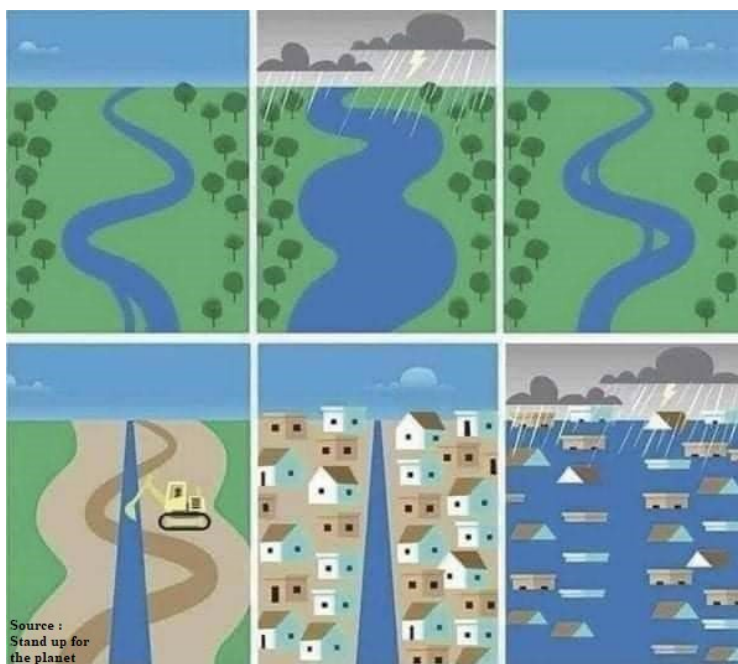


Année universitaire 2020-2021
Master 2 Géographie aménagement environnement et développement
Parcours Transitions environnementales dans les territoires

Prise en compte des systèmes d'endiguement et de leurs niveaux de protection dans la vigilance crues



Présenté et soutenu par : Anthony BRUN

Responsables pédagogiques : Anne PELTIER
Jean-Marc ANTOINE

Université Jean Jaurès de Toulouse
Université Jean Jaurès de Toulouse

Maître de Stage : Benoît COMBEDOUZON

DREAL Occitanie

Mémoire soutenu le 16 septembre 2021

Remerciements

À l'issue de ce travail, je souhaite remercier tout particulièrement :

- l'ensemble du service de prévision des crues de la DREAL Occitanie qui, par leur disponibilité et par leur encadrement, m'a conseillé lors des différentes réflexions tout au long de ce stage ;
- l'unité étude et connaissance des inondations qui a été d'un grand soutien lors de ces cinq mois. Au sein de cette unité Aurélie Escudié m'a apporté une aide précieuse dans la compréhension et l'analyse du risque inondation ; Christophe Nègre, qui a partagé son bureau avec moi m'a apporté beaucoup dans la maîtrise de Qgis et m'a enseigné des notions de météorologie. Et enfin Benoît Combedouzon qui m'a accompagné quasi-quotidiennement a été le soutien et le pilier indéfectible sans qui ce travail n'aurait pas pu arriver à son terme ;
- la division ouvrages hydrauliques et Concession de la DREAL Occitanie et plus particulièrement Alban Faruya avec qui j'ai eu des échanges fondamentaux sur les systèmes d'endiguement ;
- enfin, Elisabeth Lepers de la DSIG, qui m'a accompagné lors d'impasses dans l'usage de Qgis.

Mots-clés : digue, inondation, méthode, ligne d'eaux, niveau de protection.

Résumé :

Le service de prévision des crues, qui opère au sein de la DREAL, a pour mission entre autres d'améliorer de façon continue les niveaux de vigilances crues des cours d'eau appartenant au réseau Vigicrues. Ainsi, le service de prévision des crues Garonne-Tarn-Lot a souhaité engager un travail visant à intégrer les niveaux de protection des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance. Aujourd'hui, les secteurs endigués ne sont pas clairement identifiés dans les outils de gestion de crise. On peut donc se demander comment faire le lien entre le niveau de protection d'un ouvrage et les niveaux de vigilance crues et donc quelle méthode utiliser pour atteindre cet objectif. Ce travail a pour finalité de faciliter l'accompagnement des acteurs de gestion de crue dans ces secteurs particuliers.

Le contexte juridique nouveau, passage du concept de digue à celui de système d'endiguement, ajoute à la complexité du problème. En effet, la modification de la loi de 2017 sur les ouvrages hydrauliques demande des études complexes (étude de danger) qui font apparaître deux notions fondamentales vis-à-vis du système d'endiguement : le niveau de protection et la zone protégée. Le niveau de protection d'un système d'endiguement se définit comme une hauteur maximale que peut atteindre le niveau d'eau mesurée en un lieu de référence tel que sa probabilité de rupture soit inférieure à 5 %. Cette donnée chiffrée permet d'intégrer plus facilement le système d'endiguement dans les niveaux de vigilance. Pour cela, il est nécessaire de connaître une méthode permettant de rattacher le niveau de protection du système d'endiguement à une échelle limnimétrique d'une station de vigilance du réseau Vigicrues. La méthode élaborée dans ce rapport permet de faire le lien entre ces deux données. Afin de valider cette méthode, elle a été appliquée sur un système d'endiguement à Figeac. Il apparaît à l'issue de cette étude de cas que cette méthode permet d'obtenir des résultats concluants.

Key words : dike, flood, method, water line, protection level.

Abstract :

The service de prévision des crues, which operates within the DREAL, is responsible, among other things, for continuously improving the flood warning levels for rivers belonging to the Vigicrues network. Thus, the Garonne-Tarn-Lot flood forecasting service wished to initiate a work aiming at integrating the protection levels of the diking systems in the vigilance levels. Today, the diked sectors are not clearly identified in the crisis management tools. One can therefore wonder how to make the link between the protection level of a structure and the flood vigilance levels and thus which method to use to reach this objective. The purpose of this work is to facilitate the support of flood management actors in these particular sectors.

The new legal context, the transition from the concept of dike to that of diking system, adds to the complexity of the problem. Indeed, the modification of the law of 2017 on hydraulic works requires complex studies (hazard study) that bring to light two fundamental notions with regard to the diking system: the level of protection and the protected area. The protection level of a diking system is defined as a maximum height that the water level can reach measured in a reference place such that its probability of rupture is lower than 5%. This numerical data makes it easier to integrate the diking system in the vigilance levels. For this purpose, it is necessary to know a method allowing to link the protection level of the diking system to a limnimetric scale of a vigilance station of the Vigicrues network. The method developed in this report allows to make the link between these two data. In order to validate this method, it was applied on a diking system in Figeac. At the end of this case study, it appears that this method allows to obtain conclusive results.

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Les services de prévision des crues au centre d'un dispositif d'information face au risque inondation.....	3
I. Le service prévision des crues, un acteur majeur dans la vigilance crue.....	3
I.A) Au sein de la DREAL, le service de prévision des crues.....	3
I.B) Au cœur du SPC GTL : l'unité étude et connaissance des inondations.....	5
I.C) Les partenaires, acteurs complémentaires essentiels à l'atteinte des objectifs.....	6
II. Au croisement des enjeux et des aléas : les niveaux de vigilance, un outil majeur des SPC pour l'évaluation du risque inondation.....	7
II.A) Le risque inondation : la vulnérabilité d'enjeux face à l'occurrence d'un phénomène.....	7
II.B) Les niveaux de vigilances et leurs objectifs.....	11
Chapitre 2 : De la digue aux systèmes d'endiguement : ouvrages de protection contre le risque inondation.....	14
I. Les digues : Un ouvrage de protection.....	14
I.A) Définition et rôle de ces ouvrages.....	14
I.B) Une nouvelle législation en lien avec la compétence GEMAPI : le système d'endiguement	16
I.C) Quelles conséquences pour le gestionnaire d'ouvrage et les services de gestion du risque ?	21
I.D) Les systèmes d'endiguement au sein du SPC Garonne-Tarn- Lot.....	22
II. Le risque inondation dans les secteurs endigués.....	23
II.A) Notion de zone protégée.....	23
II.B) Le sur-risque inhérent à ces ouvrages.....	24
Chapitre 3 : Quelle méthode appliquer pour la prise en compte des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance ?.....	26
I. Réflexions pour aboutir à la méthode générale.....	26
I.A) Premier objectif : l'importance de réaliser une correspondance entre le niveau de protection du système d'endiguement et la station de surveillance Vigicrues.....	26
I.B) Second objectif : la détermination des enjeux potentiellement touchés derrière les ouvrages et intégration dans les niveaux de vigilance.....	27
II. Exposition de la méthode retenue.....	28
II.A) Présentation de l'outil.....	28
II.B) Points de vigilance et limites de la méthode.....	32
Chapitre 4 : Étude de cas : le système d'endiguement de Figeac.....	35
I. Présentation du site d'étude.....	35
I.A) Localisation du système d'endiguement.....	35
I.B) Le bassin versant du Célé.....	37
I.C) Historique des crues.....	39
II. Application de la première étape de la méthode :.....	43
II.A) Contexte et utilisation de la méthode.....	43
II.B) Comment rattacher une hauteur d'eau relative à un SE à une hauteur d'eau relative à une échelle limnimétrique d'une station de vigilance.....	43
III. Application de la seconde étape de la méthode :.....	45
III.A) Construction de la zone protégée.....	45
III.B) Croisement enjeux/aléas et intégration dans les niveaux de vigilance.....	47
Conclusion : Bilan et perspectives.....	51
Références Bibliographiques.....	53
Liste des figures, tableaux et photographies :.....	55
Liste des annexes.....	59

Liste des sigles et abréviations

BV : Bassin Versant

Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

DDT : Direction Départementale du Territoire

DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques

DREAL : Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement

EDD : Étude De Danger

EPCI : Établissement Public de Coopération Intercommunale

ERP : Établissement recevant du public

GEMAPI : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

GTL : Garonne-Tarn-Lot

ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement

MAPTAM : Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile

PHEC : Plus Hautes Eaux Connues

PPRi : Plan de Prévention des Risques inondation

RDI : Référent Départemental Inondation

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

SIG : Système d'Information Géographique

SPC : Service de Prévision des crues

UECI : Unité étude et connaissance des inondations

ZIP : Zone d'inondation potentielle

Introduction

Le risque inondation en France représente un habitant sur quatre en zone inondable, un emploi sur trois en zone inondable, une menace pour les vies humaines (par exemple le bilan humain de la tempête Xynthia s'élève à cinquante-trois morts), des centaines de millions d'euros de dégâts à chaque événement d'ampleur (par exemple plus d'un milliard d'euros pour les crues de la Seine et du Loing de juin 2016).

Sur les secteurs exposés au risque d'inondation, le réseau Vigicrues a pour objectif d'informer les populations et les acteurs locaux du risque de crues attendu dans les prochaines vingt-quatre heures en définissant un niveau de vigilance (jaune, orange ou rouge) sur un cours d'eau donné et publié sur le site internet Vigicrues (www.vigicrues.gouv.fr). Les niveaux de vigilance sont déterminés par les Services de Prévisions des Crues (SPC) en évaluant les enjeux touchés pour différents niveaux de débordements (aléa inondation) sur un territoire donné.

Afin de décrire l'aléa inondation, plusieurs cartographies existent aujourd'hui dont notamment les cartes de Zones d'Inondation Potentielle (ZIP), produites par les SPC.

Les ZIP sont un outil utile aux SPC et aux gestionnaires de crise (services préfectoraux, collectivités) pour la préparation et la gestion de crise d'une inondation. En effet, une ZIP est la représentation cartographique de l'emprise d'une inondation pour une hauteur d'eau atteinte ou prévue au droit d'une station hydrométrique du réseau Vigicrues. Elle est le résultat de la modélisation d'un phénomène de crue. Pour un même secteur, plusieurs ZIP sont produites, pour une gamme de crues allant des premiers débordements aux débordements majeurs. Dans le contexte de la gestion de crise, le croisement de la ZIP avec les enjeux apporte des renseignements sur la vulnérabilité des secteurs touchés par les inondations. Ces ZIP sont construites grâce à la modélisation des lignes d'eaux de crues historiques, données nécessaires de mon stage.

Dans le cadre de mon étude, les systèmes d'endiguement ou digues constituent un élément majeur pour caractériser les zones protégées par le risque inondation. Néanmoins, en raison de caractéristiques inhérentes à la structure de l'ouvrage (résistance des matériaux, hauteur de la crête, etc) et à son entretien, il peut exister des points de défaillance sur l'ouvrage pouvant engendrer des phénomènes de brèche voire de rupture au moment d'une inondation. Ces phénomènes mettent en évidence un paradoxe : digue = sur-risque potentiel. La nouvelle compétence GEMAPI donnée aux collectivités et l'évolution de la réglementation liée aux ouvrages hydrauliques et comprenant la

réalisation des études de dangers (EDD) donne aux collectivités une responsabilité dans la caractérisation de ce risque de défaillance et d'inondation associée (A. Brune, 2019). En effet, depuis 2015, et plus particulièrement depuis l'arrêté du 7 avril 2017, l'étude de danger (EDD), permet d'améliorer l'arsenal des outils de la gestion de crise dans ces secteurs endigués. Cette étude, cadrée par la loi, engage le gestionnaire de l'ouvrage à définir les niveaux d'eau au droit de l'ouvrage – appelés niveaux de protection – à partir desquels sa tenue n'est plus garantie .

Ainsi, afin d'améliorer l'anticipation d'un risque d'inondation associé à la rupture d'un ouvrage dans la gestion de crise, on peut donc se demander comment faire le lien entre le niveau de protection d'un ouvrage et les niveaux de vigilance crues. Cette interrogation fait émerger un second questionnement, à savoir quelle méthode mettre en œuvre pour exploiter les ZIP existantes sur les secteurs endigués et déterminer les enjeux physiquement protégés mais soumis à ce risque d'inondation par rupture de l'ouvrage ? Les acteurs de la gestion de crise auront alors la possibilité de faire un lien direct entre l'inondation attendue et les enjeux qui ne seront plus protégés par les systèmes d'endiguement.

Dans le premier chapitre, nous décrirons la structure dans laquelle j'ai réalisée mon stage afin de comprendre dans quel cadre institutionnel il s'est déroulé. De plus, il sera exposé une notion au cœur de la problématique : le risque inondation .

Dans le second chapitre, on cherchera à comprendre les tenants et les aboutissant d'une nouvelle notion : le système d'endiguement.

Enfin, dans les deux derniers chapitres, nous présenterons la méthode produite lors de ce stage qui a pour objectif de prendre en compte les systèmes d'endiguement dans la vigilance crue. Cette méthode sera ensuite appliquée à une étude de cas : un système d'endiguement à Figeac.

Chapitre 1 : Les services de prévision des crues au centre d'un dispositif d'information face au risque inondation

I. Le service prévision des crues, un acteur majeur dans la vigilance crue

I.A) Au sein de la DREAL, le service de prévision des crues

Les DREAL, services de l'État, sont issues de la fusion entre 2009 et 2011 des directions régionales de l'Équipement (DRE), des directions régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et des directions régionales de l'Environnement (DIREN). Ce sont les services régionaux de l'état chargés de mettre en œuvre les politiques publiques de deux ministères : le ministère de la transition écologique et solidaire et le ministère de la cohésion des territoires. Sous l'autorité du préfet de région et des préfets de département, la DREAL transpose au niveau régional les politiques nationales de développement durable et d'aménagement durable du territoire, notamment en matière de transport, de logement, d'environnement et de prévention des risques naturels et technologiques. La DREAL joue aussi un rôle dans la formation, l'information et l'éducation aux enjeux du développement durable et à la sensibilisation aux risques. Enfin elle a en charge de piloter les moyens humains et financiers des services déconcentrés de l'État qui portent les politiques publiques des ministères de la transition écologique et de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales en région.

Les DREAL Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées ont fusionnées en 2016 pour former la DREAL Occitanie. Son siège, à Toulouse, compte 850 agents sur un territoire de treize départements peuplé de 5,7 millions d'habitants.

Afin de remplir toutes ses missions, cet organisme est divisé en sept directions (annexe 1 : organigramme de la DREAL Occitanie). La direction des risques naturels suit un schéma d'organisation pyramidal et est donc divisée en trois départements dont le département de prévision des crues et hydrométrie lui-même subdivisé en deux services de prévision des crues (SPC) : celui de méditerranée ouest et celui de Garonne-Tarn-Lot. Les dix-neuf SPC du territoire français sont

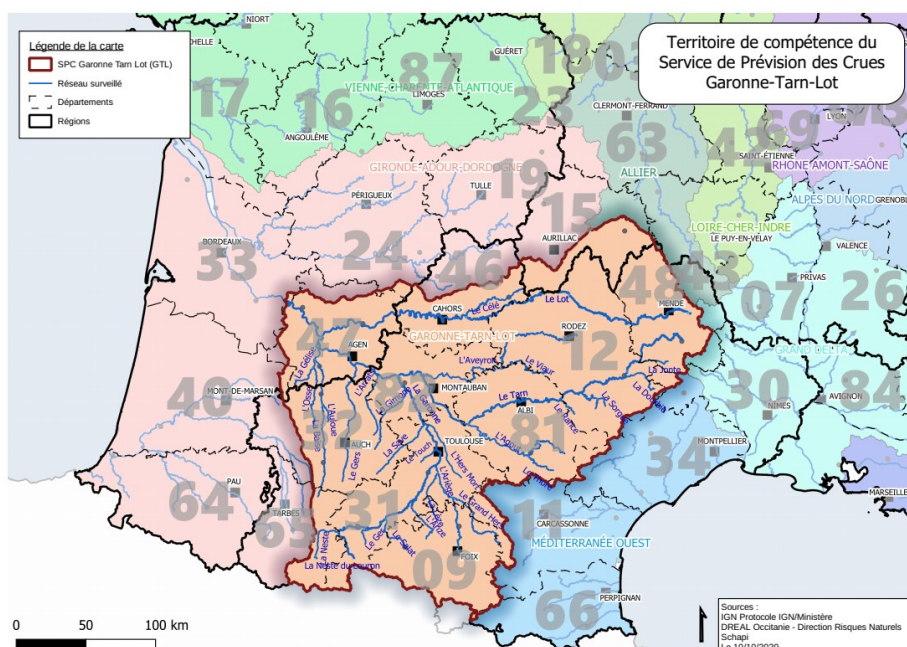
issus de la transformation des Services d'annonce des crues (SAC) en juillet 2006 suite aux inondations du Gard de 2002.

L'objectif des SPC est de réaliser une vigilance et une prévision des crues. Pour accomplir son rôle, le SPC Garonne-Tarn-Lot (GTL) est divisé en deux unités distinctes mais complémentaires :

- une unité prévision des crues qui élabore des modèles de prévision, des études hydrologiques sur le territoire et assure la veille hydrométéorologique ;
- une unité étude et connaissance des inondations (UECI) (unité de rattachement du stage).

Pour assurer ses missions, le SPC GTL s'appuie sur l'unité hydrométrie, qui assure la gestion du réseau de stations hydrométriques et élabore les courbes de tarage.

Le SPC GTL gère un territoire de 55 000 km² comprenant les bassins versants hydrographiques de la Garonne, du Tarn et du Lot. Seule la partie amont du bassin de la Garonne est gérée par ce SPC, l'aval, sous influence maritime, est administré par le SPC Gironde-Adour-Dordogne.



Le réseau du SPC GTL est constitué de soixante-quatorze stations de prévision réparties dans vingt sous-bassins versants.

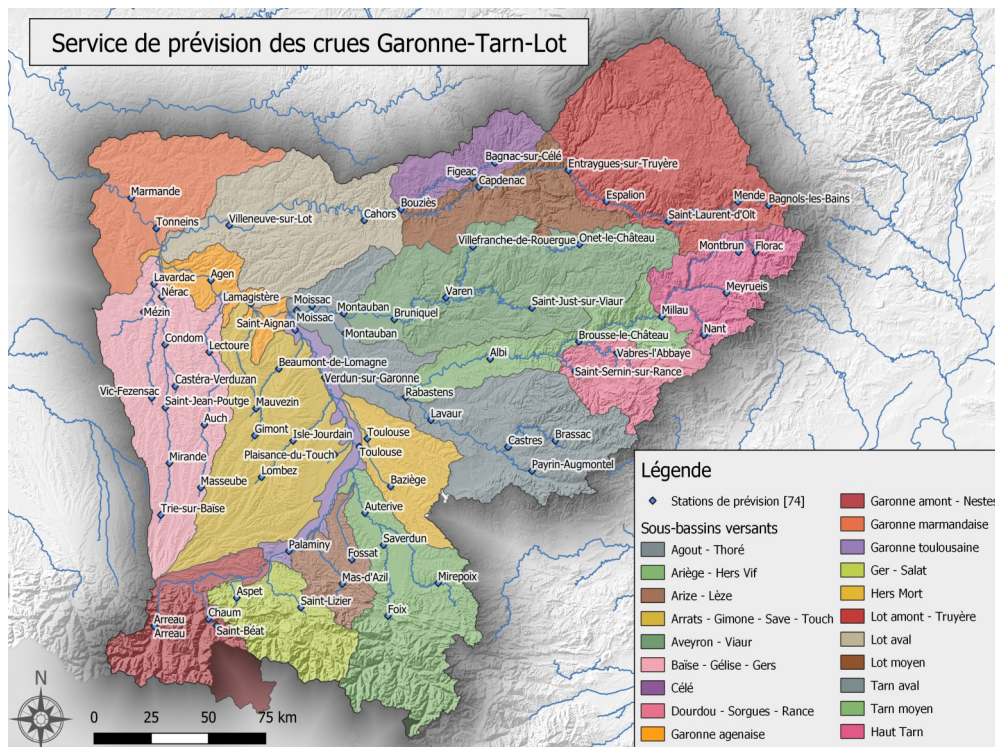


Figure 2 : le SPC GTL et ses sous-basins versants

I.B) Au cœur du SPC GTL : l'unité étude et connaissance des inondations

L'Unité Étude et Connaissance des Inondations (UECI), au sein de laquelle le stage a été effectué, répartit ses activités autour de six grands axes :

- Animation de la mission Référent Départemental Inondation (RDI)
- Professionnalisation : formations interne/externe, sensibilisation Vigicrues par exemple ;
- lien avec les observateurs de crues : gestion administrative des observateurs ;
- Collecte et capitalisation de la donnée pour l'inondation : prises de vues aériennes (PVA) en crues, reconnaissance terrain en autres ;
- Zones d'inondation potentielle (ZIP) : production de données, diffusion et accompagnement des cartographies ZIP ;
- Analyses et expertises : réponses aux demandes de Catastrophe Naturelle (CatNat), réalisation des échelles de gravité et détermination des niveaux de vigilance des stations Vigicrues, exploitation des ZIP pour l'analyse de risque...

