - *Retour d'Expérience des intempéries sur le département du Var du 19 janvier 2014*, Volet 2 - Conséquences et examen des dommages. 44p.

Ceresetti D. (2006) - *Structure Spatio-temporelle des fortes précipitations : application à la région Cévènes-Vivarais*. Thèse, spécialité Océan, atmosphère, hydrologie, Université de Grenoble. 287p

Cernesson F., Lavabre J. et Masson J.M. (1994) - Stochastic model for generating hourly hyetographs, *WMOIIAHS, ETH (Workshop, St Moritz, 30/11 - 04/12/94)*.

Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGDED) (2010) - *Prévision des crues et hydrométrie. Evaluation des réseaux et perspectives*. Paris : Conseil général de l'environnement et du développement durable, mars 2010.- 126 p., ann.

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.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/009151-01_rapport_cle24b1e6.pdf

CGEDD (2014) - Inondations (les) de janvier et novembre 2014 sur la commune de La Londe-les-Maures (83). Mission d'inspection de l'action des services de l'État. Rapport de fin de mission. Paris : Conseil général de l'environnement et du développement durable, décembre 2014.- 41 p.

Chak K. et Leung L. (2004) - Shyness and locus of control as predictors of internet addiction and internet use. *Cyber Psychology & Behavior*, 7, 5, 2004, pp. 559-570.

Chalmers et al. (2003) - Seamful Design: Showing the Seams in Wearable Computing, *Proc. IEE Eurowearable*, Birmingham, UK, 11-17, 2003.

Champion M. (1862) - Les inondation en France du VIe siècle à nos jours, vol n°4 et 5, Dunod; Cemagref Editions, réédition 2000.

Chapuis M. et Collomb D. (2012) - La cicatrisation des rivières méditerranéennes françaises après les grandes perturbations de la seconde moitié du XXe siècle : réponses des systèmes fluviaux et stratégies de gestion Exemples de la Durance, du Var, de la Cèze», *Méditerranée* [En ligne], 118 | 2012, mis en ligne le 30 mai 2014, consulté le 01 janvier 2016. URL : <http://mediterranee.revues.org/6276>

Charon J. M. (2011) - Les médias à l'ère numérique. *Les Cahiers du journalisme* n° 22/23 - p14-27.

Chateauraynaud F. et Torny D. (1999). *Les Sombres Précurseurs. Une sociologie pragmatique de l'alerte et du risque*, Paris, Éditions de l'EHESS.

Chateauraynaud F. (2006) - Préface. Dans J. Roux (coord.). Être vigilant. L'opérativité discrète de la société du risque. (p 8-12). Saint-Etienne, France : Université de Saint-Etienne.

Chen J. (2010) - *Flooded with water deficits - Optimal timing of an environmental flow, using forecasts in the operational management of a reservoir*. Master of Science Thesis for Civil Engineering and Management, Département WEM, university of Twente, fulfield at Deltares 96 p

Chocat B. (1997) - Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Lavoisier, Paris, 1124 pages (1997).

Claisse G. (1997) - L'abbaye des télémythes : techniques, communication et société. Aléas, 358 p., 1997.

Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) (2011) - *Smartphones et vie privée*. CNIL, Consulté le 19/09/2016 : <https://www.cnil.fr/sites/default/files/typo/document/CNIL-Etude-SMARTPHONES-2011.pdf>

CNIL(2012) - Smartphones et vie privée: pour une nouvelle vision de la protection des données ? *La lettre innovation et prospective de la CNIL* N°02 / février 2012. Consulté le 19/09/2016 : https://www.cnil.fr/sites/default/files/typo/document/Lettre_IP_2.pdf

CNIL(2014a) - Mobilitics, saison 2 : Les smartphones et leurs apps sous le microscope de la CNIL et d'Inria. *La lettre innovation et prospective de la CNIL* N°08 / novembre 2014. Consulté le 19/09/2016 : https://www.cnil.fr/sites/default/files/typo/document/Lettre_IP_N-8-Mobilitics.pdf

CNIL(2014b) - *Rapport d'activité 2014*. CNIL 94p. Consulté le 18/09/2016 https://www.cnil.fr/sites/default/files/typo/document/CNIL-35e_rapport_annuel_2014.pdf.pdf

Colbeau-Justin L. (2006) - De l'incrédulité à l'engagement individuel. Facteurs explicatifs de l'incrédulité face aux risques d'inondation et outils à élaborer pour amener riverains et décideurs à adopter un comportement responsable à la hauteur du risque d'inondation. Rapport pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

Coleman D. J., Georgiadou Y., Labonte J., Observation E. et Canada, N. R. (2009) - Volunteered Geographic Information: the nature and motivation of producers -. *International Journal of Spatial Data Infrastructures.*, Vol. 4, 332-358.

Collier C. G. et. Krzysztofowicz R. (2000) - Quantitative precipitation forecasting. *Journal of Hydrology.*, 239, 1-2.

Collier C. et Fox N.J. (2003) - Assessing the flooding susceptibility of river catchments to extreme rainfall in the United Kingdom. *International Journal of River Basin Management* 1 (3), 1-11.

Collier C. (2007) - Flash flood forecasting: what are the limits of predictability? *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 133 (622A), 3-23.

Collignon A. et Schopf J. (2007) - Informatique documentaire : le cahier des charges sous toutes les coutures. *Archimag Guide Pratique « Manager et développer son service infodoc »*, Groupe SERDA, pp.34-42.

Comby J. (1993) - Bilan social et économique de la séquence orageuse du 22 septembre 1992 dans le sud du couloir rhodanien In : *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 68 n° 2-3, 1993. Risques naturels dans le couloir rhodanien : les excès pluviométriques. pp. 175-192. Ddoi : 10.3406/geoca.1993.5855, url:/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113x_1993_num_68_2_5855 . Consulté le 03 septembre 2015

Commune de Draguignan, Direction Départementale des Territoires et de la Mer (2013) - *Plan de Prévention des risques naturels d'inondation*. 201p

Conder S. et Darcey L. (2011) - *Android wireless application development*, Developer's library.

Cosandey C. (1992) - De l'écoulement rapide de crue dans un petit bassin-versant forestier sur le bilan d'écoulement annuel, *Hydrologie continentale*, n°7/1, pp. 13-22.

Cour des comptes (2012) - Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var. *Rapport public thématique*. 305p. Consulté le 17/09/2016 <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/124000320.pdf>

Coussot P. et Meunier M. (1996) - Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Review*, n°40, pp209-227.

Coyle D. et 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.

Creswell J.W. (1998) - *Qualitative Inquiry and Research Design : Choosing Among Five Traditions*. Thousand Oaks : Sage Pub.

Créton-Cazanave, L. (2008) - Warning! What makes a meteorological information relevant during a flash-floods warning process ?. Communication présentée lors du 8th EMS Annual Meeting *7th European Conference on Applied Climatology*. Récupéré le 16 juin 2016 du site hal : <http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/halshs-00370138/>

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 Géographi, Université de Grenoble.

Creutin J. D., Borga M., Lutoff C., Scolobig A., Ruin I. et Créton Cazanave L. (2009). Catchment dynamics and social response during flash floods: the potential of radar rainfall monitoring for warning procedures. *Meteorological applications*, n°16(1), pp.115-125.

Cubizole H. et Rey P. (2000) - Crues et écoulements torrentiels : approche critique de la collecte et de la diffusion des données. In : *Géocarrefour*. Vol. 75 n° 4, 2000. L'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux. pp. 391-398.

D

Daponte P., De Vito L., Picariello F. et Riccio M. (2013) - State of the art and future developments of measurement applications on smartphones. *Measurement*, n°46(9), 3291-3307.

Dauge Y. (1999) - Les politiques publiques de prévention des inondations. *Rapport au Premier Ministre*, Paris, 56 p.

De Boissesson L. et Bouiron M. (2003) - Origines et conséquences de l'inondation du 19 septembre 2000 au dépôt archéologique municipal de Marseille. La prévention des sinistres dans les aires de stockage du patrimoine - Congrès International ; pp. 107-112

De Longueville B., Annoni A., Schade S., Ostlaender N et 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*, n°3(3), pp. 242-259.

De Sérévile E. (2009) - En matière de sécurité des systèmes d'information, normalisation et standardisation sont-ils des facteurs d'efficacité ? *Revue internationale d'intelligence économique* 2009/2 (Vol 1), pp. 271-287.

De Souza e Silva A. (2006) - From cyber to hybrid: mobile technologies as interfaces of hybrid spaces. *Space & Culture*, n°9 (3), pp. 261-278.

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.** (2014) - *Adaptation et évaluation d'un système d'anticipation de crues éclair sur des bassins de montagne non-jaugés*. Thèse de doctorat en hydrologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, École Doctorale Géosciences et Ressources Naturelles et Environnement. 262p.
- Delahaye D. (2002) - *Apport de l'analyse spatiale en géomorphologie - modélisation et approche multiscale des risques*. Rouen: Université de Rouen, Laboratoire MTG, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, 2 tomes, 250 p.
- Deloffre J. L. et Frasse M.** (1978) - Janvier 1978, mois de précipitations exceptionnelles sur la Basse Provence et la Côte d'Azur ; Min. Transports, Direct. Météorologie, Note technique 1, nov. 1978.
- Delrieu G.** (2006) - *Requirements for Flash Flood Hydrometeorological Monitoring*. INPG Grenoble. 35p. Récupéré le 21/09/2016 à l'adresse http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:12bb3c65-1b35-497e-bc92-90defa7ce30a/T23-06-01_flash_flood_monitoring_D23_1_v1_0_P01.pdf
- Dercourt J Paquet J ; Thomas P et Langlois Cl.** (2006) - *Géologie, Objets, méthodes et modèles*. 12^e éditions. Editions Dunod. Paris. 534p.
- Direction Générale de l'Offre de Soins (DGOS) du Ministère des Affaires sociales et de la Santé** (2013) - *Introduction à la sécurité des systèmes d'information*. 37p. Consulté le 24/09/2016 à l'adresse:http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_-_Introduction_a_la_securite_du_Systeme_d_Information_-_DGOS_-_091213.pdf
- Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR)** (2011) - *Plan submersions rapides, Submersions marines, crues soudaines et ruptures de digues*. 80p. Plan interministériel coordonné par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.80p. Récupéré le 22/09/2016 à l'adresse : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Le_plan_submersion_rapide.pdf
- Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises(DGSCGC)** (2013) - *Guide orsec G4, alerte et information des populations*, 91p. Récupéré le 21/09/2016 à l'adresse <http://www.interieur.gouv.fr/content/download/67723/491852/file/GUIDE%20ORSEC-juin%202013-T.G4.pdf>
- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Midi-Pyrénées** (2013) - *Crues des Pyrénées des 18 et 19 Juin 2013, Retour d'expérience global*, 75 p,
- DREAL PACA(Provence-Alpes-Côte d'Azur)** (2011). Unité de présentation « Littoral PACA ». *Evaluation préliminaire des risques d'inondation sur le bassin Rhône-Méditerranée*. 52p. Consulté le 22/09/2016 à partir de l'adresse http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dir-inondations/epri/12_EPRI_UPLittoralPACA.pdf
- DREAL PACA** (2014) - *Éléments sur les événements survenus dans le Var suite aux intempéries des 16 au 20 janvier 2014*, Retour d'expérience en cours, 66 p.
- Do-Duy T. et Vázquez-Castro M. A.** (2015) - Efficient communication over cellular networks with network coding in emergency scenarios," 2015 2nd *International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, Rennes, 2015, pp. 71-78. doi: 10.1109/ICT-DM.2015.7402048
- Doesken N. et Reges H.** (2011) - Création d'un réseau d'observateurs volontaires, *Bulletin de l'OMM* n°60 (1), pp. 48-52.
- Donnat O.** (2009) - Les pratiques culturelles des Français à l'ère numérique. *Culture études* 2009-5, pp1-12. Récupéré le 25/09/2016 à l'adresse : <http://www.pratiquesculturelles.culture.gouv.fr/doc/08synthese.pdf>
- Dottori F., Grazzini F., Di Lorenzo M., Spisni A. et Tomei F.** (2014) - Analysis of flash flood scenarios in an urbanized catchment using a two-dimensional hydraulic model. *Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions, Proceedings of ICWRS2014*, Bologna, Italy, June 2014 pp. 198-203.
- Douglas M. et Wildavsky A.** (1982). *Risk and Culture*. Berkeley, University of California Press.
- Douguedroit A.** (2004) - À propos de l'averse du 19 septembre 2000 à Marseille. In : *Méditerranée*, Tome 102, 1-2-2004. Geosystèmes montagnards et méditerranéens. Un mélange offert à Maurice Jorda. pp. 165-170
- Douguedroit A.** (2008) - Précipitations extrêmes et « crues urbaines » à Marseille (France) de 1861 à 2007. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 51, 2008, pp.105-114
- Douvinet J., Delahaye D. et Langlois P.** (2007) - Cellular Automata in Physical Geography - Use of CA models for assessing impacts of morphology during flash floods (France) Proc. of the XIVth European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG), 7-11 septembre 2007, Montreux, Suisse, pp. 127-132.
- Douvinet J.** (2008) - *Les bassins versants sensibles aux crues rapides dans le Bassin Parisien (France)* - Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes, 381 p. Doctorat de Géographie, Université de Caen Basse Normandie
- Douvinet J., Delahaye D. et Langlois P.** (2008) - Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle, *Cybergéo, Revue européenne de géographie* (revue en ligne), 412. Mis en ligne le 15 février 2008, modifié le 21 avril 2008. [<http://www.cybergeo.eu/index16103.html#tocto1n3>]

