



HAL
open science

Intégration, au système d'avertissement de la méthode AIGA, du facteur d'exposition des territoires au risque inondation

Cédric Saint Martin

► **To cite this version:**

Cédric Saint Martin. Intégration, au système d'avertissement de la méthode AIGA, du facteur d'exposition des territoires au risque inondation. Sciences de l'environnement. 2014. hal-02601033

HAL Id: hal-02601033

<https://hal.inrae.fr/hal-02601033v1>

Submitted on 16 May 2020

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

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



La crue de la Nartuby à Trans-en-Provence, 2010
Photo : Philippe Cantet / Irstea Aix-en-Provence

Rapport de stage effectué au sein de IRSTEA sur le thème de :

Intégration, au système d'avertissement de la méthode AIGA, du facteur d'exposition des territoires au risque inondation

Présenté par Clotilde Saint-Martin

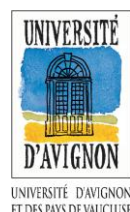
*En vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (G.C.R.N.)*

Responsables de stage :

Johnny DOUVINET – Maître de conférences en Géographie à Avignon – UMR ESPACE 7300 CNRS
Pierre JAVELLE – Ingénieur-Chercheur à IRSTEA Aix-en-Provence

Directeurs de la formation

Freddy VINET – Professeur de Géographie, co-directeur du Master GCRN
Frédéric LEONE – Professeur de Géographie, co-directeur du Master GCRN



15 septembre 2014

A David

Remerciements

Ce rapport de stage marque plus que la fin de six mois de stage, puisqu'il est aussi l'aboutissement de cinq années d'études pour lesquelles j'aimerais avoir l'occasion de présenter mes remerciements.

Tout d'abord je voudrais remercier mes deux tuteurs de stage, Pierre Javelle, Ingénieur-chercheur à IRSTEA d'Aix-en-Provence et Johnny Douvinet, Maître de conférences en Géographie à Avignon, pour leur confiance, leur aide précieuse, leurs conseils avisés, leur motivation et leur soutien. Je les remercie surtout d'avoir proposé ce stage, unique par son originalité entre Hydrologie et Géographie, lors duquel, ils m'ont permis de dépasser le cadre scolaire, de saisir des opportunités professionnelles et de participer à des projets à plus grande échelle.

A MM. Freddy Vinet et Frédéric Leone, co-directeurs du Master GCRN de l'Université Paul Valéry (Montpellier III), pour ces deux années enrichissantes.

Je voudrais également témoigner ma gratitude à Frédéric Pons et Christophe Moulin du CEREMA d'Aix-en-Provence, pour le partage de leurs données, leur aide sur EXZECO et leur collaboration assidue. J'adresse également mes remerciements à l'équipe de IFSTTAR qui m'a fait le meilleur accueil possible à Nantes, notamment Olivier Payrastre et Guillaume Le Bihan. Par la même occasion je remercie l'équipe de Météo-France, et particulièrement Jean Pansu, pour leur accueil et le partage de leurs données.

Je remercie l'ensemble de l'équipe IRSTEA, avec particulièrement Patrick Arnaud, chef de l'équipe Hydrologie, toujours à l'écoute et d'une grande aide, et Patrice Meriaux dans le cadre du projet RHYTMME pour ses nombreux conseils. Je tiens également à adresser mes remerciements au reste de l'équipe Hydrologie qui ont rendu ces six mois aussi agréables que possible : Anthony Caruso pour son aide sur R et ses références culturelles, Stéphane Ecrepont pour les rejeux d'événements et les croissants du matin, Mathieu Tolsa pour les sorties à Collobrières, ses conseils SIG et Game of Thrones, Angélica Caseri pour sa joie de vivre et son sourire, Florine Garcia pour le dynamisme et les fous rires et enfin Philippe Cantet pour la disponibilité et la moto. Une pensée également pour Nathalie Folton et Dominique Breil, qui m'a beaucoup aidée à me familiariser avec IRSTEA. J'adresse également mon bon

souvenir à mes compagnons de stage Mohammed pour ses « toi toujours » et Magloire pour les chemises à fleurs et les lunettes à la Polnareff.

A mes colocataires, Simon et Simon, pour ces 6 mois de vie commune riches en émotion et en guacamole.

A mes amis de toujours : Laura pour son amitié indéfectible, Cécile pour son appui, Thomas mon jumeau de cœur, Juliette pour sa fantaisie et nos virées parisiennes. Et aux nouveaux : Julien pour m'avoir redonné le sourire, Yankee pour ses mails de l'autre bout du monde, Fanny pour son dynamisme constant et son affection, ainsi que toute l'équipe du Lundredi. Sans oublier Iphigénie, Harry Potter et Mimi Now, qui se reconnaîtront.

Enfin je dédie tout mon travail d'aujourd'hui, d'hier et de demain à mon frère David, qui j'espère aurait été fier de moi, et à mon père, mon modèle, sans qui rien n'aurait pu être possible.

Sommaire

Remerciements.....	1
Sommaire	3
Résumé	4
Introduction	5
1. Concept, objectif et mise en contexte : les apports du stage à l'avertissement des crues.....	7
1.1. Acteurs et fonctionnement de la prévision des crues en France : lacunes et besoins du système actuel.....	7
1.2. L'approche des risques par les enjeux	18
2. Conception d'une approche scientifique pour la prise en compte des enjeux dans le système d'avertissement AIGA	26
2.1. Cadre chronologique et zone d'étude	27
2.2. Elaboration d'une base de données sur les dégâts liés aux crues « BD_Degat »	33
2.3. Evaluation de l'exposition aux inondations.....	48
2.4. Les avertissements fonction de l'exposition des territoires : une méthode d'avenir ?	59
Conclusions et perspectives.....	70
Annexes	72
Bibliographie	77
Liste des figures.....	80
Liste des tableaux	81
Liste des photos.....	81
Sigles.....	82
Table des matières	84

Résumé

Depuis plusieurs années, IRSTEA d'Aix-en-Provence développe, en coopération avec le SCHAPI et Météo-France, un dispositif d'avertissement des crues en bassin non-jaugé, basé sur la transformation de la pluie en débit, dit méthode AIGA.

Les catastrophes de Xynthia et de Draguignan en 2010, ont souligné la nécessité d'apporter une attention particulière aux dommages liés aux crues rapides, afin d'en réduire le nombre et l'intensité à l'avenir. Il s'avère donc aujourd'hui nécessaire de développer cette méthode, afin qu'elle prenne en compte les enjeux, notamment dans le but de la rendre utilisable dans un cadre de gestion de crise.

Développé au sein du projet RHYTMME, dans le cadre d'une convention avec le SCHAPI, ce stage a pour but de concevoir une nouvelle approche d'intégration du facteur d'exposition des territoires au risque inondation, à l'avertissement des crues, à partir de la méthode AIGA.

Mots-clefs : avertissement, alerte, inondation, AIGA, RHYTMME, base de données, exposition, Var, crue éclair

Abstract

Since a few years, IRSTEA of Aix-en-Provence develops, with SCHAPI and Meteo-France's cooperation, a flood warning method for ungauged basin, built on transformation of rain to flow, named AIGA method.

Xynthia and Draguignan disasters of 2010, underlined the need to pay special attention to damages due to flash floods, to reduce their number and intensity. It is necessary to develop this method, to make it take into account assets, notably to make it usable for crisis management.

Developed within RHYTMME project, in the context of a SCHAPI convention, this internship aims to conceive a new approach to integrate a factor of exposure to floods, to floods warning, from AIGA method.

Keywords: warning, flood, AIGA, RHYTMME, dataset, exposure, Var, flash flood

Introduction

« *On ne peut rien faire, ça va trop vite (...) d'un coup la vague est arrivée, il n'y avait [plus] rien* » (TF1, 2014). Ce témoignage a été recueilli auprès d'un sinistré par la chaîne de télévision TF1, après l'inondation du 19 janvier à la Londe-les-Maures, dans le département du Var. Il démontre la rapidité et la violence que peut prendre la crue d'un cours d'eau, notamment en zone méditerranéenne.

La soudaineté de ces crues, appelées de manière générique *crues à cinétique rapide* par R. Dauge (1999) ou *crues rapides* par J. Douvinet (Douvinet J., 2010), soulève tout spécialement le problème de leur prévision et de leur avertissement. En effet, survenant à la suite de pluies concentrées sur un territoire limité, ces phénomènes apparaissent en moins de 6h ce qui en fait des aléas difficilement localisables et de fait prévisibles.

Pour autant, peut-on croire, comme Ionesco (Rhinocéros, 1959), qu'« *on ne peut prévoir les choses qu'après qu'elles [soient] arrivées* » ? C'est ce que le projet RHYTMME, mené par Météo-France et IRSTEA, dans le cadre d'une convention avec le SCHAPI, cherche à infirmer.

L'ancien CEMAGREF (Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts) devenu IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) en 2012 « *est un organisme de recherche qui [...] travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau et les risques associés, sécheresse, crues, inondations, l'étude des écosystèmes complexes et de la biodiversité dans leurs interrelations avec les activités humaines.* » (Irstea, 2014a).

Parmi ses nombreux domaines de recherche, IRSTEA d'Aix-en-Provence comporte une unité de recherche « Ouvrages hydrauliques et hydrologie » (OHAX) (Annexe - Fig. 24), qui s'intéresse plus particulièrement aux aléas et aux risques liés au cycle de l'eau. Une attention particulière est notamment portée aux crues rapides, et à leur avertissement (Javelle P., 2010).

Avertir d'une crue est un exercice difficile et très aléatoire. Dans le cas des crues rapides, un avertissement ne peut être donné que très peu de temps avant la survenue d'un phénomène. L'absence de visibilité dans le temps complexifie le déclenchement

de l'alerte par les acteurs politiques ainsi que la gestion des secours et les moyens à mettre en place en cas de crise. Voilà pourquoi il est nécessaire que ces avertissements soient les plus efficaces possibles (Montz & Gruntfest, 2002).

L'estimation du débit d'un cours d'eau ou la définition de sa zone inondable ne suffisent pas à générer un avertissement efficace. Pour le générer, il est nécessaire de prendre également en compte les conséquences de cette crue sur les enjeux situés en zone inondable. C'est notamment la tâche que se sont fixés les SPC (Service de Prévision des Crues) sur les cours d'eau du réseau réglementaire.

Mais les catastrophes de Draguignan et de Xynthia en 2010 ont rappelé la nécessité d'étendre ce système d'avertissement à l'ensemble du territoire national, c'est-à-dire aux cours d'eau non-jaugés, car « *à partir du moment où il y a presque 30 victimes, on n'a pas été efficace* » déclarait le Président de la République de l'époque.

Les méthodes d'avertissement des crues actuellement développées pour les cours d'eau non-jaugés demeurent toutefois rares. Les quelques méthodes existantes (AIFA-Hydro, EWAS, FFG) se basent sur l'aléa, sans prendre en compte la présence des enjeux. Ainsi, pour deux cours d'eau entrant en crue et présentant le même débit, le même niveau d'avertissement sera émis et ils seront surveillés de la même manière, même si l'un d'eux ne dispose d'aucun enjeu à proximité.

Le but de ce stage d'une durée de six mois (Annexe - Tableau 7) est donc d'explorer une nouvelle approche de l'avertissement des inondations, qui intégrerait à la méthode AIGA actuellement développée à IRSTEA, la prise en compte des enjeux aussi bien humains que structurels, dans le but de la rendre efficace dans un contexte de gestion de crise.

Dans un premier temps, nous verrons les apports théoriques du stage à notre problématique, avant d'aborder, dans un second temps, les aspects techniques de notre démarche.

1. Concept, objectif et mise en contexte : les apports du stage à l'avertissement des crues

1.1. Acteurs et fonctionnement de la prévision des crues en France : lacunes et besoins du système actuel

« Savoir pour prévoir, afin de pouvoir. »

Auguste Comte, Cours de philosophie positive, 1842

1.1.1. Le SCHAPI au cœur du système de prévision

On peut définir la prévision comme une « *indication donnée à diverses échéances de temps, par des moyens déterministes ou statistiques, sur l'occurrence et la qualification d'un aléa naturel sur une zone donnée* » (Gerard, 2013).

Bien que les premiers services de prévision des crues remontent au XIX^{ème} siècle, ce n'est qu'avec la création du SCHAPI (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations), en 2003, que l'on assiste à la naissance d'un véritable système national de surveillance des crues en France. (MEDDE, 2012a)

En résolvant notamment le problème de la disparité régionale de la prévision des crues, par la création d'un système national centralisé, la naissance du SCHAPI, sous la tutelle du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, a posé la première pierre du réseau français de PC&H (Prévision des Crues et l'Hydrométrie) (Fig. 1).

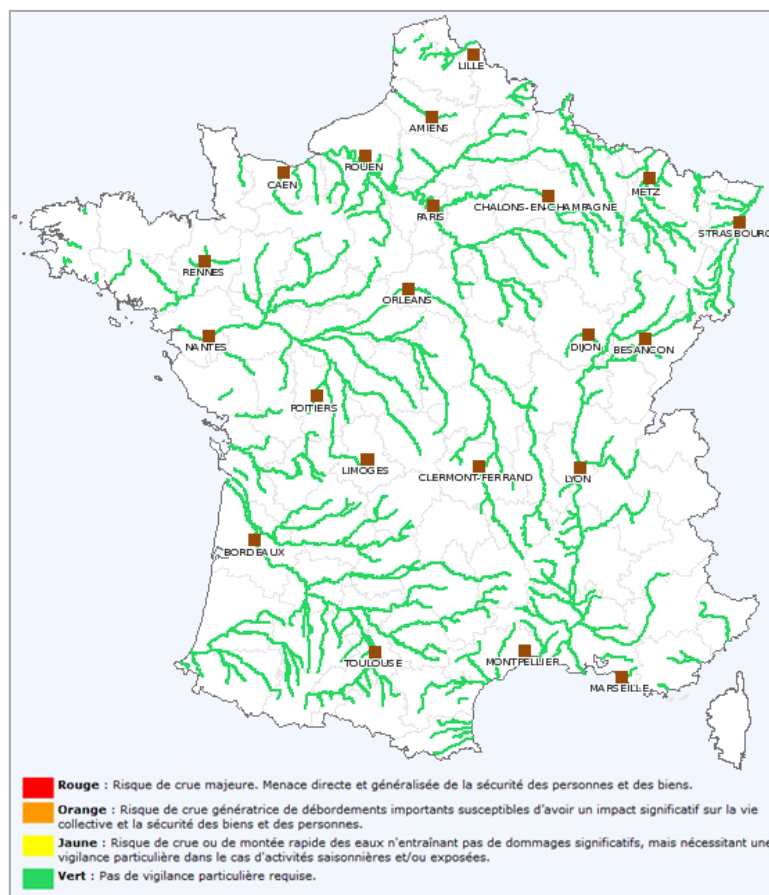


Figure 1 : Réseau hydrographique réglementaire suivi par les SPC

(Source : Vigicrue (2014))

La construction du SCHAPI peut être lue comme la réponse à une demande sociale de réaction de l'Etat suite à la survenue d'importants « orages cévenols » et crues torrentielles, notamment celles des 12 et 13 novembre 1999 dans l'Aude.

Par la suite, les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999, ont démontré les limites des procédures d'information météorologique en vigueur, notamment celles destinées au grand public.

En réponse à cette défaillance, Météo-France, en collaboration avec la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC), a alors mis en place, en 2001, un système de vigilance dite « météorologique ». Ce système de vigilance, destiné aux services de l'Etat ainsi qu'au grand public, indique sous forme d'un pictogramme, les phénomènes météorologiques ou hydrologiques auxquels chaque département est soumis pour les prochaines heures.

Il retranscrit également le niveau d'intensité de ces phénomènes en fonction d'un code de quatre couleurs allant du vert au rouge, inspiré des alertes cycloniques de l'Outre-Mer.

A la différence de la prévision, la vigilance peut être définie comme « *un état de veille et de suivi* » (Gerard, 2013). Elle fournit une information basée sur les données de prévision et destinée aux populations et aux autorités, afin de les intéresser à l'occurrence probable de phénomènes potentiellement dangereux sur une zone donnée.

La vigilance de Météo France couvre plusieurs phénomènes : vents violents, orages, neige/verglas, vagues-submersion, avalanches, canicule, grand froid, inondation et pluie-inondation. Mais la vigilance « météorologique », réalisée par Météo-France à l'échelle du département se différencie de la vigilance « crue », qui est réalisée par le SCHAPI au niveau des cours d'eau (<http://www.vigicrues.gouv.fr/>). Les vigilances météorologiques « Pluie-Inondation » et « Inondation », réalisées à l'échelle du département, en font la synthèse.

La couleur et l'intensité des pictogrammes « Pluie-Inondation » et « Inondation » de la vigilance météorologique sont donc établis en commun entre Météo-France et le SCHAPI, comme l'illustre la figure 2.

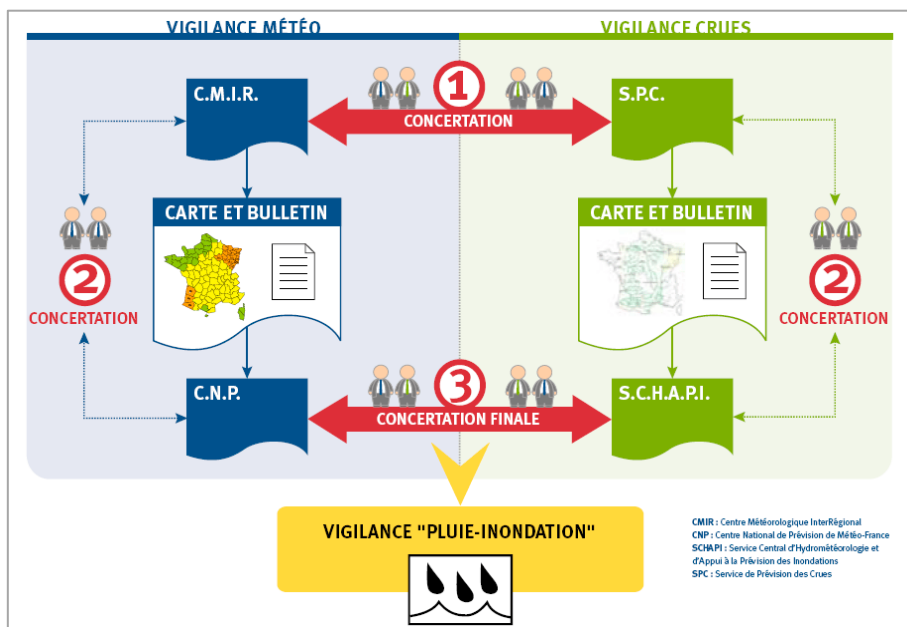


Figure 2 : Schéma des acteurs dans la vigilance hydrométéorologique

(Source : Météo-France)

Afin de rendre plus efficace le système de vigilance, il est donc nécessaire de développer, en amont de ce dernier, une politique de prévention afin de sensibiliser la population, mais également de coordonner les actions de prévision, prévention et protection du risque inondation à l'échelle nationale.

1.1.2. Evolution des politiques de l'Etat sur le sujet des inondations

« *Inondations : le bilan passe à 25 morts dans le Var* » (Le Figaro, 17 juin 2010)

« *Tempête Xynthia : le bilan humain est de 47 morts* » (L'Express, 3 mars 2010)

Comme le montrent ces unes de journaux, l'année 2010 a été marquée en France par la survenue de deux catastrophes majeures qui ont profondément marqué les populations française et européenne. Les bilans respectifs de 25 morts dans le Var suite aux inondations du 15 juin, et de 47 morts dans l'Ouest de la France, après le passage de la tempête Xynthia du 28 février, ont souligné la nécessité d'un renforcement de la politique de prévention des risques d'inondations en France (comptes, 2012).

Cette nécessité d'agir s'est traduite au niveau national, par la publication d'un Plan de Submersion Rapide (PSR) en 2011 (MEDDE, 2011) visant à assurer la sécurité des personnes vivant sur les territoires soumis à trois types d'aléas : les submersions marines, les inondations par ruissellement, ou les crues soudaines et les ruptures de digues fluviales ou maritimes (MEDDE, 2013). Ce plan interministériel a marqué le début d'une vaste transformation du système de gestion du risque d'inondation français. (Fig. 3)

Le PSR appelle les territoires les plus exposés à ces risques, à mettre en place des actions de prévention et de protection contre les inondations, autour de quatre axes principaux, qui sont :

- la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation du bâti existant
- le perfectionnement des systèmes de prévision et d'alerte
- la sécurisation des ouvrages de protection
- le développement de la résilience des populations.

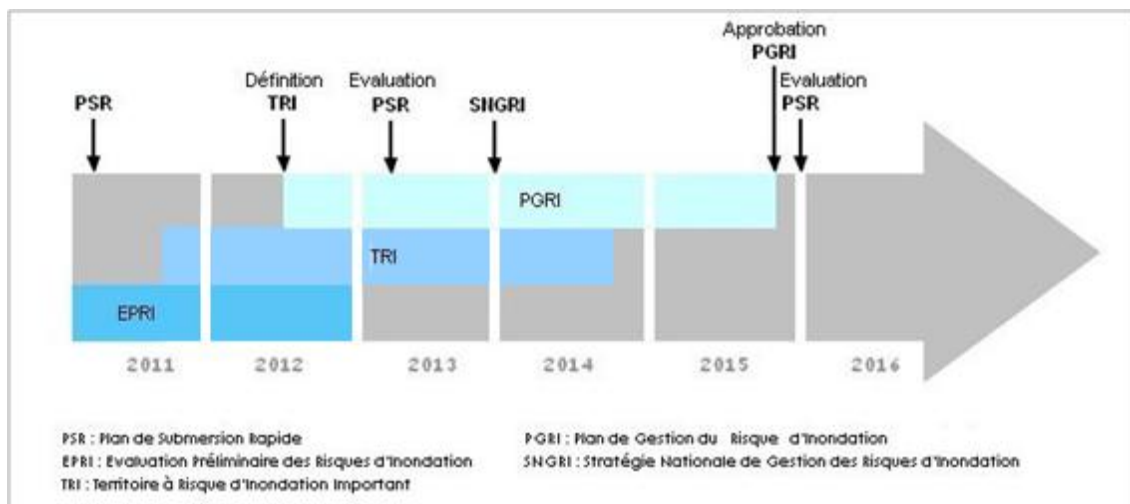


Figure 3 : Evolution de la politique de prévention du risque inondation en France

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis CEREMA (2011))

Afin d'identifier les territoires les plus exposés, dans le cadre de la Directive Inondation européenne (DI), l'Etat a mis parallèlement en place en 2011, une Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) dans chaque district hydrographique (MEDDE, 2012b). Cette évaluation comporte trois volets principaux qui sont :

- Une cartographie à l'échelle du district hydrographique
- Un point sur les inondations historiques et leurs conséquences négatives sur les enjeux humains, environnementaux, culturels et économiques
- Une évaluation des impacts négatifs potentiels de futures inondations

Les EPRI ont ainsi permis de définir, à l'échelle nationale, les zones les plus exposées au risque d'inondation, soit 122 Territoires à Risque d'Inondation Important (TRI) : « Art. L. 566-5. – I. – Sur la base de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation nationale et de la stratégie nationale, l'autorité administrative, associant le conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs, identifie des territoires dans lesquels il existe un risque d'inondation important ayant des conséquences de portée nationale » (DGPR, 2014).

Ces TRI, parmi lesquels on pourra notamment citer Est-Var et Toulon-Hyères, ont donc été sélectionnés, suite aux EPRI, afin de bénéficier d'un diagnostic de vulnérabilité approfondi face au risque inondation. Des actions de prévention sont cependant appliquées à l'ensemble des territoires concernés par les inondations, comme le

prévoient les Plans de Gestion du Risque d'Inondation (PGRI) dans le cadre de la politique nationale de gestion des risques qui vise à « *réduire les conséquences négatives potentielles associées aux inondations dans un objectif de compétitivité, d'attractivité et d'aménagement durable des territoires exposés à l'inondation* » (MEDDE, 2014).