Le stage que j'ai réalisé au sein de cette unité s'inscrit plus particulièrement dans la mission « analyses et expertises ». En effet l'objectif est sur l'amélioration des échelles de gravité par la

prise en compte des niveaux de protection des systèmes d'endiguement dans les échelles de gravité et les enjeux touchés derrière les systèmes d'endiguement. Dans ce cadre, un outil a été très utile : les ZIP. Ces cartographies ZIP, dont la genèse a été impulsée par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et dont la production est supervisée par les SPC, sont des études qui permettent la production d'un outil essentiel dans la connaissance des inondations et la gestion de crise. Cet outil est la représentation cartographique de l'enveloppe maximale d'une inondation, appelée cartographie de ZIP. Ces cartes affichent l'emprise des plus hautes eaux atteintes sur un secteur pour différents scénarii. Chaque scénario, représenté dans la cartographie ZIP, est rattaché à une hauteur donnée à une échelle limnimétrique. Contrairement à la cartographie des plans de prévention des risques inondation (PPRi), ces cartes n'ont pas de valeur réglementaire et n'ont pas vocation à générer du droit. Nous verrons dans le troisième chapitre de ce mémoire comment certaines informations de la cartographie ZIP m'ont apporté des réponses et ont permis de faire le lien entre le niveau de protection d'un ouvrage et les niveaux de vigilance crues.

I.C) Les partenaires, acteurs complémentaires essentiels à l'atteinte des objectifs

Depuis juin 2003, un centre national dédié à la problématique des inondations a été mis en place : le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI). Ce dernier a notamment pour rôle la coordination scientifique et technique à l'échelle du territoire français, la mise en place de moyens permettant de répondre à la législation européenne et française en vigueur, ou encore la communication vers le grand public de la situation hydrologique en temps réel à travers le site Vigicrues. Actuellement, une part importante de ses missions est orientée vers le passage de la prévision des crues à la prévision des inondations. Ainsi, de par son rôle centralisateur dans la préparation et la connaissance du risque inondation, on comprend pourquoi le SCHAPI est un acteur fondamental dans la gestion du risque d'inondation en général et dans la prise en compte des systèmes d'endiguement en particulier.

Un deuxième acteur au cœur de la préparation et de la gestion de crise est le Référent Départemental Inondation (RDI). La mission de « Référent Départemental pour l'appui technique à la préparation et à la gestion des crises d'Inondation » (MRDI) a été créée en avril 2011. Les objectifs de cette mission assurée par les Directions Départementales des Territoires (DDT) pour les préfets sont multiples, autant dans les phases de préparation aux crises d'inondations (recueil d'informations,

exercices de simulation de crise, sensibilisation des acteurs locaux, etc) qu'en phase de gestion opérationnelle (assister le préfet dans l'interprétation des bulletins hydrologiques des SPC, participation aux retours d'expériences, croisement des aléas avec les enjeux locaux...). On voit donc que le RDI, dans le cadre de la prise en compte des systèmes d'endiguement dans la vigilance crue, en est un bénéficiaire.

Le GEMAPIen, troisième partenaire des SPC, est l'acteur le plus proche des terrains d'étude. Ce rôle est apparu conjointement à la naissance de la compétence Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI). En effet le GEMAPIen est l'acteur qui a hérité de la compétence GEMAPI. Ainsi, dans le cadre des systèmes d'endiguement, il a pour mission la gestion du système d'endiguement c'est-à-dire qu'il a la responsabilité des études réglementaires vis-à-vis de ces ouvrages (voir chapitre 2) ainsi que l'obligation technique et financière de l'entretien et du maintien en bon état des ouvrages.

Dans cette première partie, on a ainsi pu voir la diversité des acteurs (et leurs rôles respectifs) qui gravitent autour des problématiques de la compréhension et de la gestion des inondations. Il est évident que cette liste n'est pas exhaustive. En effet, d'autres acteurs, comme les services de secours, les communes ou le monde de la recherche scientifique amènent aussi leurs pierres à l'édifice de la compréhension et de la gestion du risque inondation. Néanmoins, ces derniers sont moins directement liés à la problématique des zones inondées derrière des systèmes d'endiguement.

II. Au croisement des enjeux et des aléas : les niveaux de vigilance, un outil majeur des SPC pour l'évaluation du risque inondation

II.A) Le risque inondation : la vulnérabilité d'enjeux face à l'occurrence d'un phénomène

Afin de comprendre la notion de risque inondation, il est indispensable de bien définir le terme d'inondation qui est parfois confondu avec le phénomène de crue. Ainsi « *La crue définit les hautes eaux qui peuvent demeurer dans le lit mineur du cours d'eau. Dès que celui-ci ne suffit plus à contenir l'écoulement, l'eau déborde et se répand dans le lit majeur provoquant une inondation. Il peut donc y avoir une crue sans inondation* » (Veyret & Meschinet de Richemond, 2003).

Le risque inondation est défini par H-J Scarwell et R. Laganier dans leur ouvrage *risque d'inondation et aménagement durable des territoires* (2004), comme « un événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, lié à la conjonction de l'aléa inondation et de la vulnérabilité de la société ». La vulnérabilité exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux, via des ouvrages de protection par exemple.

On peut donc résumer la notion de risque inondation ainsi : il est le croisement entre la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné et les dégâts que peut causer ce phénomène. Le schéma ci-dessous est une représentation simplifiée de cette définition.



Figure 3 : définition du risque inondation (source préfecture de Charente)

Dans les sous-parties suivantes nous allons nous attacher à définir les notions présentées ici, à savoir l'aléa et les enjeux.

II.A.1 Définition de l'aléa

L'aléa est défini par Y. Veyret et N. Meschinet de Richemond (2003) comme un « événement possible qui peut être un processus naturel, technologique, social, économique et sa probabilité de réalisation ». A. Dauphiné en 2003 complète cette définition : « au sens restreint, par la probabilité d'occurrence d'un phénomène ». Par ces définitions, on remarque que la dimension temporelle d'une inondation est mise de côté. En effet, un espace est touché par l'événement pour une durée indéterminée (Dauphiné, 2003 ; Bailly, 2004) et les périodes de crue et de décrue sont variables. Cette variabilité temporelle peut avoir des conséquences non négligeable sur l'espace touché.

Ainsi, on peut dire que les aléas inondation correspondent aux événements hydrologiques ayant existé ou à des événements potentiels. Afin de caractériser l'aléa inondation, il convient :

- d'identifier le bassin versant : ses caractéristiques morphologiques (forme, dimension, pente, orientation), sa structure hydrographique et les caractéristiques de la montée des eaux (temps de propagation) ;
- d'indiquer les spécificités du bassin versant : historique des crues, Plus Hautes Eaux Connues (PHEC), localisation des débordements, ouvrages pouvant influencer sur l'aléa (digues par exemple).

L'aléa peut être exprimé de différentes manières ce qui peut porter préjudice à la compréhension du phénomène. Selon certains acteurs et/ou auteurs, l'aléa est défini par :

- une probabilité d'occurrence : crue théorique d'occurrence 30 ans (Q30), crue théorique d'occurrence 100 ans (Q100) ;
- une hauteur d'eau rattachée à une échelle limnimétrique de station de prévision du réseau Vigicrues ;
- un débit.

Il existe des outils afin de convertir telle ou telle unité d'expression de l'aléa (comme la courbe de tarage qui permet de passer d'un débit à une hauteur d'eau rattachée à une échelle limnimétrique de station de prévision du réseau Vigicrues). Néanmoins cette diversité ne facilite pas le travail transversal de l'étude et de la connaissance des inondations. En effet, il s'agit de régulièrement convertir les données d'aléa afin qu'elles soient comparables. De plus il existe des biais dans la conversion de données permettant de définir l'aléa. À titre d'exemple, les courbes de tarage doivent être régulièrement contrôlées voire ajustées étant donné que la configuration de l'écoulement au droit et à proximité des stations de mesure peuvent varier au cours du temps. En effet, la modification de la géométrie du lit du cours d'eau, suite à une crue ou des travaux influence la relation entre la hauteur mesurée et le débit et donc modifie la courbe de tarage du tronçon (Perret C. et Poligot-Pitsch S., 2017). Par conséquent, la conversion entre débit et hauteur d'eau peut être perfectible induisant donc un biais dans l'utilisation de données.

Pour conclure, on voit que la définition de l'aléa et sa qualification sont extrêmement difficiles. Il est donc important de s'attacher à des données chiffrées (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, cinétique de crue par exemple) afin de pouvoir comparer et comprendre les phénomènes de crues et d'inondation.

II.A.2 Définition des enjeux

L'enjeu correspond à l'ensemble des activités économiques, des biens, des personnes, de l'environnement (naturel et anthropique) et du patrimoine culturel pouvant être affectés par un phénomène naturel ou des activités humaines. L'élaboration des enjeux se base sur un recensement. Ce dernier ne se contente pas d'un simple listage des enjeux.

Selon le dispositif Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC), il s'agit plutôt de réunir les métadonnées des enjeux :

- catégorie d'enjeu :
 - protection des populations ;
 - sécurité des territoires ;
 - continuité de l'action gouvernementale ;
 - maintien des activités indispensables ;
 - protection des biens et de l'environnement ;
- type d'enjeu :
 - localisation précise (coordonnées géographiques) ;
 - responsable de sa gestion ;
 - coordonnées.

Il apparaît donc que l'enjeu traduit l'importance des vies humaines exposées, des biens et de leurs valeurs monétaires. Néanmoins, il s'agit aussi de prendre en compte l'importance fonctionnelle des différents enjeux ; à titre d'exemple, comme l'expose le dispositif ORSEC, « *pour une même inondation, et un même type de route, caractérisée par sa vulnérabilité physique à l'inondation, les dommages sont différents selon qu'ils affectent une route à grande circulation ou une route secondaire (importance fonctionnelle) avec ou sans impacts économiques et sociaux.* ». Cependant, l'évaluation de certains enjeux semble plus laborieuse, voire impossible, que pour d'autres. Par exemple, J-M Antoine dans une interview de 2007 sur la thématique de la gestion des risques indique « qu'il est possible d'évaluer le coût des dégâts d'une crue sur une portion de route, néanmoins il semble plus difficile de quantifier les pertes économiques de la coupure de cette route », ou encore qu'« *il est difficile d'évaluer les dommages psychologiques [d'une crue]* ». De plus, la notion de temporalité n'est pas à négliger. En effet A. Peltier, en 2005, démontre que « *la vulnérabilité évolue à toutes les échelles de temps : dans le temps court, parce que la répartition de la population dans un territoire se modifie constamment au fil de la journée, de la semaine, de l'année. [...]. La vulnérabilité évolue également dans un temps plus long, au fil de l'urbanisation*

ou du dépeuplement d'un lieu ». On voit donc que l'évaluation des enjeux est un défi difficile et qu'elle semble toujours perfectible. Cette évaluation doit donc être actualisée régulièrement.

Pour conclure, le risque inondation est d'un point de vue théorique très bien défini, néanmoins on a pu voir que l'évaluation de différentes composantes du risque semble plus difficile et perfectible qu'il n'y paraît. Cependant, la gestion du risque inondation veut s'appuyer sur des éléments factuels. Il est, par exemple, possible de produire des seuils qui traduisent des niveaux de vigilance.

II.B) Les niveaux de vigilances et leurs objectifs

La vigilance crue est une mise en garde de l'aléa attendu croisé aux enjeux touchés. Elle est définie par différents niveaux. Chaque niveau correspond à une appréciation la plus fiable possible du risque probable lié à une montée des eaux dans les 24 heures à venir. Le niveau de vigilance résulte d'une analyse multi-critères. Celle-ci s'appuie sur la situation observée et prévue, et prend en considération des paramètres particuliers de chaque événement : la vitesse de montée de la crue, sa durée, le taux de fréquentation saisonnier du cours d'eau par les usagers, l'ampleur des secteurs touchés par la crue et en particulier l'impact simultané de la crue sur plusieurs zones d'enjeux situés sur le même tronçon de vigilance. Le niveau de vigilance peut prendre 4 couleurs, selon la gravité de l'événement, caractérisées par les enjeux potentiellement impactés. La grille ci-contre, établie au niveau national, définit le lien entre les couleurs de la vigilance « crues », leur définition et leur caractérisation.

Niveau	Définition	Caractérisations/Conséquences potentielles sur le terrain
Vert	Pas de vigilance particulière requise	Situation normale.
Jaune	Risque de crue ou de montée rapide des eaux n'entraînant pas de dommages significatifs, mais nécessitant une vigilance particulière dans le cas d'activités saisonnières et/ou exposées.	Perturbation des activités liées au cours d'eau (pêche, canoë...). Premiers débordements dans les vallées. Débordements localisés, coupures ponctuelles de routes secondaires, maisons isolées touchées, caves inondées. Activité agricole perturbée. Évacuations ponctuelles.
Orange	Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des biens et des personnes.	Débordements généralisés. Vies humaines menacées. Quartiers inondés, nombreuses évacuations. Paralysie d'une partie de la vie sociale et économique. Activité agricole perturbée de façon significative. Quelques itinéraires structurants coupés. Services publics perturbés voire inopérants. Réseaux perturbés (électricité, transports, eau potable, assainissement, télécommunications...).
Rouge	Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée sur la sécurité des personnes et des biens.	Crue rare, catastrophique et/ou exceptionnellement violente. Débordements généralisés. Menace imminente et/ou généralisée sur les populations. Nombreuses vies humaines menacées. Évacuations généralisées et concomitantes. Plusieurs enjeux importants impactés en même temps sur le tronçon. Paralysie à grande échelle du tissu urbain, agricole et industriel. Bâtiments détruits. Nombreux itinéraires structurants coupés. Services publics fortement perturbés voire inopérants. Réseaux fortement perturbés voire inopérants (électricité, transports, eau potable, assainissement, télécommunications...).

Figure 4 : Définition des niveaux de vigilance

Globalement, les termes employés pour définir les niveaux de seuils sont des critères qualitatifs ou d'occurrence de crue et peuvent susciter plusieurs interprétations. Il appartient pour les services de prévision des crues (SPC) d'adapter ces grandes lignes à chaque situation : géographie, hauteur d'eau de la crue, cinétique de la crue ainsi chaque SPC adapte ce cadre général et théorique aux situations particulières du territoire qu'il a en charge. L'un des enjeux du travail mené par les SPC est de définir des niveaux de vigilance pour chaque station rapportée à un tronçon de cours d'eau (selon des critères homogènes) avec comme travail préalable la détermination des critères permettant de prendre en compte le contexte de chaque territoire (urbain, rural, industriel, agricole...).

Dans ce premier chapitre, nous avons pu voir apparaître la complexité dans la connaissance et la gestion du risque inondation. Cette complexité s'explique par la multitude de situations hydrologiques couplée à des enjeux aussi divers que variés. De plus la volonté par les acteurs

nationaux de centraliser et d'homogénéiser les pratiques complexifie là encore la mise en œuvre de la préparation du risque inondation. Un exemple, qui sera au centre de ce mémoire, traduit bien ces difficultés : la prise en compte des systèmes d'endiguement dans les niveaux de la vigilance « crues ».

Chapitre 2 : De la digue aux systèmes d'endiguement : ouvrages de protection contre le risque inondation

I. Les digues : Un ouvrage de protection

Dans cette partie, nous allons nous attacher à décrire et à comprendre ce que sont les digues. Ces ouvrages anthropiques sont connus depuis très longtemps dans l'histoire de l'humanité. En effet dès l'époque babylonienne, ces ouvrages étaient déjà présents et leur gestion et entretien étaient déjà des préoccupations majeures (Charpin D., 2002). On verra dans ce chapitre que ces problématiques autour de ces ouvrages de protection sont encore d'actualité.

I.A) Définition et rôle de ces ouvrages

La digue est définie selon le Larousse comme un ouvrage continu sur une certaine longueur, destiné à contenir les eaux ou à protéger contre leurs effets, ou encore à guider leur écoulement. Selon la loi (article L566-12-1 du code de l'environnement) « *les digues sont des ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions* ». Selon Mériaux et al (2001), la digue est « *un ouvrage de protection contre les inondations dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destiné à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables* ». La digue peut donc être qualifiée comme une composante anthropique, en surélévation par rapport à son environnement dont les fonctions peuvent être multiples : contenir l'eau dans une zone tampon et/ou canaliser le flux d'eau et/ou empêcher le passage de l'eau. La digue, par définition, sépare deux milieux : la zone à protéger et le cours d'eau, comme le montre la figure suivante.

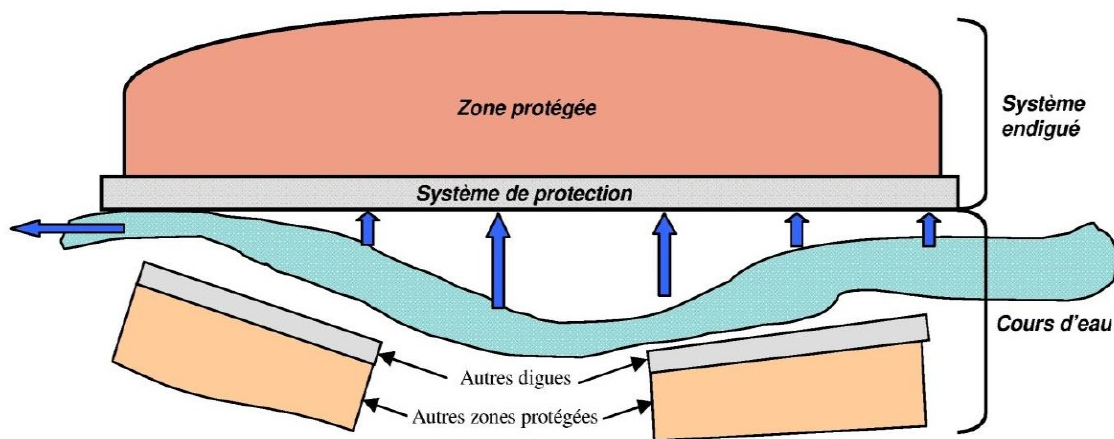


Figure 5 : les trois composantes principales d'un système endigué fluvial : milieu extérieur « cours d'eau », système de protection et milieu extérieur « zone protégée » (H. Félix et al, 2011)

D'après P. Broust, chargée de mission au sein de l'association France Digue, « une commune sur deux est dotée de digue, ce qui donne une longueur cumulée de 9 000 km en France ». Les surfaces protégées seraient de plus de 25 000 km² et les populations habitant en zone protégée de plus de 2,5 millions d'habitants (Barthelemy F. et al, 2004).

Les digues sont d'origine et de conception très diverses. En effet il existe des digues dites en dur, entièrement constituées de béton (armé ou non). Mais la plupart des digues fluviales sont des infrastructures constituées de matériaux plus malléables comme la terre ou le sable. Dans ce cas de figure, ces ouvrages peuvent être renforcés soit par des enrochements soit par des plaques de béton. Par ailleurs, comme l'indiquent C. Dimitrov et P. Monadier, dans le rapport « *les digues de protection contre les inondations. Organisation du contrôle. Constructibilité derrière les ouvrages* » (2005) du ministère de l'écologie et du développement durable, certaines infrastructures, par exemple les remblais routiers et ferroviaires ou de façon plus anecdotique les remparts de protection des villes (Avignon), qui n'ont à l'origine pas vocation à protéger contre les inondations peuvent être considérées, de part leurs caractéristiques intrinsèques (profil en travers par exemple), comme des digues. Comme nous le verrons dans la partie suivante, il sera donc primordial de s'interroger sur la prise en compte de ces ouvrages dans les systèmes d'endiguement.