- Douvinet J., Planchon O., Cantat O., Delahaye D., et Cador J.-M.** (2009). « Variabilité spatio-temporelle et dynamique des pluies de forte intensité à l'origine des "crues rapides" dans le Bassin parisien (France) ». *Annales de l'Association internationale de climatologie*, n° 6, p. 47-73. oai: hal.archives-ouvertes.fr:hal-00466100
- Douvinet J.** (2010) - Le traitement des inondations en "catastrophe naturelle": un système à adapter ». *Risques, Les cahiers de l'assurance*, n° 83, p. 104-112. ISBN: 978-2-35588-029-2.
- Douvinet J. et Delahaye D.** (2010) - Caractéristiques des « crues rapides » du nord de la France (Bassin parisien) et risques associés, *Géomorphologie : relief, environnement, processus*, 1, 73-90. [IF 2010 : 0,298].
- Douvinet J. et Denolle A.-S.** (2010) - Les marges de manœuvre des maires face à l'application des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI)", *RISEO, Risques, Espaces et Sociétés*, 2010-1, pp.38-51. [<http://www.riseo.fr/-Revue-1-#page19>].
- Douvinet J., Defossez S., Anselme A. et Denolle A.S.** (2011) - Les maires face aux Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI). *L'espace géographique*, Paris, n° 1, pp. 31-46.
- Douvinet J. et Vinet F.** (2012a) - La carte des arrêtés « CatNat » pour les inondations: 1) Analyse spatio-temporelle ». *M@ppemonde*, n° 107, 10 p. [en ligne] <http://mappemonde.mgm.fr/num35/articles/art12301.html>
- Douvinet J. et Vinet F.** (2012b) - La carte des arrêtés « CatNat » pour les inondations: limites et améliorations possibles. 17p. *M@ppemonde* n°107 [en ligne] <http://mappemonde.mgm.fr/num35/articles/art12302.html>
- Douvinet J., Delahaye D. et Langlois P.** (2013) - Measuring surface flow concentrations using a cellular automaton metric: a new way of detecting potential impacts of flash floods in sedimentary context, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°1/2013 | 2013, pp. 27-46.
- Douvinet J., Pallares R., Genre-Grandpierre C., Gralepois M., Rode S. et Servain S.** (2013) - L'information sur les risques majeurs à l'échelle communale - Occurrence et facteurs explicatifs du DICRIM, un outil préventif sous utilisé. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 658, mis en ligne le 04 décembre 2013. URL : <http://cybergeo.revues.org/26112> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26112.
- 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 (doi: 10.1007/s11069-014-1470-3)
- Drobinski P., Ducrocq V., Allen J. T., Alpert P., et al.** (2014). HyMeX, a 10-year multidisciplinary project on the Mediterranean water cycle. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n°95(7), pp.1063-1082. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00242.1>
- Drucker P.** (2012) - *Managing in the next society*. Routledge. 248 p.
- Dubois G.** (2012) - *Modèle de contact dynamique pneumatique chaussée par approche multiaspérités : application au bruit de roulement*. Thèse de doctorat. Ecole centrale de Nantes-ECN, 213 p
- Ducournau R., Euzenat J., Masini G., et Napoli A.** (1998) - Langages et modèles à objets État des recherches et perspectives. Publié par l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique), 1998, ISBN 2-7261-1131-9
- Ducrocq V., Belamari S., Boudevillain B., Bousquet O. et al.** (2013) - HyMeX, les campagnes de mesures : focus sur les événements extrêmes en Méditerranée, la météorologie, n°80, pp.37-47
- Ducrocq V., Lapore J. P., Redelsperger J. L. et Orain F.** (2000). Initialization of a fine-scale model for convective system prediction: A case study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n°126(570), pp.3041-3065.
- Ducrocq V., Aullo G. et Santurette P.** (2003) Les précipitations intenses et les inondations des 12 et 13 novembre 1999 sur le sud de la France., *La Météorologie.*, 42, 18-27.
- Dumas E.** (1987) *Crues et inondations dans le couloir rhodanien : l'exemple du Vaucluse*, Mémoire de Maîtrise de Géographie. 164p.
- Dumas N. et Rajaonson H.** (2005). *Les crues cevenoles : inondations de septembre 2002 et septembre 2005*. Mémoire de fin de cycle ingénieur. Axe cindynique - Ecole des mines de Saint-Etienne (ENSM.SE) Décembre 2005, 28 pages.
- Dutoit T., Fontaine V., et Leich H.** (1993). A simple and efficient object oriented block programming (OoBP) paradigm for signal processing software development. In *14° Colloque sur le traitement du signal et des images*, FRA, 1993. GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images.

E

- Editjano et Michel C.** (1989). Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres, *La Houille Blanche*, n°2, 111-121 (1989).
- Elwood S.** (2008). Volunteered geographic information: future research directions motivated by critical, participatory, and feminist GIS. *GeoJournal*, 72(3-4), 173-183.

Ermannel C. et Thélot B. (2004). Mortalité par accidents de la vie courante : près de 20 000 décès chaque année en France métropolitaine. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*. N° 19-20/2004. pp.76-78, Ministère de la Santé et de la Protection sociale. Consulté le 24/09/2016 à partir de l'adresse http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2004/19_20/BEH_19_20_2004.pdf

Erpicum M. (1993) - Suivi satellitaire (Météosat) de la situation météorologique des 21,22 et 23 septembre 1992 sur l'Europe occidentale et le proche Atlantique. In : *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 68n° 2-3, 1993. Risques naturels dans le couloir rhodanien : les excès pluviométriques. pp. 125-127.

Estupina-Borrell V., Dartus D. et Ababou R. (2006) - Flash flood modeling with the MARINE hydrological distributed model. *Hydrology and Earth System Sciences* n°3, pp.3397-3438, 2006

F

Falaki H., Mahajan R., Kandula S., Lymberopoulos D., Govindan R. et Estrin D. (2010) - Diversity in Smartphone Usage. 8th international conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 2010, pp. 179-194.

Fanti M. P., Mininel S., Ukovich W. et Vatta (2012) - Modelling alarm management workflow in healthcare according to IHE framework by coloured Petri Nets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* n°25 (2012) pp.728–733

Federal Emergency Management Agency(FEMA) (2012) - Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic Action in an Age of Uncertainty. *Progress Report Highlighting the 2010-2011 Insights of the Strategic Foresight Initiative*. 42p. USA, FEMA. Récupéré le 22/09/2016 à l'adresse http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1816-25045-5167/sfi_report_13.jan.2012_final.docx.pdf

Fédération Française des Sociétés d'Assurances/Groupement des Entreprises Mutuelles d'Assurance (FFSA /GEMA) (Association Française de l'Assurance) (2011) - *Inondations du Var des 15 et 16 juin 2010 - Bilan chiffré au 31 mai 2011*. 10 p.

Fédération Nationale des Travaux publics et les Caisses d'Épargne (2004) - *Guide Environnement 2004-2005 : Prévenir les inondations : quels équipements, quels travaux ?* 36p.

Fekete B., Vorosmarty et Grabs W. (1999) - WMO Global Runoff Data Center Report WMO, *Global Runoff Data Center Report* n° 22, 114 p.

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.

Fenollar J., Posmentier E., Vazquez M., et Maqueda G. (2007) - Mesoscale convective systems in frontal systems observed by Meteosat-8 infrared imagery - 12th Conference on Mesoscale Processes, 5 au 9 Août 2007.

Ferre C. (2012) - *Episode pluvio-orageux diluvien des 8 et 9 septembre 2002 en Languedoc, Etude d'une méthode de reforecast par couplage NCEP REA1/WRF*, Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents 31 p.

Fielen N. F. et Lowry C. R. (2012) - Social.Water- A crowdsourcing tool for environmental data acquisition, *Computers and géosciences*, n°49, pp.164-169

Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S., Read S., et Combs B. (1978) - How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy sciences*, n°9(2), pp.127-152.

Flanagin A. J. et Metzger M. J. (2008) - The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal*, n°72(3-4), pp.137-148.

Fong S. et Se-Leng C. (2000) - Modeling personnel and roles for electronic commerce retail. In *Proceedings of the 2000 ACM SIGCPR conference on Computer personnel research* (pp. 45-53). ACM.

Forlano L. (2013) - Making Waves: Urban Technology and the co-production of place in *First Monday* Vol 18 11. <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/4968/3797> accessed 0209/2026

Fouchier C. (2010) - **Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues**. Thèse de doctorat Thèse de doctorat en Météorologie, océanographie physique et physique de l'environnement, Université Montpellier 2, 266 p.

Fourneret E. (2012) - *Génération de tests à partir de modèle UML/OCL pour les systèmes critiques évolutifs*. Thèse en Informatique spécialité Génie logiciel. Université de Franche-Comté. 203p.

Fritsch J. M. et Brown J. M. (1982) - On the Generation of Convectively Driven Mesohighs Aloft. *Monthly Weather Review* Volume 110, Issue 11 (November 1982) pp. 1554-1563

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: <http://www.dhs.gov/news/2011/03/30/administrator-craig-fugate-federal-emergency-management-agency-transportation-and>

Fullsack J.-L. (2005) - Les réseaux de télécommunications dans leur cadre économique. *La Société de l'information, entre mythes et réalités*, Bruxelles, Bruylant, 2005, p. 155-190. Ouvrage tiré du colloque tenu à l'Université de Strasbourg, septembre 2003.

G

- Gabert P. et Nicod J.** (1982) - Inondations et urbanisation en milieu méditerranéen. L'exemple des crues récentes de l'Arc et de l'Huveaune. In : *Méditerranée*, Troisième série, Tome 46, 3-4-1982. Développement et environnement dans la région Provence - Alpes Côte d'Azur. pp. 11-24.
- Garambois P. A., Roux h., Larnier K. et Dartus D.** (2011) - Relations between streamflow indices, rainfall characteristics and catchment physical descriptors for flash flood events. *Weather Radar and Hydrology* (Proceedings of a symposium held in Exeter, UK, April 2011) (IAHS Publ. 351, 2012), pp. 581-586.
- Garry G.** (1995) - Auch, Nîmes, Vaison-la-Romaine: retours d'expérience ». *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, p. 131-145.
- Garun N.** (2012) - Hurricane Sandy by the social media numbers. Récupéré le 21 mai 2015 du site *Digital trends* : <http://www.digitaltrends.com/photography/hurricane-sandy-by-social-media-numbers/>
- Gaume E., Mouhou, M. et Thauvin V.** (2000) - Coefficient d'abattement spatial des pluies en région méditerranéenne adaptés aux petits bassins versants. *Rapport de Synthèse* n° 48/2000, CERREVE
- Gaume E.** (2002) - *Éléments d'analyse sur les crues éclair*. Sciences of the Universe. ENGREF (AgroParisTech), 2002. Thèse de ENGREF (AgroParisTech) 360p.
- Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L. et al.** (2009) - À compilation of data on european flash flood. *Journal of Hydrology*, n° 367, pp. 70-78.
- Gaume E. et 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* (2) : p. 24-30.
- Geambasu C. V.** (2012) - BPMN vs. UML Activity Diagram for business process modeling. *Accounting and Management Information Systems*, 11(4), 637.
- Georgakakos K. P.** (1986) A generalized stochastic hydrometeorological model for flood and flash-flood forecasting: 2. Case studies. *Water Resources Research*. Volume 22, Issue 13, pp 2096-2106. DOI: 10.1029/WR022i013p02096
- Ghafoor S., Brown K. N. et Sreenan C. J.** (2015) - Experimental evaluation of a software defined radio-based prototype for a disaster response cellular network. 2015 2nd *International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, Rennes, 2015, pp. 57-63. doi: 10.1109/ICT-DM.2015.7402034
- Gill A. et Bunker D.** (2012) - Crowd Sourcing Challenges Assessment Index for Disaster Management. In *AMCIS 2012 Proceedings*.
- Ginsberg J., Mohebbi H., Patel S., Brammer L., Smolinski S. et Brilliant L.** (2008) - Detecting Influenza Epidemics Using Search Engine Query Data. *Nature* 457 (7232) (November 19) : 1012-1014.
- Godart A.** (2009) - Les précipitations orographiques organisées en bandes dans la région Cévennes-Vivarais. Caractérisation et contribution au régime pluviométrique. Ocean, Atmosphere. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2009.
- Gonzalez H., Halevy A. Y., Jensen C. S., Langen A., Madhavan J., Shapley R., et al.** (2010) - Google fusion tables: web-centered data management and collaboration. In *Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data* (pp. 1061-1066). ACM.
- Goodchild M.F.** (2007) - Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* n° 69(4), pp. 211-221. Reprinted in M. Dodge, R. Kitchin, and C. Perkins, editors, *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*, pp. 370-378. Hoboken, NJ: Wiley. [441]
- Goodchild M. F. et Glennon J. A.** (2010) - Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. *International Journal of Digital Earth*, 3(3), 231-241.
- Google** (2012) - *Mobile internet & smartphone adoption: new insights into consumer usage of mobile devices, the Shift to smartphones & the emergence of tablets*. Google Mobile Ads Marketing. 12 p. http://services.google.com/fh/files/blogs/Final_Mobile_Internet_Smartphone_Adoption_Insights_2011v3.pdf.
- Goto T., Kirishima T., Nishino T., Yaku T. et Tsuchida K.** (2014) - Generation of UML package diagrams based on an attribute graph grammar. *Journal of Computational Science* n°5, pp. 606-615.
- Gourley J Hong Y., Flamig Z., Arthur A., Clark R., Calianno, M. etKrajewski W.** (2013) - A unified flash flood database across the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n°94(6), pp. 799-805.
- Gout J.-P.** (1993) - Prévention et gestion des risques majeurs. Editions Eyrolles, Collection Ecosciences et technologies, 300 p.
- Goutx, D.** (2012) - Role des individus dans la prevention des risques d'inondation et la gestion de crise. In 23èmes Journées Scientifiques de l'Environnement-Risques environnementaux: détecter, comprendre, s' adapter (No. 13).