La Stratégie Nationale de Gestion des Risques d'Inondation (SNGRI) présente les objectifs et les dispositions suivies par le PGRI de chaque district. En continuité avec la DI adoptée par le Parlement Européen en 2007, la SNGRI a pour but d'augmenter la sécurité des populations, de réduire le coût des dommages liés aux inondations et enfin d'améliorer la résilience des territoires.

L'accomplissement des objectifs fixés par la politique de gestion du risque d'inondation s'appuie sur de nombreux acteurs, scientifiques et techniques, en charge de réaliser notamment, les travaux d'évaluation de l'exposition et de la vulnérabilité des territoires face aux inondations. Parmi eux, des instituts de recherche, des centres d'expertise, des universités etc.

1.1.3. Les autres acteurs de la prévision des risques en France

Il existe de nombreux organismes qui œuvrent dans le domaine de la prévision des risques naturels en France. Le SCHAPI est au centre du réseau national d'organismes œuvrant pour la prévision des crues et l'hydrométrie (PC&H). Il entretient donc une étroite collaboration avec les acteurs du réseau, qu'il s'agisse :

- Des prévisionnistes : SPC, Météo-France (voir 1.1.1.)
- Des techniciens et scientifiques : CEREMA, IRSTEA, IFSTTAR etc.
- Des équipes de recherche et des universités : ESPACE, GESTER, PACTE etc.

Cette collaboration se manifeste notamment par un travail de coordination à l'échelle nationale, et par des conventions d'appui aux projets de recherche pour les établissements publics de l'Etat. C'est le cas de IRSTEA qui, dans le cadre de ces conventions, bénéficie donc d'une étroite collaboration avec le SCHAPI, ce qui l'amène notamment à travailler avec d'autres établissements publics tels que IFSTTAR ou le CEREMA.

➤ **L'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)**

Créé en 2010, IFSTTAR est un institut de recherche bénéficiant d'un département géotechnique, géosciences et risques naturels (GERS). Il s'intéresse donc aux risques naturels au même titre que IRSTEA, avec qui il élabore donc des projets de recherche communs.

Ce stage est proche du sujet de la thèse actuellement menée par Guillaume Le Bihan, à IFSTTAR. En effet, l'objectif de cette thèse est de construire un modèle d'enjeux sur chaque tronçon de cours d'eau étudié, afin d'obtenir, grâce à un modèle pluie-débit, une estimation des enjeux possiblement inondés selon la période de retour de la crue.

Les objectifs du stage sont donc similaires à ceux de la thèse suivie par G. Le Bihan, à la différence que notre approche se veut plus simpliste, donc beaucoup moins précise, car elle vise, à terme, à fournir des données à l'échelle nationale.

➤ **Le Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA)**

Le CEREMA, ancien CETE, est un centre d'expertise scientifique et technique intervenant en soutien des politiques publiques portées par les services de l'État et des collectivités territoriales.

Les compétences techniques disponibles au sein ses Direction Technique et Direction Territoriale, permettent de couvrir un champ d'action très large dans le domaine des risques naturels (définition et compréhension de l'aléa, conseil, expertise, guides méthodologiques, etc.). Ce réseau de compétences, associé aux moyens techniques disponibles (modélisation, SIG, mesures in-situ, de laboratoire, etc.) et implanté sur 29 sites en France, permet de couvrir l'ensemble des risques naturels du territoire national métropolitain et d'outre-mer.

IFSTTAR et CEREMA sont deux centres de recherche qui travaillent sur les inondations grâce à des conventions signées avec le SCHAPI. C'est donc dans des conditions similaires que IRSTEA a développé la méthode AIGA sur le pourtour Méditerranéen, et vise, à terme, son application à l'ensemble du territoire national.

1.1.4. Présentation rapide de la méthode AIGA et du projet RHYTMME

La prévision des crues est un élément fondamental du système d'avertissement des inondations. Cependant, elle soulève de nombreuses difficultés. Le principal problème rencontré par les prévisionnistes est la maîtrise de la temporalité. En effet, « *avec quel délai d'anticipation et avec quel degré de précision, des outils hydrologiques peuvent-ils anticiper l'évolution du débit des cours d'eau ?* » (Lavabre J., 2005).

Ce questionnement, au cœur de la problématique de l'avertissement des crues, a amené la Direction Interrégionale Sud-Est de Météo-France (DIRSE), en collaboration avec IRSTEA, à développer un nouveau dispositif d'estimation des débits, basé sur les observations pluviométriques.

- ***La méthode AIGA (Adaptation d'Information Géographique pour l'Alerte en crue)***

La méthode AIGA a été conçue afin de fournir des données d'avertissement des crues, sur les cours d'eau non-jaugés en région Méditerranéenne. Il s'agit de cours d'eau ne bénéficiant d'aucune instrumentalisation, à la différence des cours d'eau du réseau réglementaire, suivis par les SPC (Fig. 1). Mais la méthode AIGA est aujourd'hui utilisée sur l'ensemble du réseau hydrographique de la Base Nationale des Bassins-versants (BNBV) du pourtour Méditerranéen.

En exploitant les données pluviométriques à l'échelle du pixel kilométrique, relevées en temps réel par les radars du réseau ARAMIS (Fig. 4), la méthode AIGA permet d'anticiper les variations de débit des cours d'eau suivis. Cette méthode permet ainsi de fournir, après modélisation de la pluie en débit, un niveau d'avertissement hydrologique, selon trois niveaux, qui correspondent à trois périodes de retour et trois couleurs :

- Période de retour de deux ans : bleu
- Période de retour de 10 ans : violet
- Période de retour de 50 ans : rose

Le réseau de radars de Météo-France ARAMIS, comprend 27 radars météorologiques répartis sur l'ensemble de la France Métropolitaine, qui fournissent des données de pluie 24 heures sur 24, renouvelées toutes les cinq minutes (Annexe – Fig. 24).

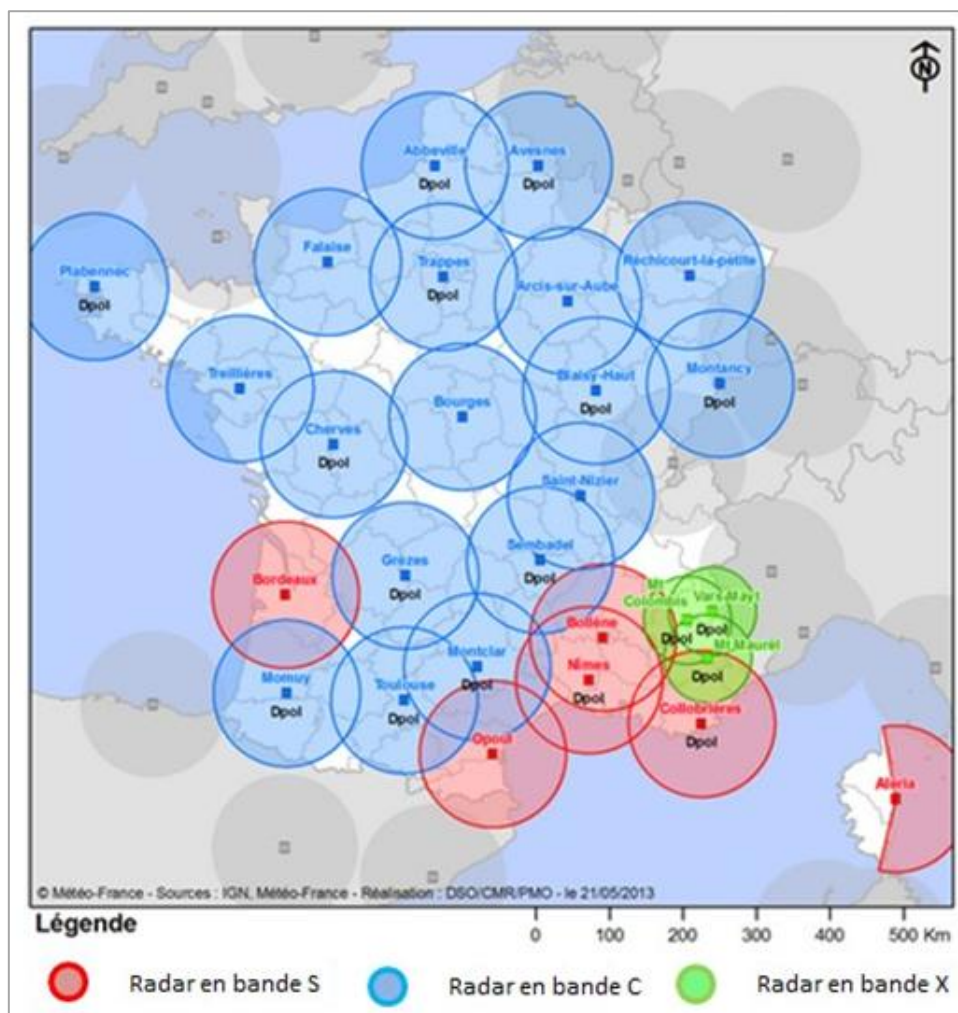


Figure 4 : Réseau ARAMIS de Météo-France

(Source : Météo-France)

A partir de ces données de pluie recueillies, et de plusieurs autres éléments (Fig. 5), la méthode AIGA produit, toutes les 15 minutes, une carte du risque pluvial, et une carte du risque hydrologique. Cependant, les cartes produites ne fournissent pas d'estimations instantanées du débit, mais expriment l'évolution prévisible de ce débit dans les heures à venir, à partir des précipitations relevées.

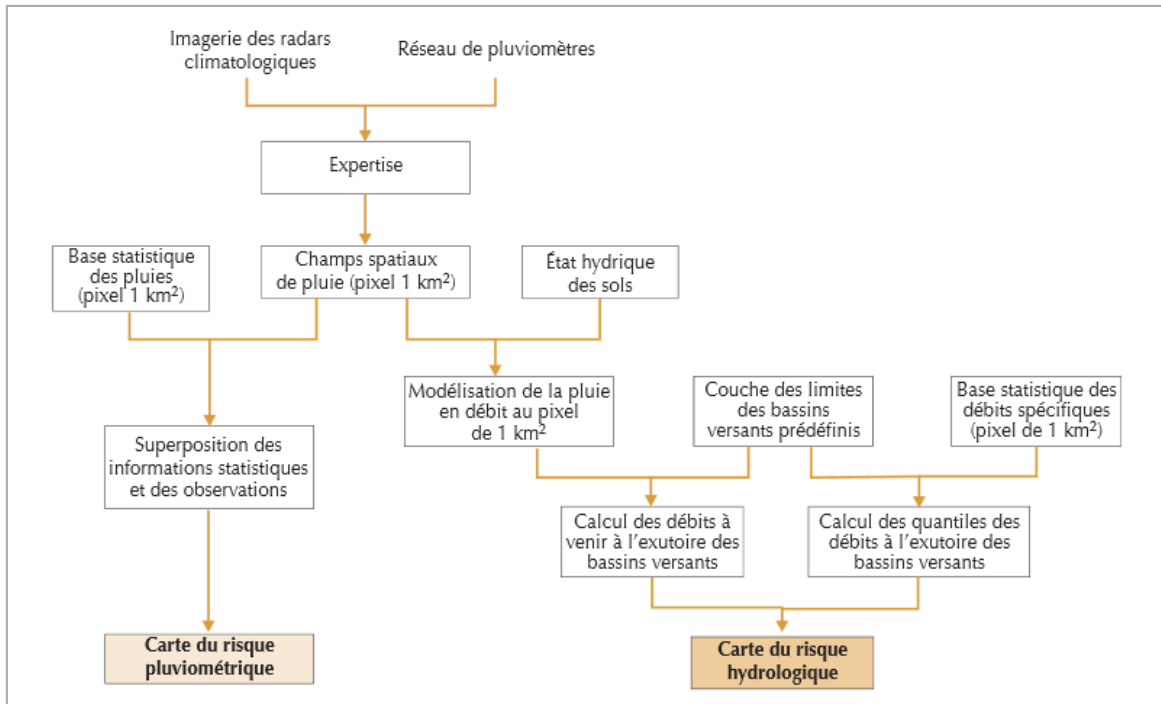


Figure 5 : Éléments constitutifs des cartes produites par la méthode AIGA

(Source : Météo-France / IRSTEA (Lavabre J., 2005))

La méthode AIGA base donc ses avertissements uniquement sur l'hydrométéorologie, sans prise en compte de l'occupation du sol des territoires menacés par les crues.

Le but de ce stage serait donc d'intégrer un nouveau paramètre à la méthode AIGA, afin que ses avertissements ne se basent plus seulement sur le niveau d'aléa, comme c'est le cas actuellement, mais également sur les dégâts potentiels liés à la survenue d'une crue.

La prise en compte de l'occupation du sol par la méthode AIGA permettrait, d'une part, de vérifier l'efficacité de la méthode pour des événements passés, et d'autre part, de pondérer les avertissements de crue en fonction de l'exposition des territoires.

La finalité serait donc, à terme, pour cette méthode, d'être utilisée à l'échelle locale, par les acteurs de la gestion de crise, comme au sein du projet RHYTMME.

- *Le projet RYTHMME (Risques Hydrométéorologiques en Territoires de Montagne et Méditerranéens)*

Traversées le plus souvent par des bassins-versants de faible superficie, difficilement observables, les zones montagneuses sont très vulnérables aux crues rapides et aux laves torrentielles, qui sont des aléas particulièrement difficiles à prévoir.

Les radars hydrométéorologiques en bande C ou S sont utilisés par le réseau ARAMIS en plaine pour mesurer en temps réel les précipitations et ainsi anticiper les événements dangereux. Ces radars donnent des résultats exploitables dans les zones de relief peu accidenté, mais ne peuvent détecter les précipitations localisées en milieu montagneux, le relief constituant un obstacle aux ondes.

Pour pallier cette défaillance, le projet RHYTMME (Risques Hydrométéorologiques en Territoires de Montagne et Méditerranéens), démarré en 2008 par IRSTEA et Météo-France, (Irstea, 2014b) a pour objectif de déployer et d'exploiter, au cœur des Alpes du Sud, trois radars de nouvelle génération en bande X (Photo 1).



Photo 1 : Radar en bande X sur le Mont Aurel

(Source : Météo-France, IRSTEA)

Bien qu'ayant une portée plus faible que les radars en bande C et S, de l'ordre de 60 km, les radars en bande X sont également de taille plus réduite et leur installation est donc plus facile sur les terrains accidentés tels que les zones de montagne.

Ces radars en bande X ont permis d'élaborer une plateforme de service d'avertissement des aléas de montagne en temps réel, à la disposition d'acteurs expérimentateurs : Restauration des Terrains de Montagne (RTM), syndicats de bassin, SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer Français), communautés de communes, bureaux d'étude etc.

La méthode AIGA marque un tournant dans le domaine des systèmes d'avertissement des crues, pour les cours d'eau non-jaugés. En effet, elle produit et met à disposition une source continue de données hydrométéorologiques, en temps réel, sur ces cours d'eau. Cependant, malgré cette exhaustivité, elle présente également plusieurs lacunes de l'ordre technique, mais aussi de l'ordre méthodologique, puisqu'elle fait abstraction d'une des deux composantes fondamentales du risque : les enjeux.

1.2. L'approche des risques par les enjeux

« Quand on a rien à perdre, on peut bien tout risquer »

J. L. Laya, L'ami des lois, 2011

1.2.1. Rappel théorique et conceptuel

L'intégration toujours grandissante des risques naturels au sein des préoccupations de notre société actuelle, rend nécessaire d'explicitier la terminologie qui s'y rapporte. En effet, bien que l'on assiste à l'émergence de termes tels que vulnérabilité, résilience et risque, au sein du vocabulaire courant, ce succès s'accompagne d'un amalgame entre ces différentes notions.

La définition classique veut que le risque soit « *la combinaison d'un phénomène physique extrême, mais aussi d'enjeux humains et socio-économiques accumulés et caractérisés par une vulnérabilité plus ou moins grande* » (B. L. Vinet F., Defossez S. , 2011) tel que :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times (\text{enjeux} \times \text{vulnérabilité})$$

Ainsi on peut définir le risque comme le résultat d'un enjeu plus ou moins exposé à un aléa donné (Fig. 6). Dans le cadre de l'étude des impacts du changement climatique, le GIEC donne une définition de l'exposition telle que la « *présence de personnes, de moyens de subsistance, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages* » (GIEC, 2012).

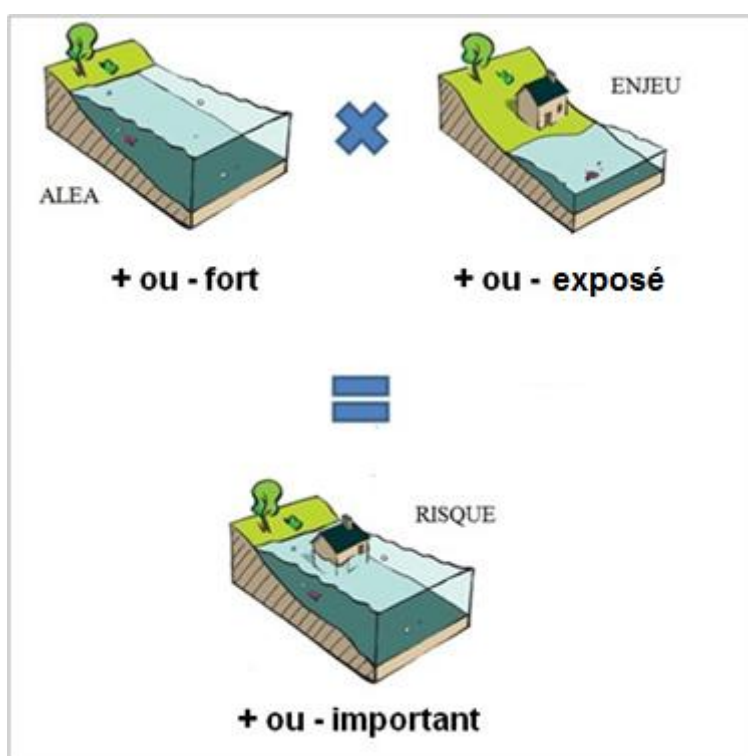


Figure 6 : L'équation du risque

(Source : Adapté depuis le Bassin-versant de la Sèvre Nantaise)

Dans le domaine plus spécifique des risques naturels, nous avons choisi de nous baser sur la définition de l'exposition comme « *la coïncidence spatiale entre les enjeux et l'aléa d'où la notion de zone à risque* » (L. F. Vinet F., 2005).

Ainsi, il faut souligner la nécessité de distinguer la notion d'exposition d'autres notions, comme celle de vulnérabilité notamment, qui restent confondues dans les médias, et par/pour le grand public. Il s'agit pourtant de deux notions indépendantes, puisqu'un enjeu peut être vulnérable à un aléa sans y être directement exposé. Par exemple, une entreprise peut être vulnérable à une inondation sans être elle-même inondée, si la route qui la dessert est coupée ou si ses employés, touchés par l'inondation, ne peuvent se rendre au travail. On parlera alors de vulnérabilité systémique.

Selon l'approche systémique, « *la vulnérabilité d'un territoire n'est pas réductible à la somme des vulnérabilités des enjeux exposés* ». On peut donc définir la vulnérabilité comme « *une propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés.* » (L. F. Vinet F., 2005).

Afin de situer notre travail et de le positionner par rapport aux travaux existants, il s'avère nécessaire de dresser le bilan des études qui ont été préalablement menées sur notre sujet. Cet état de l'art, nous permettra d'affiner notre compréhension de la problématique, mais également, d'avoir un aperçu de ce qui reste à faire dans le domaine.

1.2.2. Contexte scientifique et état de l'art

Si un habitant sur quatre est exposé au risque d'inondation en France métropolitaine (MEDDE, 2013), la pression démographique et immobilière exercée sur les zones les plus convoitées, notamment les zones littorales, tend à accroître ce chiffre de manière exponentielle dans l'avenir.

En effet, l'occupation de zones inondables, auparavant utilisées pour l'agriculture ou restées inemployées, est la raison principale de l'augmentation du coût financier et humain des inondations (Kron, 2002). Aujourd'hui, 13 300 communes sont exposées au risque d'inondation en France (MEDDE, 2009).

Pourtant, notre pays accuse un certain retard dans le domaine des risques naturels, notamment par rapport aux anglo-saxons qui sont très impliqués dans la recherche sur les risques naturels, comme le prouve la revue « Natural Hazards ».

Aujourd'hui, le concept d'exposition aux risques apparaît en second plan derrière celui de vulnérabilité ((Cutter, 1996), (Barroca B., 2005), (D'Ercole R., 2009)), avec lequel il est souvent confondu, notamment chez les non-spécialistes. Très souvent, le paramètre d'exposition d'un enjeu à une inondation est résumé à la seule distance entre l'enjeu en question et le cours d'eau.

Pourtant, l'exposition d'un territoire à un risque naturel fournit un certain nombre d'informations exploitables dans la gestion des risques. Ainsi, des entreprises comme Maplecroft (Maplecroft, 2014) ou encore des organismes internationaux comme l'ONU (ONU, 2011), s'intéressent à ce facteur du risque et l'exploitent pour la publication de cartes d'exposition à l'échelle mondiale (Fig. 7).

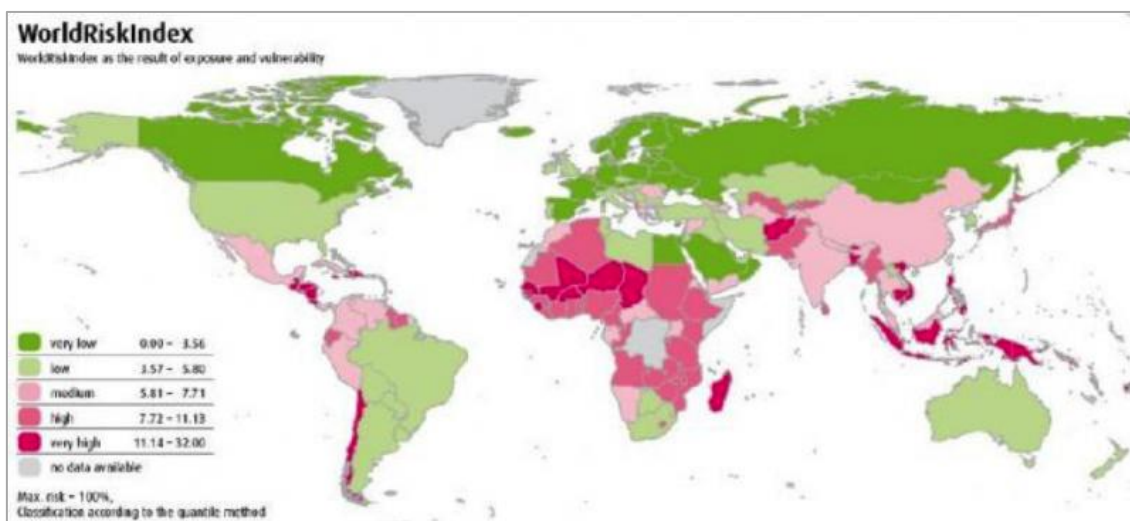


Figure 7 : L'exposition aux risques naturels dans le monde

(Source : ONU (2011))

Les travaux existants qui ne s'intéressent qu'au paramètre exposition du risque, se focalisent sur l'enjeu humain plus que sur les enjeux matériels ou structurels (Ruin, Creutin, Anquetin, & Lutoff, 2008), (Jonkman S.N. , 2008). Or notre but est de donner une vision globale de l'exposition des territoires au risque d'inondation.

IRSTEA avait déjà tenté de développer, en 1994, une méthode de croisement entre l'aléa et l'occupation des sols, au sein du projet CR 34, afin de déterminer le degré

d'inondabilité des territoires (Gilard O., 1994). Cependant, cette étude avait utilisé le facteur vulnérabilité et non celui d'exposition.

Nous avons donc choisi d'étudier l'exposition des territoires, en suivant une approche quantitative du risque (Provitolo, 2007), afin de développer une méthode simplifiée de prise en compte de l'occupation du sol, dans l'avertissement des inondations.