I.B) Une nouvelle législation en lien avec la compétence GEMAPI : le système d'endiguement

En 2014, la loi de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (MAPTAM) a fait émerger une nouvelle compétence pour les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) à fiscalité propre : la compétence Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI). Dans ce bloc de compétence, à l'article L.211-7 du code de l'environnement paragraphe I, apparaît la responsabilité vis-à-vis des « aménagements hydrauliques concourant à la sécurité civile » et à « l'exploitation, l'entretien et l'aménagement d'ouvrages hydrauliques existants ». La responsabilité vis-à-vis des digues incombe dès lors aux acteurs responsables de la compétence GEMAPI. Cette première étape législative a été complétée par d'autres textes juridiques et plus particulièrement le décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques. Dans ce décret, on voit apparaître la notion de système d'endiguement, les définitions de niveau de protection et de zone protégée ainsi que la classification des systèmes d'endiguement. Dans les paragraphes suivants nous définirons ces notions qui sont au cœur du sujet de stage.

Les digues existantes doivent être regroupées dans un ensemble hydrauliquement cohérent afin de définir un système d'endiguement, dit autrement toutes les digues qui sont hydrauliquement liées doivent appartenir à une même unité juridique et technique : le système d'endiguement. Le fait de regrouper les digues dans un seul système a des conséquences positives. Comme le signifient A. Brune et al en 2019, cette modification permet de « *disposer d'un document unique regroupant toute la connaissance liée à la protection contre les inondations sur un secteur où tout est hydrauliquement lié. Ceci représente également l'avantage de simplifier l'apport de données en gestion de crise* ». Néanmoins, ce nouveau dispositif s'accompagne d'inconvénients majeurs, là encore décrit par A. Brune « *la constitution du dossier technique s'avérera plus fastidieuse, et la modification d'un seul élément du système ainsi défini (modification d'un tronçon de digue, suppression d'un ouvrage de régulation) nécessitera de remettre à jour l'ensemble du dossier technique* ». Cette nouvelle législation interroge sur la prise en compte d'infrastructures qui, jusqu'à présent, n'étaient pas soumises aux règles légiférant les digues, mais qui, de fait, jouaient ce rôle. On pense par exemple aux remblais routiers et ferroviaires qui devront être pris en compte dans l'étude des systèmes d'endiguement. Cette préconisation avait déjà été proposée en 2005 par C. Dimitrov et P. Monadier dans leur mission pour le ministère.

Les digues existantes, en étant requalifiées dans un système d'endiguement, obtiendront une nouvelle autorisation légale qui sera actée par un arrêté préfectoral. L'autorisation en système d'endiguement peut prendre deux formes :

- la procédure d'autorisation simplifiée par arrêté préfectoral complémentaire qui nécessite de respecter les 3 conditions cumulatives suivantes :
 - le système d'endiguement repose essentiellement sur des digues établies antérieurement à la date de publication du décret n°2015-526 sus-mentionné et qui bénéficiaient d'une autorisation en cours de validité ou qui peuvent bénéficier de l'antériorité au sens du code de l'environnement ;
 - le dossier doit être déposé avant certaines échéances ;
 - la demande ne concerne aucuns travaux de construction d'ouvrages neufs ni de modifications substantielles d'ouvrages existants.

Cette procédure simplifiée permet d'éviter un certain nombre de formalités administratives comme une enquête publique.

- La procédure standard : pour tous les autres cas ou dès lors qu'il y a des travaux importants sur des ouvrages qui pourraient bénéficier d'une procédure simplifiée. Cette instruction est donc plus lourde.

Une digue établie antérieurement à la date de publication du décret n°2015-526 du 12 mai 2015 n'est plus réglementairement une digue si elle n'est pas incluse dans un système d'endiguement autorisé au :

- 1er janvier 2021, pour une digue qui protégeait plus de trois mille personnes ;
- 1er janvier 2023, pour les autres digues.

Ces échéances de caducité de l'autorisation sont repoussées de 18 mois, soit respectivement le 1er juillet 2022 et 2024 quand le Préfet accorde au GEMAPIen, sur sa demande, une prolongation de délais de dépôt d'une demande d'autorisation en système d'endiguement pouvant bénéficier d'une procédure simplifiée.

Conformément aux dispositions de l'article R.562-14 du code de l'environnement, les digues établies avant la publication du décret n°2015-526 du 12 mai 2015 qui ne seront pas reprises en système d'endiguement doivent être neutralisées.

La neutralisation des digues qui n'auront pas été retenues dans un système d'endiguement doit être menée de façon pragmatique avec pour objectif :

- que les ouvrages ne soient pas susceptibles de générer des dommages aux personnes et aux biens à l'arrière ;
- de retrouver une capacité d'écoulement et d'expansion naturelle.

Les ouvrages réunis dans un système d'endiguement sont qualifiés par un élément important : les niveaux caractéristiques d'un segment de digue.

On voit apparaître quatre niveaux qualifiant la digue :

- le niveau de protection ;
- le niveau de sûreté ;
- le niveau de danger ;
- le niveau de protection apparent.

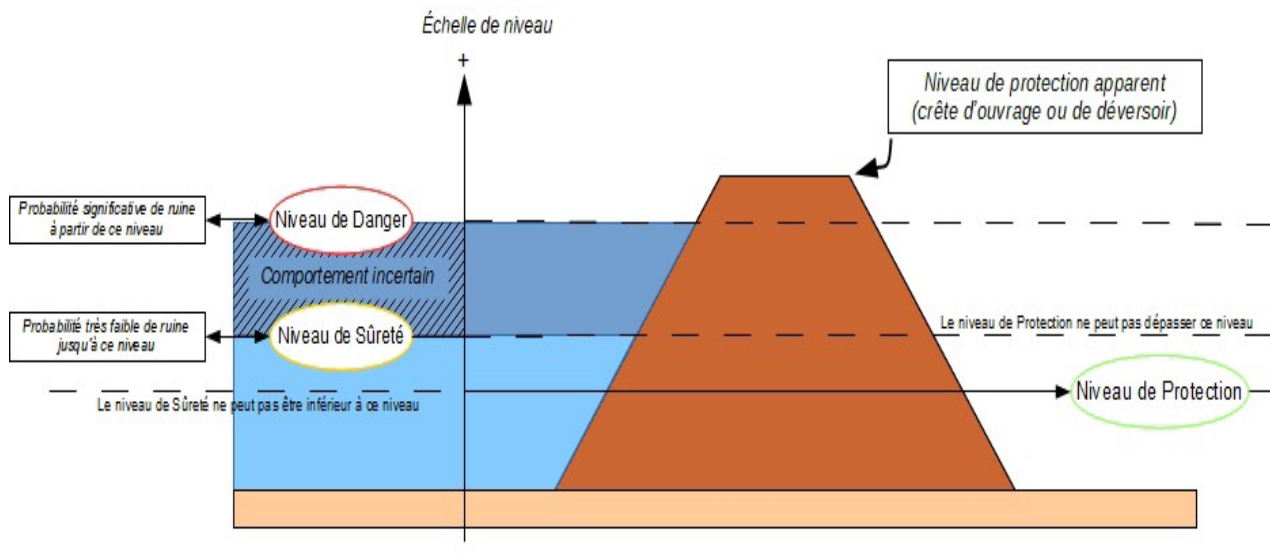


Figure 6 : Les différents niveaux caractéristiques d'un segment de digue (Deniaux Y. et al, 2018)

Ces différents niveaux peuvent être, dans certains cas de figure, confondus. Quoiqu'il en soit ces niveaux ne sont pas clairement définis et seul le niveau de protection est réglementairement fixé par l'article R.214-119-1 du code de l'environnement : « Pour un système d'endiguement, le niveau de protection d'une zone exposée au risque d'inondation ou de submersion marine est la hauteur maximale que peut atteindre le niveau d'eau mesurée au lieu de référence, tel que :

- la probabilité de rupture des ouvrages qui le constitue le système d'endiguement soit inférieure à une valeur jugée acceptable par le gestionnaire, mais qui ne peut dépasser réglementairement 5 %;

- *la zone protégée soit préservée de l'inondation provenant du cours d'eau ou de la mer par débordement ou contournement des ouvrages de protection ».*

De plus, il est précisé que ce niveau pourra être traduit soit en hauteur d'eau relative à l'ouvrage, soit en débit en un point donné soit en hauteur d'eau rattachée à une échelle limnimétrique. Nous verrons en troisième chapitre de ce rapport que cette diversité d'unités ne facilite pas l'appropriation de ces niveaux de protections pour les acteurs de la gestion du risque inondation.

Cette définition juridique du niveau de protection fait apparaître une notion fondamentale vis-à-vis des systèmes d'endiguement : la zone protégée. Nous reviendrons sur cette notion plus en détail dans la partie II.A de ce chapitre.

L'emprise de la zone protégée permet d'évaluer la population concernée derrière ce système d'endiguement. Cette évaluation est nécessaire puisqu'elle implique la classification du système d'endiguement comme le montre la figure ci-dessous, extraite de l'article 7 du décret de 2015.

CLASSE	POPULATION PROTÉGÉE par le système d'endiguement ou par l'aménagement hydraulique
A	Population > 30 000 personnes
B	3 000 personnes < population ≤ 30 000 personnes
C	30 personnes ≤ population ≤ 3 000 personnes

Figure 7 : *classification des systèmes d'endiguement*

Néanmoins, il apparaît difficile de compter des personnes présentes derrière le système d'endiguement. En effet, il est compliqué d'établir un recensement traduisant la réalité du territoire. À titre d'exemple, un établissement recevant du public (ERP) doit déclarer sa capacité maximum d'accueil, alors qu'il est peu voire pas probable, que tous les ERP atteignent leur capacité maximale de façon simultanée. Ainsi, l'évaluation sera gonflée. Autre exemple, une entreprise travaillant en 3 × 8h doit déclarer la totalité de ses salariés alors que, de part son fonctionnement, tout cet effectif ne sera jamais présent en même temps sur le territoire. Par ces deux exemples, nous pointons du doigt la difficulté à produire un recensement reflétant l'occupation humaine du territoire.

Cette classification a des conséquences sur la gestion de crise derrière les ouvrages (délai d'anticipation de l'évacuation des personnes, par exemple) et engendre aussi des contraintes administratives comme la fréquence d'actualisation de l'Étude De Danger (EDD).

	Classe A	Classe B	Classe C
Fréquence d'actualisation de l'EDD	10 ans	15 ans	20 ans

L'Étude De Danger (EDD) est la colonne vertébrale du volet juridique du système d'endiguement. Dès 2005, dans leur mission auprès du ministère de l'écologie et du développement durable, C. Dimitrov et P. Monadier stipulaient l'importance de mettre en place des études de danger : « *Parce que les problèmes de sécurité liés aux ouvrages comme du contrôle de leur entretien doivent être pris en compte dans les procédures d'autorisation au titre de la loi sur l'eau, la mission propose de rendre obligatoire, au-delà de certains seuils de dimension d'ouvrages ou de nature des enjeux, la réalisation d'une étude de danger* ». Suite à ces conclusions et à la loi MAPTAM, les systèmes d'endiguement définis par le décret de 2015 seront qualifiés par une étude de danger (EDD) quelle que soit leur classe (A, B ou C), étude régie par l'arrêté du 7 avril 2017 du code de l'environnement. Cette EDD doit justifier le niveau de protection, présenter la zone protégée et établir des scénarii de risques de venues d'eau. Ces scénarii sont liés soit à un fonctionnement normal soit à une ou des défaillance(s). Selon l'annexe 3 de l'arrêté de 2017, trois scénarii minimum sont à étudier dans la partie B de l'étude de danger :

- scénario 1 : aléa correspond au niveau de protection : la zone protégée est pied au sec, mais ce n'est pas forcément le cas en dehors de la zone protégée ;
- scénario 2 : défaillance fonctionnelle : cette défaillance est défini comme un manquement ou une origine humaine. Par exemple un défaut dans la fermeture d'une vanne ou la non-mise en place d'un batardeau ;
- scénario 3 : défaillance structurelle : brèche liée à un aléa d'importance telle qu'une rupture d'ouvrage a au moins 50 % de chance de se produire.

Toutes ces études sont de la responsabilité des GEMAPIens et doivent être obligatoirement réalisées par un bureau d'étude agréé pour la sécurité des ouvrages hydrauliques. La division des ouvrages hydrauliques et concession de la DREAL a en charge l'instruction de l'EDD.

Ainsi, nous avons pu voir dans cette partie que la nouvelle législation sur les ouvrages de protection contre les inondations amenait de la cohérence tant du point de vue hydraulique que juridique mais pouvait à contrario compliquer la gestion technique et administrative de ces ouvrages.

I.C) Quelles conséquences pour le gestionnaire d'ouvrage et les services de gestion du risque ?

Pour comprendre les conséquences du changement de statut des ouvrages pour le gestionnaire, il semble important de comprendre ce qui motive le gestionnaire d'ouvrage à faire une demande de classement en système d'endiguement plutôt que de neutraliser la digue. Plusieurs raisons motivent cette décision.

La première est d'ordre politique. En effet, il est important vis-à-vis des administrés de maintenir les zones habitées derrière des digues existantes dans une certaine sécurité. Nous verrons un peu plus tard dans ce mémoire que, par ailleurs, cette sécurité apparente peut conduire à un sentiment de sécurité biaisé, comme le décrit B. Ledoux en 2006.

La seconde raison se situe dans le champ judiciaire. Globalement, en possédant dans son territoire un ouvrage autorisé par un arrêté préfectoral, le gestionnaire limite sa responsabilité. En effet, dans l'EDD apparaît un niveau de protection qui a une valeur légale. La responsabilité du gestionnaire vis-à-vis des risques liés à l'ouvrage se limite donc à ce niveau, c'est-à-dire que si un événement dépassant cette valeur survient, sa responsabilité ne peut être engagée. Enfin, il ne serait pas possible de demander des dédommagements au gestionnaire pour le préjudice. Il semble évident que les gestionnaires vont plutôt sous-évaluer les niveaux de protection afin de limiter leur responsabilité.

Ainsi, le gestionnaire d'ouvrage (dans la majeure partie du temps le GEMAPIen), ayant fait classé un système d'endiguement, se voit confier un certains nombres de missions tant d'un point de vue techniques qu'administratifs :

- entretenir et surveiller l'ouvrage ;
- contribuer à une organisation cohérente du territoire en participant à différentes instances (suivi du PPRI, création des plans communaux de sauvegarde, Schéma d'aménagement et de gestion des Eaux, par exemple) ;

- organiser et mettre en œuvre la gestion de crue, en particulier informer les maires et les autorités préfectorales dès lors que la fiabilité de l'ouvrage n'est plus garantie ;
- mettre en œuvre des outils de suivi des ouvrages.

Toutes ces missions sont réalisées en lien avec les différentes administrations (DDT, DREAL, Préfectures).

Le nouveau statut « système d'endiguement » cadré par des textes réglementaires permet aux services de gestion de crise (maires, RDI, préfectorales) d'avoir accès à des données concernant les ouvrages, qui ont permis d'établir des règles afin de prendre des décisions lors de la crue. Ces règles, qui découlent des EDD, facilitent l'anticipation dans la prise de décision et *in fine* dans les actions à mettre en œuvre (évacuation ou mise en sécurité des biens et des personnes par exemple). De plus, en regroupant, plusieurs ouvrages entre eux dans un système unique, le nombre d'interlocuteurs est grandement limité et le processus de gestion de crise gagne donc en réactivité et efficacité.

La modification de statut « digues » vers « système d'endiguement » a un triple objectif :

- Financier en améliorant l'assise financière en donnant la responsabilité à un échelon territorial plus important ;
- Technique en réunissant les digues qui sont hydrauliquement liées, en améliorant la connaissance des ouvrages et en mutualisant des compétences au sein de structures pouvant gérer plusieurs systèmes d'endiguement ;
- Administratif en limitant le nombre de gestionnaire et optimiser la responsabilité.

Au-delà de ces objectifs, l'une des finalités de ce changement est de mieux intégrer ces ouvrages dans la gestion du risque inondation avec notamment la définition et la justification d'un niveau de protection.

I.D) Les systèmes d'endiguement au sein du SPC Garonne-Tarn-Lot

Les dépôts de dossiers de demande d'autorisation de tous les systèmes d'endiguement reposant sur des digues établies arriveront à échéance le 30 juin 2023 en cas de procédure dérogatoire accordée par le préfet. Ainsi, l'état des lieux des systèmes d'endiguement présenté dans cette partie n'est qu'une mise en perspective vis-à-vis des instructions en cours. Cette projection est une vision *a minima* et est amenée à évoluer à la hausse en fonction des démarches entreprises par les

GEMAPIens. Ainsi, sur le territoire du SPC Garonne-Tarn-Lot, on dénombre aujourd’hui trente systèmes d’endiguement basés sur des digues existantes autorisées. Ces ouvrages représentent un peu plus de deux cents kilomètres linéaires. Sur ces trente systèmes, vingt-et-un seront *à priori* classés en B et neuf en C. Cependant cette distribution reste à être confirmée par les instructions en cours.

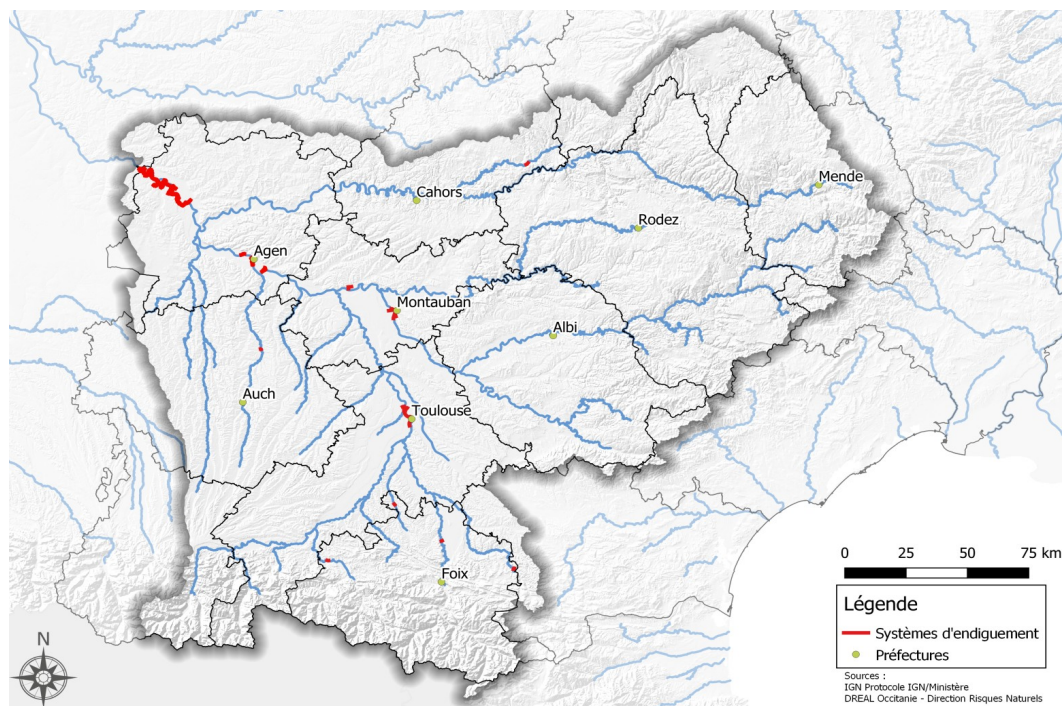


Figure 8 : Carte de répartition des systèmes d’endiguement au sein du SPC GTL

II. Le risque inondation dans les secteurs endigués

II.A) Notion de zone protégée

D’après Yann Deniaud (2018) du Centre d’études et d’expertise sur les risques, l’environnement, la mobilité et l’aménagement (Cerema), la zone protégée est « *la finalité d’un système d’endiguement* ». On peut définir la zone protégée ainsi : zone qui, en l’absence du système d’endiguement désigné, serait inondée par la crue (en référence à un cours d’eau et à un niveau de crue). La zone protégée est donc la zone que l’on souhaite exempter de venues d’eau pour une hauteur bien définie (aléa).

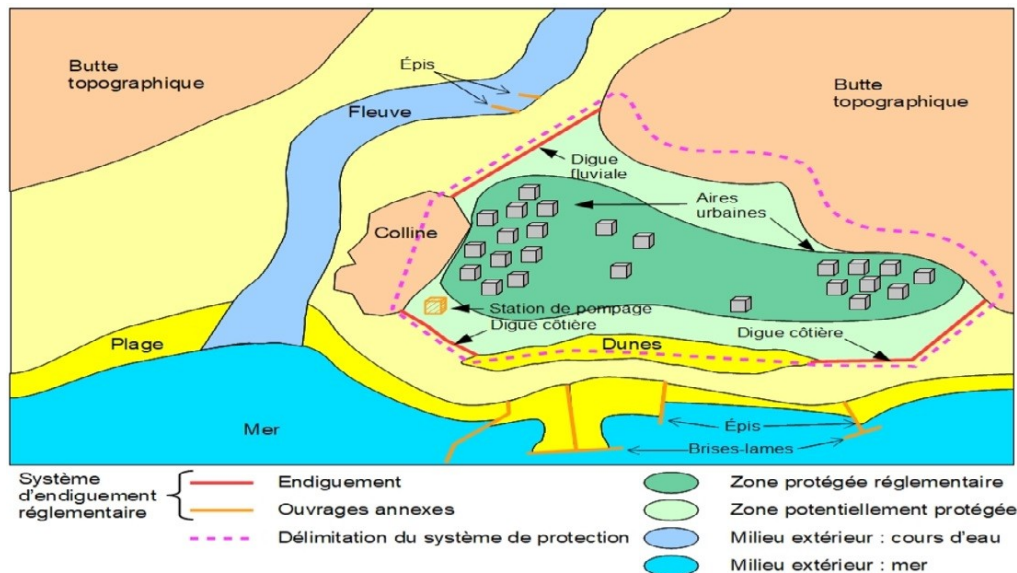


Figure 9 : Zone protégée (Deniaux et al 2018)

II.B) Le sur-risque inhérent à ces ouvrages

La zone protégée est donc directement en lien avec la notion de défaillance de l'ouvrage. En effet, si les systèmes d'endiguement étaient des ouvrages sans aucune faille, la zone protégée pourrait être qualifiée de zone non inondable. Cependant, les ouvrages hydrauliques ont des caractéristiques qui ne permettent pas une protection totale dans le temps et suivant tous les aléas.