Gramlich N. (2008) - *Andbook!Android Programming*, 62p. Récupéré le 24/09/2016 à l'URL <http://andbook.anddev.org/files/andbook.pdf>

Gras R. (1994) - *Sols caillouteux et production végétale*. Editions INRA. Paris. 167p.

Griffiths M. (2000) - Does Internet and computer “addiction” exist ? Some case study evidence. *Cyber Psychology and Behavior*, 3, 2, 2000. pp. 211-218.

Groening S (2010) - From ‘a box in the theater of the world’ to ‘the world as your living room’: cellular phones, television and mobile privatization’ in *New Media Society* Vol 12: 8, pp. 1330-1346.

Grothmann T. et Reusswig F. (2006) - People at risk of flooding: why some residents take precautionary action while others do not. *Natural Hazards* 38, pp. 101-120.

Groupe d’Experts Intergouvernemental sur l’Evolution du Climat (GIEC) (2013) - *Changements climatiques. Les éléments scientifiques*. 222p. Récupéré le 22/09/2016 à l'adresse https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf.

Guenaga M.L., Menchaca I., Eguluz E., Romero S. et García-Zubia J. (2012) - Smartphones and teenagers, threat or opportunity. 15 th Int. *Conference on Interactive Collaborative Learning, ICL 2012*. Villach (Austria). pp 1-5.

Guimelli C. (1999) - *La pensée sociale*. Paris, France : Presse Universitaires de France.

Gumucio S., Merica M. et S2AP (2011) - *Collecte de données, Méthodes quantitatives, l'exemple des enquêtes cap (connaissances, attitudes, pratiques)*. 79p. Médecins du Monde. 22/09/2016 à l'adresse <http://www.gestionorienteeverslimpact.org/sites/default/files/resource/medecins-du-monde-collecte-donnees-methodes-quantitatives.pdf>

Gupta A., Lamba H., Kumaraguru P. et Joshi A. (2013) - Faking Sandy: characterizing and identifying fake images on Twitter during Hurricane Sandy. Communication présentée à la 22nd *International Conference on World Wide Web Conference*, Rio de Janeiro, Brazil (p729-736). Récupéré le 11 mai 2015 du site <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2488033>

Gwiadzinski L. (2016) - La ville à l'épreuve des places. Publié dans le journal/revue *Libération*. Accessible à cette adresse au 19/09/2016 : http://www.liberation.fr/debats/2016/04/25/la-ville-a-l-epreuve-des-places_1448557

H

Habermas J. (1992) - *The Structural Transformation of the Public Sphere*. Polity Press: Cambridge.

Hauet A. (2006). *Discharge estimation and velocity measurement in rivers using LSPIV* (in French), Ph.D. thesis, Grenoble Inst. of Technol., Grenoble, France.

Haugsrud S. (2009) - *Developing Android Applications with Arctis*. Mémoire de Master of Science in Communication Technology, Norwegian University of Science and Technology, Department of Telematics, 90p.

Haziza E. (2007) - *Contribution au développement de stratégies préventives face au risque de crues éclair*. Thèse de l'Ecole des Mines de Paris, spécialité « Science et Génie des Activités à Risque ». 338p

Hébert M. (2014) - *Les technologies smartphones peuvent-elles aider en cas d'alerte aux crues rapides ? Réflexion à l'échelle des départements du Vaucluse et du Var*. Mémoire de Master 1 de géographie, Avignon, France : Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

Higonet H, Moureau P., Roy, F. et Weiss W. (2014) - *Comment utiliser les réseaux sociaux en gestion de crise ?* Mémoire de FAE de l'ENSOSP et certificat d'Études Politiques de Science Po, Promotion CGPT 2014/O1 n°28 Récupéré le 11 mai 2015 du site de l'Institut d'études politiques d'Aix en Provence, France : http://crd.ensosp.fr/doc_num.php?explnum_id=8170

Holdeman E. (2013) - Fugate's digital push includes improved FEMA app, social media as two-way dialog. Récupéré le 21 mai 2015 du site *Emergency Management Magazine* <http://www.emergencymgmt.com/disaster/Fugates-Digital-Push-Includes-Improved-FEMA-App-Social-Media.html>

Horita F. E. A., Degrossi L. C., de Assis L. F. G., Zipf A., et de Albuquerque J. P. (2013) - The use of volunteered geographic information (VGI) and crowdsourcing in disaster management: a systematic literature review. *Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems*, Chicago, Illinois, August 15-17, 2013.

Hoskins B. (2012a) - Predictability Beyond the Deterministic Limit. *WMO Bulletin*, 61 (1), 33-36.

Hoskins B. (2012b) - The potential for skill across the range of the seamless weather-climate prediction problem: a stimulus for our science. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi:10.1002/qj.1991.

Houy N. et Houy T. (2012) - Outils de prévision de la demande (OPD) et pratiques de réduction des stocks. *Revue d'économie industrielle*, n° 139, pp.27-47.

Hsu, Y. C. et Ching, Y. H. (2013) - Mobile app design for teaching and learning: Educators' experiences in an online graduate course. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 14(4).

I

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2008) - *Early Warning Early action*, IFRC, 16 p.

IFRC (2008) - *Community early warning systems: guiding principles*, IFRC, 84p.

Iftekharul S. M. A., Fahmy S. et Lu Y.-H. (2015) - LiTMaS: Live road Traffic Maps for Smartphones. *IEEE WoWMoM Workshop on Video Everywhere* 2015.

Ikeda S., Sato T., et Fukuzono T. (2008) - Towards an integrated management framework for emerging disaster risks in japan. *Natural Hazards*, 44, 267-280.

Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM) (2011) - *Rapport Annuel 2011*, 104 p.

International Data Corporation (IDC) (2012) Chiffres clés : les OS pour smartphones. Données consultées le 18/09/2016 à l'adresse : <http://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-les-os-pour-smartphones-39790245.htm>

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) (2006) - Développement de systèmes d'alerte précoce : Une liste de contrôle ; *Troisième conférence internationale sur les systèmes d'alerte précoce*, ECW3 : Du concept à l'action ; 13p.

Ipsos et Google (2012) - *Our mobile planet : Global Smartphone Users*. Google, 29p. Document consulté le 18/09/2016 à partir de l'adresse : http://static.hosteltur.com/web/uploads/2012/03/final_global_smartphone_user_study_2012.pdf

J

Jeanneret Y. (2005) - La "société de l'information" comme figure imposée : sur un usage particulier des mots en politique », dans M. Mathien, dir., *La " Société de l'information", entre mythes et réalités*, Bruxelles, Bruylant, 2005, p. 66-76. Ouvrage tiré du colloque tenu à l'Université de Strasbourg, septembre 2003.

Javelle P., Fouchier C., Arnaud P. et Lavabre J. (2010) - Flash flood warning at ungauged localisations using radar rainfall and antecedent soil moisture estimations. *Journal of Hydrology*, 394, 267-274.

Jha A. K. (2010) - Safer Homes, Stronger Communities: A Handbook for Reconstructing after Natural Disasters, *Disaster Types and Impacts*, pp. 339-344, The World Bank.

Jivan E. et Gruner S. (2009) - Tool support for more precise use case specifications. In *Proceedings of the Warm Up Workshop for ACM/IEEE ICSE 2010 (WUP '09)*, Nenad Medvidovic and Tetsuo Tamai (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 29-32. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1527033.1527043>

Johnson D., Matthee K., Sokoya D. et al. (2007) - Building a Rural Wireless Mesh Network, A do-it-yourself guide to planning and building a Freifunk based mesh network. 44p. 2007, Wireless Africa Team of the Meraka Institute. Récupéré le 24/09/2016 à l'adresse : http://wirelessafrica.meraka.org.za/wiki/images/f/fe/Building_a_Rural_Wireless_Mesh_Network_-_A_DIY_Guide_v0.7_65.pdf

Jonkman S.N. et Kelman I. (2005) - An analysis of causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters* 2005, n°29, (1), pp.75-97.

Jonkman S.N. et Vrijling J.K. (2008) - Loss of life due to floods. *Journal of flood risk management*, n°1(1), pp.43-56.

Jung C. (2011) - *Mobile data collection systems: A review of the current state of the field*. Centre National d'Etudes Spatiales. 25p. Projet NOMAD (Humanitarian Operations Mobile Acquisition of Data) le 22/09/2016 http://www.parkdatabase.org/files/documents/nomad_mdc_research.pdf. 2016.

K

Kaewkitipong L., Chen C., et Ractham P. (2012) - Lessons learned from the use of social media in combating a crisis: A case study of 2011 thailand flooding disaster. In *Thirty Third International Conference on Information Systems*.

Kane Jr. R. J., Chelius C. R. et Fritsch J. M. (1987) - Precipitation Characteristics of Mesoscale Convective. *Weather Systems Journal of Climate and Applied Meteorology* Volume 26, Issue 10 (October 1987) pp. 1345-1357

Kaplan S. et Garrick B. (1981) - On the quantitative definition of risk. *Risk Anal*, n°1(1), pp. 11-18

Kaspersky Lab et INTERPOL (2014) - *Mobile cyber-threats: a joint study by Kaspersky Lab and INTERPOL*, 38p. Consulté le 22/09/2016 à partir de <http://media.kaspersky.com/pdf/Kaspersky-Lab-KSN-Report-mobile-cyberthreats-web.pdf>

- Keßler C. et Hendrix C.** (2015) - The humanitarian exchange language: coordinating disaster response with semantic web technologies. *Semantic Web*, n°6(1), pp.5-21.
- Kharroubi O.** (2013) - *Prévision des crues par modèle de réseau de neurones artificiels : application au bassin versant de l'Eure*. Thèse, Université de Lille 1. Aménagement et urbanisme.
- Khoshnevis B.** (2004) - Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies. *Automation in construction*, n°13(1), pp .5-19.
- Kirshbaum d. J. et Durran D.** (2004) - Observations and modeling of banded orographic convection. *Journal of the atmospheric sciences* volume 62, pp 1463-1479
- Kitchenham, B.A. et Charters, S.** (2007) - Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Tech. Rep. EBSE 2007-001*, Keele University and Durham University Joint Report.
- Knocke E. T. et Kolivras K. N.** (2007) - Flash flood awareness in southwest Virginia. *Risk Analysis*, n°27(1), pp. 155-169.
- Kouadio J.S., Douvinet J. et Grasland L.** (2013) - Utiliser les Smartphones et les outils de géolocalisation pour améliorer les connaissances et les prévisions des inondations rapides : enjeux, contraintes et perspectives. IX^{ème} *Rencontre annuelle « Géorisque » Recherches fondamentales et appliquées dans le domaine des risques naturels et industriels*, Montpellier-Alès, 21-22 janvier 2013.
- Kouadio J.S., Douvinet J. et Grasland L.** (2014) - Utiliser les Smartphones comme outils d'aide face aux crues rapides : enjeux, contraintes et limites. Actes du colloque SAGEO, *Colloque International de Géomatique et d'Analyse spatiale*, 24-27 novembre, 287-292.
- Kouadio J.S. et Douvinet J.** (2015) - A smartphone application to help alert in case of flash floods. 2015 2nd *International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, Rennes, 2015, pp. 252-257. doi:10.1109/ICT-DM.2015.7402045
URL:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7402045&isnumber=7402014>
- Kouadio J.S. et Douvinet J.** (2015) - Les smartphones peuvent-ils aider à une meilleure remontée des données en cas de crue rapide pour améliorer les systèmes d'alerte? », *BSGLg* [En ligne], 64 (2015/1) - Varia, URL : <http://popups.ulg.ac.be/0770-7576/index.php?id=4083>.
- Kouadio J.S. et Douvinet J.** (2016) - Diffuser une alerte aux crues rapides via une application Smartphone en France : de la théorie à la mise en pratique. Ingénierie des Systèmes d'Information, *Revue des sciences et technologies de l'information* (<http://isi.revuesonline.com/accueil.jsp>). À paraître
- Kraemer F. A.** (2011) - Engineering Android Applications Based on UML Activities, Model Driven Engineering Languages and Systems; Lecture Notes in *Computer Science* Volume 6981, 2011, pp 183-197
- Kugler K., De Groeve T.** (2007) - The Global Flood Detection System, Joint Research Centre, *Scientific and Technical reports*, JRC N44149 - 23 303 EUR EN, 45 p.
- Kumar S.** (2014) - Ubiquitous smart home system using android application. arXiv preprint arXiv:1402.2114.
- Kusano S. et Inoue, M.** (2013) - Safety route guidance system using participatory sensing. In *Consumer Electronics (GCCE), 2013 IEEE 2nd Global Conference*, pp. 363-364.

L

- Laganier R.** (2002) - *Recherche sur l'interface eau et territoire dans le Nord de la France*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, USTL Lille I, 2 volumes, 2002.
- Lalo A.** (1999) - 9 novembre 1992 : accident majeur à l'usine Total de La Mède. Les leçons à tirer pour l'information du publi , *Print Industrie*, Tome 1, n°18, pp. 57-72.
- Lalo A.** (2002) - Le débat public sur les catastrophes naturelles: cas des inondations dans les Alpes-Maritimes. *Ingénieries-EAT*, (29), p-37.
- Lambert G.** (1996) - Prévision, vous avez dit prévision ? *La météorologie 8^e série* - n° 13 - mars 1996. pp 39-52.
- Lanfranchi V., Ireson N., When U., Wrigley S. N. et Fabio C.** (2014, May). Citizens' observatories for situation awareness in flooding. In *Proceedings of the 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2014)*: 18-21 May 2014 (pp. 145-154).
- Lapointe L., Boudreau-Pinsonneault C. et Vaghefi I.** (2013) - Is smartphone usage truly smart ? A qualitative investigation of IT addicti ve behaviors. 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences. pp. 1063-1072.
- 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* N° spécial 2003, pp. 97 - 111.