1.2.3. Mise en perspective du travail et apports à la problématique

L'état de l'art a montré les besoins d'un système d'avertissement des crues efficace (Montz & Grunfest, 2002) aussi bien dans le domaine de la recherche que dans celui, plus appliqué, de la gestion de crise.

Afin de remplir cet objectif d'efficacité, il faudrait idéalement concevoir un système d'avertissement prenant en compte l'ensemble des éléments susceptibles d'être endommagés par une inondation, qu'il s'agisse d'enjeux humains, économiques, environnementaux etc. Le but serait ainsi de limiter le nombre de victimes liées aux inondations (Boissier, 2013) aussi bien que le coût des dégâts de leurs futures occurrences (Photo 2).



Photo 2 : Vue aérienne de la plaine inondée d'Hyères, deux jours après les inondations du 19 janvier 2014

(Source : Anne-Christine Poujoulat, AFP (21 janvier 2014))

A la manière des EPRI, ce système permettrait également de hiérarchiser les territoires en fonction de leur niveau d'exposition aux inondations afin de prioriser les actions de prévention mais également d'organiser les secours dans un contexte de crise.

Plusieurs démarches sont envisageables afin de tendre vers ce système d'avertissement idéal, basé sur le croisement de l'aléa et de l'exposition. Nous avons choisi d'explorer l'une d'entre elles.

Ainsi, nous allons travailler sur le développement d'une méthode simplifiée de prise en compte de l'occupation du sol dans l'avertissement des crues. Cette approche permettrait de tester la validité et de démontrer l'utilité d'un croisement entre aléa et exposition, pour la conception d'un système d'avertissement des inondations efficace. Si ce croisement s'avérait pertinent, il serait le point de départ de la conception d'un prototype de système d'avertissement, non plus basé uniquement sur l'aléa, mais également sur les enjeux.

Ce système d'avertissement automatisé serait donc fonction d'une seule variable correspondant à l'endommagement potentiel d'un territoire. Ainsi, dans le cas d'un risque de dégât, un avertissement serait automatiquement déclenché (Fig. 8).

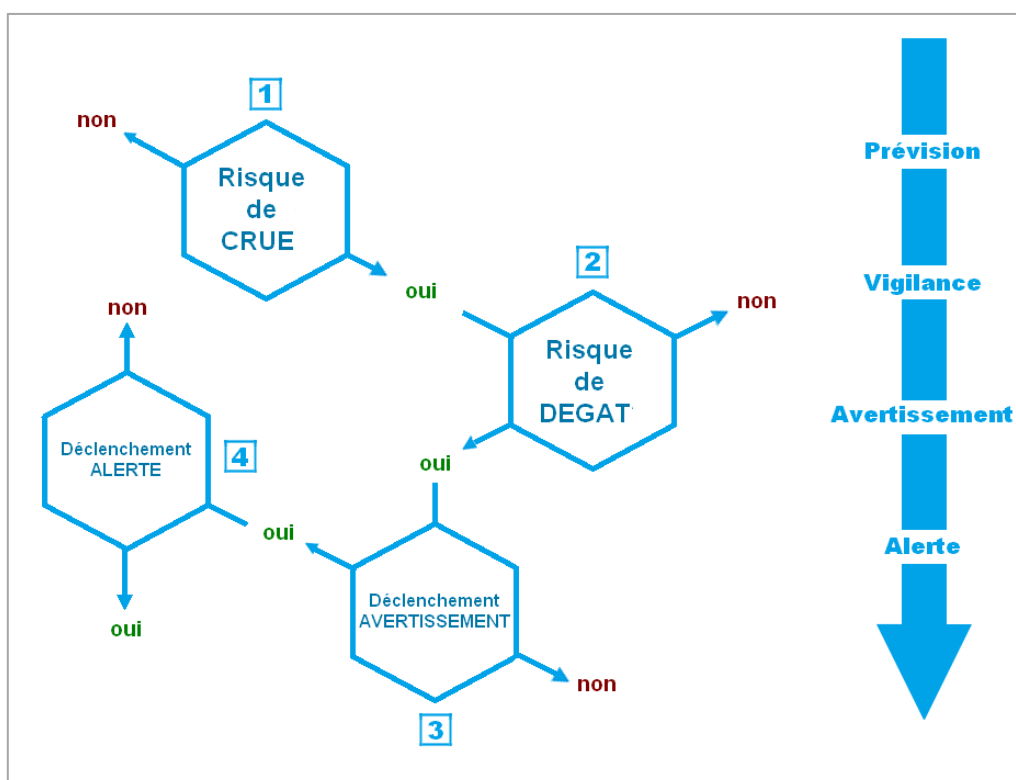


Figure 8 : De la prévision à l'alerte, schéma simplifié des différentes étapes de l'anticipation du phénomène d'inondation

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Ce système d'avertissement ne tend pas à remplacer celui mis en place par les SPC pour les cours d'eau du réseau réglementaire. Il s'agit de fournir aux cours d'eau non-jaugés une information d'avertissement simple, comme c'est le cas aujourd'hui avec la méthode AIGA, mais prenant en compte l'occupation du sol.

2. Conception d'une approche scientifique pour la prise en compte des enjeux dans le système d'avertissement AIGA

Dans notre première partie, nous avons vu qu'actuellement, la méthode AIGA ne prend pas en compte l'occupation des sols dans son système d'avertissement. Cette lacune réduit donc considérablement son efficacité dans un contexte de gestion de crise.

Notre objectif n'est pas de proposer un nouveau système d'avertissement prenant en compte l'exposition des territoires aux inondations, mais d'aller dans cette direction en évaluant la pertinence d'un tel système.

Pour cela, nous avons suivi trois objectifs principaux :

- La constitution d'une **base de données sur les dégâts liés aux crues** entre 2011 et 2014 : BD_Degat,
- La caractérisation de **l'exposition des tronçons** des cours d'eau,
- Le **croisement entre les paramètres d'endommagement, d'exposition et d'avertissement** de la méthode AIGA.

La réalisation de ces objectifs passe par la construction de deux échelles d'intensités afin de caractériser l'endommagement et l'exposition. Il s'agit des deux apports principaux de ce stage, combinés avec la base de données sur les dégâts.

2.1. Cadre chronologique et zone d'étude

«Les hommes qui prennent de grands risques doivent s'attendre à en supporter souvent les lourdes conséquences.»

Nelson Mandela, Un long chemin vers la liberté, 1995

2.1.1. Les crues du Var de novembre 2011 à janvier 2014

La première difficulté rencontrée lors du stage, a été la définition d'une zone d'étude et de bornes chronologiques adaptées. Limités dans le temps, nous avons dû choisir une petite zone d'étude ainsi qu'un cadre chronologique réduit.

Bien que notre étude fasse partie intégrante du projet RHYTMME, qui s'intéresse principalement aux inondations en zone de montagne, c'est sur le département du Var que nous avons été amenés à travailler.

Situé dans une zone de faible relief, le Var ne semblait pas, au premier abord, répondre aux critères et objectifs du projet RHYTMME, bien que l'ensemble de la région PACA soit intégrée. C'est en fait la définition des bornes chronologiques qui nous a amenés à nous tourner vers ce territoire.

Les lames d'eau issues de l'algorithme de RHYTMME n'étant disponibles qu'à partir de 2011, c'est le Var qui comptait le plus d'évènements dommageables liés aux inondations entre 2011 et 2014 (Tableau 1).

C'est donc dans un souci d'exhaustivité que nous avons décidé de conserver cette entité administrative. On peut également souligner que le département du Var a connu plusieurs inondations catastrophiques, la plus marquante restant celle de juin 2010 dont le bilan a fait état de 25 morts et disparus et d'au moins un milliard de dommages directs, dont 615 millions pour les assureurs, 255 millions pour les collectivités et 50 millions pour le domaine agricole. (GEMA, 2011)

Tableau 1 : Inondations dans le Var entre 2011 et 2014

(Source : Base Gaspar (2014))

Date de début	Date de fin
17 janvier 2014	21 janvier 2014
18 mai 2013	18 mai 2013
6 mars 2013	8 mars 2013
13 décembre 2012	15 décembre 2012
21 octobre 2012	26 octobre 2012
4 novembre 2011	10 novembre 2011
24 octobre 2011	25 octobre 2011

On peut ainsi dire que le département du Var est particulièrement concerné par le risque inondation. Sur l'ensemble de ses 153 communes, on note en effet que 119 ont été concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle concernant une inondation, entre 2011 et 2014 (Fig. 9). De plus, sur ces 153 communes, 37 ont vécu au moins deux inondations en l'espace de trois ans parmi lesquelles huit en ont vécu trois.

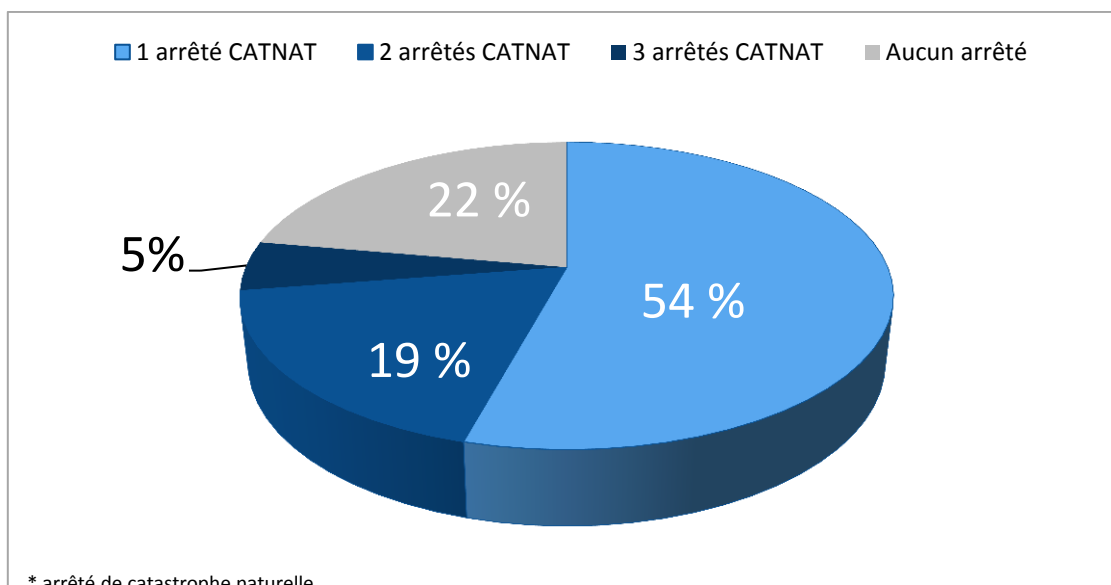


Figure 9 : Communes du Var concernées par au moins un arrêté CATNAT* entre novembre 2011 et janvier 2014

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis la Base Gaspar)

De plus, les récentes inondations de janvier 2014 dans le Var, nous ont permis de mener un retour d'expérience profitable à une meilleure compréhension de la dynamique des inondations dans cette région.

Cependant, si le stage ne porte que sur le département du Var, le but du projet est, à terme, d'étendre la méthode à l'ensemble du territoire national. Or, nous avons eu l'occasion de travailler, dans le cadre d'un projet parallèle, sur les départements des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence. Cette opportunité nous a notamment permis de tester notre méthode d'évaluation de l'exposition ainsi que notre base de données, sur d'autres territoires.

En effet, la base de données BD_Degat doit, à terme, couvrir l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur afin de collecter l'ensemble des dégâts répertoriés dans le cadre du projet RHYTMME. C'est donc dans cette optique de régionalisation que cette base a été créée, voilà pourquoi son utilisation dans deux autres départements, a été particulièrement enrichissante.

Toutefois, avec 980,38km² de zone inondable, les communes du Var forment un cadre d'étude suffisamment vaste pour permettre de récolter des données d'inondation. Parmi elles, nous nous sommes intéressés au cas de la commune de la Londe-les-Maures, car celle-ci a été touchée par les récentes inondations du 19 janvier 2014.

2.1.2. Etude de cas : la Londe-les-Maures, 19 janvier 2014

La Londe-les-Maures est une petite commune de la Côte d'Azur située dans la rade d'Hyères. Bien qu'elle comptait moins de 10 000 habitants en 2011 (INSEE, 2014), il s'agit d'une commune avec un fort potentiel touristique, très fréquentée, donc particulièrement vulnérable pendant la période estivale. De plus, plus d'un tiers de sa population est âgée de plus de 60 ans (INSEE, 2014) ce qui accroît sa vulnérabilité, notamment face aux crues rapides.

Le 19 janvier 2014, les deux rivières qui traversent la commune, le Maravenne et le Pansard, affluents du Gapeau, et dont la confluence est située en aval du centre-ville de La-Londe-les-Maures, entrent en crue. Elles inondent alors une grande partie de la

ville, provoquant d'importants dégâts, notamment au niveau du port (Photo 3) et causant aussi la mort d'un homme de 70 ans pris au piège dans sa cave (Var, 2014).

Ces inondations, provoquées par des précipitations intenses dont les cumuls ont été estimés entre 180 et 250mm, ont pourtant été suivies par les radars de Météo-France. Cependant, le radar de Collobrières, en panne, n'a pas fonctionné, ce qui explique l'imprécision relevée au niveau de la pluviométrie enregistrée ce jour-là.

Lors de cet évènement, la méthode AIGA a donc fourni des données de débit à partir de cette pluviométrie, et a ainsi déclenché des avertissements de crue pour plusieurs cours d'eau y compris le Maravenne et le Pansard. Ainsi, tandis que le premier a reçu un avertissement maximum (2.3.4) pour une crue de période de retour de 50 ans : T50, le second n'a été concerné que par un avertissement maximum pour une crue de période de retour de 10 ans : T10.



Photo 3 : Le port de la Londe-les-Maures au lendemain de la crue du 19 janvier 2014

(Source : Metronews)

Or, si l'on compare les données d'avertissement maximum obtenues, avec les données de dégât de la BD_Degat (2.2.2.) on obtient un décalage important (Fig. 10). Les dégâts étant représentés par des points et caractérisés par une échelle de gravité allant du niveau 1 à 4 (2.2.3.), on s'aperçoit que les abords du Pansard ont connu des

dégâts plus nombreux et plus importants, avec un avertissement T10. Au contraire, les rives Maravenne ont eu peu de dégâts, bien qu'intenses, alors que le cours d'eau était caractérisé par un avertissement T50.

Cette disparité illustre et confirme notre volonté d'intégrer un paramètre d'exposition au système d'avertissement de la méthode AIGA actuelle, afin d'affiner les avertissements produits et de les rendre les plus efficaces possibles. Cependant, ce n'est qu'en croisant les données de dégât, d'avertissement et d'exposition, qu'il sera possible de vérifier l'intérêt de l'intégration des enjeux au système d'avertissement AIGA.

Gravité des dommages et niveaux d'alerte associés lors des inondations du 19 janvier 2014 sur la commune de la Londe-les-Maures

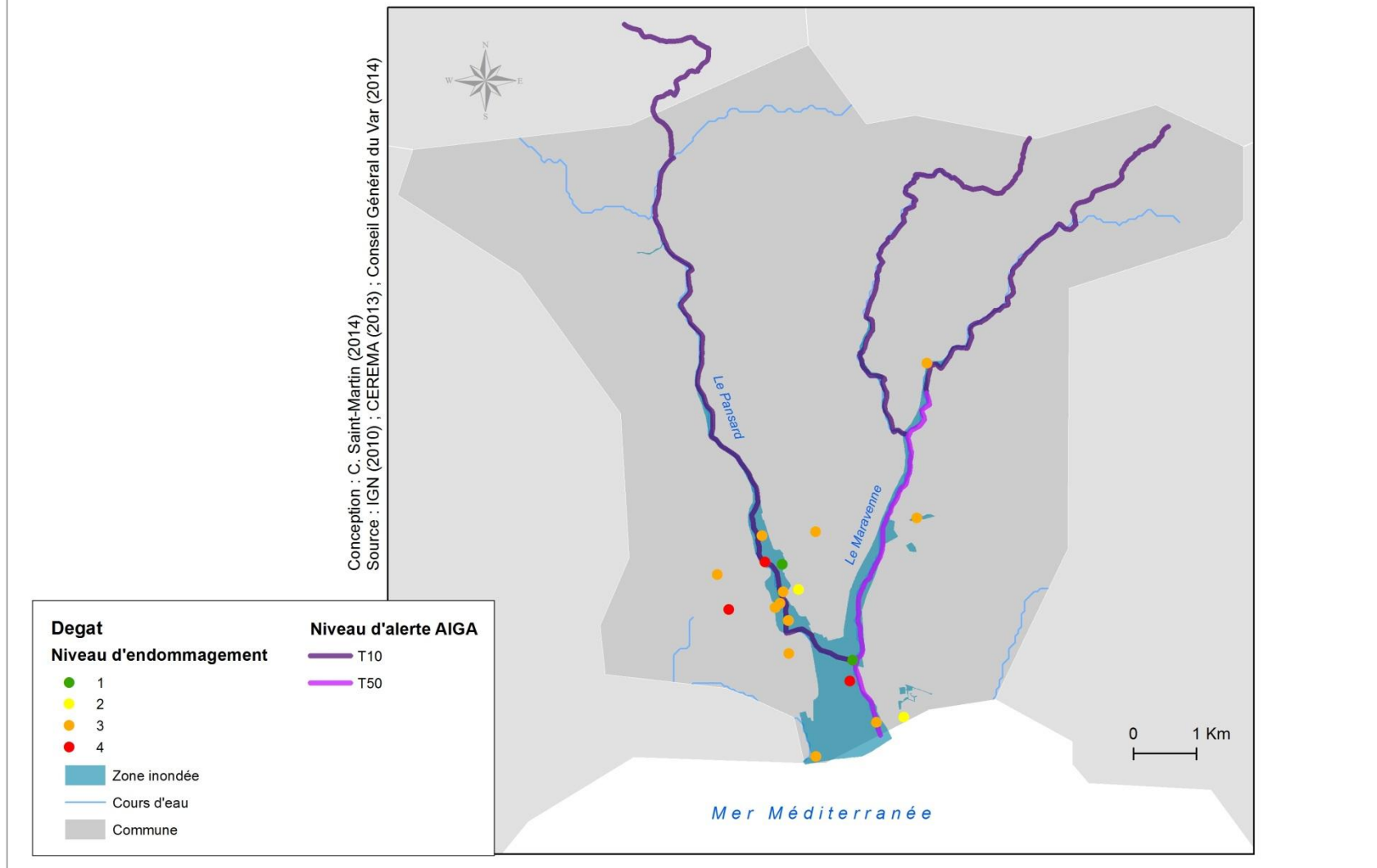


Figure 10 : Gravité et niveaux d'alerte associés lors des inondations du 19 janvier 2014 sur La-Londe-les-Maures

(Source : C. Saint-Martin (2014))

2.2. Elaboration d'une base de données sur les dégâts liés aux crues « BD_Degat »

« A propos d'une inondation, d'un orage, etc., les vieillards du pays ne se rappellent jamais en avoir vu un de semblable. »

Gustave Flaubert, Dictionnaire des idées reçues, 1913

La mémoire d'une inondation passe le plus souvent par le souvenir de son bilan. Ainsi, on retiendra avant tout le nombre de morts, et possiblement en seconde place le coût global de l'inondation. Cependant, plusieurs enquêtes ont montré que l'intervention de l'assurance en cas d'inondation tendait à diminuer la mémoire du coût financier des inondations chez les particuliers (Etudiants du Master 2 GcRN, 2014).

C'est donc les dégâts subis par le bâti et l'endommagement global qui est le mieux retenu par les populations, à l'échelle individuelle (Photo 4), sachant que l'on définit le plus souvent l'endommagement comme « *la concrétisation dans le temps et l'espace d'un risque* » (L. F. Vinet F., 2005). Ainsi, le niveau d'endommagement est une donnée précieuse, permettant notamment, à l'instar des bilans dressés par les assurances, d'obtenir une donnée objective sur la gravité d'une inondation.



Photo 4 : Habitation inondée lors de la crue du 19 janvier 2014 au Lavandou

(Source : B. Horvat (AFP))

2.2.1. Typologie des inondations en zone Méditerranéenne

Le pourtour Méditerranéen est soumis à de nombreux risques naturels, ce qui en fait une zone d'étude particulièrement intéressante dans ce domaine.

Entre le massif des Pyrénées et le massif des Alpes, la zone Méditerranéenne est une des rares zones en France à être soumise au risque sismique, qui, combiné avec la présence de la mer, peut évoluer en risque de tsunami comme ce fût le cas en 1564, 1887 et 2003 (CEA, 2014).

Cette sismicité, combinée à un relief important et des conditions climatiques intenses, explique également la fréquence et l'intensité des mouvements de terrain qui y sont enregistrés.

En effet, bien que tempéré, le climat méditerranéen peut connaître des conditions climatiques intenses. Caractérisé par des étés chauds et secs, il peut provoquer des épisodes de sécheresse importants, aux conséquences souvent désastreuses, comme la canicule de 2003, qui a fait 15 000 victimes en Europe (Hémon D., 2004). Ce climat est également particulièrement propice aux feux de forêts qui détruisent près de 600 000 ha en moyenne chaque année dans la zone méditerranéenne. (Nations, 2014)

De plus, l'importance de la pluviométrie, ainsi qu'une forte croissance démographique, et un développement conséquent de l'urbanisation, ont contribué à développer un risque d'inondation majeur dans la zone méditerranéenne, qui, selon le Plan Bleu, a connu 210 inondations destructrices en l'espace de 20 ans (UNEP, 2014).

La région Provence-Alpes-Côte-D'azur est donc particulièrement exposée à l'ensemble de ces risques, mais ce sont les inondations qui sont au cœur des préoccupations de la population et des autorités dans ce domaine. En effet, à l'instar des autres risques cités, les inondations concernent des zones étendues et ont une fréquence d'apparition importante.

Parmi ces inondations, il est possible de différencier plusieurs catégories selon leur vitesse, leur débit, leur source ou leur localisation. En s'inspirant de typologies déjà établies par des professionnels du risque inondation ou de la typologie adoptée par le Ministère, nous sommes parvenus à dresser notre propre typologie des inondations en France métropolitaine (Tableau 2).

Tableau 2 : Typologie des inondations en France métropolitaine

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Typologie tirée de (Vinet, 2010)	Typologie tirée de (Douvinet, 2008)	Typologie de (MEDDE, 2004)	Typologie adoptée	Exemple
Inondation lente	Débordement de cours d'eau	Inondation de plaine	Inondation de plaine	Seine, 1910
Inondation remontée nappe	Inondation remontée nappe	Inondation par remontée de nappe	Inondation par remontée nappe	Somme, 2001
Crue torrentielle	Coulée de boue	Crue torrentielle	Inondation en zone urbaine	Nîmes, 1988
Inondation zone urbaine	Crue rapide	Crue rapide des bassins périurbains	Crue rapide	Draguignan, 2010
Submersion marine		Submersion marine	Coulée de boue	Var, 2014
			Submersion marine	Xynthia, 2010

Notre typologie se compose donc de six types d'inondations tels que :

- **Inondation de plaine** : occupation du lit moyen de la rivière par débordement du lit mineur, inondation lente, durées de submersion importantes,
- **Inondation par remontée de nappe** : saturation de la nappe phréatique qui affleure et cause une inondation, durées de submersion qui peuvent être longues,
- **Inondation en zone urbaine** : ruissellement des pluies en zone urbaine où le sol est imperméabilisé, sous-capacité des systèmes d'évacuation des eaux rapidement saturés, embâcles importants, courants rapides
- **Crue rapide** : crue de printemps ou de début d'été liée à de fortes pluies, provoquées par de violents orages localisés et de courte durée, auxquelles les bassins-versants réagissent très rapidement

- **Coulée de boue** : crue turbide survenant en période hivernale, liée à de longues pluies peu intenses sur des surfaces importantes, grande capacité érosive

- **Submersion marine** : inondation temporaire de la zone côtière sous l'effet de la surcote marine dans le cas d'une tempête importante, charriage important d'eau et de sédiments, modification du trait de côte, risque de rupture du cordon littoral, importance des embâcles

Notre étude s'intéresse donc plus particulièrement aux crues rapides (Gaume, 2002), (Douvinet J., 2010) parmi lesquelles on peut distinguer les crues torrentielles, les crues éclair ou les coulées de boue. C'est leur avertissement qui est l'enjeu majeur de ce stage. Avec des vitesses de montée des eaux brutales, qui peuvent atteindre plus d'un mètre en une heure, les crues rapides provoquent des dommages importants liés d'une part à la vitesse de l'onde de crue, et d'autre part aux embâcles transportés par les eaux (Montz & Gruntfest, 2002).