B. Ledoux (2006) émet des réserves sur les digues. D'après lui, les digues :

- « introduisent au sein des autorités locales et des populations situées dans les zones inondables un faux sentiment de sécurité »,
- « perturbent le fonctionnement hydraulique naturel du cours d'eau et peuvent avoir des impacts écologiques graves sur les milieux aquatiques »,
- « reportent plus à l'aval le problème de l'inondation »,
- « sont extrêmement coûteuses et notamment, pas de prise en compte des coûts d'entretien, de maintenance »,
- « les ouvrages sont générateurs de risque humain très grave en cas de rupture ».

De plus, des mesures d'endiguement ont été de plus en plus mises en place, accentuant un sentiment de sécurité. Ce sentiment a souvent été accompagné par la multiplication des enjeux. Mais la croissance de ces nouveaux enjeux a nécessité de nouvelles mesures de protection et donc un renforcement ou un ajout de digues. R. Laganier & H-J Scarwell, en 2003, qualifient ce phénomène de « spirale du risque ».

Enfin, la rupture brutale d'une digue a pour conséquence de créer une vague et donc d'induire une cinétique hydraulique qui aura des effets dévastateurs. Ces effets ont été bien étudiés par le Cerema avec en particulier l'utilisation d'un modèle nommé CARDigue.

Ces deux premiers chapitres ont donc permis de définir les notions fondamentales de mon stage et le cadre dans lequel j'ai travaillé. Ainsi, afin d'améliorer l'anticipation d'un risque d'inondation associé à la rupture d'un ouvrage (ou à la surverse) dans la gestion de crise, on peut se demander comment faire le lien entre le niveau de protection d'un ouvrage et les niveaux de vigilance crues. Cette interrogation fait émerger un second questionnement, à savoir quelle méthode mettre en œuvre pour exploiter les cartographies ZIP existantes sur les secteurs endigués et déterminer les enjeux physiquement protégés mais soumis à ce risque d'inondation par rupture de l'ouvrage ? Les acteurs de la gestion de crise auront la possibilité de faire un lien direct entre l'inondation attendue et les enjeux qui ne seront potentiellement plus protégés par les systèmes d'endiguement.

Chapitre 3 : Quelle méthode appliquer pour la prise en compte des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance ?

I. Réflexions pour aboutir à la méthode générale

I.A) Premier objectif : l'importance de réaliser une correspondance entre le niveau de protection du système d'endiguement et la station de surveillance Vigicrues

Afin de prendre en compte les systèmes d'endiguement, il est fondamental de transposer le niveau de protection établi par l'EDD en une hauteur d'eau rattachée à une échelle limnimétrique du réseau Vigicrues. En effet, pour intégrer ces ouvrages dans la vigilance crue, il est nécessaire d'avoir une caractéristique chiffrée traduite en hauteur d'eau à une station du réseau Vigicrues. À l'heure actuelle, il n'existe aucun lien clairement établi entre les digues et les niveaux de vigilance définis pour chaque station et chaque tronçon de cours d'eau. Cette absence est une limite, dans les secteurs endigués, dans la gestion d'un événement de crue pour les acteurs de la gestion de crise et pour les gestionnaires de digues. Ainsi, le SPC GTL a souhaité engager un travail visant à améliorer les niveaux de vigilances des stations Vigicrues en liant les niveaux caractéristiques des systèmes d'endiguement à une hauteur à la station hydrométrique et les enjeux associés correspondants. Ce travail permettra ainsi de faciliter l'accompagnement des acteurs de gestion de crue lors d'événements.

Pour produire une méthode permettant d'établir une correspondance entre niveau de protection du système d'endiguement et hauteur d'eau à la station Vigicrues, la première étape a été de lister les données nécessaires. Il est apparu indispensable d'avoir des lignes d'eau de crues historiques et le niveau de protection du système d'endiguement. Ces deux prérogatives ont des conséquences sur le champ d'application de la méthode à établir. Ainsi pour répondre à ces exigences, les secteurs d'application de la méthode doivent :

- être dans la zone d'influence d'une station du réseau Vigicrues, c'est-à-dire la zone pour laquelle la hauteur d'eau atteinte au droit d'une station est caractéristique de l'inondation observée ;
- disposer de cartographies ZIP afin d'avoir des données sur des lignes d'eaux de crues historiques ou de disposer de données suffisantes (laisses de crues et /ou prise de vue aérienne) afin de reconstituer en interne les lignes d'eaux ;
- avoir fait l'objet d'une EDD.

Le premier objectif du stage a donc été de réaliser un état des lieux des systèmes d'endiguement sur le réseau Vigicrues du SPC GTL. Cette première phase a eu pour objectif de dresser une liste et une carte des systèmes d'endiguement existants. Ce recensement s'est basé sur les données existantes au sein du département des ouvrages hydrauliques de la DREAL Occitanie pour les ouvrages classés, et éventuellement des données recensées dans le cadre des études de cartographies de ZIP pour les ouvrages non classés. Les résultats de ce recensement ont été cartographiés dans un logiciel de SIG (QGIS) et cette carte a déjà été exposée dans ce rapport en page 23 (figure 8).

I.B) Second objectif : la détermination des enjeux potentiellement touchés derrière les ouvrages et intégration dans les niveaux de vigilance

Comme on l'a vu dans le premier chapitre, la gestion du risque inondation et donc la qualification d'un événement dans les niveaux de vigilance ne se limite pas à une hauteur d'eau, c'est-à-dire à un aléa, mais elle est directement liée aux enjeux touchés par le phénomène. Il convient donc de s'intéresser à la caractérisation des enjeux. Ainsi, il semble pertinent de lister et compter les différents enjeux de la zone protégée. Les enjeux retenus pour cette caractérisation sont les suivants :

- population résidente : celle-ci a été déterminée à partir du carroyage de l'INSEE ;
- établissements recevant du public ;
- installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE).

Comme exposé dans le premier chapitre, il est évident que la liste des enjeux retenus reste perfectible mais les résultats de l'évaluation des enjeux pourront être ré-évalués et/ou discutés pour chaque cas de figure. Par ailleurs, nous verrons dans le quatrième chapitre que, sur la zone industrielle étudiée dans l'étude de cas, l'évaluation des enjeux, par exemple la population résidente, reste perfectible.

II. Exposition de la méthode retenue

Cette partie fera l'objet de la présentation de la méthode élaborée pour répondre à l'objectif principal du stage, à savoir quelle méthode appliquer pour la prise en compte des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance ?

Afin de produire un document facilement appropriable par les utilisateurs de cette méthode, une réflexion a été menée sur la forme de ce document. Le logigramme, grâce à sa rapidité d'appropriation, sa lisibilité et sa facilité d'utilisation a été le format retenu. Un logigramme est défini par le site internet www.logiqueconseil.org comme « *un outil d'analyse qui permet de représenter de façon ordonnée et séquentielle, l'ensemble des tâches ou évènements mis en œuvre pour réaliser une activité donnée. Il est constitué d'un ensemble de symboles relié par des flèches. Chaque symbole représente un évènement ou une tâche et la flèche matérialise la relation d'antériorité ou de succession entre deux tâches consécutives* ».

II.A) Présentation de l'outil

Le logigramme constitué se divise en deux étapes :

- Étape 1 : elle a pour objectif de rattacher le niveau de protection d'un système d'endiguement à une hauteur d'eau à la station Vigicrues. Ainsi il sera possible de déterminer à partir de quelle hauteur d'eau à la station de prévision le système d'endiguement présente un risque.
- Étape 2 : l'objectif de cette étape est de déterminer les enjeux potentiellement touchés derrière les ouvrages pour caractériser le niveau de dommages associé à chaque système d'endiguement et *in fine* intégrer le SE dans les niveaux de vigilance.

La figure ci-après correspond à la première étape de la méthode élaborée et validée par l'UECI.

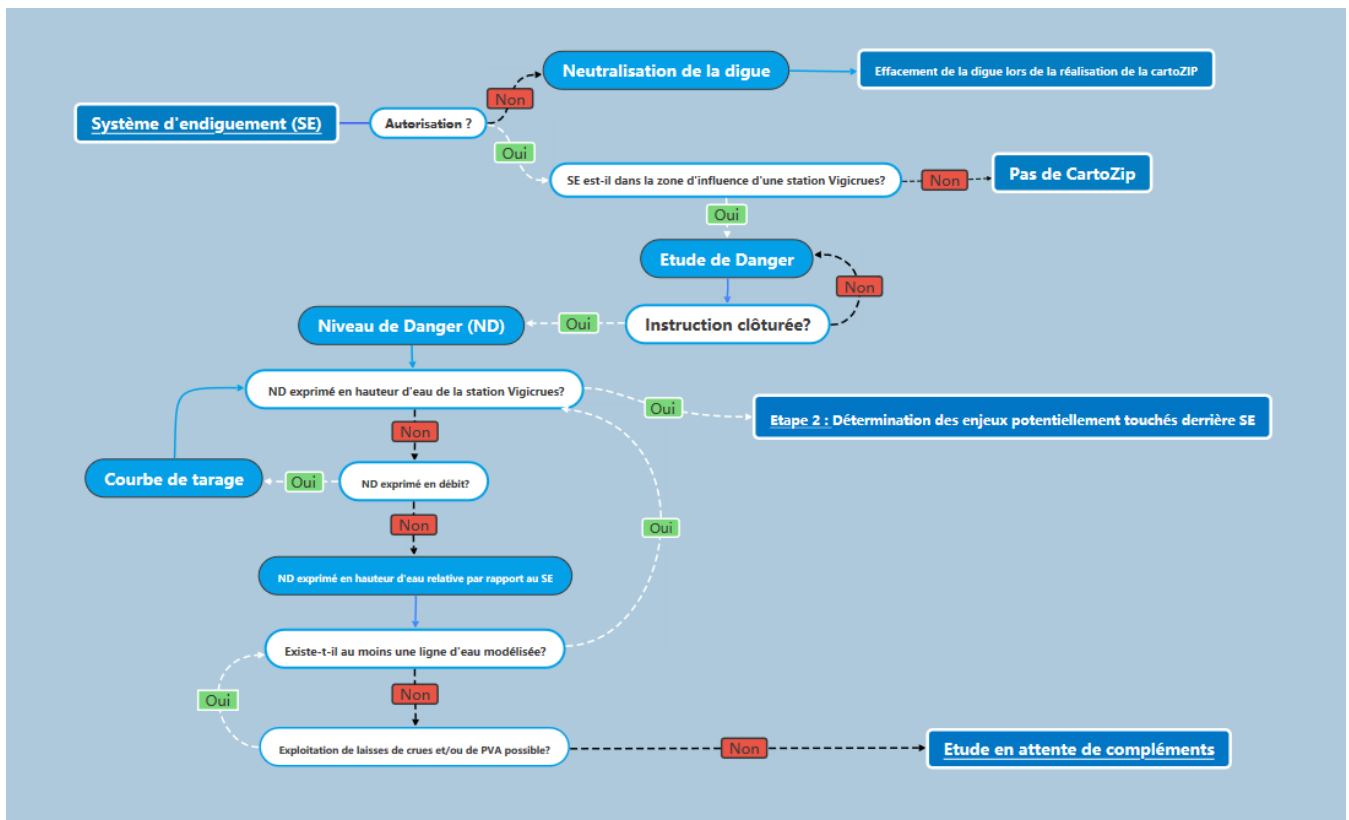


Figure 10 : *Étape 1 de la méthode*

Dans ce logigramme, le terme de « niveau de danger » a été retenu. En effet, pour prendre en compte les systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance, il apparaît cohérent de prendre comme valeur de référence le niveau de projection qui a une valeur légale. Néanmoins, cette méthodologie, à usage interne à la DREAL et sans valeur réglementaire, a pour vocation une utilisation large et il se peut qu'un cadre restreint ne puisse pas permettre une certaine souplesse dans l'usage de cet outil. Ainsi le terme « niveau de danger » peut correspondre à une hauteur d'eau à valeur réglementaire (niveau de protection de l'EDD) ou tout autre hauteur d'eau qui pourrait éclairer les SPC dans l'intégration des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance.

Dans cette étape, le point le plus délicat est de convertir le niveau danger exprimé en hauteur d'eau par rapport au SE quand cette donnée n'est pas fournie.

Comme exposé dans le deuxième chapitre, la donnée de « hauteur de protection » de l'EDD peut être exprimée en débit. Dans ce cas de figure, il faut utiliser un document produit et mis à jour régulièrement par les SPC : les courbe de tarage. Elles sont définies, par Perret C. et Poligot-Pitsch S.(2017), comme « *la traduction graphique et mathématique de la relation physique entre hauteur d'eau et débit, pour un site donné* ».

Le Célé à FIGEAC (O8113520)
 Courbe n°2020-A1 valide du 29/05/2020 14:45 au 31/12/2050 00:00

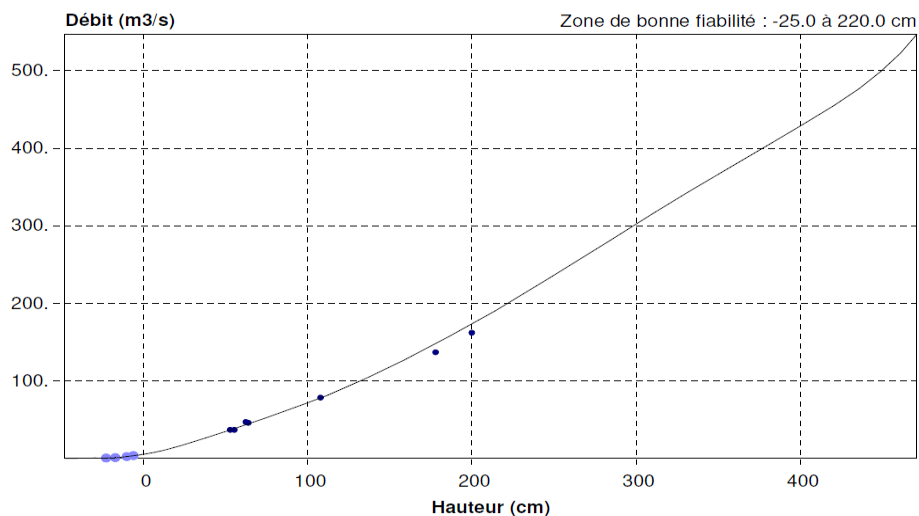


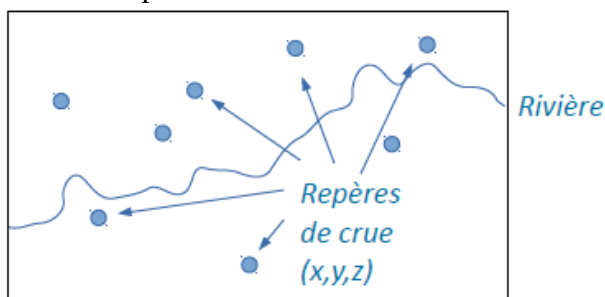
Figure 11 : courbe de tarage de Figéac (source DREAL Occitanie)

Si la donnée n'est pas exprimée en débit elle peut être annoncée en hauteur d'eau relative au système d'endiguement. Dans ce cas deux possibilités apparaissent : soit il existe une modélisation d'une ligne d'eau de crues historiques soit il n'y a pas.

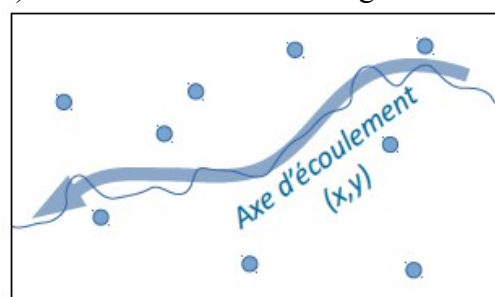
Si une ou des ligne(s) d'eau(x) de crue(s) ancienne(s) a(ont) été modélisée(s), dans le cadre d'un marché de réalisation de cartographies ZIP par exemple, alors, dans le cadre de mon stage, j'ai élaboré une démarche pour convertir la hauteur d'eau relative au SE en hauteur d'eau rattachée à une station du réseau Vigicrues. J'expose cette démarche en chapitre 4 en l'appliquant à mon étude de cas.

S'il n'y a pas de ligne d'eau modélisée alors il s'agit d'exploiter des laisses de crues et/ou des prises de vues aériennes pour produire une ligne d'eau. La procédure à appliquer via un logiciel de SIG est la suivante :

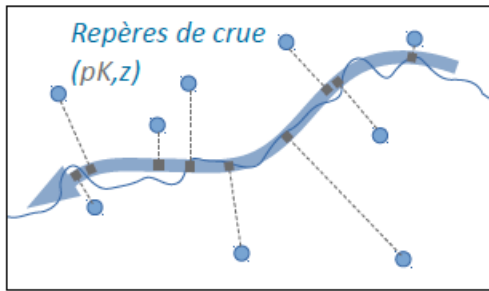
1) Placer les repères de crues



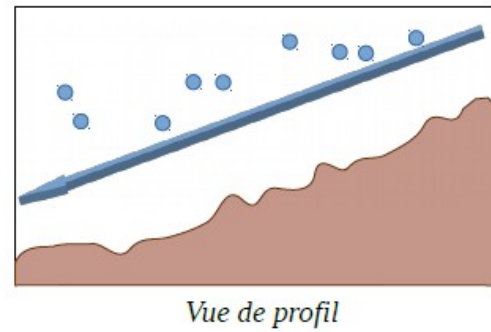
2) créer l'axe d'écoulement général



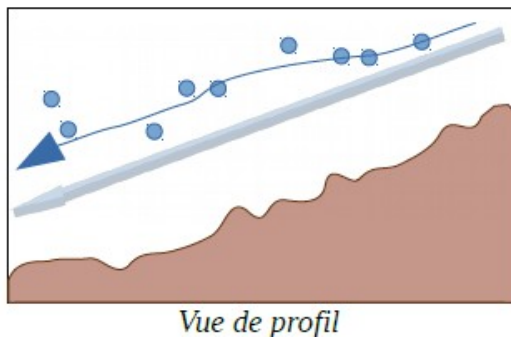
3) Projeter les repères sur l'axe



4) tracer le profil du fond de vallée



5) Reconstituer la ligne d'eau



Ainsi, en réalisant cette procédure, nous obtenons une modélisation d'une ligne d'eau de crues ancienne et nous sommes donc en mesure de pouvoir rattacher un niveau de protection d'un système d'endiguement à une échelle limnimétrique d'une station du réseau Vigicrues.

À l'issue de cette première étape nous sommes donc en capacité de rattacher le niveau de protection d'un système d'endiguement à une hauteur d'eau à la station Vigicrues.

La seconde étape de la méthode se décompose en trois phases :

- réaliser l'emprise de la zone protégée en fonction du niveau de danger choisi, le plus souvent le niveau de protection de l'EDD ;
- croiser cette emprise avec les enjeux concernés ;
- mettre à jour les fiches stations qui exposent les niveaux de vigilance.

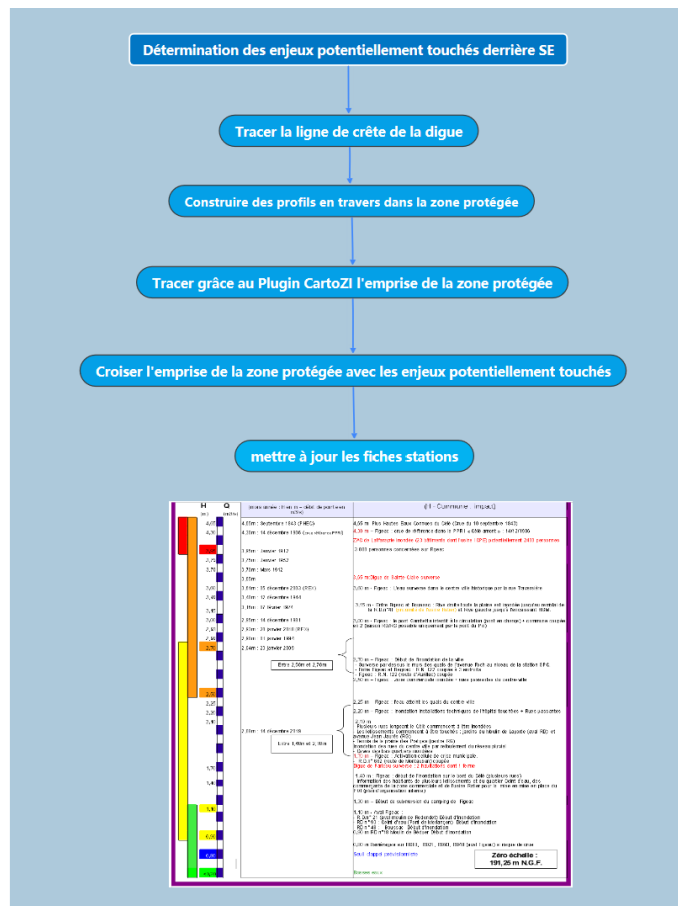


Figure 12 : *Étape 2 de la méthode*

Les différentes phases de cette seconde étape seront développées dans le quatrième chapitre en l'appliquant à l'étude de cas du système d'endiguement de Figeac. Cette étape se réalise principalement à l'aide d'un logiciel de SIG, Qgis, et plus particulièrement avec l'un de ses plugin : le Plugin CartoZI. Ce plugin est la propriété du ministère de la transition écologique et solidaire. Il a d'ailleurs été élaboré par des agents de ce ministère. Il est aujourd'hui à l'usage exclusif de SPC, du SCHAPI et des bureaux d'études ayant obtenu un marché cartoZip.