- Lavabre J. et Gregoris Y.** (2005) - AIGA : un dispositif d'alerte des crues sur l'ensemble du réseau hydrographique, *Revue EAT normal*, pp. 3-12.
- Lebreton C.** (2013) - *Les territoires numériques de la France de demain. Rapport à la Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement*, Cecile Duflot. Retrieved April, 23, 2014.
- LeCompte M.D. et Preissle J.** (1993) - *Ethnography and Qualitative Design in Educational Research*. San Diego: Academic Press.
- Lee V.** (1994) - Volunteer monitoring: a brief history. *The Volunteer Monitor* 6, 1.
- Lemmens J. S., Valkenburg P. M. et Peter J.** (2009) - Development and validation of a game addiction scale for adolescents. *Media Psychology*, n°12, 1, 2009, pp.77-95.
- Léone F., De Richemond N. et Vinet F.** (2010) - *Aléas naturels et gestion des risques* - Ed. PUF, Collection Licence Géographie, 288 p. ISBN : 978-2-13-057432-3
- Léone F., Denain J.C., Vinet F. et Bachri S.** (2011) - L'analyse spatiale des dommages sur le bâti : contribution méthodologique et enseignements pour de futurs scénarios de risque tsunami – In : LAVIGNE F. & PARIS R. (eds) : Tsunamis. *Le tsunami du 26 décembre 2004 à Aceh, Indonésie*, Publications de la Sorbonne, Paris, pp. 77-94.
- Lhomme S., Serre D., Laganier et R. Diab, Y.** (2012) - *Penser la résilience urbaine dans un contexte de risques*, In *Résilience urbaines, les villes face aux catastrophes*, Djament-Tran G., Reghezza-Zitt M. (eds.), Paris, France : Editions Le Manuscrit.
- Li W.J. , Adebayo J., Shih F. et Kagal L.** (2015) - Understanding the role of mobile technologies for humanitarian for humanitarian relief. Short Paper - *Human Centered Design and Evaluation Proceedings of the ISCRAM 2015 Conference - Kristiansand*, May 24-27.
- Lobligeois F., Andreassian V. Perrin C. et Loumagne C.** (2012) - Investigating the influence of rainfall spatial variability on flow simulation. *Proceedings of the 7th European conference on radar in meteorology and hydrology*. 4p.
- Loukou A. F.** (2012) - La diffusion de l'Internet en Côte d'Ivoire. Obstacles et implications. *Netcom* [En ligne], 26-3/4 | 2012, mis en ligne le 13 mars 2014, consulté le 05 septembre 2016. URL : <http://netcom.revues.org/1045> ; DOI : 10.4000/netcom.1045
- Lund M. S. et Stølen K.** (2006) - A fully general operational semantics for UML 2.0 sequence diagrams with potential and mandatory choice. *International Symposium on Formal Methods*, pp. 380-395. Springer Berlin Heidelberg.
- Lutoff C., Creutin J. D., Ruin I., et Borga M.** (2016) - Anticipating flash-floods: Multi-scale aspects of the social response. *Journal of Hydrology*.

M

- Maddox R. A.** (1980) - Meoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society* Volume 61, Issue 11 (November 1980) pp. 1374-1387
- Mandurano J. et Haber N.** (2012) - House Away: À home management system. *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 2012 IEEE Long Island, Farmingdale, NY, 2012, pp. 1-4. doi: 10.1109/LISAT.2012.6223211
- Marchi L. et al.** (2010) - Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* (2010), doi : 10.1016/j.jhydrol.2010.07.017
- Marchi L., Borga M., Preciso E., Sangati M., Gaume E., Bain V., Delrieu G., Bonnifait L. et Pogacnik N.** (2009) - Comprehensive post-event survey of a flash flood in Western Slovenia: observation strategy and lessons learned. *Hydrological Processes* 23 (26), 3761-3770. doi:10.1002/hyp. 7542.
- Marquardt P., Verma A., Carter H. et Traynor P.** (2011) - (sp) iPhone : decoding vibrations from nearby keyboards using mobile phone accelerometers, *Proceedings of the 18th ACM conference on Computer and communications security*, October 17-21, 2011, Chicago, Illinois, USA, pp. 551-562.
- Marsden J.** (2013). Stigmergic self-organization and the improvisation of Ushahidi. *Cognitive Systems Research*, n°21, pp.52-64.
- Marshall M.R. et Clark R. A.** (1974) - Systems for preparing timely flash flood warnings. Flash Floods Symposium : Crues Brutales. [s.l.] : *International Association of Hydrological Sciences*, 1974 .pp 29-33.
- Martin C.** (2010) - Les inondations du 15 juin 2010 dans le Centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel. *Études de Géographie Physique*, n° XXXVII-2010, p. 41-76. », *Physio-Géo*[En ligne], Volume 4 | 2010, mis en ligne le 31 octobre 2010, Consulté le 17 mai 2013.
- Martin G. et Blay L.** (2014) - Le citoyen au cœur de sa sauvegarde grâce à l'utilisation des médias sociaux en gestion de l'urgence. *Risques Infos* n°34 - pp22-24. - Institut des Risques Majeurs.Consulté le 24/09/2016 : http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques_infos/N34/34article07.pdf

- Mass C., et Mass C. F.** (2011). Nowcasting: The next revolution in weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT)** (2012) - Programme conjoint sur la science et la politique en matière de changement Anticiper les impacts du climat à l'échelon mondial et régional, évaluer les risques et dégager les implications pour les politiques climatique, *Bulletin de l'OMM* N° 61 (2), 9-13.
- Mastrangelo D.** (2011) - Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. *Atmospheric Research* n°100 (2011) pp.586-602
- Mathys N., et Peteuil C.** (2012) - Synthèse et analyse des données de crues des bassins versants des alpes françaises. In *12th Congress INTERPRAEVENT*, pp. 259-268.
- Mercy Corps and Practical Action (MC et PA)** (2010) - *Establishing Community Based Early Warning System, Practitioner's Handbook*, 72p.
- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEDD)** (2007) - *Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007*. Direction générale de la prévention des risques. 45p.
- Ministère de l'Environnement, du Développement et de l'Aménagement Durable (MEDAD)** (2006) - 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), de l'IGE et de l'Inspection Générale de l'Environnement, 95 p. + annexes.
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD)** (2007) - Plans de prévention des risques naturels (PPR) (2004) - *Les risques d'inondation Le ruissellement péri-urbain*. 64p.
- MEDD - Direction Générale de la Prévention des Risques** (2008) - *Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007*, 45 p.
- MEDD et Ministère de l'Intérieur, de l'outre-mer et des collectivités territoriales.** (2010) - *Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du var les 15 et 16 juin 2010*, 87 p.
- Ménad W., Douvinet J., Beltrando G., Arnaud-Fassetta G.** (2012) - Évaluer 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, environnement, processus, pp. 337-350.
- Meriaux P. et Westrelin S.** (2013) - Des radars pour mieux gérer les Risques Hydrométéorologiques en territoires de Montagnes et Méditerranéens, 2 p.
- Mericskay B. et Roche S.** (2010) - *La cartographie 2.0 au service de l'intelligence territoriale : de nouveaux outils et de nouvelles méthodes pour la production de connaissances hybrides sur les territoires*, 12 p.
- Mericskay B. et Roche S.** (2011) - Cartographie 2.0: le grand public, producteur de contenus et de savoirs géographiques avec le web 2.0. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Merz R. et Blöschl G.** (2003) - A process typology of regional floods, *Water Resour. Res.*, 39(12), 1340, doi:10.1029/2002WR001952
- Meunier M.** (1991) - *Éléments d'hydraulique torrentielle*. Antony: Dicova, CEMAGREF.
- Miles M.B. et Huberman M.** (1994) - *Qualitative Data Analysis: A Source Book of New Methods*. Thousand Oaks: Sage.
- 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 ».
- Miniscloux F.** (2001) - Précipitations orographiques et convectives en région Cévennes-Vivarais : Validation de simulations numériques par des données pluviométriques et radar. Thèse 209p.
- Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-mer, des Collectivités territoriales et de l'Immigration** (2009) - *La réforme des collectivités territoriales, une nouvelle impulsion pour les territoires*. 12p. Le 22/09/2016 à http://www.interieur.gouv.fr/content/download/10148/95565/file/Brochure_-_Reforme_des_collectivites_territoriales.pdf
- Ministère de l'Intérieur** (2014) - Mission d'expertise sur les crues de décembre 2013 à février 2014 en Bretagne. *Rapport définitif après phase contradictoire*. 370p. récupéré à l'adresse <http://www.interieur.gouv.fr/content/download/86183/667622/file/14034-14015-02%20-%20Crues%20en%20Bretagne%20-%20rapport%20d%C3%A9finitif.pdf>
- Mobile Marketing Association(MMA)** (2015) - *Le Baromètre du marketing mobile*, 9^{ème} édition.
- Montjoye Y.-A., Hidalgo C.A., Verleyesen M. et Blondel V.D.** (2013) - Unique in the Crowd: The privacy bounds of human mobility. *Sci. Rep.*3, 1376 ; DOI:10.1038/srep01376.
- Montz B.E., Grunfest R.** (2002) - Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Environment Hazards* 4, pp. 1-15.

Morand B. (2007) - Le logiciel, sujet et objet de la norme, *Droit et société*, 2007/1 n° 65, pp. 41-51.

Morin E. (1969) - *La rumeur d'Orléans*. Paris, France : Le Seuil.

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* (in press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.047>

Moulin, L. (2007) - *Prévision des crues rapides avec des modèles hydrologiques globaux. Application aux bassins opérationnels de la Loire supérieure : évaluation des modélisations, prise en compte des incertitudes sur les précipitations moyennes spatiales et utilisation de prévisions météorologiques*, Thèse spécialité Sciences de l'eau, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (ENGREF), école interne d'AgroParisTech, 643 pp., 2007.

Mouvement des entreprises de France (MEDEF) PACA(2014) - *Réforme du millefeuille territorial des paroles aux actes*. MEDEF. 14p

Mulhern N., McCaffrey N., Beretta N., Chabot E. et Sun Y. (2013) - Designing Android Applications using Voice Controlled Commands For Hands free interaction with Common Household Devices. 39th Annual Northeast Bioengineering Conference. 2p.

Muller A. (2006). *Comportement asymptotique de la distribution des pluies extrêmes en France*. 2006. Thèse de doctorat. Université Montpellier II. 246p.

N

National Weather Service (NOAA) et The COMET Program (CP). (2010) - *Flash flood early warning system reference guide*. 204 p. Récupéré le 24/09/2016 à l'adresse http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffwrsrg/FF_EWS.pdf

Nations-Unies (NU). (1992) - *Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques*. 25 P. Consulté le 21/09/2016 à l'adresse <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>

Nègre L. et Collombat P.-Y. (2012) - Se donner les moyens de ses ambitions : les leçons des inondations du Var et du sud-est de la France. *Rapport d'information du Sénat Français*, Mission commune d'information inondation dans le Var N° 775.388p

Nelson A. (2008) - Arab Media: The Web 2.0 Revolution. *Carnegie reporter* vol. 5/ n°. 1 pp12-23.

New America Foundation (NAF) (2008) - *Case Study: Mesh Sayada Building a Community Wireless Network*. 10p. NAF. New York, NY. Récupéré le 24/09/2016 à l'adresse : <https://commotionwireless.net/files/posts/041814-Case-Study-Sayada.pdf>

Nishikawa S. (2003) - GLobal Unique Disaster IDentifier Number (GLIDE): For Effective Disaster Information Sharing and Management. *The International Conference on Total Disaster Risk Management 2013*, pp.89-92. Consulté le 25/09/2016 à l'adresse http://www.adrc.asia/publications/TDRM2003Dec/19_MR.%20SATORU%20NISHIKAWA.pdf

Norbiato D., Borga M., Esposti S. D., Gaume E. et Anquetin S. (2008) - Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins. *Journal of Hydrology* (2008) 362, 274-290

Noury N., Quach K., Berenguer M., Bouzi M. J. et Teyssier H. (2012) - A feasibility Study of Using a Smartphone to Monitor Mobility in Elderly. 2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom) p423-426.IEEE.

Nova N. (2009). *Les médias géolocalisés*, Limousin, FYP Éditions.

O

Object Management Group (OMG) (2007) - *UML 2.1.2 Superstructure*, Object Management Group. 224p. Disponible au 24/09/2016 à l'adresse <http://www.omg.org/cgi-bin/doc.cgi?formal/2007-11-02.pdf>

OMG (2011) - *OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Infrastructure Version 2.4.1*. 230p. Disponible le 24/09/2016 à l'adresse <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/2011-08-05.pdf>

OMG (2015) - *OMG Unified Modeling Language Version 2.5*. 794p. Disponible le 24/09/2016 à l'adresse <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/15-03-01.pdf>

O'Reilly M. (1996) - Internet addiction: a new disorder enters the medical lexicon. *CMAJ : Canadian Medical Association Journal*, vol. 154, n°12, 1996. pp.1882-1883.

Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) (2014) - *La compétence Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations, Comprendre pour agir*, 2 p.

Okolloh O. (2009) - Ushahidi or “testimony”: Web 2.0 tools for crowdsourcing crisis information. *Participatory Learning and Action*, 59(1), 65-70.