Les différences rhéologiques (débits solides, débits liquides) peuvent ensuite expliquer, en amont, des aléas aux ampleurs variées. Les sédiments transportés ont à la fois, sous la forme de limons, une capacité de détérioration du mobilier et du bâti, mais aussi, sous la forme de dépôts plus importants, une propension à la dévastation des cultures.

Les exemples de crues éclair en zone méditerranéenne sont nombreux comme ceux de Nîmes en 1988, Vaison-la-Romaine en 1992, l'Aude en 1999 ou encore Draguignan en 2010. Ils démontrent la nécessité de créer un système d'avertissement efficace ((Ruin et al., 2008), (Torres, Rodriguez, & Obled, 1992)).

Pour cela, il est nécessaire de comprendre le dynamisme de ces crues et leur mécanisme d'endommagement, afin de pouvoir les identifier et concevoir, ainsi, un système d'avertissement adapté. Dans ce but, nous avons conçu une base de données répertoriant les dégâts liés aux inondations dans le Var entre novembre 2011 et janvier 2014.

2.2.2. Structuration de la base de données sur les dégâts liés aux inondations

Afin de mieux comprendre les dynamiques des inondations Méditerranéennes, et obtenir une première donnée d'exposition, nous avons été amenés à travailler sur les dégâts provoqués par les inondations. Ces dégâts, recensés par plusieurs acteurs, le plus souvent des utilisateurs de la plateforme RHYTMME, sont stockés par IRSTEA sous différentes formes, selon leur source, posant ainsi le problème de leur tri et de leur exploitation.

Ainsi, afin de faciliter le traitement de ces données de dégâts, la première partie du stage a été consacrée à l'élaboration d'une base de données réunissant l'ensemble des informations disponibles et destinée à recevoir les futures données de dégâts. Cette base de données s'est donc voulue complète sur la période et le domaine considérés, en plus d'être simple d'utilisation et interactive.

➤ *Sources des données d'information sur les dégâts*

Etant donné que nous avons étudié des crues a posteriori, nous avons, en première partie de stage, effectué un travail de collecte de données sur les inondations passées. Bien que les sources des données utilisées soient précisées dans notre BD_Degat, il est utile de dresser une typologie des différentes sources d'information mobilisées.

Cette recherche de données nous a donc amenés à nous tourner vers des sources d'information non-conventionnelles, qui démontrent notamment le rôle croissant des TIC (Technologie de l'Information et de la Communication) dans le vécu et la prise en charge des inondations :

- **Réseaux sociaux** : nous avons consulté à plusieurs reprises les pages twitter des collectivités, des gendarmeries, mais aussi les pages Facebook des entreprises ou des collectivités, les blogs d'associations de quartiers ou encore de particuliers touchés par les inondations.
- **Médias** : naturellement, grâce au système du « *replay* » (de l'anglais littéralement : jouer à nouveau) qui permet le stockage, de plusieurs jours à

plusieurs mois après la première diffusion, de vidéos des journaux télévisés ainsi que d'articles de magazines et de journaux.

- **Collectivités** : plusieurs communes ont effectué un suivi des inondations via leur site internet bien qu'il faille noter que ces informations ne sont pas mises en valeur de peur de réduire le potentiel touristique de la zone endommagée par les inondations.
- **Contributeurs de la plateforme RHYTMME** : plusieurs contributeurs de la plateforme RHYTMME fournissent à l'IRSTEA leurs données de Retours d'EXpériences (REX) sous forme de fiches, de cartes, ou de classeurs. C'est le cas du RTM ou Météo-France et de l'ensemble des expérimentateurs du projet RHYTMME.
- **Les sites spécialisés** : bien que nous n'en ayons eu que très peu l'utilité lors de la collecte des données pour notre base, il faut noter l'apparition de sites visant à entretenir la mémoire des catastrophes, qui permettent aux particuliers de témoigner de leur propre expérience des inondations, avec photos et vidéos à l'appui. Parmi ces sites, on pourra notamment relever : <http://www.memoiredescatastrophes.org/>. Cependant, bien qu'il s'agisse d'une source de données à explorer, le manque de contributions ne permet pas, pour le moment, d'en faire un site fiable.

➤ *Construction de la base de données BD_Degat*

Nous avons choisi de construire cette base sous la forme d'une géodatabase personnelle, avec le logiciel Arcgis, ayant le double avantage, de produire des informations de géolocalisation en temps réel et de permettre un traitement des données obtenues au format Microsoft Access de manière instantanée.

Nous avons construit cette base à partir de trois couches vectorielles différentes dont l'architecture des tables attributaires est développée en annexe (Annexe – Tableau 8) :

- Une première couche vectorielle nommée « **Evènement** » : cette couche permet avant tout de caractériser et de localiser un épisode de pluviométrie intense qui a été suivi par des inondations. Nous avons choisi de ne pas

développer cette couche mais le but serait, à terme, de lui attribuer des données de pluviométrie afin de compléter les informations de la couche « Dégâts ». 5 évènements ont été étudiés sur le Var pour le moment.

- Une deuxième couche vectorielle nommée « **Dégât** » : cette couche est la couche principale de notre base de données puisqu'elle regroupe l'ensemble des informations liées aux dégâts répertoriés par les différents utilisateurs. Ainsi, chaque dégât correspond à une ligne de la table attributaire, identifié, géolocalisé et décrit. 149 dégâts ont été répertoriés à ce jour.
- Une troisième couche vectorielle nommée « **Tronçon** » : cette couche regroupe l'ensemble des tracés des tronçons de cours d'eau de la BNBV, et non de la BD Carthage, avec leur identifiant. Cet identifiant « ID_EX » qui est également celui de l'exutoire de ce tronçon, sert de référent géographique à l'ensemble de la base. Il compte 9795 tronçons pour la région Provence-Alpes-Côte-D'azur.

➤ *Utilisation et fonctionnalités de la BD_Degat*

Ces trois couches vectorielles : Evènement, Dégât, Tronçon, sont liées par des classes de relation qui permettent de former un ensemble, et de donner à la base une certaine interactivité via des renvois automatiques aux objets liés (Fig. 11).

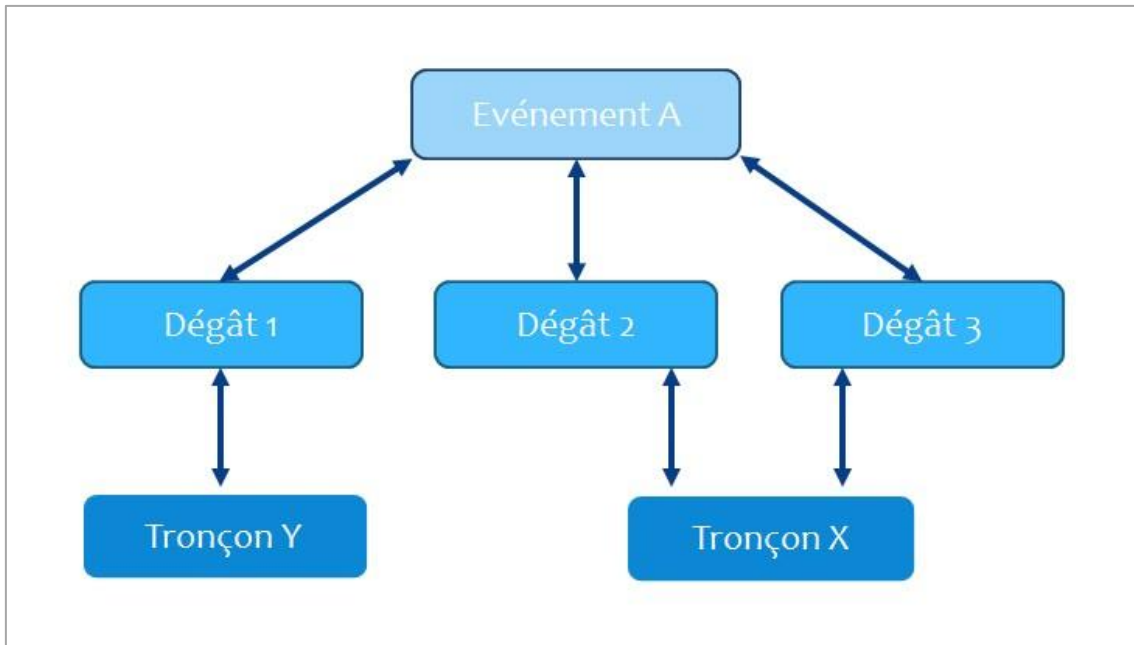


Figure 11 : Organisation des couches de la base de données dégât

(Source : C. Saint-Martin depuis BD_Degat (2014))

Afin de rendre cette base la plus complète possible, nous y avons intégré des fiches HTML. En cliquant sur un dommage, une fenêtre pop-up s'ouvre, et permet donc, toujours dans un souci d'interactivité, d'entrevoir l'ensemble des données du point sélectionné, contenues dans la couche vectorielle « Dégât » (Fig. 12).

Les fenêtres pop-up permettent pour chaque dégât la visualisation de photos, et l'affichage d'hyperliens renvoyant vers des vidéos, fichiers ou sites internet, qui peuvent être la source de la donnée ou seulement illustrer le dégât en question. Dans un second temps, il sera possible, grâce notamment à une meilleure maîtrise du langage HTML, d'afficher directement les vidéos dans les fenêtres pop-up.

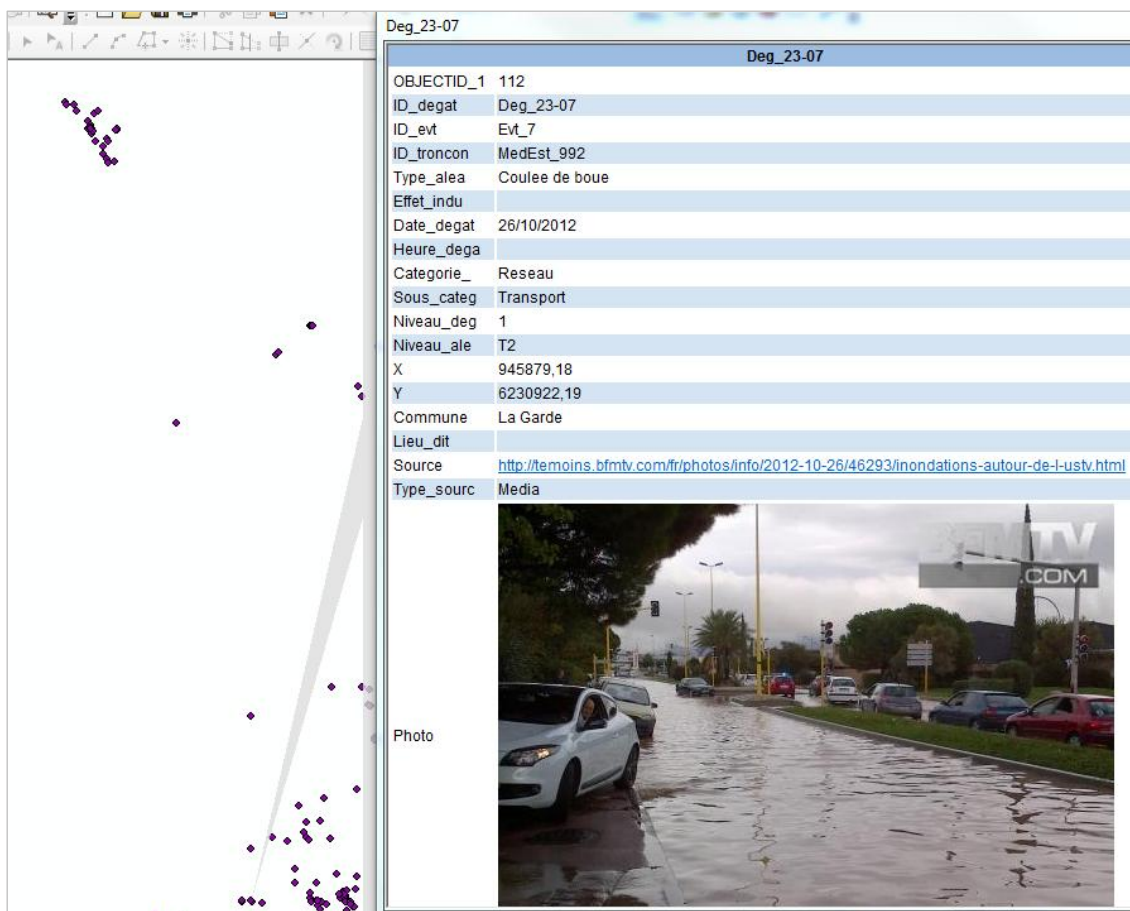


Figure 12 : Aperçu d'une fiche HTML pour un dégât de la BD_Degat sur Arcgis

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Cette base de données complète regroupe près de 200 dégâts pour l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur dont 150 seulement pour le département du Var. Ce nombre n'apparaît pas exhaustif, mais il faut noter que les données de la base sont issues de différentes sources comme les médias, les collectivités ou les Retour d'Expérience (REX) des utilisateurs de la plateforme RHYTMME, jusqu'à trois ans après les inondations, ce qui complexifie l'accès à des données fiables.

Chaque dégât répertorié dans cette base de données est donc renseigné sur sa source, sa géolocalisation, son horodatage etc. (Annexe - Tableau 8). Cependant, avant de pouvoir comparer les dégâts entre eux, il nous a fallu déterminer l'attribution d'un niveau d'endommagement à chaque dégât, en nous inspirant de différents travaux.

2.2.3. Elaboration d'une typologie et d'un indicateur d'endommagement

Neuf catégories d'enjeux ont été reconnues (Tableau 3), pour lesquelles quatre niveaux d'endommagement équivalents ont été fixés. Le niveau un correspond donc à la mise en place d'actions préventives ou à des dégâts superficiels, tandis que le niveau quatre correspond à une destruction de l'enjeu, où à une impossibilité d'utilisation de ce dernier obligeant sa destruction.

Afin d'élaborer cette échelle d'endommagement nous nous sommes inspirés de la littérature existante sur le sujet (Picardie, 2006), ainsi que de notre expérience personnelle (Etudiants du Master 2 GcRN, 2014). Très peu de travaux existants dressent une typologie d'endommagement commune à de multiples catégories d'enjeux. Cependant, des travaux plus nombreux s'intéressent à l'endommagement spécifique de certains types d'enjeux. Ainsi le tableau 3 reprend, par catégorie, les sources convoquées afin de dresser cette typologie.

Tableau 3 : Sources bibliographiques pour l'élaboration d'une typologie d'endommagement

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Type d'enjeu	Ouvrages
Réseaux	<p>Versini P., Gaume E., Andrieu H. - Assessment of the susceptibility of roads to flooding based on geographical information - test in a flash flood prone area (the Gard region, France) (Versini P. , 2010)</p> <p>C. Hattemer - Méthodologie d'évaluation de l'endommagement primaire des réseaux d'infrastructures face au risque inondation (Hattemer, 2010)</p> <p>Leone F., Deymier J., Jomelli V., Chapelon, L., Bouhet O., Colas A., Vinet F., Cherel J. P., Master 2 GCRN – Vulnérabilités des réseaux routiers face aux debris flows dans les Alpes (Leone F., 2011)</p>
Domaine agricole	C. Blanc, P. Brémond, F. Grelot - Projet EVA : "Evaluation de la Vulnérabilité Agricole" (Blanc C., 2010)
Commerce	Geide - Acteurs économiques : Inondation, Prévenir/Réagir/Rétablir (Geide, 2013)
Industrie	Geide - Acteurs économiques : Inondation, Prévenir/Réagir/Rétablir (Geide, 2013)
Bâtiment public	CEPRI - Guide du CEPRI : le bâtiment face à l'inondation, diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité (CEPRI, 2010)
Infrastructure publique	Hubert G., Ledoux B. - Le coût du risque...L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations (Hubert G. , 1999)
Logement	<p>CEPRI - Guide du CEPRI : le bâtiment face à l'inondation, diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité (CEPRI, 2010)</p> <p>Martelli K. - Vulnérabilité des milieux urbanisés face aux impacts physiques des écoulements volcaniques, des lahars et des crues associées: le cas de la ville d'Arequipa (sud du Pérou) (Martelli, 2011)</p>
Homme	<p>Jonkman S.N., Vrijling J.K. - Loss of life due to floods (Jonkman S.N. , 2008)</p> <p>Vinet F., Defossez S. - La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, var, 2010) (B. L. Vinet F., Defossez S. , 2011)</p> <p>I. Ruin and al (2013) - Social and Hydrological Responses to Extreme Precipitations: An Interdisciplinary Strategy for Postflood Investigation (Ruin I. & Creton-Cazanave L., 2013)</p>
Véhicule	Aucun

A partir de ces différentes sources, il nous a été permis de dresser le tableau 4, qui indique, par catégorie et sous-catégorie d'enjeu, les niveaux d'endommagement pouvant être causés par une inondation.

Bien que chaque catégorie d'enjeu dispose d'une échelle de gravité propre, il est possible de distinguer une gradation similaire dans les niveaux d'endommagement correspondant à :

- Le **niveau un** correspond à des actions préventives, à la mise en place de mesures de protection ou encore à des dégâts superficiels nécessitant une remise en état rapide,
- Le **niveau deux** correspond à des dégâts plus profonds qui n'empêchent cependant pas le fonctionnement de l'enjeu,
- Le **niveau trois** correspond à des dommages importants, avec une longue remise en état, et un ralentissement voire un arrêt provisoire du fonctionnement de l'enjeu,
- Le **niveau quatre** enfin, correspond à un enjeu rendu inutilisable ou à la destruction de l'enjeu.

Cette typologie a pour but de simplifier le traitement des données d'endommagement d'une part, et de fournir des critères objectifs d'évaluation du niveau d'endommagement aux futurs contributeurs de la base de données. En effet, il est important de garder en tête que le but de cette base de données est d'être continuellement alimentée afin de caractériser les événements extrêmes et leur impact sur les territoires.

Tableau 4 : Indicateur d'endommagement

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Type	Réseau		Domaine agraire		Commerce		Industrie	Bâtiment public	Infrastructure publique	Logement		Homme	Véhicule		
Sous-type	Transport	Technique	Culture	Elevage	Biens	Services				Permanent	Saisonnier		Transport terrestre	Bateau	
Description	Route, voie ferrée, pont	Gaz, électricité	eau, Champs, outils de production agricoles	serres, Bétail, club	Supermarché, magasin	Notaire, restaurant, base de loisirs	Usine, centrale	industrie, Ecole, mairie, gare	Port, parking		Appartement, maison, logement collectif	Camping, hôtel	Touche à la sûreté des individus	Bus, voiture, camion	Barque, yacht
Niveau 1	Surverse du réseau sans dommage, possible coupure de route ou restriction du trafic sans perturbation du fonctionnement durable de la route	Coupe temporaire (voire préventives) du réseau sans nécessité d'intervention pour les services techniques	Endommagement superficiel des parcelles et du matériel agricole (surverse) impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Menace directe des animaux par l'arrivée de l'eau sans mortalité pour le bétail, mise en danger de l'éleveur pour ses bêtes	Dégâts superficiels du bâti sans atteinte au stock ou au matériel impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Dégâts superficiels du bâti impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Dégâts superficiels du bâti impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine) sans atteinte des outils de production, pas d'interruption de l'activité	Dégâts superficiels du bâti impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Dégâts superficiels à l'infrastructure impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Dégâts superficiels du bâti impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Dégâts superficiels du bâti impliquant une rapide remise en état (moins d'une semaine)	Evacuation préventive	Niveau d'eau ne permettant plus au véhicule de circuler	Niveau de danger ne permettant plus à l'embarcation de naviguer	
Niveau 2	Surverse du réseau avec dommages, possible coupure de route ou restriction du trafic, nécessitant des travaux de réparation (temps court)	Dégâts au réseau provoquant une coupure prolongée nécessitant des travaux de réparation (temps court)	Perte d'une partie de la production et du matériel agricole sans conséquence sur la production future	Perte de quelques animaux sans menace pour le reste du bétail, grande mise en danger de l'éleveur pour ses bêtes	Dégâts qui touchent à une partie du stock et du matériel, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois)	Dégâts qui touchent au fonctionnement du bâti, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois)	Dégâts qui touchent au fonctionnement du bâti, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois). Arrêt des activités de production. Les outils de production peuvent être légèrement atteints.	Dégâts qui touchent au fonctionnement du bâti, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois)	Dégâts qui touchent au fonctionnement de l'infrastructure, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois)	Dégâts qui touchent au fonctionnement du bâti et à la sécurité des personnes, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois) et l'évacuation des habitants	Dégâts qui touchent au fonctionnement du bâti, engendrant une durée de remise en état moyenne (moins d'un mois) Evacuation des habitants	Intervention des secours : hélitreuillages, blessés	Véhicule emporté, déplacé par les flots avec un endommagement modéré du véhicule	Embarcation emportée, déplacée par les flots avec un endommagement modéré	
Niveau 3	Surverse du réseau avec dommages engendrant une coupure du réseau, nécessitant des travaux importants (temps moyen)	Dégâts au réseau provoquant une coupure longue du réseau, nécessitant des travaux importants (temps moyen)	Perte d'une grande partie de la production et du matériel agricole avec des conséquences sur la production future	Perte d'une partie du bétail avec des conséquences sur le long terme	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, perte de l'ensemble du stock et du matériel, remise en état longue (plus d'un mois)	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, remise en état longue (plus d'un mois)	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, remise en état longue (plus d'un mois) nécessitant des travaux importants. Endommagement important des outils de production. Mise en suspens des activités de production.	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, remise en état longue (plus d'un mois)	Dégâts qui rendent l'infrastructure inutilisable, remise en état longue (plus d'un mois)	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, grande menace pour les individus, remise en état longue (plus d'un mois)	Dégâts qui rendent le bâti inutilisable, grande menace pour les individus, remise en état longue (plus d'un mois)	Au moins 1 mort (imprudence, prise de risque inconsidérée)	Véhicule fortement endommagé, plus en état de circuler	Embarcation fortement endommagée, plus en état de naviguer	
Niveau 4	Dégâts nécessitant la reconstruction de la route/ligne/voie (temps long)	Dégâts nécessitant la reconstruction du réseau (temps long)	Perte de l'ensemble de la production et du matériel agricole (plus de 90 %)	Perte de l'ensemble du bétail (plus de 90 %)	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable. Effets négatifs sur l'environnement constatés : pollution...	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire les infrastructures concernées rendues inutilisables	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable	Nécessité d'abandonner, de détruire, de reconstruire le bâtiment concerné rendu inutilisable	Plus d'un mort au même endroit	Véhicule détruit	Embarcation détruite	

Ainsi, chaque dégât s'est vu attribué un niveau d'endommagement, permettant non seulement de comparer les dégâts entre eux mais aussi d'évaluer l'endommagement global engendré par les inondations causées par des évènements météorologiques intenses.

En représentant sous forme d'une cartographie à l'échelle du département, les dommages et le niveau d'endommagement qui s'y rapporte, en fonction de l'évènement (Fig. 13), il nous a été possible de reconstituer la dynamique de chaque phénomène et de les comparer entre eux.

On peut voir que les dégâts se concentrent sur des territoires restreints pour trois évènements sur quatre. En effet l'évènement du 26 octobre 2012 est moins concentré et plus étendu. Les dégâts relevés forment une ligne du sud-ouest vers le nord-est. Mais si les dégâts sont moins localisés, ils sont également moins intenses avec une majorité de dégâts de niveau un, et un nombre important de dégâts de niveau deux.