II.B) Points de vigilance et limites de la méthode

Comme toute méthode qui a pour objectif d'être la plus large possible, elle atteint certaines limites qui, si elles sont identifiées, ne sont que peu préjudiciables. Néanmoins il est pertinent et nécessaire les pointer du doigt.

Ainsi, la limite la plus marquante à cette méthode est l'existence d'impasses. En effet il existe des systèmes d'endiguement qui ne répondent pas aux conditions nécessaires à l'utilisation de l'outil : par exemple dans le cas d'ouvrages n'étant pas situés dans la zone d'influence d'une station du

réseau Vigicrues. Néanmoins, les espaces avec les systèmes d'endiguements concernés par cette limite ne sont pas surveillés et il est donc non-nécessaire de s'interroger à l'intégration de ces systèmes à un niveau de vigilance, étant donné que eux-mêmes n'existent pas. Cependant, il existe un cas de figure plus problématique qui apparaît dans le logigramme. Cette situation, définie par l'impossibilité à avoir des lignes d'eaux de crue ancienne, est un réel problème pour le SPC, étant donné qu'il sera en incapacité de pouvoir intégrer ces SE dans leur niveau de vigilance. Ce cas de figure ne pourra être résolu que par des études hydrauliques complémentaires ou par l'acquisition de données d'une crue à venir.

Il est apparu, aussi, des points de vigilance qui sont d'ordre technique. En effet, l'utilisation de la modélisation par des outils numériques apporte des biais dans les résultats. À titre d'exemple, lors de la création de la zone protégée par le système d'endiguement, l'utilisation de la fonction de lissage du plugin CartoZI du logiciel Qgis apporte une simplification de l'emprise de la zone protégée et donc le résultat peut avoir un biais. De plus, pour réaliser la couche SIG du linéaire du système d'endiguement et pour utiliser le plugin CartoZI, nous avons besoin d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ces modèles comportent leurs propres limites : résolution, précision altimétrique. Celui qui est souvent utilisé aujourd'hui est le MNT LIDAR avec une résolution d'un mètre et une précision altimétrique comprise entre 0,2 et 0,5 mètre. On voit ainsi que, dans certains cas de figure (zone à faible pente, linéaire de digues important), les caractéristiques intrinsèques des données initiales peuvent avoir des effets non-négligeables sur les résultats obtenus.

Un autre élément n'est pas à négliger dans l'interprétation des résultats issus de cette méthode : l'évaluation des enjeux qui reste perfectible, comme cela l'a été exposé dans le premier chapitre.

Le dernier point de vigilance à avoir dans l'usage de cette méthode est lié à des considérations hydrauliques. En effet, la modélisation faite par cette méthode ne traduit pas la cinétique de l'eau qui est importante en cas de rupture de digues. Elle traduit seulement l'emprise de la zone protégée.

Ce troisième chapitre est la synthèse du travail théorique que j'ai pu réaliser durant le stage au sein de l'UECI. Ainsi, la méthode, qui a été produite afin de rattacher les niveaux de protection d'un système d'endiguement aux niveaux de vigilance du réseau Vigicrues, semble s'appliquer à un grand nombre de cas de figure. Il apparaît malgré tout quelques limites à son usage mais un grand nombre a été identifié, ce qui permet de pallier certaines difficultés d'utilisation et d'interprétation. Afin de valider la faisabilité de cette méthode j'ai eu l'occasion de la tester sur deux études de cas :

le système d'endiguement de Sapiac à Montauban et celui de la zone industrielle de Lafarrayrie à Figeac. Ce dernier sera présenté dans le quatrième chapitre.

Chapitre 4 : Étude de cas : le système d'endiguement de Figeac

I. Présentation du site d'étude

I.A) Localisation du système d'endiguement

Le site d'étude choisi afin d'appliquer la méthode exposée dans le chapitre 3 est un système d'endiguement situé sur la rivière « le Célé » qui est rattaché à la station de vigilance du réseau Vigicrues de Figeac. Ce lieu a été choisi parce que le travail du bureau d'étude, qui réalise l'EDD de ce site, était en phase finale et donc que des données concernant les niveaux de protection étaient établies. De plus, des enjeux non négligeables derrière les ouvrages concernés sont présents. Enfin, cette zone avait déjà été l'objet d'une étude cartoZIP, étude qui permet d'obtenir des données nécessaires comme les lignes d'eaux de crues historiques.

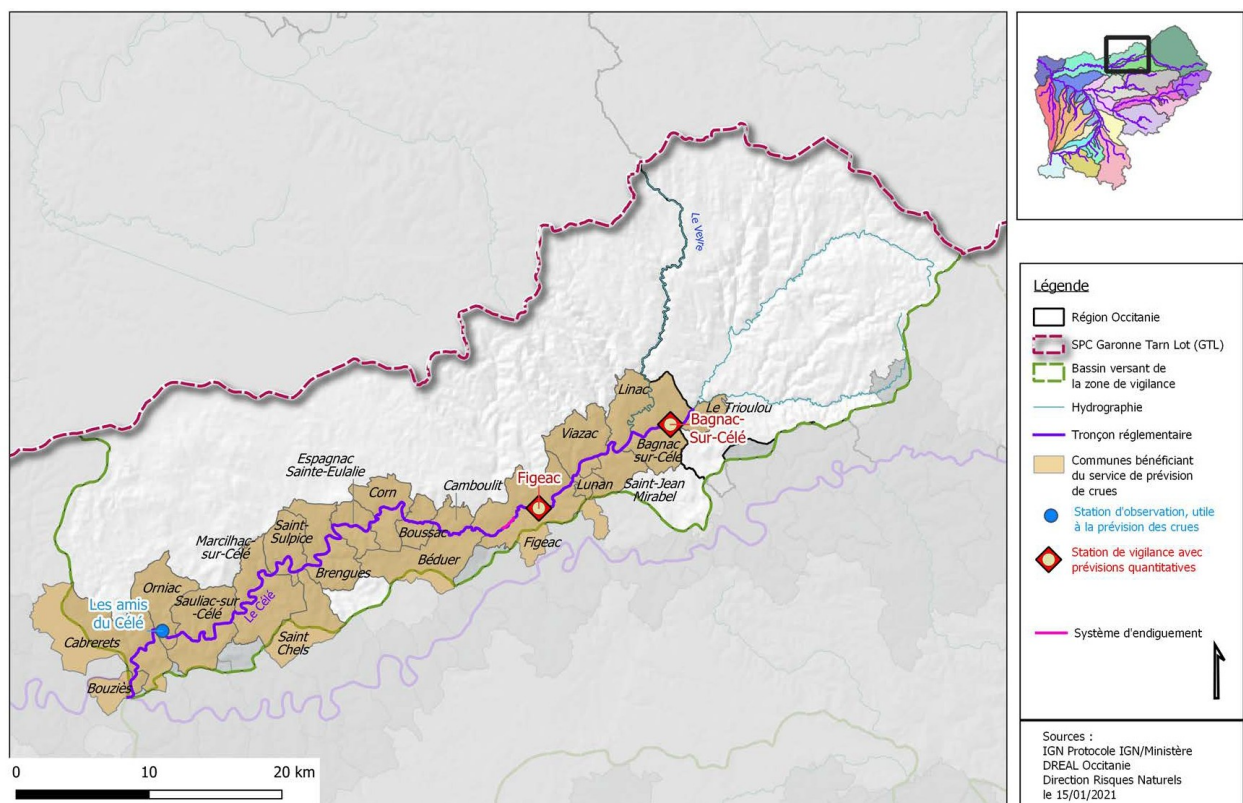


Figure 13 : Situation géographique du Céle

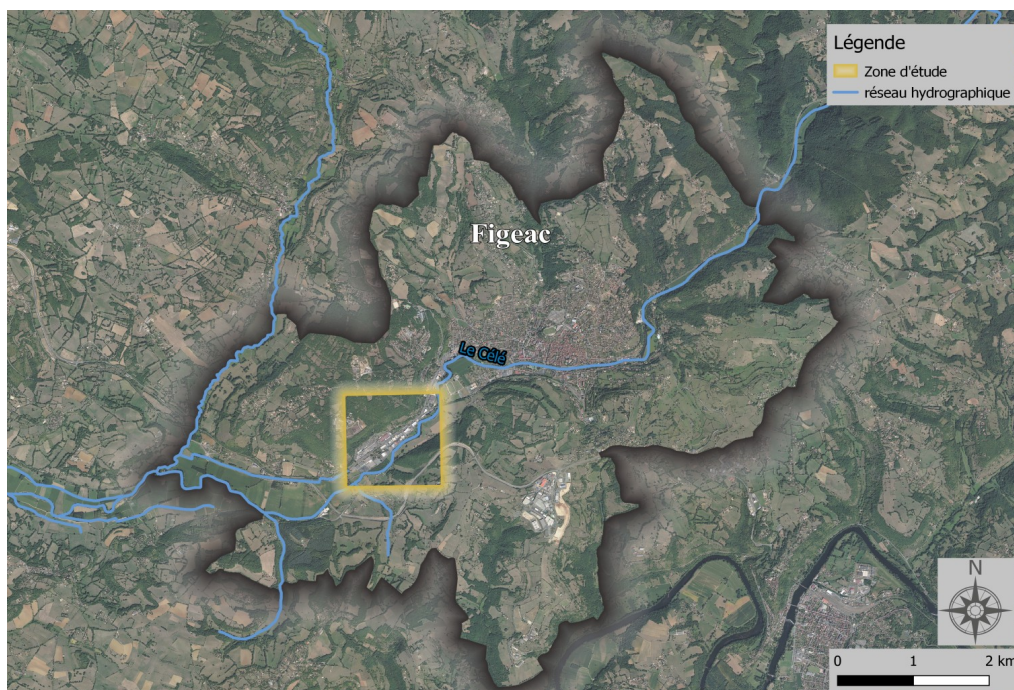


Figure 14 : *localisation de la zone d'étude*

La commune de Figeac est soumise aux crues du Célé qui impactent fortement le territoire. Les digues qui sont concernées par l'étude se situent en aval du centre historique.

Ces ouvrages ont été édifiés dans les années 1990 afin de protéger :

- la zone de Lafarrayrie en rive droite : la digue de Lafarrayrie ;
- des habitations en rive gauche : les digues de Paricou et de Sainte-Claire.

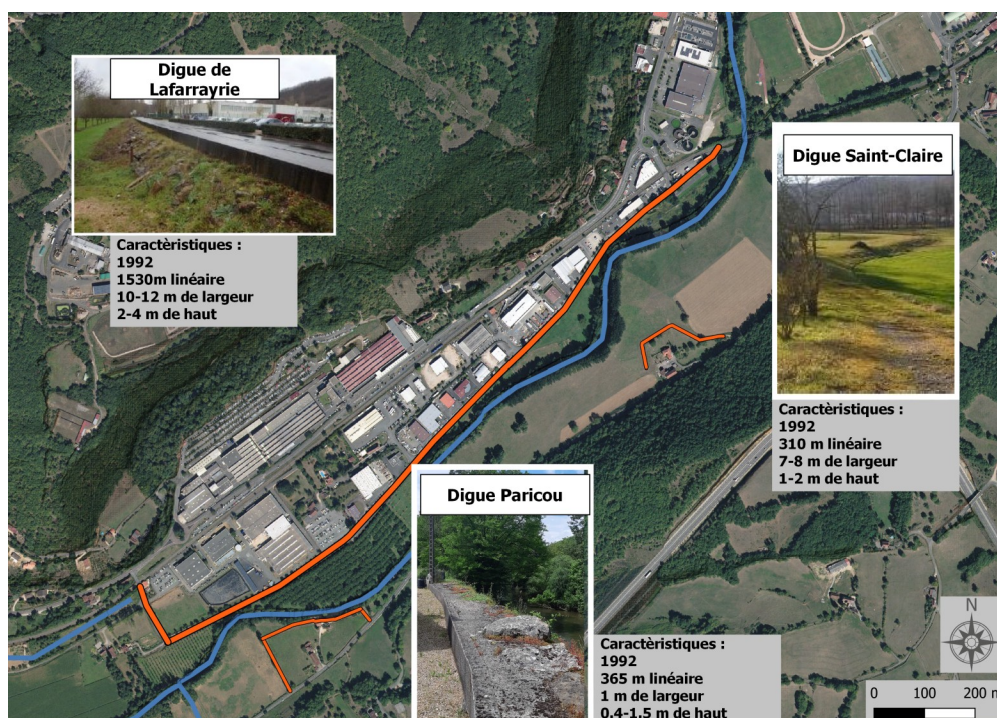


Figure 15 : *localisation des digues qui constituent le système d'endiguement*

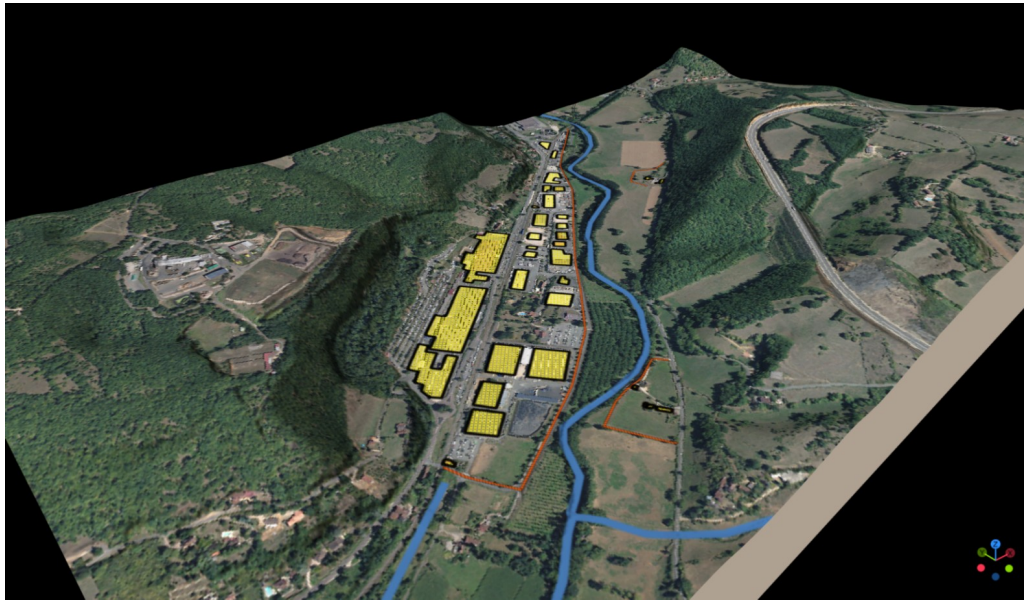


Figure 16 : *Vue tridimensionnelle de la zone d'étude*

I.B) Le bassin versant du Célé

Le bassin versant (BV) présente une superficie de 1 210 km² à la confluence Lot-Célé, 651 km² à Figeac, 387 km² à Bagnac-sur-Célé.

Le Célé est un affluent rive droite du Lot, dont la confluence se situe au niveau de Bouziès. Il prend sa source dans le Cantal (à 830 m d'altitude), 30 km en amont de Bagnac-sur-Célé. C'est un secteur de moyenne montagne constitué de roches cristallines favorisant le ruissellement, et qui est alimenté par un réseau de petits ruisseaux. Ses principaux affluents sont la Rance et le Veyre, tous les deux en rive droite. On notera que dans certains cas :

- à l'amont de Bagnac-sur-Célé, les apports de la Rance (BV : 237 km²) peuvent être plus importants que ceux du Célé (BV : 150 km²). Les apports de la Rance peuvent être évalués grâce à la station d'observation de Maurs ;
- à l'aval de Bagnac-sur-Célé, les apports du Veyre (BV : 98 km²) peuvent avoir une influence majeure sur le déroulement de la crue à Figeac (influence sur l'amplitude et la chronologie du maximum de crue [ex : crue du 20-21/01/2018]) ;
- les apports intermédiaires entre Figeac et la confluence Lot-Célé peuvent grossir les apports du Célé à Bouziès .

En amont de Figeac, les crues peuvent prendre un caractère torrentiel, avec des montées rapides. À l'aval de Figeac, la plaine alluviale est large et submersible par les grandes crues : le Célé devient sinueux et traverse des zones karstiques. Les phénomènes de montées rapides sont principalement observés d'avril à fin octobre.

Les crues sont dues à des précipitations d'origine océanique (flux d'ouest, nord-ouest, sud-ouest) et plus rarement d'origine méditerranéenne (flux de sud ou sud-est avec forts débordements). En cas de pluies orageuses, les caractéristiques du bassin peuvent amener le Célé à monter de manière rapide et brutale. Les crues les plus classiques sont générées par une succession d'averses pluvieuses généralement en flux d'ouest, parfois ondulant, ou nord-ouest (voir figure ci-dessous).

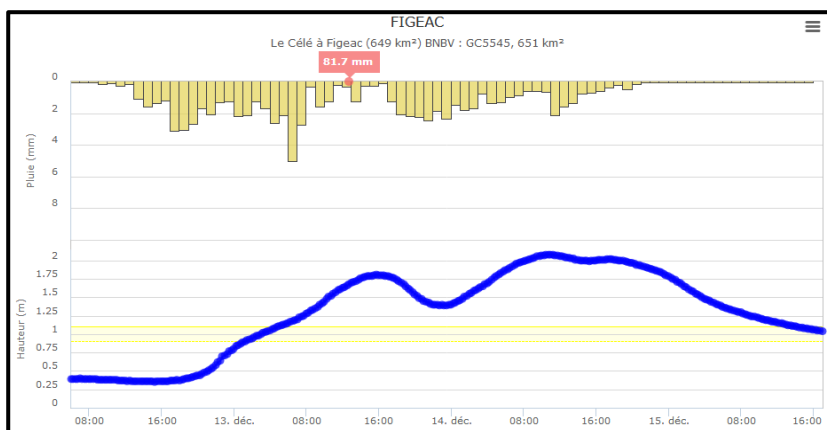


Figure 17 : Hyétogramme et hydrogramme de l'épisode du 13-15/12/2019 (source : DREAL Occitanie)

Deux autres caractéristiques sont fondamentales dans la qualification du phénomène inondation dans un bassin versant : le temps de propagation et le temps de réponse. Le temps de propagation se définit de la sorte : entre deux stations de mesure, l'onde de crue va mettre un certain temps pour aller d'un point A à un point B. On peut évaluer ce temps en mesurant le décalage temporel du passage du maximum aux deux points de mesure. Le temps de réponse est le temps écoulé entre les instants qui correspondent respectivement au centre de gravité d'une averse et au débit de pointe.

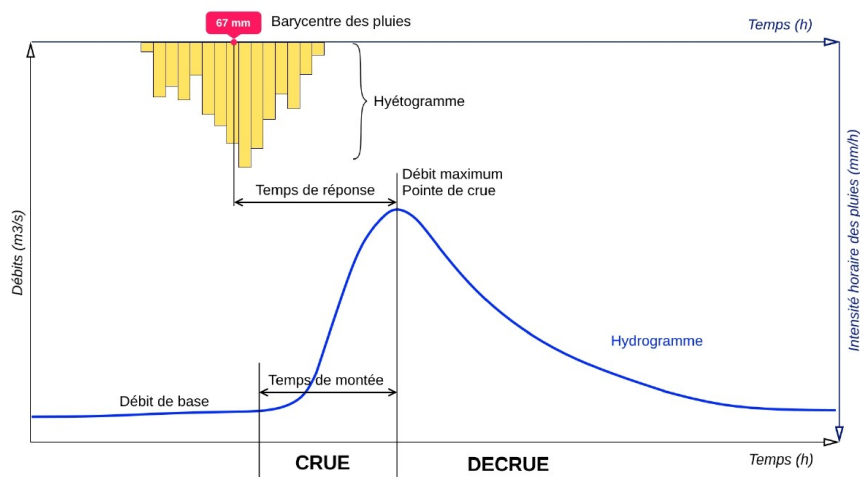


Figure 18 : Définition du temps de réponse (source : DREAL Occitanie)

La figure suivante expose les temps de propagation et de réponse correspondant à la zone d'étude.

