

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau
Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et
l'Agriculture (Irstea), Centre Lyon-Villeurbanne

Mémoire de Master en Hydraulique

**ANALYSE DES COURBES (INTENSITE-DUREE-FREQUENCE-
SURFACE) CONSTRUITES A PARTIR DES DONNEES RADAR ET DES
CHRONIQUES DE CHAMPS DE PLUIE SIMULEES-APPLICATION AU
BASSIN VERSANT DE L'YZERON FRANCE.**

Nour El Houda CHARFAOUI

Proposé par Dr. Christine POULARD Docteur Irstea

Présenté et soutenu publiquement le 15/10/2017

Composition du jury :

Président	Dr. Saadia BENMAMAR	Professeur	ENP
Promoteur	M. Salim BENZIADA	Maitre-assistant	ENP
Examineur	M. Khaled KOUIDER	Maitre-Assistant	USTHB

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau
Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et
l'Agriculture (Irstea), Centre Lyon-Villeurbanne

Mémoire de Master en Hydraulique

**ANALYSE DES COURBES (INTENSITE-DUREE-FREQUENCE-
SURFACE) CONSTRUITES A PARTIR DES DONNEES RADAR ET DES
CHRONIQUES DE CHAMPS DE PLUIE SIMULEES-APPLICATION AU
BASSIN VERSANT DE L'YZERON FRANCE.**

Nour El Houda CHARFAOUI

Proposé par Dr. Christine POULARD Docteur Irstea

Présenté et soutenu publiquement le 27/09/2017

Composition du jury :

Président	Dr. Saadia BENMAMAR	Professeur	ENP
Promoteur	M. Salim BENZIADA	Maitre-assistant	ENP
Examineur	M. Khaled KOUIDER	Maitre-Assistant	USTHB

ENP 2017

Remerciement

J'adresse mes remerciements à toutes personnes qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.....

ملخص

من أجل الحد من المخاطر الناجمة عن الفيضانات قدر الإمكان، نختار بناء ما هو معروف من قبل التمثيل التخطيطي للمخاطر، والتي نحن مهتمون في هذا العمل في منطقة يزرون. من خلال بناء منحنيات كثافة-المدة-التردد-السطح (IdF_S)، باستخدام بيانات الرادار التي أدلى بها (إيكوكو صافي. أ، 2017) وحقول هطول الأمطار المزمن محاكاة (شرفاوي ن.ه) باستخدام مبرمج محاكاة (سامبو)، ثم الحصول على ضبط هذه الكميات بواسطة القوانين الإحصائية الملائمة، ونحو النهاية نقارن بين النتائج اثنين المستمدة من البيانات المذكورة أعلاه من أجل استنتاج و تحديد الأداة والبيانات التي تعتبر أكثر دقة و كفاءة لإنشاء تمثيل لهذه الخرائط.

الكلمات المفتاحية: هطول الأمطار، الرادار، المحاكاة.

Abstract

In order to reduce the floods risks as much as possible, we perform what is known by hazards cartographic representation, whose we are interested in this work in Yzeron area. By constructing the Intensity-Duration-Frequency-Surface (IdF_S) curves, using radar data which is a process made by (Ekoko Safi. A, 2017) and chronic simulated rainfall fields using a simulator (SAMPO), (CHARFAOUI.NH, 2017). Thus obtaining the quantiles of rain by adjustment with statistical laws, and at the end we compare between the two results derived from the data cited above in order to conclude what is the most accurate data that better serves to construct these hazard maps.

Key words : precipitation, radar, quantile, simulator.

Résumé

Dans le but de réduire les risques dus aux inondations le maximum que possible, on opte à construire ce qui est connu par la représentation cartographique des aléas, dont on s'intéresse dans ce travail à la région de l'Yzeron. En construisant des courbes Intensité-durée-Fréquence-Surface (IdF_S), par le biais des données radar travail fait par (Ekoko Safi. A, 2017) et de chroniques de champs de pluies simulés à l'aide d'un simulateur (SAMPO) (CHARFAOUI. NH, 2017), ensuite l'obtention des quantiles de pluie par ajustement à des lois statistiques, et vers la fin on compare entre les deux résultats issus à base des données précédemment citées, afin de conclure quelle est la donnée la plus précise qui sert mieux à établir ces cartes d'aléas.

Mots Clés : précipitation, radar, quantile, simulateur.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Lexique	
Introduction générale.....	9
Chapitre 1 : Contexte de l'étude et éléments de littérature	9
1.1. Introduction	11
1.2. Définition de précipitation.....	11
1.2.1. Types de précipitations.....	11
1.3. Les moyens de mesures des précipitations	12
1.3.1. Les mesures directes au sol	13
1.3.2. Les mesures indirectes	14
1.4. Définition d'inondation	15
1.4.1. Types d'inondations	15
1.5. Conclusion.....	16
Chapitre 2 : Présentation et Caractéristiques du bassin versant choisi pour nos tests d'études	11
2.1. Introduction	18
2.2. Critères du choix de ce bassin versant.....	18
2.3. Localisation	18
2.4. Occupation du sol.....	20
2.5. Géomorphologie, climat et hydrologie.....	21
2.6. Historique des crues sur le bassin versant Yzeron	21
2.7. Aménagement du bassin pour la prévention des inondations et la protection des milieux aquatiques.....	22
2.8. Conclusion.....	23
Chapitre3 : résultats des analyses des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface) réalisées a partir des données radar et des chroniques de champs de pluie.	25
3.1. Introduction	25
3.2. Construction de courbes IdF_S à partir des champs de pluie simulés.....	25
3.3. Construction de courbes IdF_S à partir des données radar.	27
3.4. Comparaison des résultats	31
3.5. Conclusion.....	31
Conclusion générale	32
Références bibliographiques.....	33