Quant à l'intensité des dommages pour les trois autres évènements, il semble que les dégâts localisés près du littoral soient plus importants que ceux localisés à l'intérieur du territoire.

On remarque également que d'un évènement à l'autre, certaines zones sont concernées par des dégâts récurrents comme le Golfe de Saint-Tropez ou la côte du Lavandou.

La localisation des enjeux et la récurrence de l'endommagement dans certaines zones souligne bien l'intérêt d'un système d'avertissement des crues prenant en compte les enjeux. En effet, la répartition des dégâts semble fonction de l'occupation du sol, puisque le littoral présente une densité de population plus importante que l'intérieur les terres, or c'est là où se concentre la majorité des dégâts pour les évènements étudiés.

Ainsi en partant non plus des dégâts, mais des enjeux il nous sera possible de localiser les zones les plus exposées au risque inondation donc les plus à même de connaître des dégâts dans l'avenir. C'est la démarche que nous allons tenter de suivre en élaborant un indice d'exposition au risque inondation.

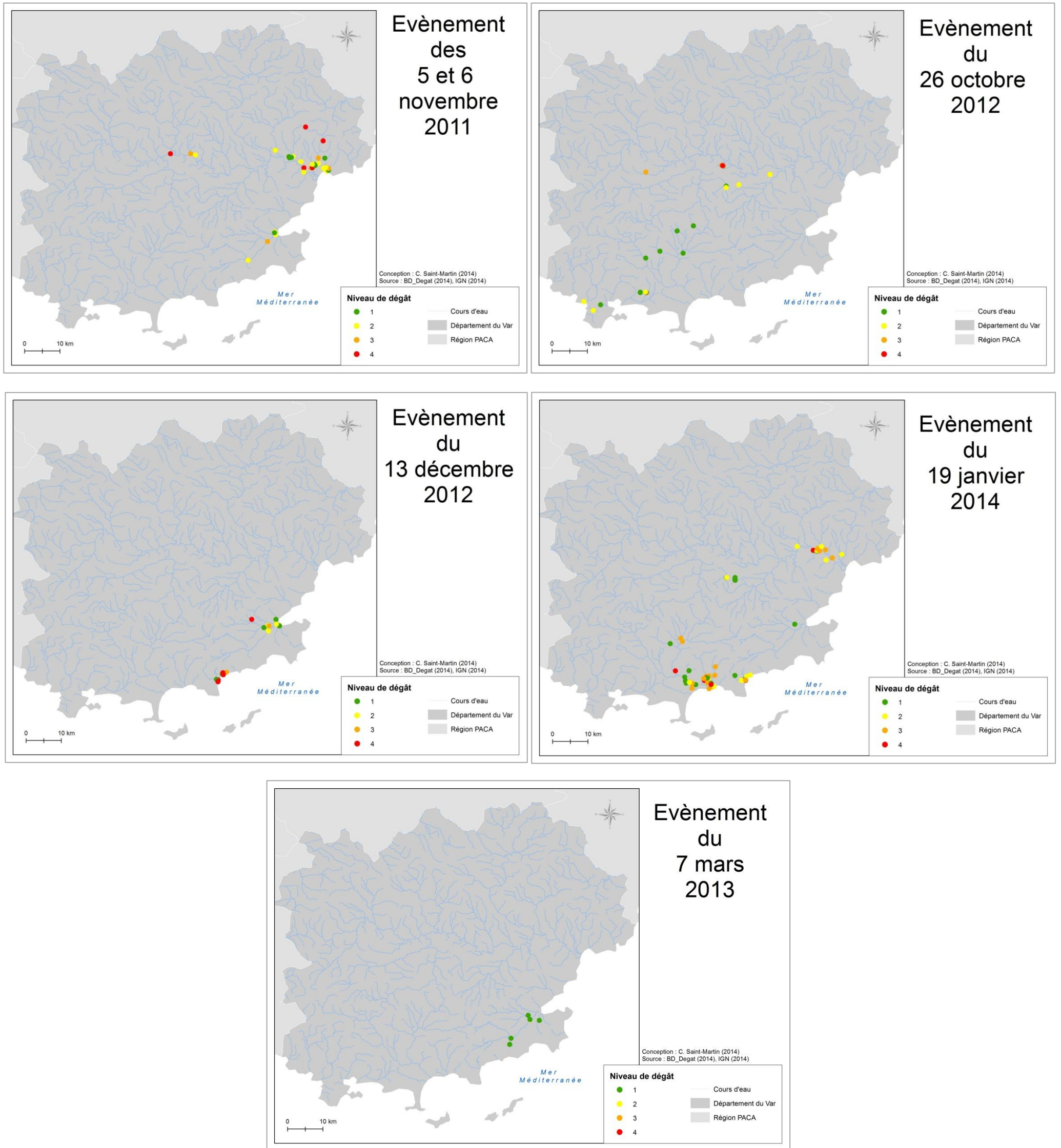


Figure 13 : Localisation et intensité des dégâts liés aux inondations par évènement entre 2011 et 2014

(Source : C. Saint-Martin (2014))

2.3. Evaluation de l'exposition aux inondations

« J'apprendrai à gérer la perte, la dégénérescence, la déchéance, la dégradation, la détérioration, le naufrage. Je gère le pourrissement, le délabrement, les dégâts, la perte. J'apprendrai. J'apprendrai. »

Abla Farhoud, Splendide solitude, 2005

2.3.1. Réflexion sur les zones inondables : de l'AZI à l'EAIP

- *Les Atlas de Zone Inondable (AZI)*

L'évaluation de l'exposition d'un territoire au risque inondation passe avant tout par la détermination de la propension à l'inondation de ce territoire. En effet, afin de simplifier et d'accélérer le traitement des enjeux, nous avons choisi de travailler sur une seule zone inondable, correspondant à la zone inondée en cas de crue exceptionnelle.

Pour cela nous avons tout d'abord choisi de nous intéresser aux zones inondables déterminées par les AZI (Atlas de Zone inondable). En effet, bien que non-exhaustives les zones inondables des AZI couvrent les principaux territoires d'intérêt liés aux inondations. Elles ne couvrent ainsi, en général, que les grands bassins, sans étudier les petits bassins soumis aux crues éclair.

Réalisés par bassin-versant, les AZI sont conçus par la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) selon l'approche hydrogéomorphologique. Cette méthode étudie l'expansion de crue des cours d'eau en fonction des différents lits topographiques de la rivière. Elle a pour avantage de cartographier, non seulement les zones inondables, mais également les éléments qui peuvent jouer un rôle sur l'écoulement des crues (barrage, digue...) à la différence de la méthode EXZECO (EXtraction des Zones d'ECOulement).

Cependant, la DREAL n'étudie que les zones d'intérêt soit les zones comptabilisant le plus d'enjeux en termes de personnes et de biens. Ainsi, l'ensemble du territoire d'un bassin-versant n'est pas forcément pris en considération par les AZI.

Voilà pourquoi, les AZI n'étant pas exhaustifs, il nous a fallu chercher des données plus à même de renseigner l'ensemble du département du Var sur les zones inondables. Suite à une réunion à l'IFFSTAR, pour le suivi de thèse de Guillaume Le Bihan, nous avons donc été amenés à nous intéresser aux données obtenues avec la méthode EXZECO. (CEREMA, 2014)

- ***La méthode d'EXtraction des Zones d'ECOulement (EXZECO)***

Mise au point sur Arcgis par le CEREMA, la méthode EXZECO consiste à reconstituer l'écoulement du réseau hydrographique à partir du bruitage du Modèle Numérique de Terrain (MNT) à plus ou moins un mètre. Il s'agit donc d'introduire une certaine hauteur d'eau dans les fonds de thalweg d'une zone donnée et de voir l'évolution du niveau d'eau en fonction du relief.

Les zones basses hydrographiques créées deviennent ainsi une approximation des zones potentiellement inondables.

Les résultats de cette méthode, étendue à la France entière, ont été utilisés en complément d'autres données produites ou récupérées par le CEREMA, afin d'obtenir une zone inondable de référence pour la première EPRI, appelée Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP) (MEDDE, 2012b).

En effet, trois types de données ont ainsi été regroupés par le CEREMA afin de constituer une enveloppe de zone inondable réaliste et exhaustive :

- Les ***données cartographiques disponibles*** : AZI, PPRI (Plan de Prévention du Risque Inondation), données historiques...
- La ***géologie*** : les couches des alluvions récentes
- Les ***zones basses hydrographiques*** obtenues grâce à la méthode EXZECO (EXtraction des Zones d'ECOulement)

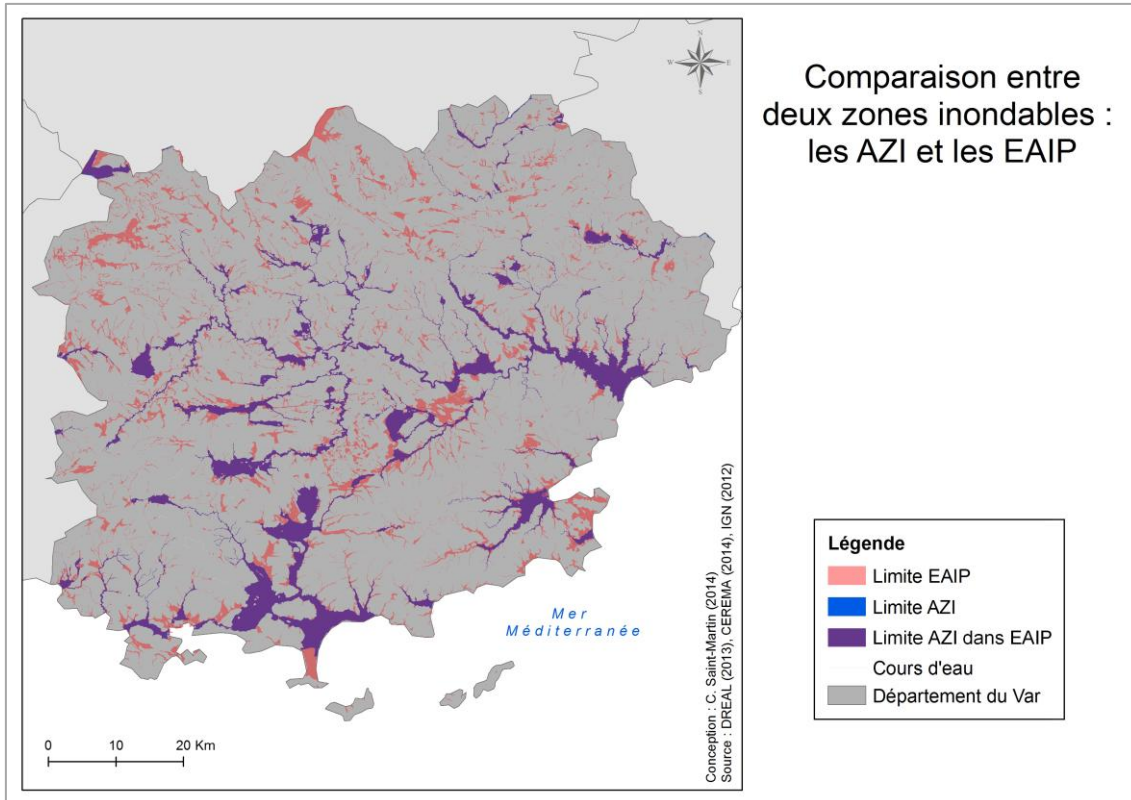


Figure 14 : Comparaison entre deux enveloppes de zone inondable

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis DREAL et CEREMA)

En superposant les deux enveloppes de crue préalablement citées (Fig. 14), on s'aperçoit que la limite de zone inondable des EAIP dépasse largement celle des AZI. On peut également noter que de nombreux cours d'eau non concernés par les AZI, sont pourtant dotés d'une zone inondable par les EAIP. Cette exhaustivité des EAIP confirme donc notre choix de limite de zone inondable.

2.3.2. Recensement et hiérarchisation des enjeux : méthodes et limites

« *Prévoir, c'est à la fois supputer l'avenir et le préparer ; prévoir, c'est déjà agir.* »

Henri Fayol, Administration industrielle et générale, 1916

Afin de comprendre notre démarche d'évaluation de l'exposition au risque inondation (Fig. 15), il semble nécessaire de rappeler les objectifs de notre stage. Il s'agit donc d'intégrer au système d'avertissement des crues AIGA, une donnée d'exposition aux inondations pour chaque bassin-versant étudié, afin de rendre ce système plus opérant.

Pour cela, nous voudrions être capables de distinguer les bassins-versants entre eux en leur assignant une valeur correspondant à leur niveau d'exposition, avec une valeur faible pour les bassins faiblement exposés, et une valeur forte pour les bassins très exposés

Pour caractériser l'exposition (1.2.1.), nous avons choisi de reprendre la définition du GIEC telle que la « *présence de personnes, de moyens de subsistance, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages* » (GIEC, 2012).

➤ *Première étape : sources des données sur les enjeux*

IRSTEA dispose d'un certain nombre de données SIG sur les types d'occupation du sol auxquelles nous avons eu recours lors du stage, et dont nous pouvons établir la liste ci-dessous, en fonction des usages que nous en avons eus :

- **Bâti** : pour les données d'occupation du sol, nous avons eu recours à la BD TOPO®, produite par l'IGN, qui est la modélisation du territoire français et de ses infrastructures, selon une précision métrique. Cette base de données couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

- **Cultures** : après une première utilisation des données de la base CORINE Land Cover, qui fait l'inventaire biophysique de l'occupation du sol en Europe, nous avons été amenés à travailler, sur le conseil du CEREMA, avec le Registre Parcellaire Graphique (RPG), qui reproduit le contour des cultures et indique le groupe de cultures majoritaire de toutes les exploitations agricoles françaises. La localisation des parcelles agricoles se fait à l'échelle du 1:5000 sur le fond photographique de la BD Ortho© également produite par l'IGN. Cette base de données est mise à jour tous les ans.
- **Divers** : d'autres données SIG ont pu être récoltées sur le site du CRIGE (Centre Régional de l'Information Géographique) ou encore sur le site web SIG Var, qui mutualise un certain nombre de données des services de l'Etat, des chambres consulaires et des collectivités.

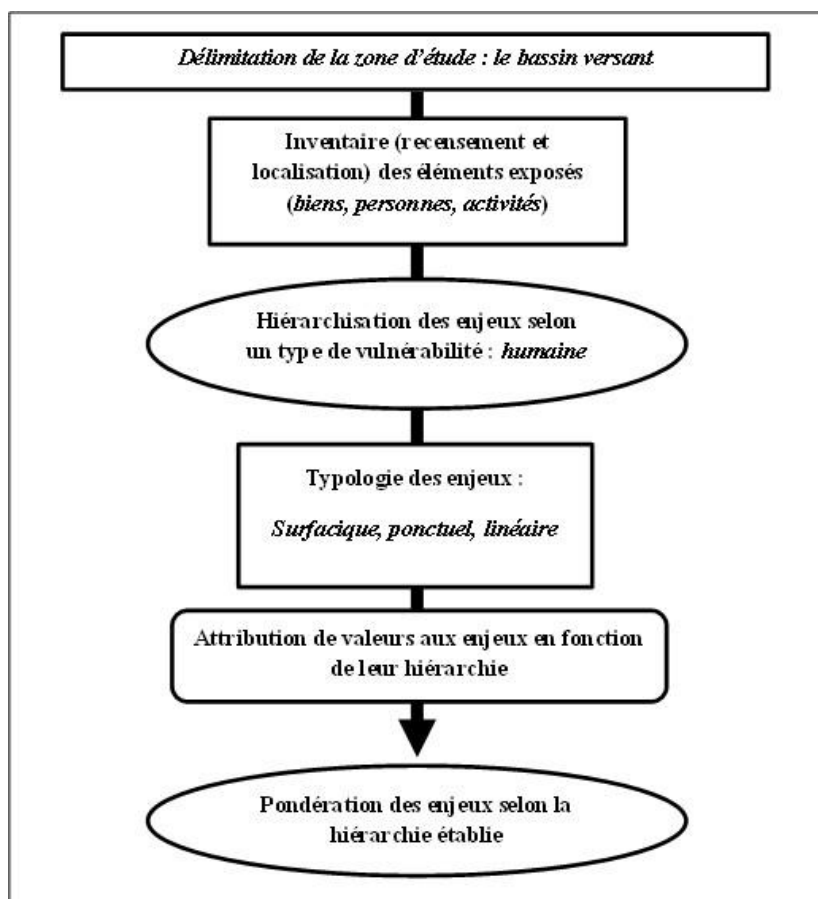


Figure 15 : Les grandes étapes de l'évaluation de l'exposition d'un territoire

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis Leone and al (2010))

- *Deuxième étape : la sélection des enjeux*

Afin de mesurer l'exposition au risque inondation d'un territoire donné, selon une approche quantitative du risque, il s'est avéré nécessaire de recenser et d'évaluer l'ensemble des enjeux présents sur ce territoire. Pour cela, dans un premier temps, nous avons été amenés à identifier ces enjeux, et à sélectionner les plus pertinents pour notre étude.

Quant à la source des enjeux, nous avons choisi de nous intéresser aux données, de précision métrique, de la BD Topo® produite par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). C'est grâce à notre BD Dégâts, recensant les dommages liés aux inondations, que nous avons pu avoir un aperçu des types d'enjeux touchés par les inondations et être en mesure d'effectuer une première sélection. Trois types d'enjeux ont alors pu être distingués :

- Les enjeux de type **linéaire** : réseau technique et réseau de transport
- Les enjeux de type **surfaccique** : bâti
- Les enjeux de type **ponctuel** : les enjeux dont la valeur ajoutée est supérieure à celle du bâti seule, de type hôpital, école...

Cependant, un premier traitement des valeurs d'exposition nous a amenés à ajouter un autre type d'enjeu : les surfaces agricoles. Tirées du Registre parcellaire graphique (RPG), nous les avons incluses à nos enjeux de type surfaccique, notamment afin de différencier les tronçons sans aucun enjeu des tronçons à dominante agricole.

Une fois ces enjeux d'intérêt identifiés, afin d'accélérer et de simplifier le traitement des données sur les tronçons RHYTMME, nous avons choisi de faire une présélection des enjeux situés en zone inondable. Pour cela, nous avons utilisé Arcgis et la fonction « Découper » afin de sélectionner les enjeux exposés aux inondations, c'est-à-dire situés dans les zones inondables, dans notre cas, les EAIP.

Ce « découpage » nous a également permis d'effectuer un premier tri dans les enjeux, puisque parmi ceux que nous avons sélectionnés au sein de la BD Topo®, certains étaient absents de l'ensemble de la zone inondable : zoos etc.

- *Troisième étape : l'attribution de valeurs aux enjeux*

Dans un second temps, une fois nos enjeux identifiés, nous avons cherché à les recenser. Cependant, les enjeux étant de natures différentes, il nous a fallu trouver un moyen de les comparer entre eux avant de les comptabiliser.

Chaque enjeu s'est donc vu attribuer une valeur, déterminée en fonction de sa hiérarchie au sein de sa catégorie : ponctuelle, linéaire ou surfacique (Annexe - Tableau 9). Cette valeur se veut représentative du rôle de l'enjeu au sein d'un territoire donné, donc de l'impact de son endommagement sur la population :

- Sur le **court terme** : au niveau de la gestion de la crise
- Sur le **moyen terme** : au niveau de la résilience
- Sur le **long terme** : au niveau de la vie quotidienne

Pour les enjeux de type surfacique, nous avons décidé de leur attribuer une valeur proportionnelle d'une part à l'aire pour les cultures, et d'autre part à la surface pour le bâti. Nous aurions pu également choisir de différencier les espaces agricoles en fonction du type de culture (Blanc C., 2010). Cependant, cette méthode aurait complexifié notre démarche, qui se veut la plus simple possible afin d'être reproduite sur l'ensemble du territoire français. De plus, cette différenciation aurait demandé un travail de recherche supplémentaire sur la vulnérabilité spécifique aux cultures.

Quant aux enjeux ponctuels, nous avons préféré leur attribuer une valeur de manière plus subjective en s'inspirant des différents travaux sur la vulnérabilité des espaces urbains (Thouret J-C., 1996) (D'Ercole R., 2004).

Enfin, la valeur attribuée aux enjeux linéaires, a été fixée, pour le réseau routier, en suivant la hiérarchie des routes en France, c'est-à-dire en considérant le nombre de passages de véhicules. Pour le réseau électrique, ne disposant que d'un seul type de réseau, nous avons choisi de lui attribuer une valeur unique, supérieure à celle des routes, considérant que de nombreux bâtiments et infrastructures sont dépendants de l'alimentation en électricité.

Une fois les valeurs attribuées à chaque type d'enjeu, nous aurions pu entreprendre de calculer le niveau d'exposition en faisant simplement, par tronçon, la somme des valeurs d'enjeu obtenues. Cependant, notre démarche se focalise avant tout sur la sécurité des personnes et non sur l'endommagement structurel aux biens. Nous avons donc choisi de pondérer nos résultats, selon le niveau d'importance accordé par la population au fonctionnement de chaque enjeu, de la manière suivante (Annexe – Tableau 9):

- Pour les enjeux de type **ponctuel** : la valeur de chaque enjeu a été recalculée à hauteur de 50 % de sa valeur initiale donc multipliée par 0,50
- Pour les enjeux de type **linéaire** : la valeur de chaque enjeu a été recalculée à hauteur de 25 % de sa valeur initiale donc multipliée par 0,25
- Pour les enjeux de type **surfaccique** : la valeur de chaque enjeu a été recalculée à hauteur de 25 % de sa valeur initiale donc multipliée par 0,25

Cependant, le lecteur de ce rapport devra garder en mémoire que notre démarche, en plus d'être expérimentale, se veut être la plus simple possible puisqu'il s'agit d'une information indicative sur l'exposition.

➤ *Quatrième étape : l'attribution d'un niveau d'exposition aux tronçons*

Afin de pouvoir comparer les différents tronçons de cours d'eau entre eux et de pouvoir déterminer quels sont ceux qui, parmi eux, s'avèrent les plus exposés au risque inondation, nous avons décidé de les doter d'un niveau d'exposition.

Pour arriver à déterminer un niveau d'exposition propre à chaque tronçon nous avons choisi de travailler sur sa surface drainée, incluse dans le bassin-versant correspondant.

Or, les bassins-versants de la BNBV étant emboîtés les uns dans les autres (Fig.16) nous avons dû trouver un moyen d'isoler la partie du bassin-versant correspondant à la surface drainée par chaque cours d'eau afin d'obtenir une valeur propre au tronçon.

En premier lieu nous avons cherché à faire cette distinction en passant par Arcgis, mais les bassins-versants n'étant pas parfaitement juxtaposés nous obtenions en passant par ce procédé des résidus de couches vectorielles qui faussaient les

résultats. Or, la table attributive des bassins-versants indiquant dans trois colonnes les différents bassins-versants amont propres à chaque bassin-versant, nous avons décidé de procéder autrement en travaillant sur le logiciel de programmation R.

En premier lieu nous avons d'abord lancé une jointure spatiale sur la couche de bassin-versant afin d'obtenir, grâce à la fonction « Somme », la somme des valeurs des enjeux contenus par les bassins-versants pour chaque catégorie : ponctuel, surfacique et linéaire.

Cette jointure reproduite avec les trois catégories d'enjeu, nous avons fait la somme des trois valeurs obtenues, afin d'obtenir, par bassin-versant, une valeur d'enjeu totale dite « valeur d'exposition du bassin », correspondant donc à la somme des valeurs d'enjeu linéaires, ponctuels et surfaciques se rapportant à chaque bassin-versant.