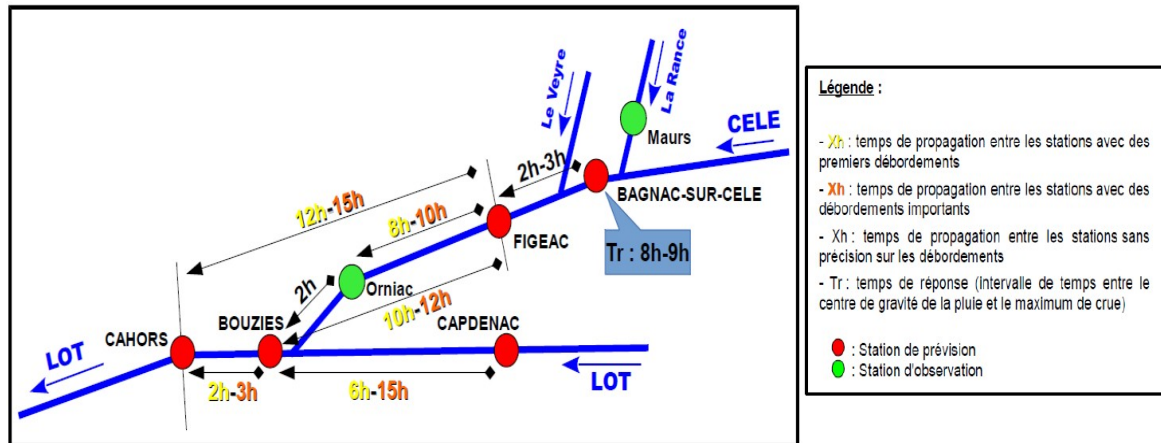


Figure 19 : temps de propagation et temps de réponse sur le Célé (source : DREAL Occitanie)

I.C) Historique des crues

Le Célé, au niveau de Figeac a connu quatorze principales crues historiques. Le tableau ci-après permet d'apprécier leurs importances en regard de la hauteur atteinte à l'échelle de Figeac, située en amont immédiat du Pont Gambetta.

Date de l'événement	Hauteur à l'échelle de Figeac
10/09/1843	4,65 m
19/10/1872	3,03 m
14/12/1906	4,30 m
06/01/1912	3,95 m
09/03/1927	3,10 m
12/12/1944	3,40 m
12/12/1952	3,75 m
10/12/1961	2,35 m
24/12/1965	2,75 m
07/02/1974	3,30 m
14/12/1981	2,95 m
01/01/1994	2,89 m
04/03/2003	2,90 m
05/12/2003	3,62 m
23/01/2009	2,64 m
20/01/2018	2,93 m
14/12/2019	2,08 m
01/02/2021	2,60 m

Figure 20 : Crues historiques du Célé au niveau de Figeac

La crue historique du 10 septembre 1843 est la plus ancienne crue faisant encore partie de la mémoire collective. Il subsiste que très peu de repères (moulin du Surgié notamment). Cependant il constitue l'événement le plus important connu en regard des hauteurs atteintes à l'échelle de Figeac. Il semble important de modérer cette constatation en regard des aménagements qui ont pu être apportés dans le centre bourg et qui peuvent induire un comportement hydraulique différent.

La Crue d'octobre 1872 est très peu renseignée, cette crue aurait atteint la hauteur à l'échelle du pont Gambetta de 3,03 m.

La Crue historique du 14 décembre 1906, considérée comme l'événement de référence retenu dans le cadre du Plan de Prévention des Risques inondation, a durement frappé l'ensemble de la vallée. Elle reste, dans les mémoires, l'événement le plus impactant sur le secteur.

Plusieurs repères de crues sont présents sur l'ensemble du linéaire du Célé (Figeac, Ceint d'Eau...) qui font état des hauteurs d'eau importantes atteintes dans le centre de Figeac soit 4,30 m.

Les crues de mars 1927 et décembre 1944, dont très peu d'informations sont disponibles pour lesquels les hauteurs mesurées à la station située en amont du pont Gambetta sont respectivement de 3,10 m et 3,40 m. Quelques repères relatifs à la crue de mars 1927 restent visibles principalement au niveau de certains moulins présents dans la vallée du Célé. Un extrait du registre du conseil municipal qualifie l'événement de 1944 comme « *une très forte crue, une des plus fortes depuis celle de 1906. La cote atteinte à l'amont du Pont Gambetta a été de 3,40 m, alors qu'elle n'avait été que de 3,15 m lors de la crue déjà redoutable de 1927. Il s'en est suivi une inondation des quartiers bas de la Ville. Le même jour, le ruisseau des Carmes, petit affluent du Célé et son affluent [...], subissaient également une crue très forte qui provoquait l'inondation des terrains qu'ils traversent entre le CD 177, avenue Pierre Curie et le CD 13 avenue de Cahors.* »

La Crue du 12 au 26 décembre 1952 est supérieure aux crues de 1927 et 1944 avec une hauteur à l'échelle du pont Gambetta de 3,75 m. Le centre-ville de Figeac a été touché tout comme l'ensemble de la vallée du Célé.

La crue des 10 et 11 décembre 1961 a entre autres impacté les bas quartiers de Figeac ; la hauteur mesurée à l'échelle du pont Gambetta est de 2,35 m.

La crue du 24 décembre 1965 a atteint une hauteur à l'échelle de 2,75 m. Les routes de Montauban et l'avenue Foch à côté de la place de la Raison (Figeac) ont été coupées.

Lors de la crue du 7 février 1974, la hauteur d'eau mesurée à l'échelle du pont Gambetta est de 3,30 m. D'après l'article de la Dépêche du Midi du 7 février 1974, la crue est née à cause « *des pluies diluviennes qui se sont abattues dans la nuit [...] et ont provoqué des dégâts importants [...], offrant à termes un véritable spectacle de désolation* ». Il fait aussi référence aux activités

anthropiques sur le cours d'eau : « à la faveur de cette catastrophe, [...] les travaux de recalibrage du Célé, bien qu'inachevés et sérieusement compromis par l'invasion des eaux, ont quand même évité à plusieurs quartiers de la ville d'être envahis par les flots ».

Suite à la crue marquante de 1974, plusieurs épisodes vont se produire dans les années 1980 à 2000, avec les crues suivantes :

- la crue de décembre 1981, où le Célé a atteint une hauteur de 2,95 m à l'échelle du pont Gambetta ;
- la crue de janvier 1994, avec une hauteur à l'échelle de 2,89 m ;
- la crue de janvier 1998, avec une hauteur de 2,70 m environ.

La crue de décembre 2003 constitue, sur le secteur, la dernière crue majeure connue, particulièrement gravée dans la mémoire collective. Avec une hauteur de 3,62 m atteinte à Figeac, cette crue d'occurrence trentennale est particulièrement bien renseignée, au travers de nombreuses photographies d'époque et le relevé de laisses de crue et de l'emprise maximale inondée atteinte. De plus, en mars 2003, un premier épisode de crue avait déjà impacté le bassin versant, dans une moindre mesure toutefois avec une hauteur de 2,90 m atteinte à l'échelle de Figeac. La crue de décembre 2003 est comparée à l'événement de 1974.

La crue de janvier 2009 a impacté la vallée du Célé dans une moindre mesure que la crue de 2003. La hauteur atteinte à l'échelle de Figeac est de 2,64 m.

Enfin les trois dernières crues remarquables datent de 2018, 2019 et 2021 avec pour hauteur respective de 2,93 m, 2,09 m et 2,60 m. Celle de 2018 a vu une partie de la ville inondée (Le Surgié, les quartiers bas de la ville, l'avenue du Maréchal Foch, quai Bessières, prairie des Pratges, Londieu, la plaine de Ceint-d'Eau). La crue de 2019 a été plus modérée que celle de 2018. Concernant la dernière crue en date, le journal ActuLot signifie : « Comme à son habitude, le Célé a fait l'objet d'une crue rapide. Les premiers débordements, sur l'amont et le Figeacois se sont manifestés dans les premières heures du 1er février (vers 3-4 h). Le pic a été atteint à 18 h à Figeac et le retour à la normale a été constaté dès le lendemain ».



Figure 21 : Repères de crue à Figeac, à gauche au niveau de la station du réseau Vigicrues à droite un repère de crue de l'inondation de 1906 dans le centre historique

Pour conclure, les crues de 1843, 1906 et dans une moindre mesure 1974 et 2003 se détachent comme les événements majeurs qu'a connu le bassin versant. À souligner toutefois que les épisodes de 1843, de 1906 et dans une moindre mesure de 1974 ne sont pas toujours comparables avec la situation actuelle, de nombreux aménagements et évolutions ayant été effectués sur le cours d'eau et plus généralement le bassin versant, au cours des dernières décennies. La crue de 2003, bien documentée, reste une des plus représentatives.

Concernant les zones protégées par le système d'endiguement de l'étude de cas, la zone de Paricou a été inondée lors des inondations de 1994, 2003, 2009, 2018, 2019 et 2021, la zone de Sainte-Claire lors de celle de 2003 et la zone de Laffarayrie n'a jamais été inondée depuis la réalisation de l'ouvrage de protection.

II. Application de la première étape de la méthode :

II.A) Contexte et utilisation de la méthode

Afin d'appliquer la méthode dans son intégralité, une liberté mesurée a été prise. En effet, à l'heure actuelle, l'étude de danger de ce système d'endiguement n'est pas tout à fait finalisée, et donc si nous avons utilisé le logigramme produit lors du stage, il n'aurait pas été possible de le tester dans son intégralité. Néanmoins, nous avons eu accès à un document de travail du bureau d'étude en charge de l'EDD du système d'endiguement et, après validation par la division des ouvrages hydrauliques et concession de la DREAL Occitanie (en charge de l'instruction des dossiers), il a été convenu que le niveau de protection annoncé dans ce document de travail était cohérent et qu'il était donc utilisable pour ce rapport. Cette valeur de niveau de protection est exprimé en hauteur d'eau relative au SE. Elle correspond au niveau de la crête de l'ouvrage.

Ensuite la zone d'étude étant localisée juste en aval de la ville de Figeac, elle est donc dans la zone d'influence de la station de vigilance située sous le pont Gambetta. De plus, un marché de réalisation de cartographies ZIP a déjà été réalisé et donc nous avons également accès à des lignes d'eaux de crues historique.

Ainsi le point de cette première étape qui n'est pas une simple réponse par une affirmation (voir annexe 2) est la conversion de la hauteur d'eau relative au système d'endiguement à une hauteur d'eau d'une échelle limnimétrique appartenant à une station de vigilances du réseau Vigicrues. Cette démarche particulière, élaborée lors du stage, est présentée dans le paragraphe suivant.

II.B) Comment rattacher une hauteur d'eau relative à un SE à une hauteur d'eau relative à une échelle limnimétrique d'une station de vigilance

Au préalable, il est nécessaire de tracer le linéaire de la digue dans un logiciel de SIG. À l'aide d'un modèle numérique de terrain, ici le LIDAR, il s'agit de repérer la ligne de crête de l'ouvrage afin de positionner le plus finement possible la digue. Cette procédure de traçage de la ligne de crête de l'ouvrage a été formalisée, lors du stage, par la production d'un pas-à-pas à l'intention de l'UECI. Dans cette partie, j'exposerai uniquement le travail réalisé sur la digue de Laffarrayrie, cependant ce travail a été réalisé sur les trois digues du SE. Après avoir réalisé le linéaire de la digue, il s'agit de

produire le profil en long de celle-ci. Ceci est réalisable grâce à un plugin du logiciel QGIS, qui s'appelle Terrain profile et qui nécessite, là encore l'utilisation d'un MNT.

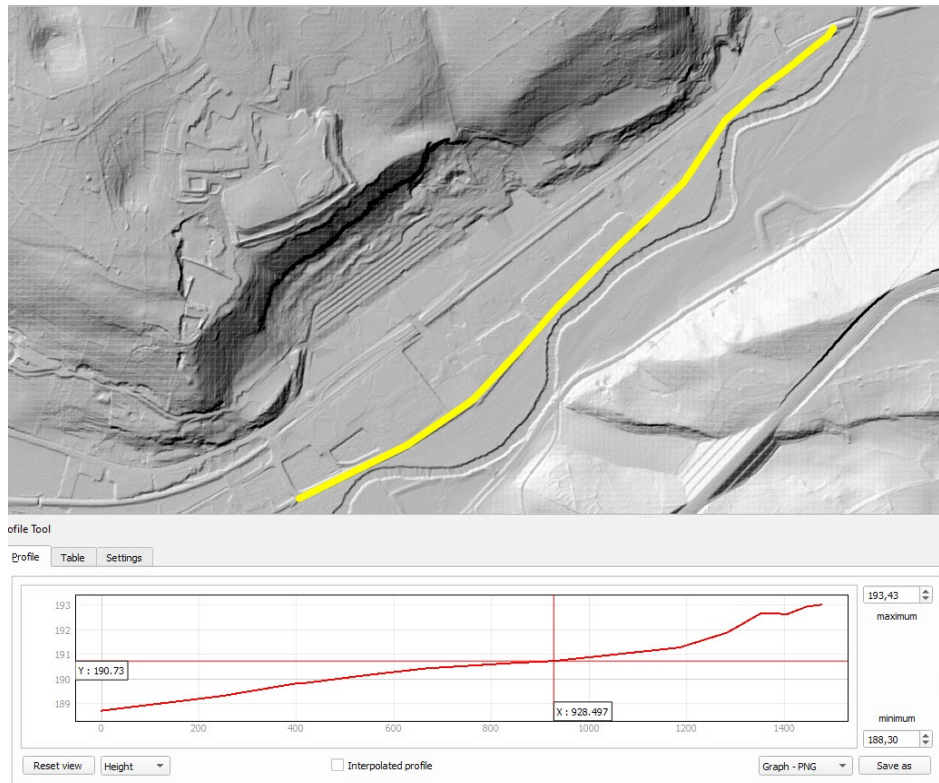


Figure 22 : Profil en long de la digue de Laffarrayrie

Une fois l'étape de construction du profil en long de l'ouvrage réalisée, il s'agit d'intégrer ce profil aux lignes d'eaux des crues historiques. Cette tâche nécessite de connaître le point kilométrique du début de la digue afin d'avoir une superposition cohérente avec les lignes d'eaux.

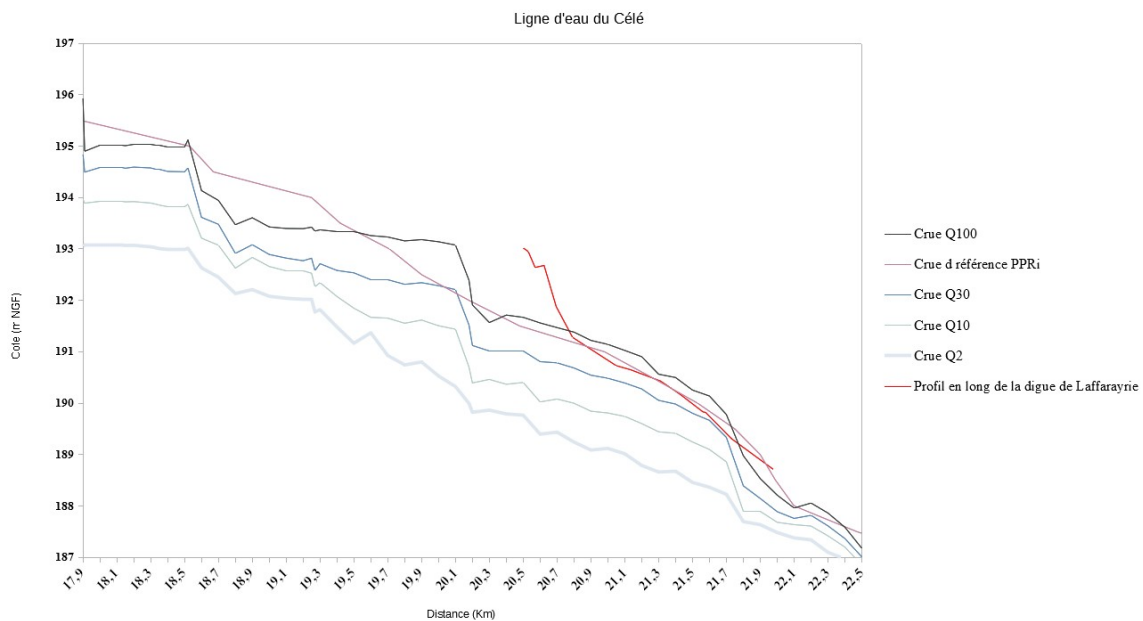


Figure 23 : Lignes d'eaux de crues historiques mises en regard avec le profil en long de la digue

Afin d'établir la correspondance entre hauteur de crête de l'ouvrage avec une hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique de la station de vigilance de Figeac, il est nécessaire, par l'intermédiaire d'un tableur, de repérer le point bas de la digue et *in fine* d'établir la correspondance hauteur crête/ hauteur station. L'annexe 3 présente de manière factuelle les différentes étapes. Cette annexe est directement issue du pas-à-pas produit lors du stage. Ainsi, la hauteur d'eau correspondant au niveau de protection, c'est-à-dire le point le plus bas de la crête de l'ouvrage en regard de la ligne d'eau, se situe à une hauteur calculée de 4,05 mètres à la station de vigilance du pont Gambetta de Figeac.

À l'issue de cette procédure, nous avons, donc, une donnée utilisable par le SPC, à savoir un niveau de protection du système d'endiguement exprimé en hauteur d'eau rattachée à une station vigilance du réseau Vigicrues. Cette finalité est l'objectif de la première étape de la méthode élaborée lors du stage.

III. Application de la seconde étape de la méthode :

Cette seconde étape se décompose en deux phases :

- construire la zone protégée par l'ouvrage ;
- croiser les enjeux avec l'aléa et l'intégrer dans les niveaux de vigilance.

III.A) Construction de la zone protégée

Construire la zone protégée par un ouvrage permet de connaître la surface potentiellement inondable en cas de rupture au niveau de protection et/ ou en cas de surverse. Elle permet ainsi de déterminer l'emprise de l'espace à considérer pour évaluer les enjeux. Cette opération se réalise grâce à un plugin du logiciel QGIS : CartoZI (annexe 4). Elle fait intervenir plusieurs étapes qui sont résumées par la figure ci-dessous :

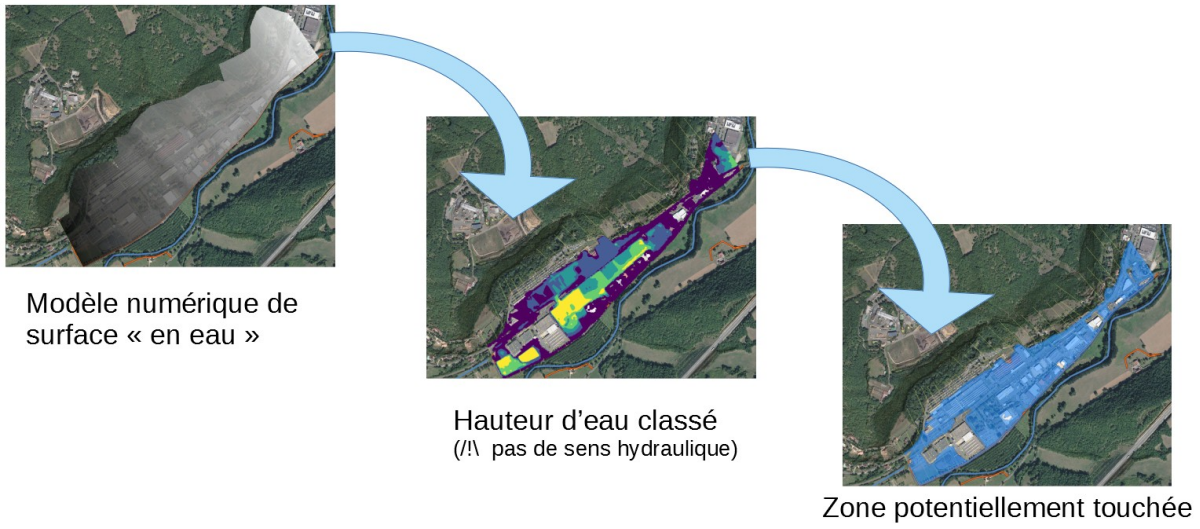


Figure 24 : Résultats de l'utilisation du plugin CartoZI

Cette procédure a été réalisée sur toutes les digues qui constituent le système d'endiguement et la carte ci-après expose les emprises des zones protégées :



Figure 25 : Zones protégées par le système d'endiguement

Dès lors que l'emprise des zones protégées est tracée, il convient de s'attacher à évaluer les enjeux de la zone.

III.B) Croisement enjeux/aléas et intégration dans les niveaux de vigilance

Le site de l'étude se répartit sur trois espaces : la zone derrière la digue de Paricou, la digue de Sainte-Claire et la digue de Lafarrayrie. Afin d'estimer le risque, les bâtiments, les ICPE et la population résidente ont été appréciés.