Olteanu A., Couronné T., Fen-Chong J. et Smoreda Z. (2012) - Le Paris des visiteurs étrangers, qu'en disent les téléphones mobiles ? Inférence des pratiques spatiales et fréquentations des sites touristiques en Ile-de-France, *Soumis à la Revue internationale de géomatique*.

Olteanu A., Castillo C., Diaz F. et al. (2014) - CrisisLex: A Lexicon for Collecting and Filtering Microblogged Communications in Crises. In : *ICWSM. 2014*.

Olteanu A., Vieweg S. et Castillo C. (2015) - What to expect when the unexpected happens: social media communications across crises. Communication présentée à la *18th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing*, Vancouver, Canada. Récupéré le 21 mai 2015 du site de CrisisLex :

Orlanski I. (1975) - A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society* 56 (5), 527-530.

Ortega J.E., et Heydt G.G. (2009) - Geomorphological and sedimentological analysis of flash floods deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology* 112(1), pp.1-14.

Oxford Dictionary of Weather (2008) - *The definitive reference for all things meteorological* (2nded.) URL: <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199541447.001.0001/acref-9780199541447>

P

Palmer N., Kemp R., Kielmann T. et Bal H. (2012) - RAVEN: using smartphones for Collaborative Disaster Data Collection. *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference* - Vancouver, Canada, April 2012. 5p.

Palmer N. O. (2012) - Smartphones: A Platform For Disaster Management. Thèse de doctorat en informatique, ASCI graduate school, ASCI dissertation series number 26.VU University Amsterdam 179p

Parada A.G., Siegert E. et de Brisolara L.B. (2011) - Generating Java Code from UML Class and Sequence Diagrams, *Computing System Engineering (SBESC)*, 2011 Brazilian Symposium on Computing System Engineering. pp.99-101.

Parada A.G., Siegert E. et de Brisolara L.B. (2012) - A model driven approach for Android applications development, 2012 *Brazilian Symposium on Computing System Engineering*, pp192-197.

Pardé M. (1928) - Les crues du Rhône en décembre 1925 et février 1928. In: *Les Études rhodaniennes*, vol. 4, n°1, 1928. pp. 3-46. DOI : 10.3406/geoca.1928.6641

Pardé M. (1934) - Crues pyrénéennes et crues carpathiques. In: *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome 5, fascicule 4, 1934. pp. 425-433. DOI : 10.3406/rgps.1934.4163

Pardé. M., Chartier M.-M. (1960) - Les crues. *L'information géographique*. Volume 24 n° 2, 1960. pp. 60-67.

Payrastré O., Gaume E. et Andrieu H. (2011) - Usefulness of historical information for flood frequency analyses: Developments based on a case study. *Water resources research*, 2011, vol. 47, no 8.

Pellen J.-P. (2007) - Les outils de Météo-France pour la prévision des inondations. *Ateliers du Développement Durable*, 18/10/2007. 22p.

Perez P., Holderness du Chemin T., Turpin E. et Clarke R. (2012) - Citizen-Driven Flood Mapping in Jakarta: A Self-Organising Socio-technical System, *Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops (SASOW)*, 2015 *IEEE International Conference on*, Cambridge, MA, 2015, pp. 174-178. doi: 10.1109/SASOW.2015.40

Perrin C. (2000) - *Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative*. INPG (Grenoble), Cemagref (Antony), 530 p.

Peters O., et Neelin J. D. (2008) - Critical phenomena in tropical precipitation.

Pinet F., Miralles A., Bimonte S. et al. (2010) - The use of UML to design agricultural data warehouses. *Conference AGENG 2020*, CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref . 10p.

Pirès A.P. (1997) - Échantillonnage et recherche qualitative : essai théorique et méthodologique. Dans J. Poupart, J.-P. Deslauriers, L.-H. Groulx, A. Laperrière, P. Mayer & A.P. Pirès, *La recherche qualitative : Enjeux épistémologiques et méthodologiques* (p.113-172). Boucherville : G. Morin.

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. <http://www.risknat.org/projets/prinat/pdf/CRcruetorrentielles.pdf>.

Poser K. et Dransch D. (2010) - Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. *Geomatica*, 64(1), 89-98.

Predictions on Ungauged Basins (PUB). (2006) - A catalyst for multidisciplinary hydrology. *Transactions American Geophysical Union*, n°85 (44), pp.451-457.

Préfecture du Var (2008) - *Dossier Départemental sur les Risques Majeurs dans le Var*, Préfecture du Var. 105p. Consulté le 22/09/2016 à partir de http://www.var.gouv.fr/IMG/pdf/DDRM_040208_cle681297.pdf

Q

Quan-yin Z., Yin J., Chengjie X. et Rui, G. (2011) - A UML model for mobile game on the Android OS. *Procedia Engineering*, 24, 313-318.

R

Rabier F., Klinker E., Courtier P. et Hollingsworth A. (1995) - Sensibilité des erreurs de prévision aux conditions initiales. *La météorologie*, 8° série - n° 12 pp31-37. URL au 23/09/2016 http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/52003/meteo_1995_12_31.pdf

Rallet A. et Rochelandet F. (dir.) (2011) - Données personnelles et vie privée, Réseaux, n°167, 2011 », Lectures [En ligne], *Les comptes rendus*, 2011, mis en ligne le 18 juillet 2011, consulté le 25 septembre 2016. URL : <http://lectures.revues.org/6047>

Ramos D. (2002) - *Analyse de la pluviométrie sous des systèmes nuageux convectifs : Etude de cas sur des données de la ville de Marseille et de la méthode ISIS de Météo-France*. Thèse, spécialité Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement. Université Joseph Fourier - Grenoble 169p.

Raymond F., Ullmann, A. et Camberlin P. (2016) - Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013?. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

Raymond M., Peyron N., Bahl M., Martin A. et Alfonsi, F. (2007) - ESPADA : un outil innovant pour la gestion en temps réel des crues urbaines (ESPADA : an innovative tool for real-time urban flood management) - *Novatech 2007*, pp.793-800, Lyon, France

Reid I. (2004) - Flash flood. In GOUDIE A. (Eds). *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, London, 1156 p.

Rieffel R. (2014) - *Révolution numérique, révolution culturelle ?* Editions Gallimard.

Relvas I. (2012) - *iQuit: HP in the Post-PC Era*. Mémoire de master non publié, Université Catholique portugaise de Lisbonne, Portugal). Récupéré le 29 juin 2015, de l'URL : http://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/12028/1/MSc%20Dissertation_iQuit-HP%20in%20the%20Post-PC%20Era_In%C3%AAs%20Relvas.pdf

Renard J.B. (2009) - *L'étude des rumeurs*. Dans Rouquette, M. L. (dir). La pensée sociale. Perspectives fondamentales et recherches appliquées (p137-157). Toulouse, France : Érès.

Reyniers M. (2008) - Quantitative Precipitation Forecasts based on radar observations: principles, algorithms and operational systems. *Institut Royal Météorologique de Belgique. Publication scientifique et technique N° 52*. 62 p.

Riccio P.-M. (2015) - Une méthodologie unifiée pour la construction de systèmes de qualité dans le domaine des TIC, Communication et organisation [En ligne], 15 | 1999, mis en ligne le 05 février 2013, consulté le 11 novembre 2015. URL : <http://communicationorganisation.revues.org/2188>

Riosalido R. (1990) - Estudios sobre algunos parametros atmosféricos asociados a la formacion y evolucion de sistemas convectivos de mesoscala. *Segundo Simposio Nacional de prediccion del INM*, Madrid, pp. 369-382

Rive G., Hare J., Thomas J. et Nankivell K. (2012) - *Social Media in an Emergency: A Best Practice Guide*. Wellington Region CDEM Group: Wellington.

Risk Management Solutions(RMS) (2000) - *Les tempêtes Lothar et Martin 26 - 28 décembre 1999*. 20 p. Disponible à l'adresse : http://web.archive.org/web/20130118001711/http://rms.com/Publications/Lothar_Martin_Event.pdf (consulté le 08/09/2015)

Robinson J. S., et Sivapala M. (1997) - An investigation into the physical causes of scaling and heterogeneity of regional flood frequency. *Water Resources Research*, n°33(5), pp.1045-1059.

Romero R., Doswell C. A. et Ramis C. (2000) - Mesoscale Numerical Study of Two Cases of Long-Lived Quasi-Stationary Convective Systems over Eastern Spain. *Monthly Weather Review*, 128, 3731-3751.

Roques P. (2003) - *UML par la pratique*. 2ème Edition, Eyrolles, 2003

- Rouquette M. L.** (1990a) - Le syndrome de rumeur. *Communications*, 52, 119-123.
- Rouzeau M., Martin X. et Pauc J. C.** (2010) - *Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 Juin 2010*, 87p.
- Ruin I. et Lutoff C.** (2004) - Vulnérabilité face aux crues rapides et mobilités des populations en temps de crise. *La houille blanche/N° 6-2004*, pp. 114-119.
- Ruin I.** (2005) - Vulnérabilité des populations face aux crues rapides, *Rapport d'enquête*, 36p.
- Ruin I.** (2007) - *Conduite à contre-courant et crues rapides, Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides*, Thèse de Géographie, Université Joseph Fourier. 362p.
- Ruin I.** (2010) - Conduite à contre-courant et crues rapides, le conflit du quotidien et de l'exceptionnel. *Annales de Géographie*, n° 674, pp. 419-432.
- Ruin I., Lutoff C., Boudevillain B., Creutin J.-D., Anquetin S. et al.** (2014). Social and Hydrological Responses to Extreme Precipitations: An Interdisciplinary Strategy for Postflood Investigation. *Weather, Climate, and Society, American Meteorological Society*, 2014, Volume 6 (Issue 1), pp.135-153.
- Ruin I., Gaillard J.-C. et Lutoff C.** (2007) - How to get there? Assessing motorists flash flood risk perception on daily itineraries. *Environmental Hazards* 7, pp. 235-244.
- Ruin I., Lutoff C., Creton-Cazanave L., Anquetin S., Borga M., Chardonnel S., et al.** (2012) - Toward a space-time framework for integrated water and society studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(10), ES89-ES91.
- Ruin I., Creutin J. D., Anquetin S. Grunfest E. et Lutoff C.** (2009) - Human vulnerability to flash floods: Addressing physical exposure and behavioral questions. In *Flood risk management: research and practice proceedings of the European Conference on Flood Risk Management Research into Practice (FLOODrisk 2008)*, Oxford, UK, 30 September-2 October 2008, pp. 1005-1012.
- Rulleau B., Rey-Valette H., Flanquart H., Hellequin A.-P. et Meur-Férec** (2015) - Perception des risques de submersion marine et capacité d'adaptation des populations littorales », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 21 | avril 2015, mis en ligne le 20 février 2015, consulté le 28 septembre 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/15811> ; DOI : 10.4000/vertigo.15811

S

- Saint-Martin C.** (2014) - *Intégration, au système d'avertissement de la méthode AIGA, du facteur d'exposition des territoires au risque inondation*. Rapport de stage effectué au sein de IRSTEA en vue de l'obtention du grade de Master Spécialité : Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (G.C.R.N.) 87p.
- Salles J.** (2015) - L'incertitude dans l'utilisation des médias géolocalisés : étude de deux applications reliées à la mobilité urbaine », *Netcom* [En ligne], 29-1/2 | 2015, mis en ligne le 15 décembre 2015, consulté le 17 décembre 2015. URL : <http://netcom.revues.org/1843>
- Sandoval-Reyes S. et Castañeda-Martínez J. C.** (2013) - GateWatcher: Android Phone Based Video Surveillance System Using App Inventor. *Advances in Computer Science and Engineering, Research in Computing Science* N° 63, 2013 pp. 121-13.
- Savoie-Zajc L.** (2007) - Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide ? *Recherches Qualitatives - Hors-Série - numéro 5* - pp. 99-111. Récupéré le 18/09/2016 l'adresse http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/hors_serie/hors_serie_v5/savoie_zajc.pdf
- Sbihi B.** (2005) - Informatisation d'une médiathèque à travers la norme UML. *Revue EPI: Enseignement Public et Informatique*.
- Schade S., Diaz L., Ostermann F., Spinsanti L., Luraschi G. et al.** (2011) - Citizenbased sensing of crisis events: sensor web enablement for volunteered geographic information. *Applied Geomatics*, pp.1-16.
- Schedlbauer M.** (2010) - *The Art of Business Process Modeling: The Business Analyst's Guide to Process Modeling with UML & BPMN*, CreateSpace
- Schnebele E., Cervone G. et Waters N.** (2014) - Road assessment after flood events using non-authoritative data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n°14(4), pp.1007-1015.
- Science for Environment Policy (SEP)** (2013) - European Commission DG Environment News Alert Service, edited by SCU, The University of the West of England, Bristol; June 2013 *Thematic Issue 40 Flooding*.
- Seiger R., Niebling F. et Schlegel T.** (2015) - Modelling complex and flexible processes for smart cyber-physical environments. *Journal of Computational Science* 10, 137-148
- Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC) de la Préfecture de Vaucluse** (2008) - *Dossier Départemental sur les risques majeurs dans le Vaucluse*. 98p.