Cependant, nous l'avons dit, les bassins-versant sont emboîtés les uns aux autres (Fig. 16). Les valeurs d'enjeu étaient donc comptées plusieurs fois pour les bassins-versants disposant d'un ou de plusieurs bassins amont. Voilà pourquoi nous avons dû recourir au logiciel R afin d'individualiser la valeur respective à la surface drainée de chaque tronçon. Après avoir exporté le fichier de couche vectorielle en classeur. Nous avons donc créé deux nouvelles colonnes nommées « Valeur d'exposition du bassin amont 1 », et « Valeur d'exposition du bassin amont 2 ».

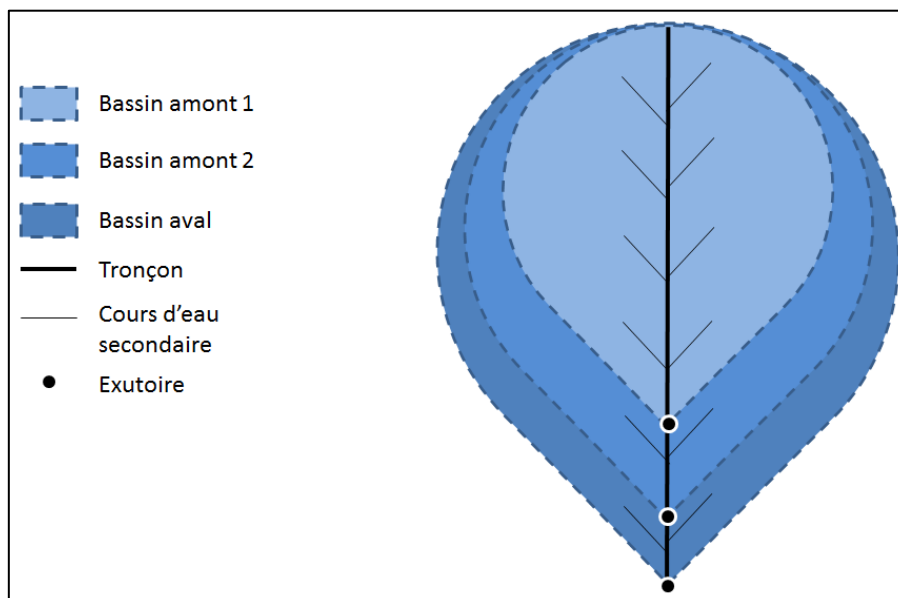


Figure 16 : Illustration simplifiée de l'emboîtement des bassins-versants

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Une fois ces colonnes créées, nous avons entrepris d'y insérer les valeurs d'enjeu correspondant aux bassins-versants amont de chaque bassin-versant, renseignés par les colonnes « Nom du bassin amont 1 » et « Nom du bassin amont 2 ». Pour cela, avec l'aide d'un collègue nous sommes parvenus à déterminer une formule sous R nous permettant d'effectuer ce transfert de valeur de manière automatique.

Nous avons donc obtenu les valeurs d'exposition correspondant aux bassins-versants amont de chaque bassin-versant (Tableau 5). De telle sorte que :

Tableau 5 : Obtention de la valeur d'exposition par bassin emboîté

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Nom du bassin	Valeur d'exposition du bassin	Nom du bassin amont 1	Surface bassin amont 1 (km ²)	Nom du bassin amont 2	Surface bassin amont 2	Valeur d'exposition du bassin amont 1	Valeur d'exposition du bassin amont 2
MedEst_3 (A)	200	MedEst_2	3,2	MedEst_6 (B)	5,6	120	180

Il a donc suffi de soustraire la valeur du plus grand bassin-versant amont MedEst_6 (B) à celle du bassin aval (A), afin d'obtenir une valeur d'exposition propre à la surface drainée de chaque tronçon:

$$\text{Valeur d'exposition du tronçon} = A - B = 200 - 180 = 20$$

Cette soustraction effectuée, la dernière colonne dite « Valeur totale » correspond donc bien à la valeur d'exposition propre à chaque tronçon soit à sa surface drainée (Tableau 6).

Tableau 6 : Résultat du calcul de la valeur d'exposition par tronçon

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Nom du bassin	Valeur d'exposition du bassin	Nom du bassin amont 1	Surface bassin amont 1 (km ²)	Nom du bassin amont 2	Surface bassin amont 2	Valeur d'exposition du bassin amont 1	Valeur d'exposition du bassin amont 2	Valeur totale
MedEst_3	200	MedEst_2	3,2	MedEst_6	5,6	120	180	20

Les mêmes identifiants étant attribués aux tronçons et aux bassins-versants correspondants, il nous a été facile, grâce à une jointure par attribut, de joindre la colonne « Valeur totale » de la couche vectorielle des bassins-versants, correspondant à la valeur d'exposition de la surface drainée de chaque tronçon, à la couche « Tronçon ».

Nous avons alors décidé, afin de simplifier le traitement de ces résultats, de convertir cette valeur d'exposition en un niveau d'exposition de 0 à 5 : 0 codant pour une absence d'enjeu et 5 pour une très forte exposition. Pour ce faire, nous avons choisi la méthode des quantiles afin d'avoir une égale répartition des bassins-versants étudiés par niveau d'exposition.

Une fois le niveau d'exposition déterminé et attribué à chaque tronçon, nous avons pu, grâce à une jointure par attributs sur Arcgis, attribuer à chaque dégât, le niveau d'exposition du tronçon auquel il se rapporte.

Ainsi, nous avons pu obtenir pour chaque dégât : le type d'enjeu auquel il se rattache et le niveau d'endommagement correspondant, et pour chaque tronçon auquel il se rattache : un niveau d'avertissement grâce à l'horodatage des dégâts, ainsi qu'un niveau d'exposition.

2.4. Les avertissements fonction de l'exposition des territoires : une méthode d'avenir ?

« Une nuit de la douzième année, l'inondation périodique noie le bétail, emporte les habitations. Soutenant sa femme, conduisant deux de ses enfants, portant le troisième, il s'enfuit dans la coulée de la boue primordiale. »

André Malraux, La Métamorphose des Dieux, 1957

2.4.1. La méthode AIGA actuelle : un système d'avertissement uniquement basé sur l'aléa

Avant la méthode AIGA, la méthode SHYPRE (Simulation d'HYdrogrammes pour la PREdétermination) est une méthode de simulation de pluies et de débits, basée sur un générateur de chroniques de pluies horaires et un modèle transformation de la pluie en débit. Plus simplement, cette méthode va permettre de simuler des pluies qui vont elles-mêmes permettre de simuler des débits en fonction de ces pluies.

Régionalisée en quatre zones en 2001 par Météo France (Fouchier C., 2002), sous le nom de méthode SHYREG (Simulation d'HYdrogrammes REGionalisée), cette méthode permet donc de déterminer des débits de référence, réutilisés par la méthode AIGA pour fixer des périodes de retour des crues.

En effet, la méthode AIGA se base sur le même principe que la méthode SHYPRE, à la différence qu'elle est plus perfectionnée et travaille sur des pluies observées, et non des pluies simulées. Toutes les 15 minutes, les relevés de pluies tombées sur un bassin-versant vont permettre de simuler le débit du cours d'eau correspondant. On obtient alors deux types d'information : une information sur les qualifications de pluie (Fig. 17), et une sur les débits.

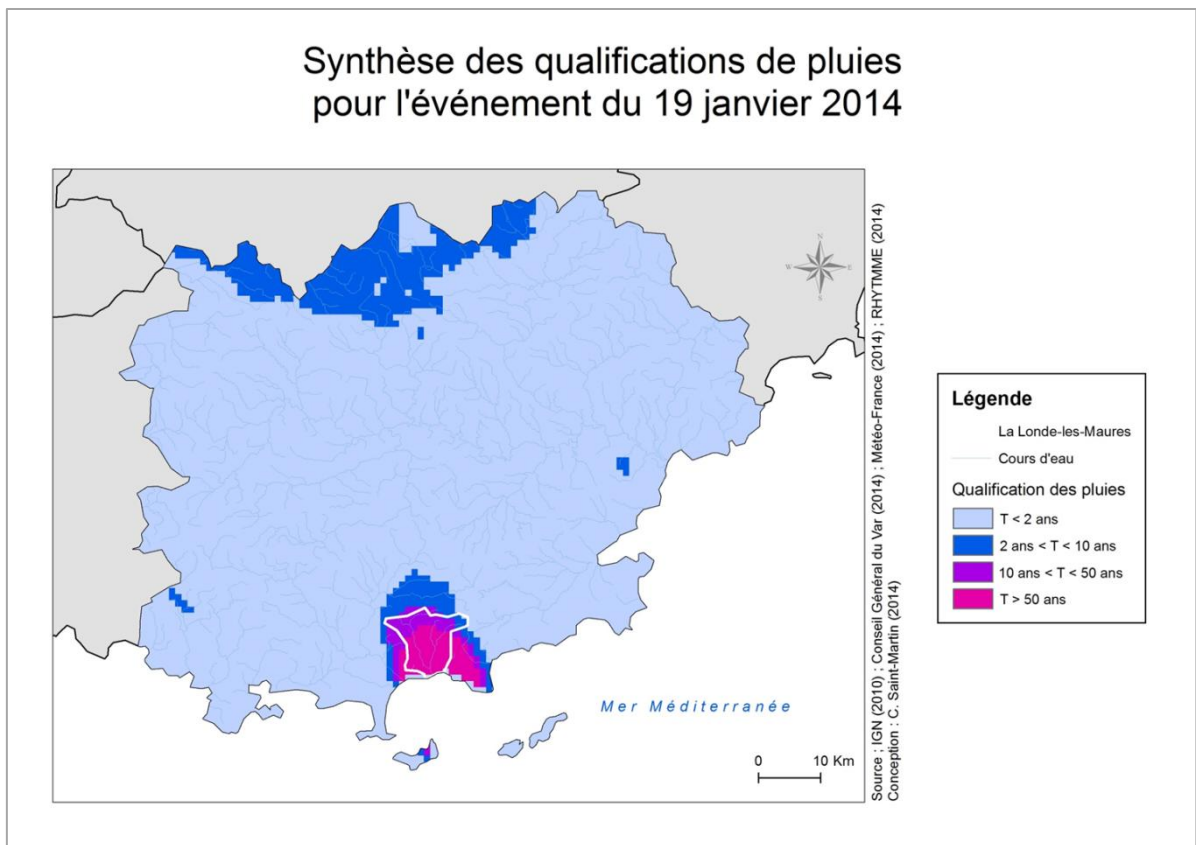


Figure 17 : Exemple de cartographie de la qualification des pluies sur la Londe-les-Maures, le 19 janvier 2014

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis AIGA)

Ce débit simulé va donc être comparé aux quantiles de crue préalablement fixés par les simulations de la méthode SHYREG afin de déterminer l'importance de la crue du cours d'eau (Fig. 18):

- T2 : crue dont la période de retour est de l'ordre de 2 ans
- T10 : crue dont la période de retour est de l'ordre de 10 ans
- T50 : crue dont la période de retour est de l'ordre de 50 ans

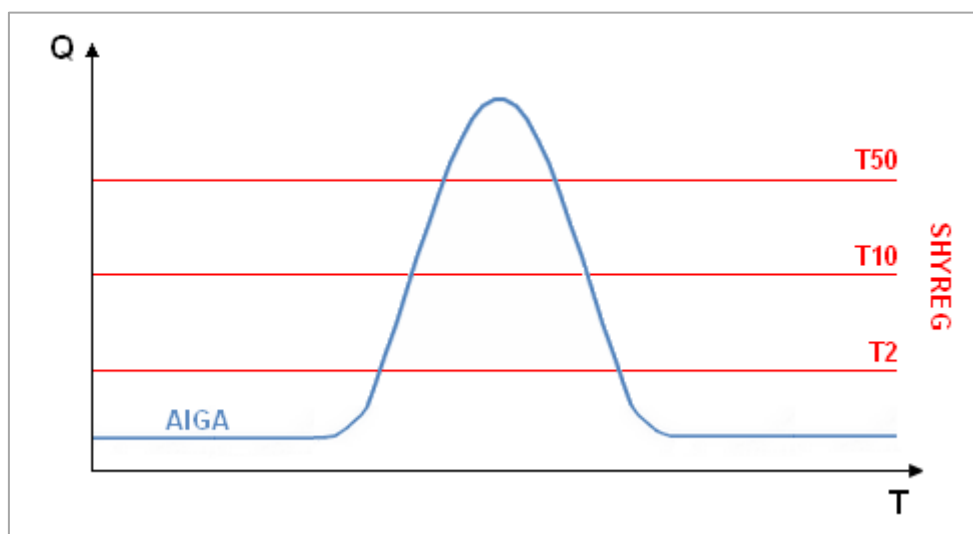


Figure 18 : Exemple d'une pointe de débit simulé par la méthode AIGA, et comparé aux seuils obtenus par la méthode SHYREG

(Source : C. Saint-Martin (2014) depuis S. Ecrepont)

Les avertissements fournis par la méthode AIGA, font donc référence à ces mêmes seuils, correspondant à trois périodes de retour différentes de deux à 50 ans. Ainsi, cette méthode ne fait aucune distinction entre les zones fortement peuplées, les zones industrielles ou les zones agricoles.

Or, la crue d'un cours d'eau dans une zone agricole n'aura pas les mêmes conséquences, et n'engendrera pas les mêmes dommages qu'une crue dans une zone urbanisée. Or, en fonction du débit des cours d'eau situés dans ces deux zones, elles peuvent être concernées par un même niveau d'avertissement, bien que leur exposition soit différente.

Voilà pourquoi, si l'on destine la méthode AIGA à un usage de gestion de crise, il semble nécessaire d'y intégrer un facteur d'exposition, afin d'obtenir une hiérarchisation des territoires, en fonction du risque d'inondation auquel ces derniers sont exposés. Cette hiérarchisation, à terme, permettrait donc de faciliter le travail des différents acteurs lors de la crise (service de secours, autorités...), en leur indiquant les territoires où renforcer leur surveillance. Dans la même lignée que les EPRI, cette hiérarchisation pourrait être un moyen de spécifier les territoires où focaliser les actions de prévention, et de protection, en priorité.

Afin de vérifier l'efficacité de nos niveaux d'exposition, nous allons les confronter aux données d'endommagement et d'avertissement obtenues lors de la réalisation de la BD_Degats.

2.4.2. Croisement entre niveau de dommage, exposition et avertissements

Afin de pouvoir confronter ces différentes données, nous avons choisi, dans un premier temps, de regarder la distribution du nombre de dégâts associés aux tronçons de niveaux d'exposition similaires, en fonction de leur niveau d'endommagement.

Le croisement des informations d'endommagement et d'exposition montrent que le niveau de dégât augmente relativement proportionnellement avec le niveau d'exposition (Fig. 19). Plus le niveau d'exposition des tronçons augmente, plus le nombre de dégâts, présentant un niveau d'endommagement important, augmente. Ainsi, les tronçons dont le niveau d'exposition est deux, relèvent quatre fois moins de dégâts de niveau trois et de niveau quatre que les tronçons dont le niveau d'exposition est cinq.

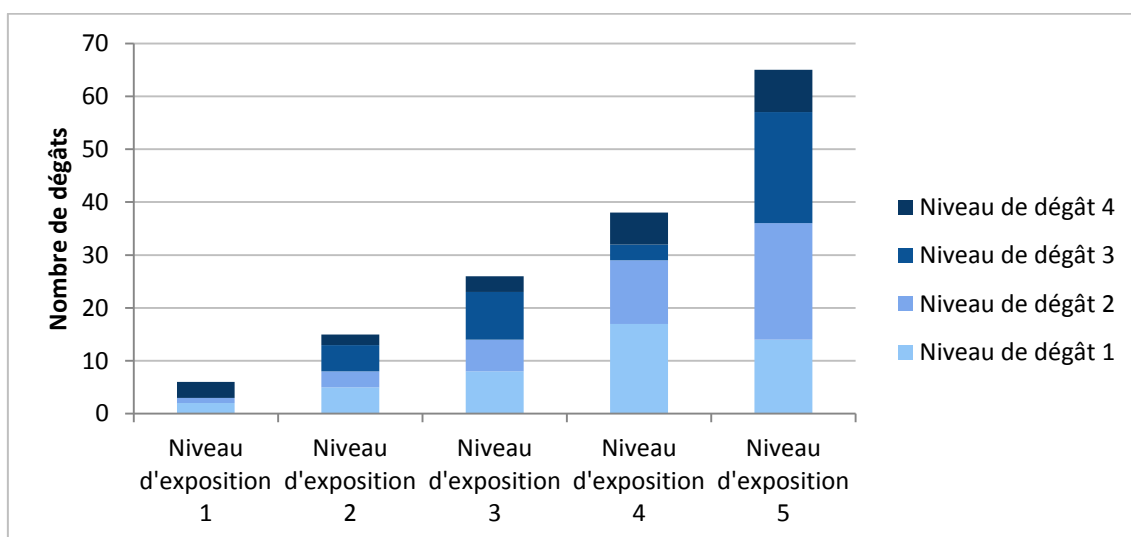


Figure 19 : Croisement entre niveau d'exposition et niveau de dégât

(Source : C. Saint-Martin (2014))

De la même manière, plus un tronçon présente un niveau d'exposition important, plus le nombre total de dégâts qui lui sont associés augmente, sur la période 2011-2014. Ainsi, les tronçons dont l'exposition est estimée au niveau cinq, recensent 65 dégâts entre 2011 et 2014, contre huit dégâts pour les tronçons d'exposition de niveau un, quinze pour ceux de niveau deux et enfin 26 pour ceux de niveaux trois.

Si l'on prend l'exemple de la commune de la Londe-les-Maures (Fig. 20), le nombre et le niveau de dommages évoluent avec l'exposition du territoire : les trois-quarts des dégâts sont agglutinés autour d'un tronçon dont le niveau d'exposition est cinq.

En comparant la figure 20 avec la figure 10, il s'avère que le cours d'eau de droite est doté d'un fort niveau d'avertissement alors que, comme nous pouvons le voir, il présente peu d'enjeux à proximité, tandis que le cours d'eau de gauche, bénéficiant d'un niveau d'avertissement faible, est entouré de nombreux enjeux, potentiellement inondables.

Ces résultats obtenus à l'échelle locale soulignent la pertinence de notre démarche : le niveau d'exposition du territoire face au risque d'inondation est lié à sa prédisposition à l'endommagement. Cependant, bien que l'exposition soit un indicateur de risque simple et efficace, il reste nécessaire de l'associer à d'autres données de vulnérabilité.

L'objectif était initialement d'obtenir une information sur la vulnérabilité directe d'un territoire en croisant l'exposition et l'endommagement. Mais le manque d'exhaustivité des données d'endommagement (collectées sur trois ans) nous a amenés à explorer une autre piste.

La méthode AIGA a produit un certain nombre d'avertissements sur les tronçons étudiés, que nous avons été capables de récupérer grâce à l'horodatage de chaque dégât mais également et surtout grâce à la géolocalisation précise de chaque dégât, que nous avons ainsi pu relier à ces tronçons.

Nous avons donc choisi d'analyser la gravité des dommages selon le niveau d'avertissement maximum des tronçons auxquels ils sont liés. Nous avons donc pu produire quatre graphiques différents, qui correspondent aux dégâts pour lesquels les tronçons ont montré un niveau d'avertissement nul, ou équivalent à un temps de retour de deux ans, de 10 ans ou enfin de 50 ans (Fig. 21).

Nous observons une proportionnalité entre le niveau d'avertissement maximum et les dégâts. En effet, plus le niveau d'avertissement augmente, plus les dégâts sont nombreux et d'un niveau important. Les dégâts pour un niveau d'avertissement nul sont deux fois moins nombreux que ceux pour une période de retour de 50 ans. (Fig. 21) De plus, pour les tronçons dont le niveau d'avertissement est 50 ans, tous niveaux d'exposition confondus, les dégâts de niveau 4 sont trois fois plus nombreux que pour les tronçons sans avertissement, six fois plus que pour ceux d'avertissement deux ans et deux fois plus que pour ceux d'avertissement 10 ans.

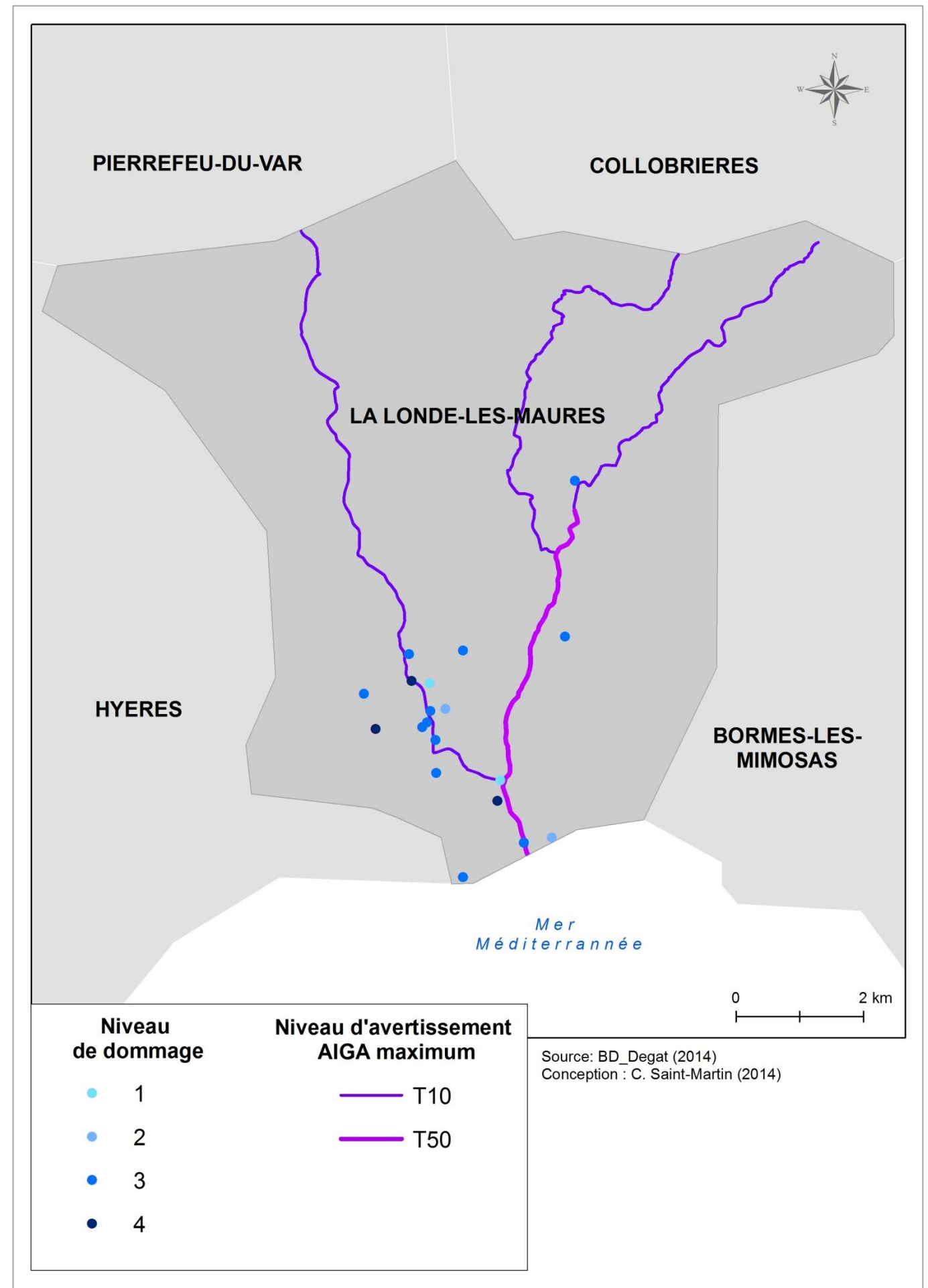
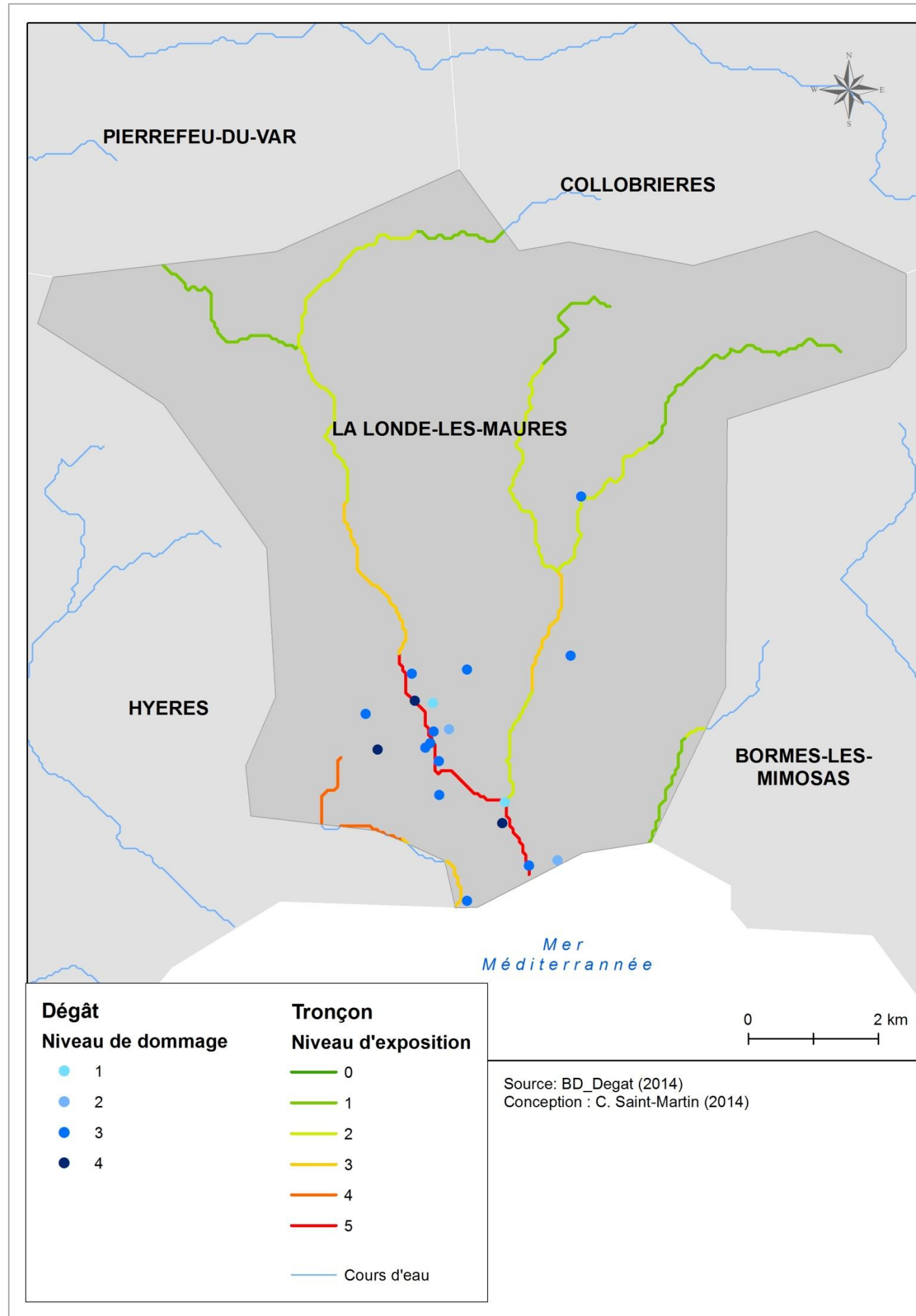