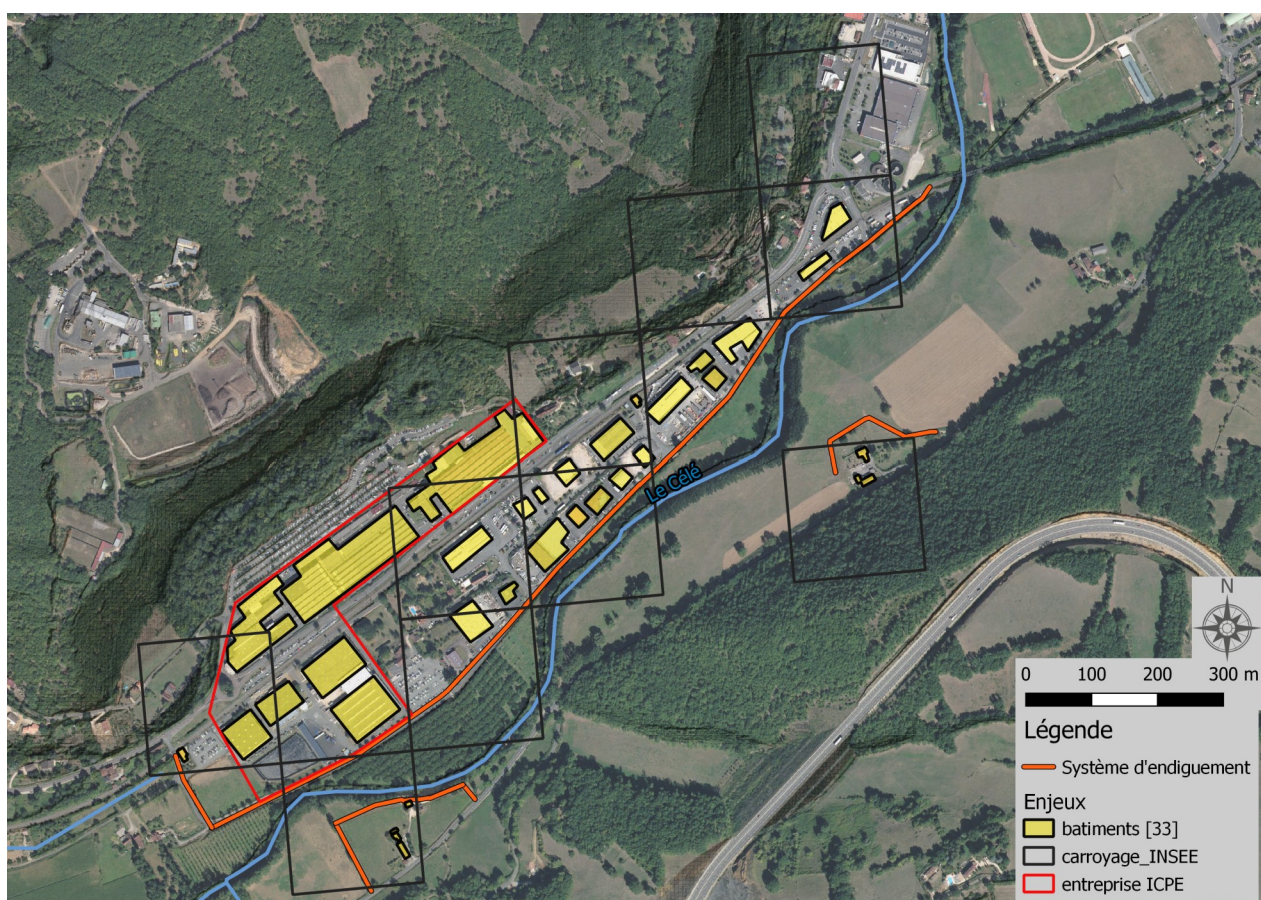


Figure 26 : Enjeux de la zone d'étude

Les deux premières digues protègent six bâtiments, qui ont une vocation d'habitat pour trois d'entre eux et trois qui sont des hangars agricoles. Les données produites par l'INSEE sur ce carroyage font état de deux habitants concernés derrière ces deux digues.

Concernant la digue de Lafarrayrie, les enjeux sont plus nombreux. Dans cette zone, trente-trois bâtiments à des fins commerciales ou industrielles sont présents, dont une entreprise classée ICPE. De plus, on dénombre via le carroyage INSEE quarante-quatre personnes qui habitent derrière ces digues. Néanmoins ce chiffre semble sur-évaluer les enjeux. En effet, la plupart des habitations

comptabilisées dans le carroyage ne sont pas dans l’emprise de la zone protégée. La figure ci-après montre ce résultat :

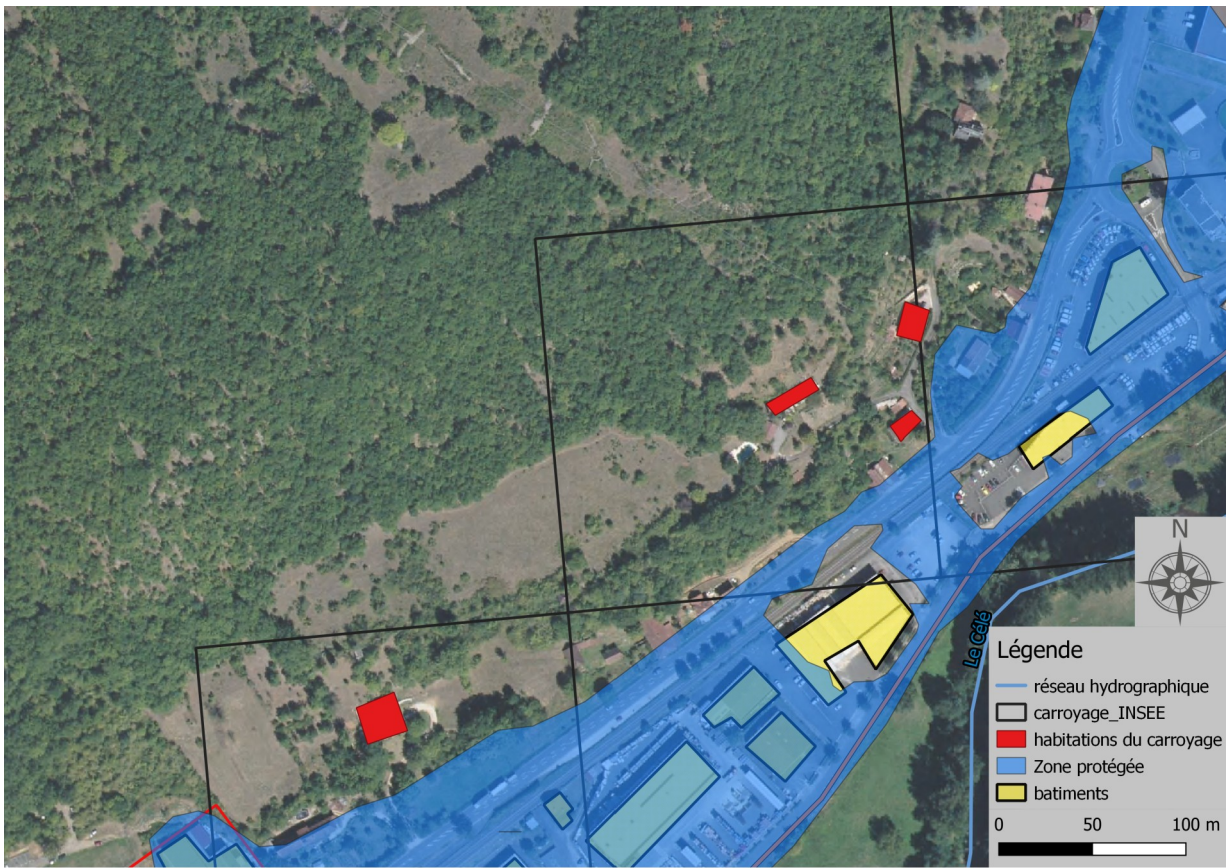


Figure 27 : écart carroyage INSEE-zone protégée

Ainsi, après avoir réalisé une évaluation des enjeux derrière les digues, il en résulte la synthèse suivante, en portant des conclusions sur les niveaux de vigilances :

• Synthèse sur le SE



Niveau de Danger

Digues	Paricou	Sainte-Claire	Lafarrayrie
Hauteur	1,65	3,25	4,05

Croisement avec les enjeux potentiellement touchés

Hauteur d'eau à la station de prévision	1,65 m	3,25 m	4,05 m
Enjeux touchés	2 habitations et 2 hangars agricoles	1 habitation et un hangar agricole	27 bâtiments dont une ICPE soit environ 2400 personnes + population résidente (44)

- Paricou est exclue du SE
- Sainte Claire : 1 habitation touchée donc niveau orange
- Lafarrayrie : 1 ICPE touchée donc niveau orange et/ou rouge

Figure 28 : Synthèse de la prise en compte du SE dans l'échelle de gravité de Figeac

En conclusion, il s'agit d'améliorer l'échelle de gravité de Figeac en prenant en compte le système d'endiguement, comme le montre la figure suivante.

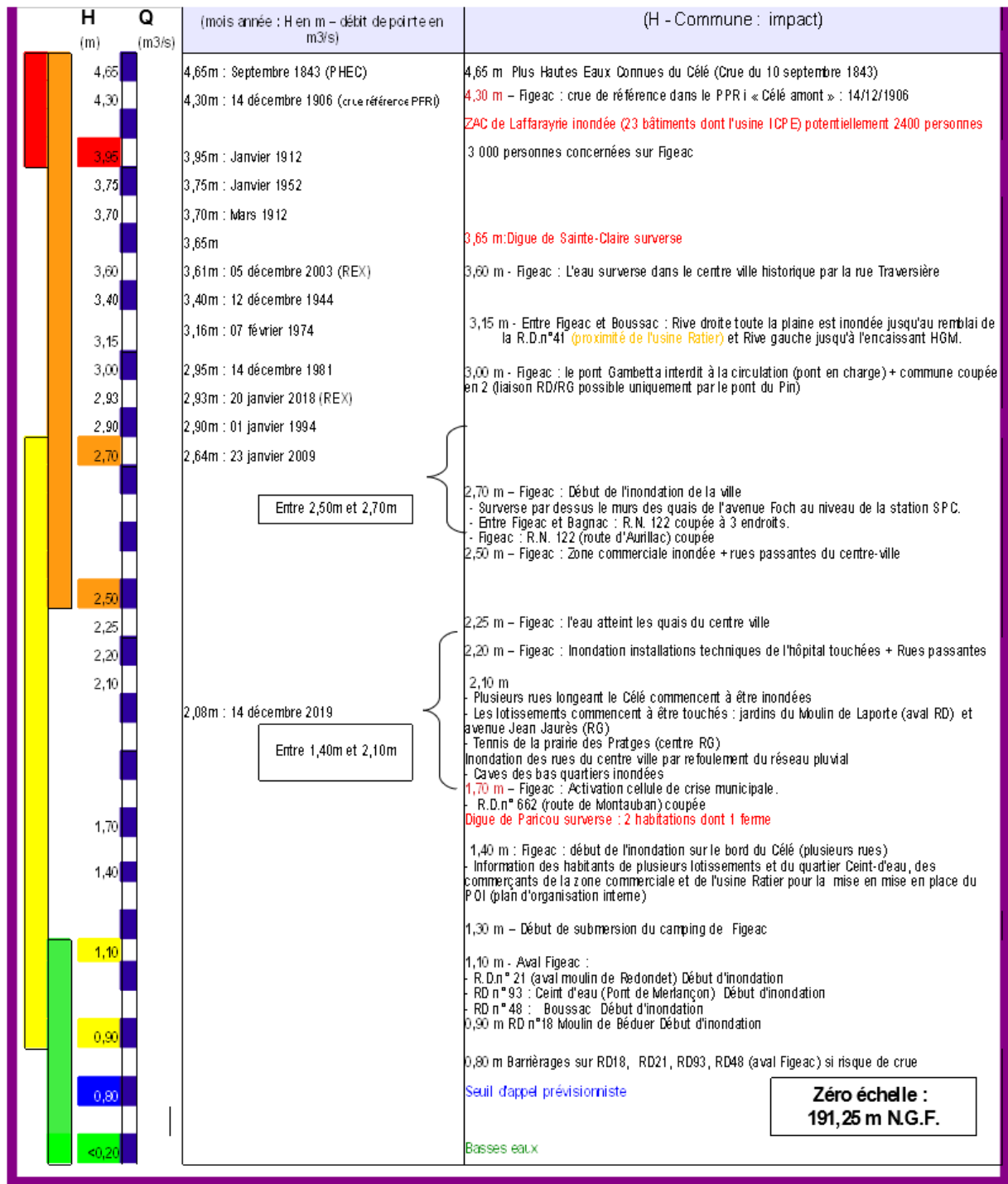


Figure 29 : Fiche station de Figeac adaptée

Dans ce chapitre, il est apparu que la méthode élaborée afin de prendre en compte un système d'endiguement est applicable et que les résultats apportent de la discussion dans l'amélioration de

l'échelle de gravité. Ainsi, dans les tronçons de cours d'eau surveillés les SPC, des données et des résultats tangibles vis-à-vis des secteurs endigués vont être inclus dans les échelles de gravité et pourront aider la préparation à la gestion de crise.

Conclusion : Bilan et perspectives

Dans ce rapport, nous avons pu voir la complexité de la thématique de la gestion du risque ; à la fois la complexité dans la distribution des rôles ainsi que les difficultés à évaluer le risque inondation. De plus, la nouveauté juridique concernant les ouvrages de protection, aujourd'hui nommés systèmes d'endiguement, ajoute à cette complexité. Ainsi, sous l'impulsion du SPC Garonne-Tarn-Lot, est née la volonté de s'interroger sur l'intégration de ses systèmes à la préparation du risque inondation, en vue d'optimiser la gestion de crise.

Afin de répondre à cette interrogation, l'objectif de la mission du stage confiée par le SPC était de produire une méthode permettant de prendre en compte les systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance. Il est apparu que pour atteindre cet objectif, il a fallu découper le travail en deux étapes. Elles sont résumées ainsi :

- étape 1 : rattacher le niveau de protection d'un système d'endiguement à une hauteur d'eau à la station Vigicrues ;
- étape 2 : déterminer les enjeux potentiellement touchés derrière les ouvrages pour caractériser le niveau de dommages associé à chaque système d'endiguement et *in fine* intégrer le système d'endiguement dans les niveaux de vigilance.

La méthode produite a été présentée sous forme d'un logigramme accompagné de tutoriels qui permettent de l'utiliser.

Ainsi, les SPC, par l'application de cette méthode, seront en mesure d'appréhender les systèmes d'endiguements dans leur réflexion et permettre l'amélioration des niveaux de vigilance. En effet cet outil a pour ambition d'être discuté, abondé, amélioré par le réseau Vigicrues, ce qui, en quelque sorte, fait de ce travail le point de départ d'une réflexion à l'échelle nationale sur cette thématique des systèmes d'endiguement dans la vigilance inondation.

Afin de faciliter l'appropriation du travail réalisé pendant le stage, j'ai réalisé des tutoriels pour appliquer chaque étape de la méthode. De plus, j'ai eu l'occasion de sensibiliser, informer et former les collègues de l'unité à cette méthode. Lors de ces temps de travail, j'ai pu m'apercevoir des améliorations à apporter aux documents d'accompagnement. En effet, le niveau hétérogène de mes collègues dans la maîtrise de Qgis m'a amené à plus détailler les tutoriels. À l'issue de ces améliorations, ils ont été en capacité d'appliquer la méthode dans son intégralité de façon autonome.

Enfin, ces cinq mois, au sein de l'unité étude et connaissance des inondations, m'ont permis d'acquérir un grand nombre de compétences techniques, notions d'hydraulique, maîtrise de Qgis, connaissances sur la préparation face au risque inondation, entre autres, ainsi que d'étoffer des compétences plus opérationnelles, à savoir le travail d'équipe, l'autonomie, la pédagogie. Cette expérience m'a donc conforté dans l'idée de travailler dans le domaine de la gestion de cours d'eau, syndicat de rivière par exemple. De plus, être à la genèse d'une réflexion, celle de la prise en compte des systèmes d'endiguement dans la vigilance inondation, a été, pour moi, un défi qui m'a grandement motivé.

Références Bibliographiques

Antoine J-M (2007) La gestion des risques : le cas des montagnes.

https://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii_le_mirail/la_gestion_des_risques_le_cas_des_montagnes.847

Bailly A. (2004). *Les concepts de la géographie humaine*. Collection U, Armand Colin, Paris, 333p.

Barthelemy F., Martin X et Nicolazo J-L. (2004). La réglementation en matière de sécurité des barrages et des digues.

Brune A., Beullac B., Mériaux P. (2019) Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI – application au territoire de l'agglomération troyenne. *Digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations – 3e colloque – Digues 2019*, Aix-en-Provence, France. pp.7

Charpin D. (2002) La politique hydraulique des rois paléo-babyloniens. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*. 57^e année, N. 3. pp. 545-559.

Dauphiné A. (2003). *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Collection U, Armand Colin, Paris, 288 p.

Deniaux Y., Ledoux P., Colin B., Beullac B., Tourment R., et al. (2018) Étude de dangers de systèmes d'endiguement Concepts et principes de réalisation des études. CEREMA, pp.62

Dimitrov C. et Monadier P. (2005) Les digues de protection contre les inondations. Organisation du contrôle. Constructibilité derrière les ouvrages

Félix H., Beullac B., Tourment R., Meriaux P., Peyras L. (2011). Méthodologie pour l'analyse fonctionnelle des ouvrages hydrauliques à grand linéaire – *Études de dangers des barrages – colloque CFBR/AFEID*, Lyon.

Laganier R. & Scarwell H-J. (2003). *Risques hydrologiques et territoire*. In Moriniaux V. (coord.). *Les risques*. Questions de géographie, Editions du Temps, Nantes, pp. 106-137.

Ledoux B. (2006). *La gestion du risque inondation*. Lavoisier, Paris, 770 p.

Mériaux P., Royet P., Folton C. (2001). *Guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires. Surveillance, entretien et diagnostic. Des digues de protection contre les inondations*. Cemagref Editions, 191 p.

Peltier A. (2005). *La gestion des risques naturels dans les montagnes d'europe occidentale*. Thèse de doctorat, spécialité géographie, université de Toulouse II, 741 p.

Perret C. et Poligot-Pitsch S., (2017). charte qualité de l'hydrométrie. Guide de bonnes pratiques

Scarwell H-J. et Richard Laganier R. (2004). risque d'inondation et aménagement durable des territoires

Veyret Y., Meschinet de Richemond N. (2003). *Le risque, les risques*. In Veyret Y. (dir). *Les risques*. Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES, Paris, pp.17-47

Liste des figures, tableaux et photographies :

Figure 1 : Présentation du territoire du SPC GTL(source DREAL Occitanie).....	4
Figure 2 : le SPC GTL et ses sous-basins versants ;.....	5
Figure 3 : définition du risque inondation (source préfecture de Charente).....	8
Figure 4 : Définition des niveaux de vigilance.....	12
Figure 5 :les trois composantes principales d'un système endigué fluvial : milieu extérieur « cours d'eau », système de protection et milieu extérieur « zone protégée » (H. Félix et al, 2011).....	15
Figure 6 : Les différents niveaux caractéristiques d'un segment de digue (Deniaux Y. et al, 2018).	18
Figure 7 : classification des systèmes d'endiguement	19
Figure 8 : Carte de répartition des systèmes d'endiguement au sein du SPC GTL.....	23
Figure 9 : Zone protégée (Deniaux et al 2018).....	24
Figure 10 : Étape 1 de la méthode	29
Figure 11 : courbe de tarage de Figeac (source DREAL Occitanie).....	30
Figure 12 : Étape 2 de la méthode	32
Figure 13 : Situation géographique du Célé	35
Figure 14 : localisation de la zone d'étude..... ;.....	36
Figure 15 : localisation des digues qui constituent le système d'endiguement.....	36
Figure 16 : Vue tridimensionnelle de la zone d'étude.....	37
Figure 17 : Hyétogramme et hydrogramme de l'épisode du 13-15/12/2019 (source : DREAL Occitanie).....	38
Figure 18 : Définition du temps de réponse (source : DREAL Occitanie).....	38
Figure 19 : temps de propagation et temps de réponse sur le Célé (source : DREAL Occitanie) ...	39
Figure 20 : Crues historiques du Célé au niveau de Figeac	39
Figure 21 : Repères de crue à Figeac, à gauche au niveau de la station du réseau Vigicrues à droite un repère de crue de l'inondation de 1906 dans le centre historique	42
Figure 22 : Profil en long de la digue de Laffarrayrie	44
Figure 23 : Lignes d'eaux de crues historiques mises en regard avec le profil en long de la digue.	44
Figure 24 :Résultats de l'utilisation du plugin CartoZI	46
Figure 25 : Zones protégées par le système d'endiguement	46
Figure 26 : Enjeux de la zone d'étude.....	47
Figure 27 : écart carroyage INSEE-zone protégée.....	48
Figure 28 : Synthèse de la prise en compte du SE dans l'échelle de gravité de Figeac.....	48
Figure 29 : Fiche station de Figeac adaptée.....	49