- Sharma K. D.** (1997) - Flash floods and their control in the Indian arid zone. Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control. *Proceedings of the Conference IAHS held at Anaheim, California, June 1996*. Publ. no. 239, 1997. pp. 305-313.
- Shepherd J.** (2004) - What is the Digital Era? In G. Doukidis, N. Mylonopoulos, & N. Pouloudi (Eds.) *Social and Economic Transformation in the Digital Era* (pp. 1-18). Hershey, PA: Idea Group Publishing. doi:10.4018/978-1-59140-158-2.ch001
- Shih F., Seneviratne O., Liccardi I., Patton E., Meier P. et Castillo C.** (2013) - Democratizing mobile app development for disaster management. In *Joint Proceedings of the Workshop on AI Problems and Approaches for Intelligent Environments and Workshop on Semantic Cities* (pp. 39-42). ACM.
- Shiny D. I. et Dhanalakshmi R.** (2013) - Video Surveillance System and Content Sharing Between PC And Mobile Using Android, 2013 *International Conference on Information Communication and Embedded Systems*. pp 485-490
- Silverstone R.** (1994) - *Television and Everyday Life*, London: Routledge.
- Singla S.** (2012) - *Prévisibilité des ressources en eau à l'échelle saisonnière en France*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 244 p.
- Sjöberg L.** (2000) - Factors in risk perception. *Risk Analysis*, 20,1.
- Slovic P.** (1987) - Perception of risk. *Science*, 236 (4799), 280-285.
- Smith K.** (2001) - *Environmental hazards, assessing risk and reducing disaster*, 3rd edn. Routledge
- Softeam** (2008) - *Le guide pratique des processus métiers*. Softeam. 15p. Récupéré le 24/09/2016 à l'URL : http://support.objecteering.com/objecteering6.1/tutorials/fr/guides/business_process_guide_fr.pdf
- Staes C., Orengo J.C., Malilay J., Rullan J et Noji E.** (1994) - Deaths due to flash-floods in Puerto-Rico, January 1992 : implications for prevention. *International Journal of Epidemiology* 23-5, 968-975.
- Starbird K et 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: <https://www.cs.colorado.edu/~palen/starbirdpaleniscramretweet.pdf>
- Stuurman S., van Gastel B. et al.** (2014) - The Design of Mobile Apps: What and How to Teach? *Proceedings of the fourth Computer Science Education Research Conference*, pp 93 -100, ACM Digital Library.
- Syndicat de Rivières Brévenne-Turdine (SYRIBT)** (2013) - *Lettre d'information, Août 2013*. Consulté le 23/09/2016 à l'URL : <http://www.syribt.fr/wp-content/uploads/2013/08/lettre-info-08-13.pdf>

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*, pp145-151.
- Thanh T.** (2010) - Prévision de la demande touristique par méthodes Delphi et Box-Jenkins. *TÉOROS*, vol. 29, n° 1, 100-108
- Thierion V.** (2010) - *Contribution à l'amélioration de l'expertise en situation de crise par l'utilisation de l'informatique distribuée Application aux crues à cinétique rapide*. Thèse Spécialité « Sciences et génie des activités à risques » École nationale supérieure des mines de Paris 365 p.
- Toukourou M. S.** (2009) - *Application de l'apprentissage artificiel à la prévision des crues éclair*, Thèse en Informatique, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.183p.
- Trapero L., Bech J., Duffourg F., Esteban P. et Lorente J.** (2013) - Mesoscale numerical analysis of the historical November 1982 heavy precipitation event over Andorra (Eastern Pyrenees). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13, 2969-2990
- Tretmans J.** (2004) - *Testing Techniques*. Nijmegen Institute for Computing and Information Sciences. 102p. Disponible au 24/09/2016 à l'adresse http://www-i2.informatik.rwth-aachen.de/dl/mbt08/lec_notes_04.pdf
- Tretmans J.** (2008) - Model based testing with labelled transition systems. *InFormal methods and testing* (pp. 1-38). Springer Berlin Heidelberg.
- Tucci C.E.M. et Collishonn W.** (2006) - Prévision des crues, *Bulletin de l'OMM*, n°55, pp. 179-184.
- Tversky A. et Kahneman D.** (1974) - Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases, *Science*, n°185, pp1124-1131.

U

- United Nations (UN)** (2003) - Building the Information Society: a global challenge in the new Millennium, Document WSIS-03/GENEVA/DOC/4-E 12 December 2003. Consulté le 25/09/2016 à l'adresse : http://www.itu.int/dms_pub/itu-sm/d/03/wsis/doc/S03-WSIS-DOC-0004!!MSW-E.doc

UN (2006) - *Global Survey of Early Warning Systems, An assessment of capacities, gaps and opportunities towards building a comprehensive global early warning system for all natural hazards*. 56p.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2012) - *Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions*. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. Consulté le 23/09/2016 à l'adresse http://na.unep.net/siouxfalls/publications/early_warning.pdf

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) (2010) - Flash flood early warning system reference guide. NOAA National Weather Service, International Activities Office. 204p. Récupéré le 23/09/2016 à l'adresse : http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg/FF_EWS.pdf

V

Van de Walle B., Turoff M. et Hiltz S.R. (2010) - *Information Systems for Emergency Management*, M.E. Sharpe Inc., Armonk, NY.

Verkasalo H. (2009) - Contextual patterns in mobile service usage. *Personal and Ubiquitous Computing*, n°13, 5, 2009. pp.331-342.

Vernier F., Trut G., Maurer D. et Auby I. (2005) - Mise en place d'un système d'information à références spatiales sur un ensemble « bassin versant-zone côtière » en appui à un projet de recherche, [en ligne], *Revue EAT normal*, no. 41, p. 51-62.

Vernotte A. (2012) *Génération automatique de tests à partir de modèles UML/ALF*. Mémoire de Master II Sciences et Technologies, Université de Franche-Comté. 105p.

Viaut A. (1969) - *La météorologie*, Presses Universitaires De France, Paris (1973)

Vié B. (2011) - Cloud-Resolving Ensemble Simulations of Mediterranean Heavy Precipitating Events: Uncertainty on Initial Conditions and Lateral Boundary Conditions. *American Meteorological Society*, 403-423

Vieweg S., Hughes A. L., Starbird K. et Palen L. (2010) - Microblogging During Two Natural Hazard Events: What Twitter May Contribute to Situational Awareness. In Proceedings of the *International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, ACM Press, 1079-1088.

Vinet F. (2003) - *Crues et inondations dans la France méditerranéenne : les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999* (Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales, Hérault), Éditions du temps, Nantes.

Vinet F. (2007) - Approches nationales de la prévention des risques et besoins locaux : le cas de la prévision et de l'alerte aux crues dans le Midi méditerranéen. *Géocarrefour*. Vol. 82, 1-2, p. 35-42.

Vinet F. (2007) - Flood risk management in French Mediterranean basins, in Brebbia C.A. & Katsifarakis, *River Basin Management IV*, WITpress, p. 261-270.

Vinet F. (2008) - Geographical analysis of damage due to flash floods in southern France : The cases of 12-13 November 1999 and 8-9 September 2002. *Applied Geography*, n° 28, juillet 2008, pp. 323-336.

Vinet F. (2010) - *Le risque inondation en France*, Éditions Lavoisier.

Vinet F. (2010) - *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*, Tec & Doc, 245 p.

Vinet F. (2011) - flood risk assessment and management in France : the case of Mediterranean Basins Chapter 5; p. 105-132 in Mascarenhas F.C.B. (ed.) Flood prevention and remediation. WITpress. 152 p.

Vinet F., Leone F. et Meschinet de Richemond N. (2010) - *Aléas naturels et gestion des risques*. PUF. 284 p.

Vinet F. et Meschinet de Richemond N. (2005) - Territoires et acteurs du risque d'inondation torrentielle en France méditerranéenne (Territories and actors of flash flood hazard in french mediterranean area). In : *Bulletin de l'Association de géographes français*, 82^e année, 2005-1 (mars). Israël-Palestine /Risques naturels et territoires. pp. 116-126.

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 17 mai 2015 du site de l'association francophone VISOV : http://www.visov.org/wp-content/uploads/2015/05/Utilisation-des-MSGU-pour-am%C3%A9liorer-la-connaissance-de-la-situation_VISOV.2.pdf

W

Wei. R. (2013) - Mobile media: Coming of age with a big splash, in *Mobile Media & Communication* Vol 1:50.

Williams R. (1990) - *Television, Technology & Cultural Form*, London: Routledge

Wilson, M. I. et Corey K. E. (2012) - The role of ICT in Arab spring movements. *Netcom. Réseaux, communication et territoires*, (26-3/4), 343-356.

Wirtz H. Heer T., Backhaus R., et Wehrle K. (2011) - Establishing mobile ad-hoc networks in 802.11 infrastructure mode. In *Proceedings of the 6th ACM workshop on Challenged networks* (pp. 49-52). ACM.

Wittwer C. (2008) - Les modèles dans le réseau SPC-SCHAPI de la prévision des crues. *7^{èmes} journées scientifiques et techniques du CETMEF* - Paris - 8, 9 et 10 décembre 2008.

Wolber D. (2011) - App inventor and real-world motivation. In *Proceedings of the 42nd ACM technical symposium on Computer science education*, pp. 601-606. ACM.

World Economic Forum (WEF) (2011) - *Personal Data: The Emergence of a New Asset Class*. WEF 2011. 40 p.

Woyke E. (2014). *The smartphone, anatomy of an industry*. New York, USA : The New Press.

Wrycza S., Marcinkowski B. et Maślankowski J. (2014) - Applications of Implementation Diagrams in System Infrastructure Modeling. *Zarządzanie i Finanse*, n°3(2), pp. 275-286.

X

Xing L., Pan X. i, Wang R., Yuan K. et Wang X. (2014) - Upgrading Your Android, Elevating My Malware: Privilege Escalation through Mobile OS Updating. *2014 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, vol., no., pp.393,408, 18-21 May 2014

Y

Yaquub R., et Cao Y. (2012) - Smartphone-based accurate range and energy efficient route selection for electric vehicle. In *Electric Vehicle Conference (IEVC)*, 2012 IEEE International, pp. 1-5. IEEE

Yevseyeva I., Morisset C., Turland J., Coventry L. et TGroß (2014) - Consumerisation of IT: Mitigating risky user actions and improving productivity with nudging. *Procedia Technol.*, vol. 16, pp. 508-517, 2014.

Yin J., Lampert A., Cameron, M., Robinson B. et Power R. (2012) - Using social media to enhance emergency situation awareness, *IEEE Intelligent Systems*, 27,6, 52-59, doi:10.1109/MIS.2012.6

Young, K. S. (1998) - *Caught in the net: How to recognize the signs of the internet addiction and a winning strategy for recovery*. New York, NY : John Wiley & Sons. 256p.

Yuan, Y et Detlor, B. (2005) - Intelligent mobile crisis response systems. *Communications of the ACM*, n°48(2), pp.95-98.

Yulianto E., Kusmayanto F., Supriyatna N. et Dirhamsyah M. (2010) - *En quelques minutes, la première vague déferle Survivre aux tsunamis : l'Indonésie livre ses enseignements*, Brochure UNESCO/COI 2010-4, 36 p

Yuze H., Qian Y., et Suzuki 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

Ziadi T. (2004) - *Manipulation de Lignes de Produits en UML*. Thèse, présenté, Université de Rennes 1- Docteur de l'université de Rennes 1

Ziemke J. (2012) - Crisis Mapping : The Construction of a New Interdisciplinary Field? *Journal of Map & Geography Libraries*, n°8(2), pp.101-117.

Liste des tableaux

Tableaux	Pages
Tableau I.1 : Données comparatives du Var et du Vaucluse	15
Tableau 1.1 : Terminologies et définitions associées pour définir les phénomènes « crues rapides »	28
Tableau 1.2 : Estimation des débits de pointe des principaux cours d'eau concernés par inondation de novembre 2004	31
Tableau 1.3 : Comparatif de la gestion des événements de juin 2010 et de Septembre 2011 dans le Var.	32
Tableau 1.4 : Principales crues rapides survenues dans le Vaucluse au XX ^{ème} siècle (jusqu'en 1992).	51
Tableau 1.5 : Nombre de communes initiales des deux départements étudiés (Vaucluse et Var) et sélection des communes les plus sensibles aux crues rapides à l'issue l'étape 1	52
Tableau 2.1 : Caractéristiques de quelques modèles météorologiques employés par Météo-France.	60
Tableau 2.2 : Comparatif de quelques systèmes d'alerte massive	79
Tableau 3.1 : Taux de pages web chargées en moins de 10s sur l'axe TGV Paris-Calais	99
Tableau 4.1 : Définitions du smartphone	122
Tableau 4.2 : Comparatif de quelques applications étudiées	131
Tableau 5.1 : Liste initiale des paramètres possibles à intégrer dans l'application	159
Tableau 5.2 : Les cas d'utilisation par acteur	163
Tableau 6.1 : Architecture du système d'exploitation Androïd	184
Tableau 6.2 : Description des méthodes s'appliquant aux activités	187
Tableau 6.3 : Tag et valeur stockés dans la base de données via <i>TinyDB.StoreValue</i>	197
Tableau 6.4 : Structure de la table <i>TAlinPhonesCC</i>	201
Tableau 6.5 : Structure de la table <i>TAlinMaster</i>	201