Figure 20 : Croisement entre le niveau d'exposition et le niveau d'endommagement sur la commune de la Londe-les-Maures

(Source : C. Saint-Martin (2014))

En considérant qu'une crue de période de retour 50 ans présente des niveaux d'eau plus élevés qu'une crue de période de retour deux ans ou dix ans, il est logique d'observer une évolution exponentielle du nombre de dégâts observés pour des périodes de retour croissantes. De la même manière, on observe une augmentation du nombre de dégâts, proportionnelle à celle du niveau d'exposition qui semble confirmer la pertinence de notre indice d'exposition.

Cependant, 28 dégâts ont été relevés dans des bassins-versants non-concernés par des avertissements (Fig.21). Ce chiffre montre les lacunes rencontrées par la méthode AIGA. Nous avons alors voulu dépasser ces traitements statistiques, en cherchant à voir comment se répartissaient les résultats à l'échelle du département du Var (Fig. 22). Plusieurs constats peuvent être faits.

Pour les dégâts sans avertissement, les dommages les plus importants sont isolés, souvent à l'intérieur des terres, ou regroupés au nord-est au niveau de la ville de Fréjus. On retrouve également cette répartition ponctuelle pour les dégâts d'avertissement deux ans. Les dégâts d'avertissements 10 ans et 50 ans, sont en revanche plus regroupés en îlots au niveau du littoral.

On peut voir que globalement, les dommages les plus importants, caractérisés par des niveaux d'endommagement élevés, correspondent à des territoires à exposition élevée. Ce n'est cependant pas le cas des dégâts sans avertissement où les plus importants, qui sont également les plus isolés, sont associés à de faibles niveaux d'exposition.

Ce constat nous rappelle la nécessité d'alimenter la BD_Degat afin de travailler sur des échantillons de dégâts plus importants, mais souligne également les limites de notre travail. En effet, nous avons choisi de développer une approche rapide, généralisable à l'ensemble du territoire, et simplifiée, de prise en compte de l'exposition au risque inondation.

Nous courrons donc le risque de passer sur les logiques locales qui nous permettraient de comprendre les écarts entre niveau d'exposition et niveau d'endommagement comme c'est le cas ici pour les dégâts sans avertissement.

Cependant, nous pensons qu'en développant l'exhaustivité de la BD_Degat, cela nous permettra de pallier cette lacune, par la minimisation des cas particuliers face aux tendances globales de proportionnalité entre niveau d'exposition et niveau de dégât.

Géographiquement parlant, en appliquant la même méthode d'évaluation de l'exposition par commune, on **remarque une grande similarité entre la localisation des dégâts et celle des communes associées à des niveaux d'exposition importants** (Fig. 23).

Figure 21 : Croisement entre les niveaux de dégâts, d'exposition et d'avertissement

(Source : C. Saint-Martin (2014))



Malgré tout, certaines communes (comme la Londe-les-Maures ou Roquebrune-sur-Argens) ne présentent qu'un niveau d'exposition équivalent au niveau quatre, tandis que d'autres communes comme celle d'Hyères sont concernées par le niveau d'exposition maximum mais ont, comparativement, peu de dégâts.

S'il était facile de comparer l'exposition des tronçons de cours d'eau entre eux, car ils présentent la même longueur, il faut noter que les 153 communes du Var présentent des superficies variables, allant de 10,30km² pour Forcalqueiret à 97,30km² pour Bormes-les-Mimosas (INSEE, 2014). Afin d'avoir une donnée plus juste, il serait intéressant de pondérer les résultats obtenus en fonction de la superficie des communes.

Le croisement de ces données (que sont l'exposition, le niveau d'avertissement et l'endommagement) nous a en tout cas permis de montrer la pertinence de l'intégration du facteur d'exposition à un système d'avertissement, puisque nous obtenons des résultats satisfaisants et qui s'approchent de nos attentes.

Cependant, ce croisement souligne également la limite induite par la prise en compte du seul facteur d'exposition dans la conception d'un indice de risque. Ainsi, il est nécessaire de garder à l'esprit l'importance du facteur vulnérabilité nécessaire à la toute mesure du degré de risque naturel d'un territoire.

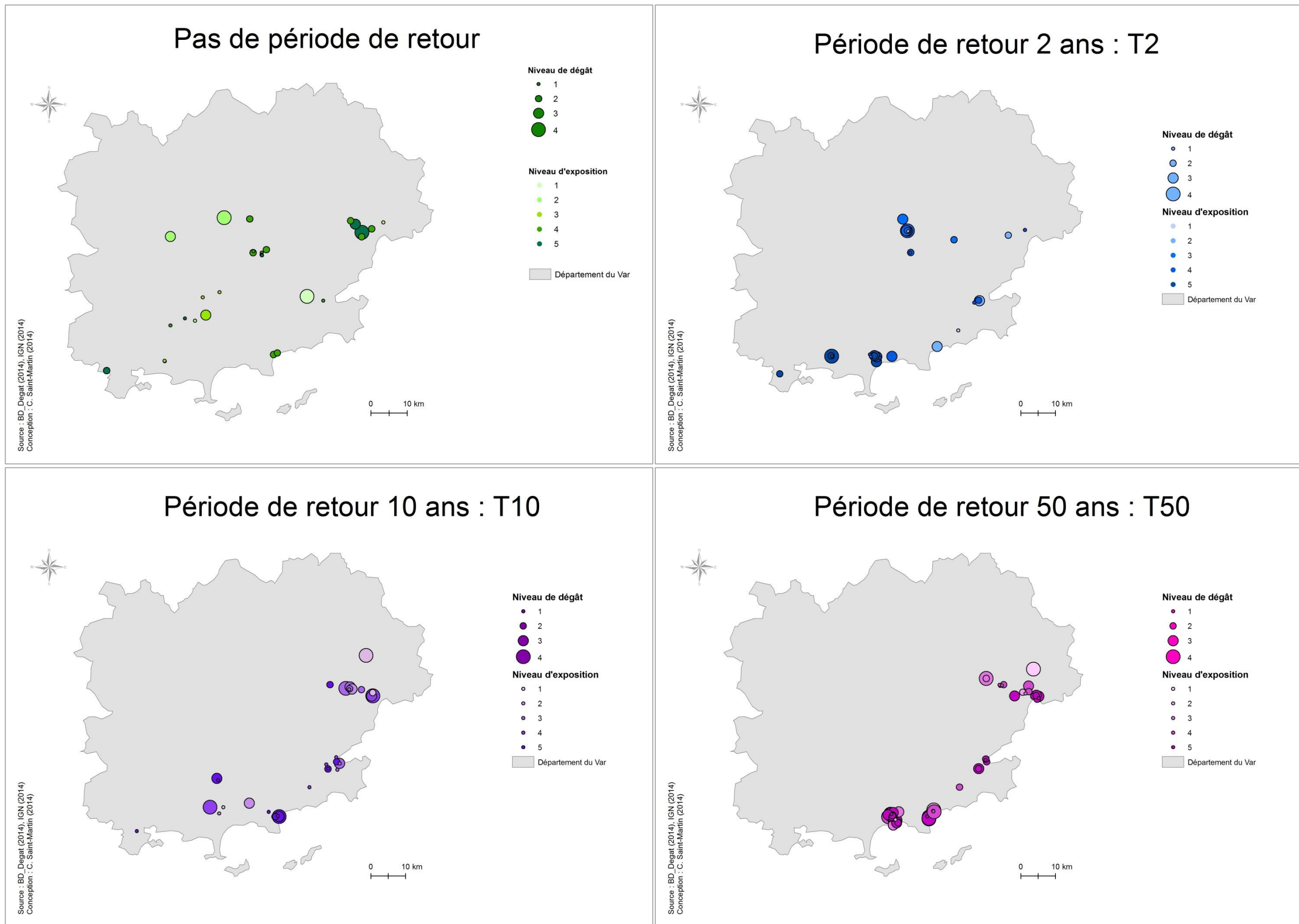


Figure 22 : Cartographie du croisement entre les niveaux de dégâts, d'exposition et d'avertissement

Conception : C. Saint-Martin (2014)

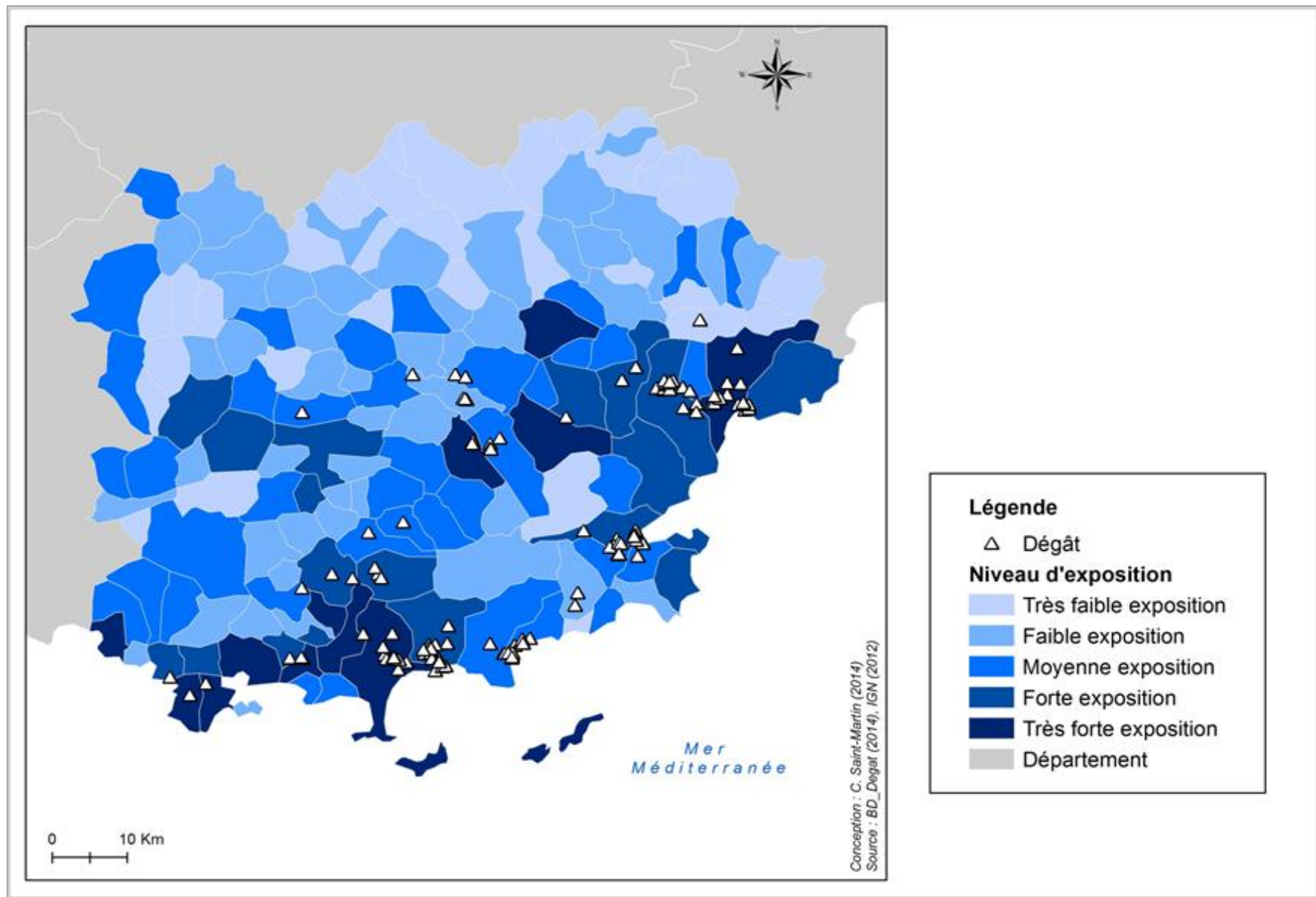


Figure 23 : Croisement entre l'exposition et les dégâts liés aux inondations entre 2011 et 2014 sur les communes du Var

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Conclusions et perspectives

Conclusions

Dans la majorité des travaux menés sur l'avertissement des inondations, et plus particulièrement dans le cas des crues rapides, c'est l'aléa qui a été mis en avant. C'est le cas de la méthode AIGA, développée aujourd'hui par IRSTEA, en collaboration avec Météo-France.

Au début du stage, l'objectif était de développer une base de données sur les dégâts liés aux crues, et de compléter cette base grâce à deux échelles d'intensité : une première d'endommagement, et une seconde d'exposition des territoires (considérée comme un facteur de prédisposition à l'endommagement).

Les premiers croisements entre des données d'enjeu, de dégâts et d'avertissements ont démontré tout le potentiel de l'intégration d'un facteur d'exposition à l'actuel système d'avertissement des crues de la méthode AIGA.

Cependant, comme nous l'avons évoqué dans la dernière partie de notre travail, notre approche, bien qu'innovante, n'est pas totalement aboutie. En effet, nous avons avant tout cherché à développer une démarche simplifiée et généralisable à l'ensemble du territoire français qui reste à parfaire.

A mon sens, cette démarche présente trois limites majeures :

- Elle est réalisée à **une trop grande échelle**, ce qui peut fausser les résultats. En effet, elle pourrait être reproduite à une échelle plus fine, ce qui nous permettrait d'obtenir des données d'exposition plus précises, donc des résultats de croisement plus satisfaisants. Cependant, le traitement de données plus fines engendrerait des temps de calcul plus longs, allant à l'encontre de nos objectifs de rapidité et de simplicité.
- La **non prise en compte du facteur vulnérabilité** dans notre étude pose le problème de la validité de la seule exposition dans la caractérisation du risque inondation. En effet, même si un enjeu est géographiquement parlant, exposé à un risque d'inondation, cela ne signifie pas forcément qu'il y est vulnérable. Or,

nous avons admis que plus un enjeu possède un niveau d'exposition élevé, plus il est susceptible de subir un endommagement important. Pourtant, ce n'est pas le cas pour les enjeux surélevés ou les enjeux où ont été appliquées des mesures de mitigation.

Inclure le paramètre vulnérabilité dans notre étude, implique également de travailler à une échelle plus fine, c'est-à-dire à l'échelle de l'enjeu, afin de connaître les spécificités de chacun. Or nous l'avons vu, l'exhaustivité n'est pas l'objectif principal de notre travail.

- **La non-exhaustivité de la BD_Degat** pose également problème dans notre approche puisqu'elle ne permet pas de valider nos résultats. En effet, si notre base de données ne comporte aujourd'hui que trop peu de dégâts répertoriés pour être considérée comme exhaustive, notre but est de parvenir à la réalisation d'une base complète. Cette BD_Degat une fois complétée permettrait ainsi, en fonction des dégâts passés, d'évaluer la vulnérabilité des enjeux exposés.

Perspectives

Aujourd'hui, grâce aux résultats encourageants obtenus, nous souhaiterions pouvoir développer, en continuité avec le stage, un prototype de système d'avertissement croisant données d'aléa et données d'exposition pour l'ensemble du réseau hydrographique de la BNBV. Ce système trouverait tout son intérêt au niveau des cours d'eau n'appartenant pas au réseau réglementaire, lequel bénéficie déjà du suivi des SPC.

Dans ce système d'avertissement expérimental, nous chercherons à fixer un seuil d'avertissement en fonction du niveau d'exposition des territoires étudiés. Pour cela, nous serons amenés à conduire plusieurs tests afin de trouver une correspondance optimale entre niveau d'exposition et niveau d'avertissement des crues.

Malgré tout, les résultats que nous sommes parvenus à obtenir en l'espace de six mois, démontrent la pertinence de notre démarche et l'intérêt de la reproduire sur des territoires et des pas de temps plus étendus.

Annexes

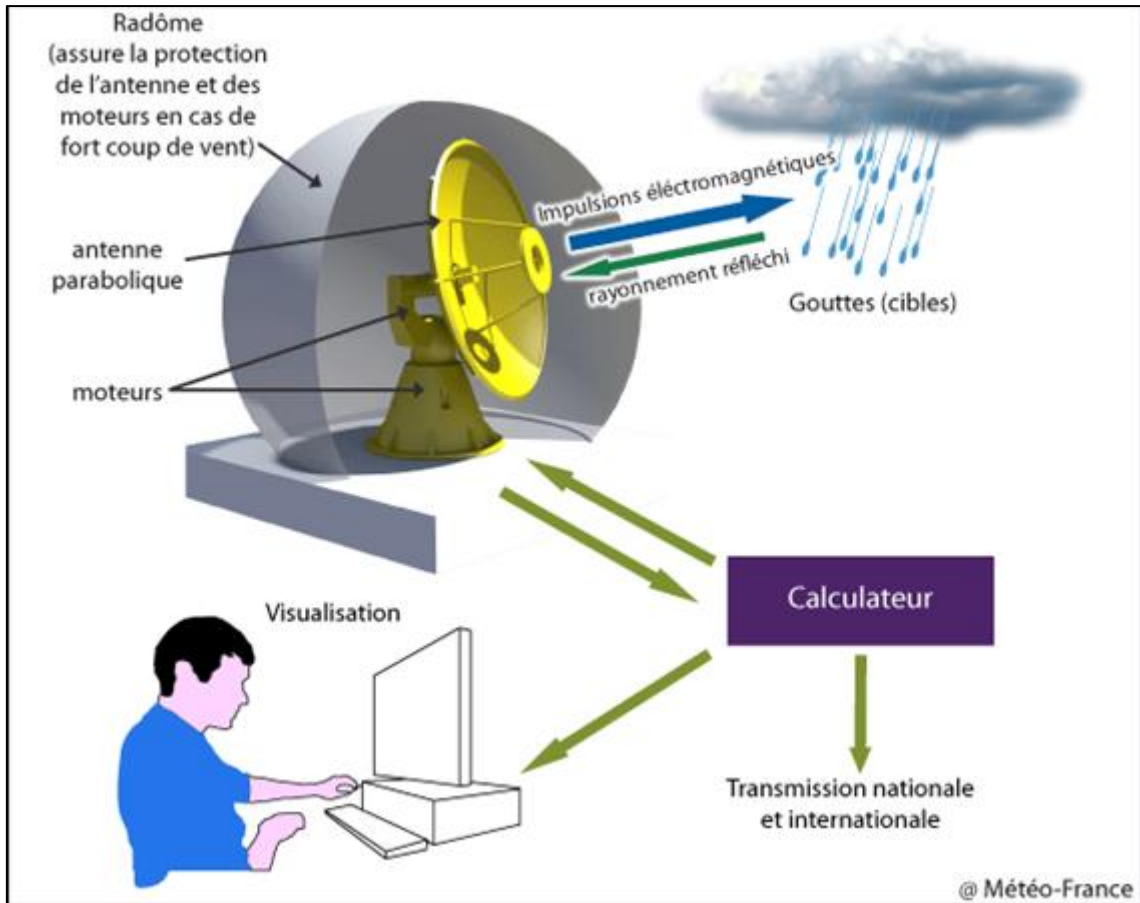


Figure 24 : Fonctionnement du radar météorologique

(Source : Météo-France)

Tableau 7 : Chronogramme des tâches réalisées lors du stage

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Tâche	Du :	Au :	MARS		AVRIL				MAI					JUIN				JUILLET				AOÛT					SEPTEMBRE		
			Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16	Sem 17	Sem 18	Sem 19	Sem 20	Sem 21	Sem 22	Sem 23	Sem 24	Sem 25	Sem 26	Sem 27
Stage	20/03/2014	19/09/2014																											
Prise en main	20/03/2014	31/03/2014																											
Bibliographie	24/03/2014	27/06/2014																											
Méthodologie	03/04/2014	27/05/2014																											
Collecte de données	03/04/2014	18/07/2014																											
Création base de données	04/04/2014	11/04/2014																											
Rencontre Météo-France	15/04/2014	15/04/2014																											
Indice d'endommagement	01/05/2014	16/05/2014																											
Rencontre IFSTTAR (Nantes)	27/05/2014	27/05/2014																											
Terrain Collobrières	05/06/2014	05/06/2014																											
Indice d'exposition	09/06/2014	20/06/2014																											
Sortie REX	20/06/2014	20/06/2014																											
Colloque AFPCN	23/06/2014	24/06/2014																											
Préparation mémoire	25/06/2014	15/07/2014																											
Rédaction mémoire	15/07/2014	01/09/2014																											
Rencontre CEREMA	22/07/2014	22/07/2014																											
Productions finales	04/08/2014	08/08/2014																											
Production cartographique	04/08/2014	08/08/2014																											
Relectures	01/09/2014	05/09/2014																											
Préparation soutenance	08/09/2014	15/09/2014																											