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Les services de prévision des crues au centre d'un dispositif d'information face au risque inondation.....	3
I. Le service prévision des crues, un acteur majeur dans la vigilance crue.....	3
I.A) Au sein de la DREAL, le service de prévision des crues.....	3
I.B) Au cœur du SPC GTL : l'unité étude et connaissance des inondations.....	5
I.C) Les partenaires, acteurs complémentaires essentiels à l'atteinte des objectifs.....	6
II. Au croisement des enjeux et des aléas : les niveaux de vigilance, un outil majeur des SPC pour l'évaluation du risque inondation.....	7
II.A) Le risque inondation : la vulnérabilité d'enjeux face à l'occurrence d'un phénomène.....	7
II.A.1 Définition de l'aléa.....	8
II.A.2 Définition des enjeux.....	10
II.B) Les niveaux de vigilances et leurs objectifs.....	11
Chapitre 2 : De la digue aux systèmes d'endiguement : ouvrages de protection contre le risque inondation.....	14
I. Les digues : Un ouvrage de protection.....	14
I.A) Définition et rôle de ces ouvrages.....	14
I.B) Une nouvelle législation en lien avec la compétence GEMAPI : le système d'endiguement.....	16
I.C) Quelles conséquences pour le gestionnaire d'ouvrage et les services de gestion du risque ?.....	21
I.D) Les systèmes d'endiguement au sein du SPC Garonne-Tarn- Lot.....	22
II. Le risque inondation dans les secteurs endigués.....	23
II.A) Notion de zone protégée.....	23
II.B) Le sur-risque inhérent à ces ouvrages.....	24
Chapitre 3 : Quelle méthode appliquer pour la prise en compte des systèmes d'endiguement dans les niveaux de vigilance ?.....	26
I. Réflexions pour aboutir à la méthode générale.....	26
I.A) Premier objectif : l'importance de réaliser une correspondance entre le niveau de protection du système d'endiguement et la station de surveillance Vigicrues.....	26
I.B) Second objectif : la détermination des enjeux potentiellement touchés derrière les ouvrages et intégration dans les niveaux de vigilance.....	27
II. Exposition de la méthode retenue.....	28
II.A) Présentation de l'outil.....	28
II.B) Points de vigilance et limites de la méthode.....	32
Chapitre 4 : Étude de cas : le système d'endiguement de Figeac.....	35
I. Présentation du site d'étude.....	35
I.A) Localisation du système d'endiguement.....	35
I.B) Le bassin versant du Célé.....	37
I.C) Historique des crues.....	39
II. Application de la première étape de la méthode :.....	43
II.A) Contexte et utilisation de la méthode.....	43
II.B) Comment rattacher une hauteur d'eau relative à un SE à une hauteur d'eau relative à une échelle limnimétrique d'une station de vigilance.....	43
III. Application de la seconde étape de la méthode :.....	45
III.A) Construction de la zone protégée.....	45
III.B) Croisement enjeux/aléas et intégration dans les niveaux de vigilance.....	47
Conclusion : Bilan et perspectives.....	52

Références Bibliographiques.....	54
Liste des figures, tableaux et photographies :.....	56
Liste des annexes.....	60
Annexe 1 : Organigramme de la DREAL Occitanie.....	61
Annexe 2 : Application du logigramme au système d'endiguement de Figeac.....	62
Annexe 3 : Procédure pour établir la correspondance entre hauteur de crête d'un ouvrage avec hauteur à l'échelle limnimétrique.....	64
Annexe 4 : Fonctionnement du Plugin CartoZI.....	67

Liste des annexes

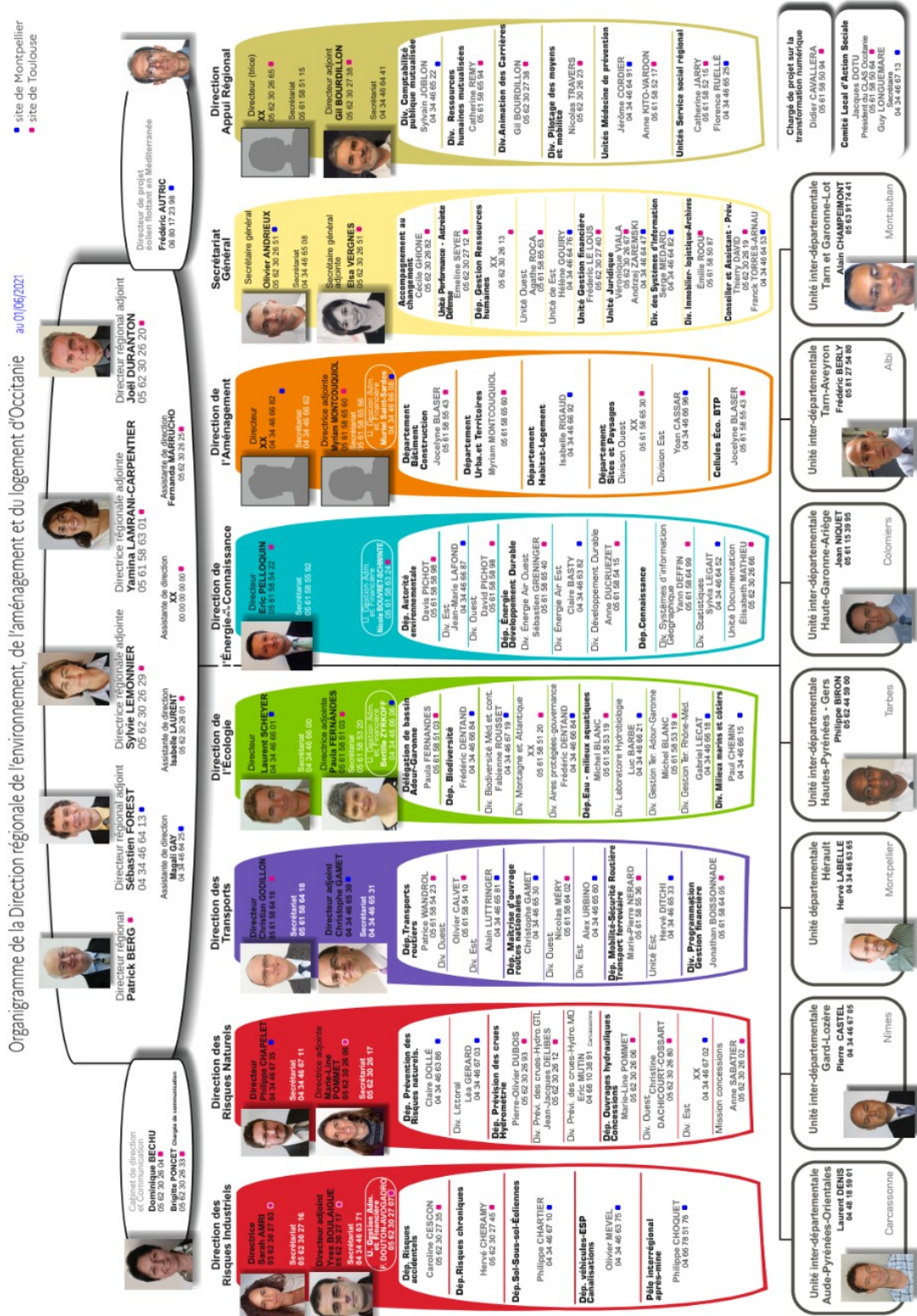
Annexe 1 : Organigramme de la DREAL Occitanie

Annexe 2 : Application du logigramme au système d'endiguement de Figeac

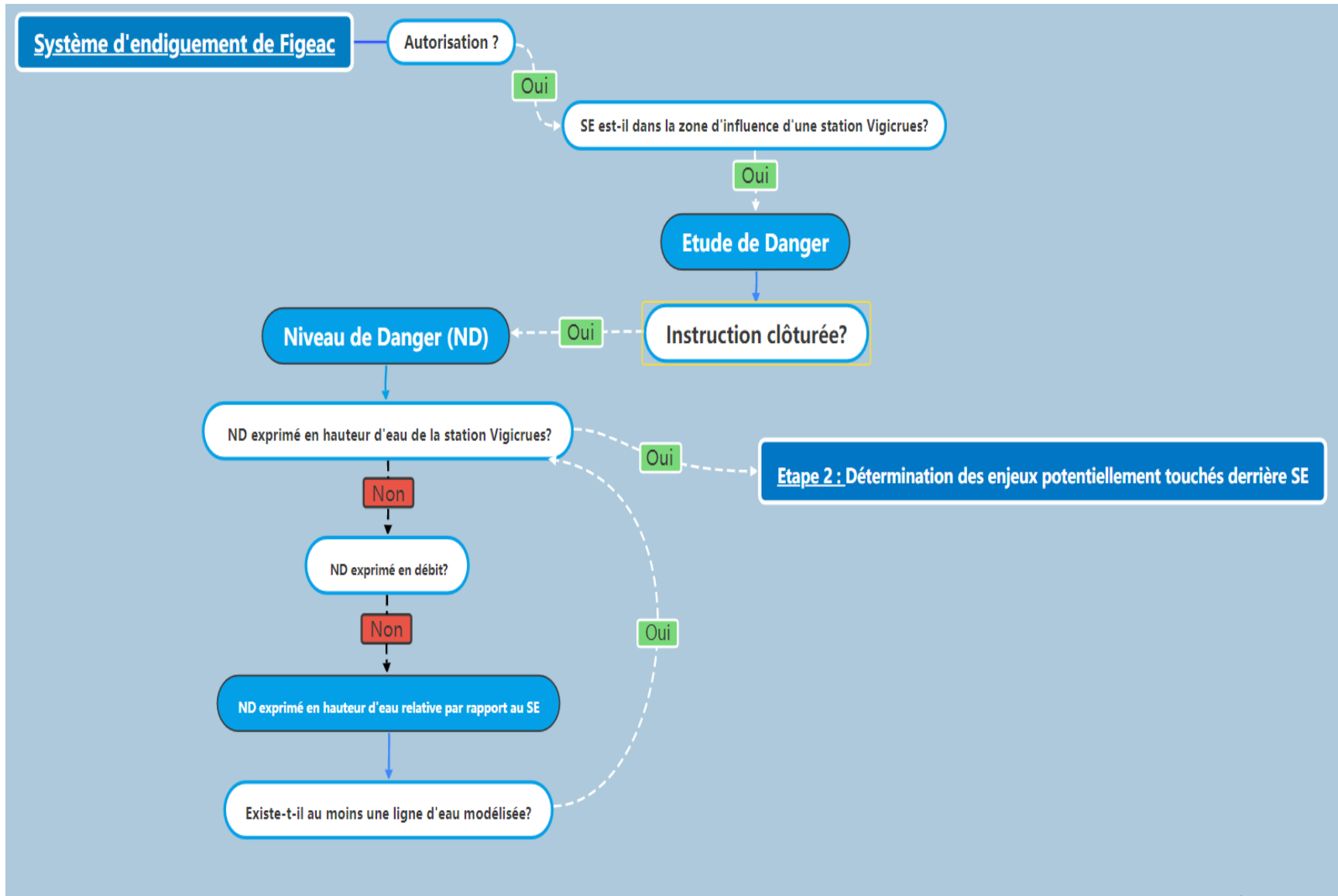
Annexe 3 : Procédure pour établir la correspondance entre hauteur de crête d'un ouvrage avec hauteur à l'échelle limnimétrique

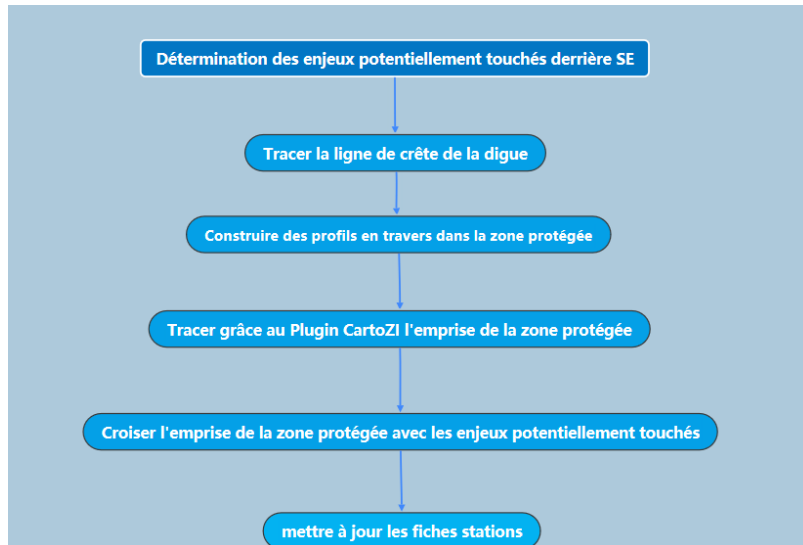
Annexe 4 : Fonctionnement du Plugin CartoZI

Annexe 1 : Organigramme de la DREAL Occitanie



Annexe 2 : Application du logigramme au système d'endiguement de Figeac





H (m)	Q (m ³ /s)	(mois année : H en m – débit de pointe en m ³ /s)	(H - Commune : impact)
4,65		4,65m : Septembre 1843 (PHEC)	4,65 m - Plus Hautes Eaux Connues du Célé (Cruée du 10 septembre 1843)
4,30		4,30m : 14 décembre 1906 (cruée référence PPR)	4,30 m - Figeac : cruée de référence dans le PPR i « Célé amont » : 14/12/1906 ZAC de Laffararyrie inondée (23 bâtiments dont l'usine LPE) potentiellement 2400 personnes
3,95		3,95m : Janvier 1912	3 000 personnes concernées sur Figeac
3,75		3,75m : Janvier 1952	
3,70		3,70m : Mars 1912	
3,65		3,65m	3,65 m: Digue de Sainte-Claire surverse
3,60		3,61m : 05 décembre 2003 (REX)	3,60 m - Figeac : L'eau surverse dans le centre ville historique par la rue Traversière
3,40		3,40m : 12 décembre 1944	
3,15		3,16m : 07 février 1974	3,15 m - Entre Figeac et Boussac : Rive droite toute la plaine est inondée jusqu'au remblai de la R.D.n°41 (proximité de l'usine Ratier) et Rive gauche jusqu'à l'encaissant HGM.
3,00		2,95m : 14 décembre 1981	
2,93		2,93m : 20 janvier 2018 (REX)	3,00 m - Figeac : le pont Gambetta interdit à la circulation (pont en charge) + commune coupée en 2 (liaison RD/RG possible uniquement par le pont du Pin)
2,90		2,90m : 01 janvier 1994	
2,70		2,64m : 23 janvier 2009	
2,50		Entre 2,50m et 2,70m	2,70 m - Figeac : Début de l'inondation de la ville - Surverse par dessus les murs des quais de l'avenue Foch au niveau de la station SPC. - Entre Figeac et Bagnac : R.N. 122 coupée à 3 endroits. - Figeac : R.N. 122 (route d'Aurillac) coupée 2,50 m - Figeac : Zone commerciale inondée + rues passantes du centre-ville
2,25			2,25 m - Figeac : l'eau atteint les quais du centre ville
2,20			2,20 m - Figeac : Inondation installations techniques de l'hôpital touchées + Rues passantes
2,10			2,10 m - Plusieurs rues longeant le Célé commencent à être inondées - Les lotissements commencent à être touchés : jardins du Moulin de Laporte (aval RD) et avenue Jean Jaurès (RG) - Tennis de la prairie des Pratges (centre RG) Inondation des rues du centre ville par refoulement du réseau pluvial - Caves des bas quartiers inondées
1,70		2,08m : 14 décembre 2019	1,70 m - Figeac : Activation cellule de crise municipale. - R.D.n° 662 (route de Montauban) coupée Digue de Paricou surverse : 2 habitations dont 1 femme
1,40		Entre 1,40m et 2,10m	1,40 m : Figeac : début de l'inondation sur le bord du Célé (plusieurs rues) - Information des habitants de plusieurs lotissements et du quartier Ceint-d'eau, des commerçants de la zone commerciale et de l'usine Ratier pour la mise en place du POI (plan d'organisation interne)
1,10			1,30 m - Début de submersion du camping de Figeac
0,90			1,10 m - Aval Figeac : - R.D.n° 21 (aval moulin de Redondet) Début d'inondation - RD n° 93 : Ceint d'eau (Pont de Merlançon) Début d'inondation - RD n° 48 : Boussac Début d'inondation 0,90 m RD n° 18 Moulin de Bédier Début d'inondation
0,80			0,80 m Barrières sur RD18, RD21, RD93, RD48 (aval Figeac) si risque de crue
<0,20			Seuil d'appel prévisionniste
			Zéro échelle : 191,25 m N.G.F.
			Basses eaux

Annexe 3 : Procédure pour établir la correspondance entre hauteur de crête d'un ouvrage avec hauteur à l'échelle limnimétrique



4.c Établir la correspondance entre hauteur de crête de l'ouvrage avec une hauteur d'eau à l'échelle

Repérer le point bas de la digue

G3							=SE\$3-(SE\$3-SD\$3)								
Digue			Ligne d'eau				Digue			Ligne d'eau					
pk	Z digue	pk	Pk	Q100		a		pk	Z digue	pk	Pk	Q100	a	b	
3	20,5	193,0200043	20,5	20,5	191,66965	-1,09		3	20,5	193,0200043	20,5	20,5	191,66965	-1,09	214,01465
4	20,50126135	192,8800049		20,50126135				4	20,50126135	192,8800049		20,50126135			
5	20,5025227	192,8500061		20,5025227				5	20,5025227	192,8500061		20,5025227			
6	20,50378405	192,8000031		20,50378405				6	20,50378405	192,8000031		20,50378405			
7	20,5050454	192,8500061		20,5050454				7	20,5050454	192,8500061		20,5050454			
8	20,50630675	192,7700043		20,50630675				8	20,50630675	192,7700043		20,50630675			
9	20,5075681	192,9199982		20,5075681				9	20,5075681	192,9199982		20,5075681			
10	20,50882945	192,8399963		20,50882945				10	20,50882945	192,8399963		20,50882945			
11	20,5100908	192,75		20,5100908				11	20,5100908	192,75		20,5100908			
12	20,51135215	192,8999939		20,51135215				12	20,51135215	192,8999939		20,51135215			
13	20,5126135	193,0099945		20,5126135				13	20,5126135	193,0099945		20,5126135			
14	20,51387485	192,8800049		20,51387485				14	20,51387485	192,8800049		20,51387485			
15	20,5151362	192,8600006		20,5151362				15	20,5151362	192,8600006		20,5151362			
16	20,51639755	192,8899994		20,51639755				16	20,51639755	192,8899994		20,51639755			
17	20,51765889	192,9100037		20,51765889				17	20,51765889	192,9100037		20,51765889			
18	20,51892024	192,9400024		20,51892024				18	20,51892024	192,9400024		20,51892024			
19	20,52018159	193,0599976		20,52018159				19	20,52018159	193,0599976		20,52018159			
20	20,52144294	192,9700012		20,52144294				20	20,52144294	192,9700012		20,52144294			
21	20,52283739	192,8999939		20,52283739				21	20,52283739	192,8999939		20,52283739			
22	20,52423185	192,9299927		20,52423185				22	20,52423185	192,9299927		20,52423185			
23	20,5256263	192,9499969		20,5256263				23	20,5256263	192,9499969		20,5256263			
24	20,52702075	192,9799957		20,52702075				24	20,52702075	192,9799957		20,52702075			
25	20,5284152	192,9400024		20,5284152				25	20,5284152	192,9400024		20,5284152			
26	20,52980965	192,9499969		20,52980965				26	20,52980965	192,9499969		20,52980965			
27	20,53111068	192,9499969		20,53111068				27	20,53111068	192,9499969		20,53111068			
28	20,53241172	192,9600067		20,53241172				28	20,53241172	192,9600067		20,53241172			
29	20,53371275	192,9100037		20,53371275				29	20,53371275	192,9100037		20,53371275			
30	20,53501379	192,7899933		20,53501379				30	20,53501379	192,7899933		20,53501379			
31	20,53631482	192,8699951		20,53631482				31	20,53631482	192,8699951		20,53631482			
32	20,53761586	192,8899994		20,53761586				32	20,53761586	192,8899994		20,53761586			
33	20,53891689	192,8999939		20,53891689				33	20,53891689	192,8999939		20,53891689			
34	20,54021792	192,75		20,54021792				34	20,54021792	192,75		20,54021792			
35	20,54151896	192,8500061		20,54151896				35	20,54151896	192,8500061		20,54151896			
36	20,54281999	192,8099976		20,54281999				36	20,54281999	192,8099976		20,54281999			
37	20,54412103	192,8200073		20,54412103				37	20,54412103	192,8200073		20,54412103			
38	20,54542206	192,8300018		20,54542206				38	20,54542206	192,8300018		20,54542206			
39	20,5467231	192,8099976		20,5467231				39	20,5467231	192,8099976		20,5467231			
40	20,54802413	192,6600037		20,54802413				40	20,54802413	192,6600037		20,54802413			
41	20,54932517	192,6699982		20,54932517				41	20,54932517	192,6699982		20,54932517			
42	20,5506262	192,6399994		20,5506262				42	20,5506262	192,6399994		20,5506262			
43	20,55192723	192,6799927		20,55192723				43	20,55192723	192,6799927		20,55192723			
44	20,55322827	192,6300049		20,55322827				44	20,55322827	192,6300049		20,55322827			
45	20,5545293	192,6600037		20,5545293				45	20,5545293	192,6600037		20,5545293			

4.c Établir la correspondance entre hauteur de crête de l'ouvrage avec une hauteur d'eau à l'échelle

Établir la correspondance hauteur digue/hauteur station

H10 fx Σ = =E5+K4											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		FIGEAC									
2											
3	<u>Pk SCE (km)</u>	<u>Date</u>	<u>Période de retour</u>	<u>Cote en mNGF</u>	<u>hauteur à l'échelle</u>			<u>Pk</u>	<u>Digue</u>	<u>Ligne d'eau Q100</u>	<u>delta</u>
4	17,9		0	191,25	0			21,165445578	190,3500061	190,946226969586	-0,59622087
5	17,9	- Septembre 1843	<u>Q100</u>	195,9	4,65						
6											
7											
8											
9											
10								Niveau de crête à l'échelle de la station	4,0537791339		
11								Niveau de crête NGF à la station	195,30377913		
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											

Annexe 4 : Fonctionnement du Plugin CartoZI