Liste des figures

Figures	Pages
Figure I.1 : Evolution des réseaux de télécommunication et des capteurs intégrés dans les smartphones sur la période allant de 1992 à 2012	14
Figure I.2 : Forme du chevelu hydrographique et visualisation du relief au sein des départements du Var et du Vaucluse.	16
Figure I.3 : Les enjeux de cette thèse.	17
Figure 1.1 : Cumuls des précipitations sur 4 jours sur le Var (du 16 au 19 janvier 2014).	29
Figure 1.2 : Dégâts causés par les inondations de novembre 2014 dans le sud-est de la France.	30
Figure 1.3 : Pont Romain mis en charge lors de la crue de l'Ouvèze en 1992.	33
Figure 1.4 : Gravure commémorative de l'inondation 1992 à Vaison-la Romaine.	34
Figure 1.5 : Contexte favorable au développement d'un MCS.	35
Figure 1.6 : MSC observée le 24 août 2009 dans le Puy-de-Dôme.	36
Figure 1.7 : Mécanismes de précipitation en zone de relief.	37
Figure 1.8 : Distribution mensuelle des épisodes de pluie plus de 200 mm recensés en PACA(1958-2014)	37
Figure 1.9 : Distribution départementale des précipitations supérieurs à 200, 150 et 100 mm sur 24h flottantes (1965-2014)	38
Figure 1.10: Durée des précipitations selon la taille des bassins versants et par région climatique	41
Figure 1.11 : Quelques caractéristiques hydro-géomorphologiques des crues rapides.	42
Figure 1.12 : Hiérarchisation de l'aléa « inondation » en fonction des possibilités de déplacement des personnes suivant la hauteur et la vitesse des écoulements.	44
Figure 1.13 : Répartition des causes et des circonstances des décès pour les 13 événements considérés(247 morts).	45
Figure 1.14 : Synthèse des principaux types de comportement pendant une crue rapide.	45
Figure 1.15 : Zones inondables du Vaucluse et du Var.	47
Figure 1.16 : Comparaison entre les zones inondables et la densité des communes du Vaucluse et du Var.	49
Figure 1.17 : Gravure indiquant le niveau d'eau des inondations à Orange en 1924 (1,90m).	50
Figure 1.18 : Communes considérées comme sensibles aux aléas crues rapides.	53
Figure 1.19 : Schéma de synthèse résumant la temporalité hydrologique des crues rapides.	54
Figure 2.1 : Des termes différents selon la survenue d'un aléa et le niveau d'incertitudes.	58
Figure 2.2 : Profils de comportements caractéristiques face à la montée d'une crue rapide.	58
Figure 2.3 : Carte du réseau RADOME des stations en métropole (Situation au 31 décembre 2012).	61
Figure 2.4 : Carte de vigilance de Météo France, le 13 septembre 2016.	62
Figure 2.5 : Carte de vigilance du 28 novembre 2014 sur le SPC Méditerranée Ouest.	63
Figure 2.6 : Principe de fonctionnement de la méthode AIGA.	64
Figure 2.7 : Gravité et niveaux d'avertissement lors des inondations du 19 janvier 2014 à La Londe-les-Maures.	65
Figure 2.8 : Extranet et message SMS APIC.	66
Figure 2.9 : Schéma fonctionnel du système ESPADA.	66
Figure 2.10 : Les étapes d'un système d'alerte précoce efficace.	68
Figure 2.11 : Comparatif des méthodes d'alerte et d'information.	71
Figure 2.12 : Représentations du signal national de début et de fin d'alerte.	71
Figure 2.13 : Schéma de synthèse de la vigilance et de l'alerte pluie-inondation.	72
Figure 2.14 : Comparaison de la couverture spatiale des sirènes du réseau RNA/PPI et des communes sensibles aux crues rapides au Vaucluse	77
Figure 2.15 : Le réseau de radars de Météo-France en métropole	81
Figure 2.16 : Localisation des SDAL.	83
Figure 2.17 : Echelle limnimétrique utilisée par les sentinelles du SYRIBT.	84
Figure 2.18: Fonctionnement de la chaîne d'alerte des sentinelles du SYRIBT.	84
Figure 2.19: Fonctionnement simplifié du dispositif « sentinelles ».	85
Figure 2.20 : Schéma comparant la temporalité hydrologique des crues rapides avec celle de l'alerte.	86
Figure 3.1 : Chronogramme des principales étapes à l'origine ou ayant marqué l'ère numérique.	96
Figure 3.2 : Taux de couverture 2G, 3G et 4G des opérateurs téléphoniques en France.	99
Figure 3.3 : Couverture 3G sur les communes sensibles aux crues rapides dans le Var et le Vaucluse en 2014.	101
Figure 3.4 : Exemples de tweets et de messages envoyés lors des inondations de 2014.	105
Figure 3.5 : Capture d'écran de la plateforme Ushahidi suite au tremblement de terre de 2011 au Japon.	107
Figure 3.6: Capture d'écran de la plateforme Google Map suite au tremblement de terre de 2011 en Chine.	107
Figure 3.7 : Plateforme participative proposée par Ikeda et al. pour la gestion du risque inondation.	110
Figure 3.8 : Fonctionnement du projet Petajakarta.	111
Figure 3.9 : Captures d'écran de l'application proposée par Yuze et al.	112
Figure 3.10 : Principe du système et carte générée par le dispositif de Kusano et Inoue.	112
Figure 3.11 : Model représentant le concept WeSensIT et interface de l'application.	113
Figure 3.12 : Dispositif Raspberry Pi et dispositif passif de collection avec QR code.	114
Figure 3.13 : Interface de et architecture d'ensemble du système LiTMas.	115
Figure 3.14 : Evaluation des dommages à l'aides des images de la CAP et procédé d'intégration des données non officielles dans la chaîne de décision.	116

Figure 4.1 : Les technologies smartphone	122
Figure 4.2 : Évolution chronologique des principaux modèles de smartphones.	123
Figure 4.3 : Evolution des parts de marché des systèmes d'exploitation smartphone de 2005 à 2012 et de 2012 à 2015.	124
Figure 4.4 : Influence de l'âge sur les pratiques internet à partir du mobile (en %).	125
Figure 4.5 : Captures d'écran de l'application S.	127
Figure 4.6 : Captures d'écran de l'application P.	128
Figure 4.7 : Capture d'écran de l'application V.	129
Figure 4.8 : Fonctionnement du couple (MyPublicAlerts-Notico)	129
Figure 4.9 : Captures d'écran de l'application SAIP.	130
Figure 4.10 : Chaîne de traitement de l'information face à un risque et position des applications étudiées.	131
Figure 4.11 : Solutions alternatives classiques et prototype de réseau mesh.	134
Figure 4.12 : Topologie du réseau proposée par Do-Duy et Vázquez-Castro	135
Figure 4.13 : Les accès frauduleux possibles aux données du smartphone.	137
Figure 4.14 : Captures d'écran de l'application Kobo.	141
Figure 4.15 : Captures d'écran Office online et Ushaidi.	142
Figure 4.16: Perception des risques majeurs dans la population sondée à l'échelle du Vaucluse.	143
Figure 4.17 : Perception des risques majeurs dans la population sondée à l'échelle du Var.	145
Figure 4.18 : Proportion d'utilisateurs de smartphones par classes d'âge en 2014 à l'échelle du Var.	146
Figure 4.19: Positionnement des applications smartphone dans les temporalités du risque inondation	148
Figure 5.1 Les diagrammes UML utilisés pour le prototype.	160
Figure 5.2 : Schéma général des cas d'utilisation du citoyen capteur.	161
Figure 5.3 : Représentation du cas d'utilisation « Authentification ».	164
Figure 5.4 : Représentation du cas d'utilisation « Appel SDIS ».	164
Figure 5.5 : Représentation du cas d'utilisation « Ajout Contacts ».	165
Figure 5.6 : Représentation du cas d'utilisation « Personnes en danger ».	165
Figure 5.7 : Représentation du cas d'utilisation « Consultation messages administrateurs ».	167
Figure 5.8 : Représentation du cas d'utilisation « Cartographie ».	167
Figure 5.9 : Représentation du cas d'utilisation « Consultation messages citoyens ».	168
Figure 5.10 : Représentation du cas d'utilisation « Diffusion ».	168
Figure 5.11: Exemple de diagramme liant deux activités depuis le nœud initial jusqu'au nœud final.	169
Figure 5.12 : Le diagramme d'activités du système proposé.	170
Figure 5.13: Diagramme d'état relatif à une alerte citoyenne émise.	171
Figure 5.14 : Diagramme d'état relatif au citoyen.	171
Figure 5.15 : Diagramme de séquences relatif au citoyen capteur.	173
Figure 5.16 : Diagramme de séquences de l'administrateur.	174
Figure 5.17 : Notations graphiques utilisées par le diagramme global d'interaction.	175
Figure 5.18 : Diagramme de vue d'ensemble.	176
Figure 5.19 : Diagramme de classe.	178
Figure 5.20 : Diagramme de déploiement relatif au système.	179
Figure 6.1: Répartition par OS des livraisons mondiales de smartphones (millions d'unités).	184
Figure 6.2 : Ventes comparées 2011/2015 de smartphones par OS (millions d'unités).	185
Figure 6.3 : Le cycle de vie d'une activité.	186
Figure.6.4 : Lien entre intention et activité.	186
Figure 6.5 : Plateformes de développement testées dans le cadre dur projet Risk'Net.	188
Figure 6.6 : Mode « Designer » de App Inventor.	189
Figure 6.7 : Mode « Blocks » de App Inventor.	190
Figure 6.8 : Architecture envisageable pour l'application suivant le formalisme Android.	191
Figure 6.9 : Captures d'écrans relatives à la confirmation du numéro.	192
Figure 6.10 : Capture d'écrans de la table TAlinPhonesCC.	192
Figure 6.11 : Menu principal d'Al'in.	193
Figure 6.12 : Captures d'écrans relatives à la gestion des contacts.	193
Figure 6.13 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de personnes en danger.	194
Figure 6.14 : Captures d'écran relatives à la description de la pluie observée.	194
Figure 6.15 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.	195
Figure 6.16 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.	195
Figure 6.17 : Captures d'écrans relatives à la déclaration de bâtiments endommagés.	196
Figure 6.18 : Bloc TinyDB.StoreValue utilisé pour le stockage du numéro de l'utilisateur dans Al'in	197
Figure 6.19 : Bloc TinyDB.GetValue utilisé retrouvé le numéro d'un contact dans Al'in.	197
Figure 6.20: Bloc Screen.Initialize utilisé dans Al'in pour vérifier si un numéro de l'utilisateur a été confirmé et ouvrir l'écran de confirmation en cas de non confirmation.	198

Figure 6.21 : Blocs associés au composant TinyWebDB.	198
Figure 6.22 : Interface web de stockage des données sur TinyWebD.	199
Figure 6.23 : Interface web de sollicitation des données sur TinyWebD.	199
Figure 6.24 : Création d'une Fusion Table vide.	200
Figure 6.25 : Menu(a) de modification des propriétés (b) d'une Fusion table.	202
Figure 6.26 : Les propriétés du composant FusionTablesControl.	202
Figure 6.27 : Principales étapes pour la création d'une clé API.	204
Figure 6.28 : Dernière étape pour la création d'un compte de service et d'un fichier de clé .p12.	205
Figure 6.29 : Blocs associées aux composant FusionTablesControl.	205
Figure 6.30 : Procédure quote.	206
Figure 6.31 : Action déclenchée par le clique du bouton ENVOYER.	206
Figure 6.32 : Variable MasterTable affectée de l'identifiant de la table TALINMaster et procédure insertion_table.	207
Figure 6.33 : Blocs mis en œuvre pour la sélection de données.	207
Figure 6.34 : Capture d'écran montrant l'affichage des détails de l'évènement ainsi que les images associées.	208
Figure 6.35 : Approche quadridimensionnelle du test d'application retenu pour Al'in.	209
Figure 6.36 : Discussions avec les populations rencontrées et test sur le terrain.	211
Figure C.1 : Etapes du procédé proposé par Schade et al.	222

ANNEXES

Annexe 1 : Comparatif de quelques systèmes de détection, de prévision, d'avertissement et d'alerte et d'inondations

Système	Type de phénomène	Couverture	RS	RT	Prévision	Type	DE	BJ	Model hydro météorologique	Destinataires	Origine
GFAS	Inondation	Europe et Afrique du Nord, Moyen-Orient- Afrique du Sud, Asie du Sud, Asie de l'Est, Asie du Sud-Est- Amérique du Nord et centrale Amérique du Sud- Océanie	27,83 km	3 h	3 jours	O,P, A	Données par satellite en temps quasi réel	non	TMPA-RT	Gouvernements et autorités	IFNET (Japon)
River Watch	Inondation	mondiale	50 km	24 h	7 jours	O,P,A	Données par satellite en temps quasi réel	non	WBMsed	Services Hydrométéorologiques nationaux	Global Flood Detection System (JRC)
ALERT	Inondation	locale	Selon le nombre de capteurs installés	immédiate		O,A	Système équipé de ses propres capteurs hydrologiques et météorologiques	oui	Déclencheurs	Autorités locales	California-Nevada River Forecast Center in Sacramento(USA)
IFLOWS /Automated Flood warning Systems	Inondation	locale	Selon le nombre de capteurs installés	immédiate		O,A	Système équipé de ses propres capteurs hydrologiques et météorologiques	oui	Déclencheurs	Données publiques	NWS (USA)
FFG	Crue rapides	Mondiale	72 km ² (~ 8,48 kmx 8,48 km)	1h	1-6h	P	Précipitation, MNT et MNE , climato(températures estimées)		FFG model (écoulement + humidité)	Centres régionaux, service météorologiques nationaux ayant des capacités limité en système d'alerte crue éclairé	USA
AIGA	Crue rapides	Sud est de la france	1km	1h	5h	Ant.	Radar météo + mesures pluviométrique	non	SHYPRE / SHYREG	SCHAPI et service de sécurité civile	GEMAGREF / Météo-France
APIC	Crue rapides	communale (Communes concernées par l'aléa) suffisamment proche d'un radar météorologique	1km	immédiate		O, Av.	Observation pluviométriques obtenue à partir de radar	non	SHYREG	Préfectures et communes, SPC, SDIS	Météo-France