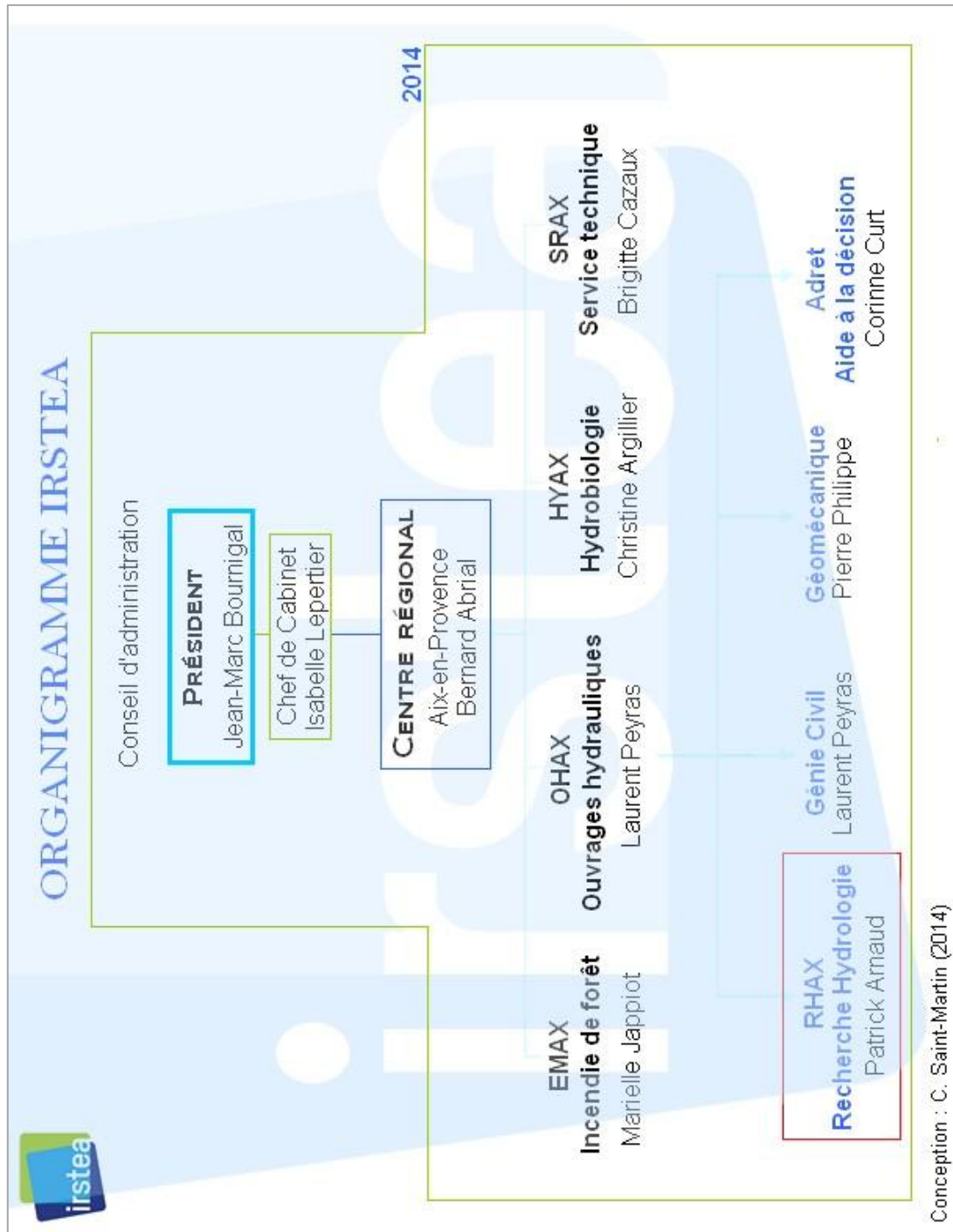


Figure 25 : Organisation interne de IRSTEA d'Aix-en-Provence

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Tableau 8 : Explication des champs de la table attributaire de la couche « Degat »

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Nom du champ	Fonction	Exemple
ID_degat	Clef identifiant le dégât	Deg_3-04
ID_evt	Clef identifiant l'évènement	Evt_4
ID_troncon	Clef identifiant le tronçon	MedEst_675
Type_alea	Type d'alea responsable du dégât	Coulée de boue
Effet_induit	Effet induit par l'alea	Charriage
Date_degat	Date de survenue de l'alea	14/12/2012
Heure_degat	Heure de survenue de l'alea	08h00
Categorie	Catégorie de l'enjeu endommagé	Logement
Sous_categorie	Sous-catégorie de l'enjeu endommagé	Permanent
Niveau_degat	Niveau d'endommagement de l'enjeu	3
Niveau_alerte	Niveau d'avertissement du tronçon au moment du dégât	T10
X	Coordonnées du dégât (L93)	963280,778
Y	Coordonnées du dégât (L93)	6231899,815
Commune	Commune où se situe l'enjeu endommagé	Le Lavandou
Lieu_dit	Lieu-dit où se situe l'enjeu endommagé	Lotissement des Pommiers
Source	Lien URL vers l'information sur le dégât	http://videos.tf1.fr/
Type_source	Type de la source d'information	Média
Photo	Lien HTML vers une photo du dégât	
Video	Lien URL vers une vidéo du dégât	http://www.youtube.com/watch?v=x_oOHp0rj6M
Fiche	Références de la fiche RTM correspondant au dégât	242/FXM
Detail	Informations complémentaires sur le dégât	Inondation du lotissement des pommiers, 50cm d'eau

Tableau 9 : Attribution et pondération des valeurs pour les enjeux en zone inondable

(Source : C. Saint-Martin (2014))

Enjeux linéaires (25 %)			Enjeux ponctuels (50 %)			Enjeux surfaciques (25 %)		
NATURE	VALEU R	PONDER EE	NATURE	VALEU R	PONDER EE	NATURE	VALEU R	PONDER EE
Ligne électrique	10	2,5	Hôpital	10	5	Parcelle < 500 m ²	0,5	0,125
Autoroute	9	2,25	Enseignement primaire	10	5	500 m ² < parcelle < 2000 m ²	1	0,25
Route à 2 chaussées	8	2	Etablissement hospitalier	10	5	2000 m ² < parcelle < 5000 m ²	1,5	0,375
Route à 1 chaussée	7	1,75	Enseignement secondaire	9	4,5	5000 m ² < parcelle < 10000 m ²	2	0,5
Voie ferrée	6	1,5	Etablissement pénitentiaire	9	5	10 000 m ² < parcelle < 50 000 m ²	2,5	0,625
Bretelle	5	1,25	Camping	9	4,5	50 000 m ² < parcelle < 2 000 000 m ²	3	0,75
Route empierrée	2	0,5	Village de vacances	8	3,5	bâti < 150m ²	6	1,5
Chemin	1,5	0,375	Caserne de pompiers	8	4	150 m ² > bâti < 500m ²	7	1,75
Piste cyclable	1	0,25	Sous-préfecture	7	3,5	500 m ² < bâti < 1000 m ²	8	2
Sentier	0,25	0,0625	Centrale électrique	7	4	1000 m ² > bâti < 3000 m ²	9	2,25
			Usine	6	3	3000 m ² > bâti < 10 000 m ²	10	2,5
			Usine de traitement des eaux	6	3			
			Aéroport international	6	3			
			Enseignement supérieur	6	3			
			Mairie	5	3			
			Zone industrielle	5	2,5			
			Divers industriel	5	2,5			
			Aéroport	4	2			
			Gare SNCF	4	2			
			Port	4	2			
			Gare routière	4	2			
			Aérodrome	4	2			
			Station de pompage	3	1,5			
			Enceinte militaire	3	1,5			
			Gendarmerie	3	1,5			
			Poste ou hôtel de police	3	1,5			
			Divers public ou administratif	2	1			
			Hôtel de département	2	1			
			Bureau ou hôtel des postes	2	1			
			Etablissement thermal	2	1			
			Marche	2	1			
			Palais de justice	2	1			
			Musée	2	1			
			Lieu de culte	2	1			
			Parc zoologique	1	0,5			
			Maison forestière	1	0,5			
			Mine	1	0,5			
			Carrière	1	0,5			
			Piscine	1	0,5			
			Hippodrome	1	0,5			
			Golf	1	0,5			
			Stade	1	0,5			
			Parking	1	0,5			

Bibliographie

- Barroca B., Pottier N., Lefort E. (2005). *Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval*. Paper presented at the Septièmes Rencontres de Théo Quant.
- Blanc C., Brémond P., Grelot F. (2010). Projet EVA : "Evaluation de la Vulnérabilité Agricole" (pp. 267): Irstea, G-Eau, UE.
- 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*. Paul Valéry, Montpellier III, Montpellier.
- CEA, CNRS, SHOM, Ministère de l'intérieur, MEDDE. (2014). CENALT : Centre d'alerte aux tsunamis. 2014, from <http://www.info-tsunami.fr/>
- CEPRI. (2010). CEPRI - Guide du CEPRI : le bâtiment face à l'inondation, diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité (pp. 56): CEPRI.
- CEREMA, LCPC. (2014). Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - Centre d'études techniques, maritimes et fluviales (Cetmef) 2014, from <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/i-exzeco-r122.html>
- comptes, Cour des. (2012). *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var*.
- Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4).
- D'Ercole R., Metzger P. (2004). Les enjeux au coeur de la définition du risque: Application à Quito (Équateur) *Espaces tropicaux et risques: du local au global* (pp. 185-196): IRD.
- D'Ercole R., Metzger P. (2009). La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain. *Cybergeo : European Journal of Geography*(Dossiers, Vulnérabilités urbaines au sud). doi: 10.4000/cybergeo.22022
- DGPR, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. (2014). Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation (pp. 24).
- Douvinet, J. (2008). *Les bassins versants sensibles aux « crues rapides » dans le Bassin Parisien – Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes*. Université de Caen/Basse-Normandie, Caen.
- Douvinet J., Delahaye D. . (2010). Caractéristiques des « crues rapides » du nord de la France (Bassin parisien) et risques associés. *Geomorphologie : relief, processus, environnement*(n°1), 73-90.
- Etudiants du Master 2 GcRN, année 2013/2014. (2014). Diagnostic et mesures de réduction de la vulnérabilité face aux inondations pour les logements et commerces de la ville de Quimper (pp. 181): Ville de Quimper.
- Fouchier C., Lavabre J. (2002). Synthèse des débits de crue sur les régions Provence-Alpes-Côte-d'Azur et Languedoc-Roussillon. Phase II : régionalisation du modèle pluie-débit (pp. 79): MATE/Mtéo France/CETE Méditerranée/Cemagref.
- Gaume, E. (2002). *Elements d'analyse sur les crues éclair*. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Paris.
- Geide. (2013). Acteurs économiques : Inondation, Prévenir/Réagir/Rétablir. In ADEME (Ed.).
- GEMA, FFSA. (2011). Inondations du Var des 15 et 16 juin 2010 - Bilan chiffré au 31 mai 2011 (pp. 10): Association Française des Assurances.
- Gerard, F. (2013). Prévision, vigilance, alerte, bilan et perspectives (pp. 41): AFPCN, IMdR.

- GIEC. (2012). Résumé à l'intention des décideurs. In: Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique (Cambridge University Press ed.): Cambridge University
- Gilard O., Givoine P., Oberlin G., Chastan B. (1994). *De nouveaux concepts et des outils pour gérer rationnellement l'occupation des sols en lit majeur*. Paper presented at the Journée bilan X° Plan / Phase I / 1989-1992, Lyon.
- Hattemer, C. (2010). *Méthodologie d'évaluation de l'endommagement primaire des réseaux d'infrastructures face au risque inondation*.
- Hémon D., Jouglu E. (2004). Surmortalité liée à la canicule d'août 2003 (pp. 64): Inserm.
- Hubert G. , Ledoux B. (1999). *Le coût du risque...L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*.
- INSEE. (2014). Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. 2014, from <http://www.insee.fr/>
- Irstea. (2014a). Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. 2014, from <http://www.irstea.fr/>
- Irstea. (2014b). RHYTMME. Retrieved 11/08/14, 2014, from <http://rhytmme.irstea.fr/>
- Javelle P., Fouchier C., Arnoud P., Lavabre J. (2010). Flash flood warning at ungauged locations using radar rainfall and antecedent soil moisture estimations. *Journal of Hydrology*, 394, 267-274.
- Jonkman S.N. , Vrijling J.K. (2008). Loss of life due to floods. *Flood Risk Management*(1), 43-56.
- Kron, W. (2002). Keynote lecture: Flood risk = hazard x exposure xvulnerability. In S. Press (Ed.), *Flood Defence*.
- Lavabre J., Grégoris Y. (2005). AIGA : un dispositif d'alerte des crues sur l'ensemble du réseau hydrographique. *Ingénieries*(n°44), 3-12.
- Leone F., Deymier J. (2011). Vulnérabilités des réseaux routiers face aux debris flows dans les Alpes. Quantification des risques et modélisation de l'accessibilité territoriale. Partie 1 : Approche régionale. Vulnérabilités des réseaux routiers et dégradation de l'accessibilité territoriale (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Savoie). Partie 2 : Approche locale. Diagnostic intégré du risque torrentiel et accessibilité routière des secours sur cinq bassins-versants. Moyenne vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) - Rapport WP6, Projet ANR SCAMPEI (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes), (pp. 135). Montpellier: UMR GRED.
- Maplecroft. (2014). *Natural Hazards Risk Atlas 2014*: Maplecroft.
- Martelli, K. (2011). Vulnérabilité des milieux urbanisés face aux impacts physiques des écoulements volcaniques, des lahars et des crues associées : le cas de la ville d'Arequipa (sud du Pérou) (pp. 65). Paris.
- MEDDE. (2004). Les inondations (pp. 24).
- MEDDE. (2009). Les risques majeurs. 2014
- MEDDE. (2011). *Plan Submersions Rapides*.
- MEDDE. (2012a). Bilan annuel d'activité 2012 - Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi) (pp. 36).
- MEDDE. (2012b). Principaux enseignements de la première évaluation des risques d'inondation sur le territoire français - EPRI 2011 (pp. 72).
- MEDDE. (2013). *Stratégie Nationale de gestion des risques d'inondation - Projet*. Code de l'environnement (2014).
- Montz, Burrell E., & Grunfest, Eve. (2002). Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Global Environmental Change Part B*:

- Environmental Hazards*, 4(1), 15-22. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1464-2867\(02\)00011-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1464-2867(02)00011-6)
- Nations, United. (2014). FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014, from <http://www.fao.org/>
- ONU. (2011). World Risk Report. In U. N. University (Ed.), (pp. 74): United Nations University.
- Picardie, Agence de l'eau Artois -. (2006). Evaluation économique des dommages liés aux inondations (pp. 80): Ecodécision.
- Provitolo, D. (2007). Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : une nouvelle démarche géographique *Annales de Géographie*(653), 23-40.
- Ruin I., Lutoff C., Boudevillain B., Creutin J-D., Anquetin S., Bertran Rojo M., Boissier L., Bonnifait L., Borga M., Colbeau-Justin L., & Creton-Cazanave L., Delrieu G., Douvinet J., Gaume E., Grunfest E., Naulin J-P., Payrastre O., Vannier O. (2013). Social and Hydrological Responses to Extreme Precipitations: An Interdisciplinary Strategy for Postflood Investigation. *American Meteorological Society*.
- Ruin, Isabelle, Creutin, Jean-Dominique, Anquetin, Sandrine, & Lutoff, Céline. (2008). Human exposure to flash floods – Relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France. *Journal of Hydrology*, 361(1–2), 199-213. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.044>
- TF1 (Producer). (2014, 1/08/14). Inondations dans le Var : le choc des habitants de la Londe-les-Maures. [Vidéo] Retrieved from <http://videos.tf1.fr/jt-13h/2014/inondations-dans-le-var-le-choc-des-habitants-de-la-londe-les-maures-8350389.html>
- Thouret J-C., D'Ercole R. (1996). Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahier des Sciences Humaines*(32 (2)), 407-422.
- Torres, D. Sempere, Rodriguez, J. Y., & Obled, Ch. (1992). Using the DPFT approach to improve flash flood forecasting models. *Natural Hazards*, 5(1), 17-41. doi: 10.1007/BF00127137
- UNEP, MEDDE, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Ville de Marseille, Conseil Général des Alpes-Maritimes. (2014). Plan Bleu, Construisons ensemble l'avenir de la Méditerranée - Environnement et développement en Méditerranée. from <http://planbleu.org>
- Var, Préfet du. (2014). Les services de l'Etat dans le Var. 2014, from <http://www.var.gouv.fr/>
- Versini P. , Gaume E., Andrieu H. (2010). Assessment of the susceptibility of roads to flooding based on geographical information - test in a flash flood prone area (the Gard region, France). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 793-803.
- Vinet, F. (2010). *Le risque inondation: Diagnostic et gestion*: Tec & Doc Lavoisier.
- Vinet F., Boissier L., Defossez S. . (2011). La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, Var, 2010). *Vertigo*, 11(2), 23.
- Vinet F., Leone F. (2005). *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*: Montpellier 3.

Liste des figures

Figure 1 : Réseau hydrographique réglementaire suivi par les SPC.....	8
Figure 2 : Schéma des acteurs dans la vigilance hydrométéorologique	9
Figure 3 : Evolution de la politique de prévention du risque inondation en France	11
Figure 4 : Réseau ARAMIS de Météo-France	15
Figure 5 : Éléments constitutifs des cartes produites par la méthode AIGA.....	16
Figure 6 : L'équation du risque.....	19
Figure 7 : L'exposition aux risques naturels dans le monde	21
Figure 8 : De la prévision à l'alerte, schéma simplifié des différentes étapes de l'anticipation du phénomène d'inondation	24
Figure 9 : Communes du Var concernées par au moins un arrêté CATNAT* entre novembre 2011 et janvier 2014.....	28
Figure 10 : Gravité et niveaux d'alerte associés lors des inondations du 19 janvier 2014 sur La-Londe-les-Maures	32
Figure 11 : Organisation des couches de la base de données dégât	40
Figure 12 : Aperçu d'une fiche HTML pour un dégât de la BD_Degât sur Arcgis	41
Figure 13 : Localisation et intensité des dégâts liés aux inondations par évènement entre 2011 et 2014.....	47
Figure 14 : Comparaison entre deux enveloppes de zone inondable	50
Figure 15 : Les grandes étapes de l'évaluation de l'exposition d'un territoire	52
Figure 16 : Illustration simplifiée de l'emboîtement des bassins-versants.....	56
Figure 17 : Exemple de cartographie de la qualification des pluies sur la Londe-les-Maures, le 19 janvier 2014.....	60
Figure 18 : Exemple d'une pointe de débit simulé par la méthode AIGA, et comparé aux seuils obtenus par la méthode SHYREG.....	61
Figure 19 : Croisement entre niveau d'exposition et niveau de dégât.....	62
Figure 20 : Croisement entre le niveau d'exposition et le niveau d'endommagement sur la commune de la Londe-les-Maures	64
Figure 21 : Croisement entre les niveaux de dégâts, d'exposition et d'avertissement	66
Figure 22 : Cartographie du croisement entre les niveaux de dégâts, d'exposition et d'avertissement.....	68
Figure 23 : Croisement entre l'exposition et les dégâts liés aux inondations entre 2011 et 2014 sur les communes du Var.....	69

Figure 24 : Fonctionnement du radar météorologique	72
Figure 25 : Organisation interne de IRSTEA d'Aix-en-Provence	74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Inondations dans le Var entre 2011 et 2014	28
Tableau 2 : Typologie des inondations en France métropolitaine	35
Tableau 3 : Sources bibliographiques pour l'élaboration d'une typologie d'endommagement	43
Tableau 4 : Indicateur d'endommagement	45
Tableau 5 : Obtention de la valeur d'exposition par bassin emboîté	57
Tableau 6 : Résultat du calcul de la valeur d'exposition par bassin-versant emboîté ..	57
Tableau 7 : Chronogramme des tâches réalisées lors du stage	73
Tableau 8 : Explication des champs de la table attributaire de la couche « Dégat » ...	75
Tableau 9 : Attribution et pondération des valeurs pour les enjeux en zone inondable	76

Liste des photos

Photo 1 : Radar en bande X sur le Mont Aurel	17
Photo 2 : Vue aérienne de la plaine inondée d'Hyères, deux jours après les inondations du 19 janvier 2014	23
Photo 3 : Le port de la Londe-les-Maures au lendemain de la crue du 19 janvier 2014	30
Photo 4 : Habitation inondée lors de la crue du 19 janvier 2014 au Lavandou	33

Sigles

AIGA : Adaptation d'Information Géographique pour l'Alerte en crue

ARAMIS : Application Radar à la Météorologie Infra-Synoptique

BD_Degat : base de données sur les dégâts liés aux inondations (IRSTEA©)

BNBV : Base Nationale des Bassins-Versants

CEREMA : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CMIR : Centres Météorologiques Inter-Régionaux

CNP : Centre National de Prévision de Météo-France

CRIGE : Centre Régional de l'Information Géographique

DGSCGC : Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises

DI : Directive Inondation

DIRSE : Direction Interrégionale Sud-Est de Météo-France

DREAL : Direction Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EAIP : Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles

EPRI : Evaluation Préliminaire pour le Risque Inondation

EXZECO : EXtraction des Zones d'ECOulement

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IGN : Institut national de l'Information Géographique et Forestière

IRSTEA : Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

Réseau PC&H : Réseau national pour la Prévision des Crues et l'Hydrométrie

RHYTMME : Risques HYdro-météorologiques en Territoires de Montagnes et. MEditerranéens

PGRI : Plan de Gestion des Risques d'Inondation

PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation

PSR : Plan de Submersion Rapide

RPG : Registre Parcelaire Graphique

RTM : Restauration des Terrains de Montagne

SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer Français

SNGRI : Stratégie Nationale de Gestion du Risque Inondation

SPC : Service de Prévision des Crues

TIC : Technologie de l'Information et de la Communication

TRI : Territoire à Risque d'Inondation Important

Table des matières

Remerciements	1
Sommaire	3
Résumé	4
Introduction	5
1. Concept, objectif et mise en contexte : les apports du stage à l'avertissement des crues	7
1.1. Acteurs et fonctionnement de la prévision des crues en France : lacunes et besoins du système actuel	7
1.1.1. Le SCHAPI au cœur du système de prévision	7
1.1.2. Evolution des politiques de l'Etat sur le sujet des inondations.....	10
1.1.3. Les autres acteurs de la prévision des risques en France.....	12
1.1.4. Présentation rapide de la méthode AIGA et du projet RHYTMME	14
1.2. L'approche des risques par les enjeux	18
1.2.1. Rappel théorique et conceptuel	18
1.2.2. Contexte scientifique et état de l'art	20
1.2.3. Mise en perspective du travail et apports à la problématique	23
2. Conception d'une approche scientifique pour la prise en compte des enjeux dans le système d'avertissement AIGA	26
2.1. Cadre chronologique et zone d'étude	27
2.1.1. Les crues du Var de novembre 2011 à janvier 2014	27
2.1.2. Etude de cas : la Londe-les-Maures, 19 janvier 2014	29
2.2. Elaboration d'une base de données sur les dégâts liés aux crues « BD_Degat »	33
2.2.1. Typologie des inondations en zone Méditerranéenne	34
2.2.2. Structuration de la base de données sur les dégâts liés aux inondations	37
2.2.3. Elaboration d'une typologie et d'un indicateur d'endommagement.....	42
2.3. Evaluation de l'exposition aux inondations	48
2.3.1. Réflexion sur les zones inondables : de l'AZI à l'EAIP	48

2.3.2. Recensement et hiérarchisation des enjeux : méthodes et limites	51
2.4. Les avertissements fonction de l'exposition des territoires : une méthode d'avenir ?	59
2.4.1. La méthode AIGA actuelle : un système d'avertissement uniquement basé sur l'aléa	59
2.4.2. Croisement entre niveau de dommage, exposition et avertissements....	62
Conclusions et perspectives	70
Annexes	72
Bibliographie	77
Liste des figures.....	80
Liste des tableaux	81
Liste des photos.....	81
Sigles.....	82
Table des matières	84