EFAS (European Flood Alert System)	Inondation	Europe	1 à 5km	6h	3 à 10 jours à l'avance 32 h à l'avance pour les crues rapides grâce à EPIC	A	Couverture topographique, fonctionnement hydrologique des rivières, Données historiques et en temps réel précipitations, Système des eaux et écoulements souterrains, Données météorologiques	oui	LISFLOOD	Services Hydrométéorologiques nationaux	Projet Copernicus (initialement GMES) de la commission Européenne
NASA NRT MODIS Global Flood Map (NASA/GSFC)	Inondation	mondiale	250m		2 jours	O,P	Satellite MODIS	non		Données publiques	NASA
IFAS(Integrated Flood Analysis System)	Inondation	mondiale	1 km		6h	P	Données satellites pluviométriques NASA et	non	GTOPO30(USGS) Hydro1k(NASA)	Données publiques mais Nécessite l'installation du logiciel IFAS	International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) -Japon
Global Flood Awareness System, GloFAS (JRC)	Inondation	mondiale	5 km	24h	10 à 45 jours(selon la taille du bassin)	A,P,O	Données EFAS utilisées par EFAS à l'échelle mondiale		HTESSEL (land cover) et LISFLOOD	Accès soumis à mot de passe	Commission européenne
University of Maryland Global Flood Monitoring System (UMD)	Inondation	mondiale	1km	3h	4 à 5 j	O,P	Satellite pluviométrique TRM de la NASA		Variable Infiltration Capacity (VIC)	Données publiques	University of Maryland, Earth System Science Interdisciplinary Center (USA)

O : Observation, P : Prévion, Ant : Anticipation, A : Alerte, BJ : Bassin jaugés, DE : Données en entrée, RS : Résolution spatiale, RT : Résolution Temporelle, Av : Avertissement, carré gris : donnée non obtenue

ANNEXE 2 : Formulaire d'enquête

1.1	Votre habitation est	Dans l'agglomération	A
		Isolée	B
1.2	Vous habitez	Dans un appartement au rez de chaussée	A
		Dans un appartement à l'étage	B
		Dans une maison individuelle	C
		Dans une maison avec au moins un étage	D
1.3	Depuis combien de temps habitez-vous dans cette commune ?	Depuis votre naissance	A
		Depuis moins de 5 ans	B
		Entre 5 et 10 ans	C
		10/20ans	D
		20/30 ans	E
		Plus de 30 ans	F
1.4	Vous êtes :	Propriétaire	A
		Locataire	B
1.5	Concernant votre lieu de résidence, vous diriez que vous y êtes :	Très attaché	3
		Assez attaché	2
		Peu attaché	1
		Pas du tout attaché	0
1.6.1	Selon vous, votre lieu de résidence est exposé :	Au risque inondation	OUI
1.6.2		Au risque mouvements de terrains	OUI
1.6.3		Aux risques d'incendie de forêt	OUI
1.6.4		Aux risques tremblements de terre	OUI
1.7	Habitez-vous en zone inondable ?	Oui	A
		Non	B
		Je ne sais pas	C
1.8	Votre lieu de résidence se situe t-il près d'un cours d'eau ?	OUI	OUI
		NON	NON

Supposons que votre commune soit touchée par une inondation dans les 5 prochaines années.

Quelle serait la probabilité, selon vous, que ces évènements se réalisent ?

2.1.1	Les réseaux de fourniture (électricité, téléphone, eau, ect...) seront interrompus.	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.1.2	Certains de vos biens, hormis votre maison, seront gravement endommagés ;	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.1.3	Votre propre maison sera gravement endommagée ou détruite	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.1.4	Vous ou l'un de vos proches sera blessé ou tué	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0

2.2. A quel point seriez-vous inquiet à propos de ces évènements ?

2.2.1	Les réseaux de fourniture (électricité, téléphone, eau, ect...) seront interrompus.	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.2.2	Certains de vos biens, hormis votre maison, seront gravement endommagés ;	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.2.3	Votre propre maison sera gravement endommagée ou détruite	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0
2.2.4	Vous ou l'un de vos proches sera blessé ou tué	Très probable	3
		Assez probable	2
		Peu probable	1
		Pas du tout probable	0

3.1	En cas d'inondation, quels sont les moyens utilisés par la commune pour donner l'alerte ?	Radio	A
		SMS	B
		Appels téléphoniques	C
		Sirènes	D
		Site internet	E
		Panneaux Numériques	F
		Télévision	G
		Je ne sais pas	H
3.2.1	Selon vous, les propositions suivantes sont-elles justes ?	Ma commune est particulièrement exposée aux risques d'inondation rapide.	V ou F
3.2.2		Les inondations rapides ne génèrent la plupart du temps que des dégâts matériels	V ou F
3.2.3		Il est possible de faire du camping sur une zone inondable	V ou F
3.2.4		Nous nous trouvons actuellement sur une zone inondable.	V ou F
3.2.5		Les personnes restées à la maison sont les principales victimes des inondations rapides	V ou F

4.1	Avez-vous déjà assisté à une inondation rapide ?	Oui	OUI
		Non	NON
4.2	Avez-vous déjà subi des dégâts à cause d'une inondation rapide ?	Oui	OUI
		Non	NON
4.3	Si oui, vous diriez que les dégâts provoqués étaient :	Très faible	0
		Assez faible	1
		Assez important	2
		Très important	3

5.1.1	Quelle est la dernière catastrophe naturelle survenue sur votre commune ?	Mouvements de terrain	A	
		Inondations	B	
		Incendies de forêt	C	
		Tremblements de terre	D	
		Avalanches	E	
		tempêtes	F	
		Rien n'est arrivé	G	
5.2	En quelle année a-t-elle eu lieu ?			
5.3.	D'où vous provient cette connaissance ?	J'ai subi l'évènement et il a occasionné des dégâts chez moi	A	
		J'ai subi l'évènement sans subir de dégâts chez moi	B	
		Par ma famille	C	
		Par des connaissances (voisins, amis, collègues)	D	
		Par la presse écrite ou à la télévision	E	
		Par internet	F	
5.4.	Au sein de votre commune, existe-t-il des éléments qui rappellent des inondations passées ?	Je pense que oui mais je ne les connais pas	A	
		Oui il existe des repères de crues	B	
		Oui il reste des traces physiques d'inondation	C	
		Non, je ne pense pas	D	
5.5	Concernant le risque d'inondation rapide, vous vous sentez	Pas du tout informé	0	
		Peu informé	1	
		Bien informé	2	
		Très bien informé	3	
5.6	Avez-vous déjà reçu des informations ou participé à des activités pour la prévention du risque inondation ?	Non, jamais	0	
		Oui, j'ai reçu des informations de temps en temps	1	
		Oui, je reçois régulièrement des informations	2	
		Oui, j'ai aussi participé aux activités de prévention	3	
5.7.1	A propos des inondations rapides, pouvez-vous me donner une valeur de 1 à 5 qui exprime l'importance d'avoir des informations pour :	L'identification des zones exposées	note	
5.7.2		Le degré auquel je suis exposé	note	
5.7.3		Les plans d'urgence prévus par les autorités	note	
5.7.4		Les procédures d'alerte de la population	note	
5.7.5		Les mesures exceptionnelles à adopter	note	
5.7.6		(1 : pas important, 5: très important).	Les mesures préventives que la population peut adopter pour se protéger	note
5.7.7		L'accès aux informations concernant la gestion de crises.	note	

6.1.1	Selon vous, qui est responsable de la protection des habitants de votre commune face au risque inondation ?	Choix 1 (dans la liste)
6.1.2		Choix 2 (dans la liste)
6.2.1	Selon vous, qui doit agir pour réduire les risques de dégâts/ de victimes en cas d'inondation sur votre commune ?	Choix 1 (dans la liste)
6.2.2		Choix 2 (dans la liste)

A	Le Maire
B	Les pompiers
C	Les forces de l'ordre
D	Les propriétaires d'habitations
E	L'Etat
F	Les associations spécialisées en environnement
G	Les habitants de la commune

7.1 Sur quel(s) RSN êtes-vous inscrit ? (choix multiples ; exemple : A, D, Z)					
7.2 Sur quel(s) RSN passez-vous le plus de temps ? (1 choix dans la liste)					
Facebook	A	Youtube	J	Badoo	S
Skype	B	Twitter	K	Spotify	T
Copains d'avant	C	Picasa	L	Instagram	U
Google	D	Trombi	M	Skyblog	V
Deezer	E	LinkedIn	N	MySpace	W
Flickr	F	Viadeo	O	Netlog	X
Overblog	G	Dailymotion	P	Soundcloud	Y
Wat TV2	H	Tumblr	Q	Pinterest	Z
Facebook	I	Youtube	R	Badoo	A2

7.3	A quelle fréquence vous connectez vous sur les RSN ?	Au moins une fois par jour	A
		Au moins une fois par semaine ?	B
		Au moins une fois par mois ?	C
		Moins souvent	D
		Jamais	E

7.4	La plupart du temps, que faites vous lorsque vous êtes connecté ?		
A	Je recherche des amis perdus de vue	Je publie des commentaires	H
B	Je joue	Je publie des photos	I
C	Je consulte des informations spécifiques	Je publie des textes, PDF	J
D	Je consulte les publications des autres	Je publie des sons	K
E	Je consulte le profil des autres	Je publie des vidéos	L
F	Je recherche des amis perdus de vue	J'annonce des événements	M
G	Je joue	Je débat	N
		Je partage des informations trouvées sur le web	O
		Je tweet	P
		Je publie des commentaires	Q
		Je publie des photos	R

7.5	Quand vous vous connectez à un RSN, la plupart du temps, vous le faite	De votre téléphone portable	A
		De votre PC portable	B
		D'un ordinateur situé dans un espace public	C
		D'un ordinateur situé chez vous	D

8.1	Possédez-vous un Smartphone ?	Oui	OUI
		Non	NON
8.2	Combien ?		
8.3	Votre Smartphone reste t-il parfois éteint plus d'une heure ?	Oui	OUI
		Non	NON
8.4	Quel système d'exploitation utilise votre Smartphone ?	Android	A
		Iphone/ IOS	B
		Black Berry	C
		Windows	D
		Sybian	E
		Autres	F
8.5	Est-ce-que vous savez ce qu'est le Q-R ou le Flash Code ?	Oui	OUI
		Non	NON
8.6	Vous arrive t-il de télécharger des applications par curiosité ?	Non jamais	0
		De temps en temps	1
		Assez souvent	2
		Très souvent	3

9.1	Selon vous, les RSN peuvent-ils être utiles pour la prévention des inondations rapides ?	Oui tout à fait	3
9.2	Selon vous, les Smartphones peuvent-ils être utiles pour la prévention des inondations rapides ?	Oui, un peu	2
9.3	Pensez vous qu'il serait utile d'utiliser les RSN pour la prévention des inondations au sein de votre commune ?	Non, pas vraiment	1
9.4	Pensez –vous qu'il serait utile de développer une application Smartphone pour la prévention des inondations dans votre commune ?	Non, pas du tout	0

S'il existait un RSN et/ou une application Smartphone dédié au risque inondation sur votre commune, est-ce-que vous l'utiliserez pour :			
9.5.1	Etre alerter en cas d'inondation rapide	Oui, c'est certain	3
9.5.2	Vous renseigner sur les gestes à faire en cas d'inondation		
9.5.3	Débattre sur la gestion locale du risque	Oui, probablement	2
9.5.4	Connaître les zones inondables de ma commune	Non, probablement pas	1
9.5.4	Partager mon expérience personnelle	Non, c'est certain	0
9.5.5	Me renseigner sur les inondations qui sont survenues dans ma commune		

Pour obtenir des informations sur les inondations dans votre commune grâce aux RSN et/ou aux Smartphones, à quel point feriez-vous confiance :			
9.6.1	Aux journalistes (radio, TV, journaux)	Totalemnt confiance	3
9.6.2	Aux représentants d'associations		
9.6.3	Aux spécialistes (scientifiques et techniciens)	Plutôt confiance	2
9.6.4	Aux forces de l'ordre (gendarme, police)		
9.6.5	Aux pompiers	Pas vraiment confiance	1
9.6.7	Au maire		
9.6.8	Aux amis, à la famille, aux voisins	Pas du tout confiance	0

Selon vous, quel support serait adapté à une utilisation des RSN pour la prévention des inondations ?			
9.7.1	Un forum ou un blog	Tout à fait adapté	3
9.7.2	Une application Smartphone spécifique	Plutôt adapté	2
9.7.3	Une page facebook	Pas vraiment adapté	1
9.7.4	Un compte twitter	Pas du tout adapté	0

Etes-vous personnellement disposé à faire quelque chose pour favoriser le développement d'un RSN dédié à la prévention des inondations dans votre commune ?		
9.8.1	Je suis disposé à m'inscrire sur ce type de RSN	Oui
		Non
9.8.2	Je suis disposé à envoyer à mes proches une invitation pour s'inscrire sur ce RSN	Oui
		Non
9.8.3	Je suis disposé à consulter régulièrement ce RSN	Oui
		Non
9.8.4	Je suis disposé à poster des informations concernant le risque inondation de ma commune sur ce RSN	Oui
		Non
9.8.5	Je suis disposé à contribuer à l'élaboration/la mise en œuvre d'un tel RSN	Oui
		Non

10.1	Année de naissance
10.2	Genre
10.3	Profession

ANNEXE 3: Fichier .php de sauvegarde des fichiers images

```
<?php
    $data =
file_get_contents('php://input');
    if (!(file_put_contents($_GET['fileName'],$data)
=== FALSE)) echo "Transfert OK."; // file could be
empty, though
    else echo "Echec transfer.";
?>
```

ANNEXE 4 : Extrait de l'arsenal Législatif et Réglementaire en France dans le cadre des innodations