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Yzeron (SAGYRC, 2016)	19
Figure 2 : les 4 sous bassins versants de l'Yzeron (SAGYRC, 2016).....	20
Figure 3 : l'occupation de sols de bassin versant Yzeron (SAGYRC, 2016).....	21
Figure 4 : Disposition des aménagements effectués et prévus sur le bassin versant de l'Yzeron (<i>Lutte contre les inondations, SAGYRC</i>).	23
Figure 5 : Echantillons des max annuels sur un seul pas de temps (30 min) avec des tailles de blocs croissantes ; sélection de résultats de 1x1 à 57x57, avec code couleur des types de temps	26
Figure 6 : Illustration l'ordre croissant des échantillons des maxima annuels de pluie moyennés sur une cellule pour différents types de pluie en fonction de leurs fréquences.....	27
Figure 7 : <i>Carte de la mosaïque de lame d'eau radar en format geotiff (source : SCHAPI)</i>	29
Figure 8 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron (pixel 1) - pas de temps 1 h	29
Figure 9 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron (pixel 2) - pas de temps 30 min	30
Figure 10 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron - pas de temps 1 h	30

Liste des Tableaux

Tableau 1: débits de pointes lors des récentes crues (source HYDRATEC).....	22
Tableau 2 : Etapes de construction des courbes IdF_S à base de longues chroniques de champs d'intensité de pluie.	26
Tableau 3: Etapes de construction des courbes IdF_S à base des données radar.	28

Lexique

- (1) **Bassin versant** : le bassin versant est la surface de collecte d'un exutoire, situé sur le réseau hydrographique. Son paramètre le plus important pour notre étude sera sa surface ; les autres caractéristiques qui influent sur la genèse et le transfert du débit son sa forme (compacité), ses pentes, la nature et la profondeur des sols...
- (2) **Cours d'eau** : On désigne par cours d'eau tout écoulement terrestre d'eau liquide entre une source et une embouchure avec un débit à module supérieur à zéro. Ce flux d'eau est souvent continu mais il peut être temporaire sur une assez longue durée. Le lieu de cet écoulement est un chenal, généralement naturel. S'il est artificiel, on emploie plutôt le terme « canal ».
- (3) **Lit mineur** : Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau c'est-à-dire l'endroit habituel où se fait l'écoulement. , pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).
- (4) **Lit majeur** : Le lit majeur d'un cours d'eau est la zone d'expansion de ses crues il s'agit donc d'une zone ponctuellement inondable où l'installation d'activités humaines et d'infrastructures est soumise à un risque naturel.
- (5) **Lit moyen** : le lit moyen est l'espace occupé par le cours d'eau lors de crues courantes, telles que les crues saisonnières
- (6) **Crue** : épisode de hautes eaux, en général défini par un seuil critique, avec ou sans inondations.
- (7) **Fréquence F** : Grandeur liée à un phénomène périodique, qui mesure le nombre de fois où ce phénomène se reproduit dans un intervalle donné.
- (8) **Intensité de pluie** : Intensité est la hauteur d'eau précipitée (mm) par unité de temps on l'exprime en général en (mm/h).
- (9) **Lame d'eau** : La lame d'eau est une mesure d'écoulement des précipitations atmosphériques au sein du bassin versant d'un cours d'eau.
- (10) **Chronique** : Données organisées en série chronologique.
- (11) **Précipitation** : Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans une atmosphère et il peut s'agir de solides ou de liquides selon la composition et la température de cette dernière
- (12) **Pluviographe** : Instrument qui enregistre l'évolution dans le temps de la quantité d'eau de pluie tombée. Il permet de déterminer l'intensité des épisodes pluvieux.

- (13) **Pluviomètre** : Instrument qui mesure la quantité d'eau de pluie tombée.
Le pluviomètre est généralement relevé une fois par jour
- (14) **Radar météo** : Un radar météo est un type de radar utilisé en météorologie pour repérer les précipitations, calculer leur déplacement et déterminer leur type
- (15) **Temps de concentration T_c** ¹ : Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer T_c en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).
- (16) **Période de retour T** : a période de retour, ou temps de retour, caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée
- (17) **Quantiles** : En statistiques et en théorie des probabilités, les quantiles sont les valeurs qui divisent un jeu de données en intervalles contenant le même nombre de données. Il y a donc un quantile de moins que le nombre de groupes créés.
- (18) **Ruissellement** : Le ruissellement, en hydrologie, est le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Il s'oppose au phénomène d'infiltration. Ce phénomène se produit quand l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration et la capacité de rétention de la surface du sol.
- (19) **Statistique** : La statistique est l'étude de la collecte de données, leur analyse, leur traitement, l'interprétation des résultats et leur présentation afin de rendre les données compréhensibles par tous. C'est à la fois une science, une méthode et un ensemble de techniques.
- (20) **Interpolation spatiale** : Estimation de valeurs entre des points de valeurs connues.
- (21) **Probabilité** : La probabilité d'un événement est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus ce nombre est grand, plus le risque, ou la chance, que l'événement se produise est grand.
- (22) **Cartographie** : La cartographie désigne la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace généralement tenu pour réel. L'objectif de la carte, c'est une représentation concise et efficace, la simplification de phénomènes complexes

¹ <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre11/chapitre11.html>

Introduction générale

Depuis la fin des années 90, le bassin versant de l'Yzeron a été confronté à des crues, dont la plus importante a eu lieu en 2003. Ces inondations ont provoqué ces 20 dernières années près de 85 M€ de dégâts (SAGYRC).

Afin de limiter les conséquences dues à cet aléa, une représentation cartographique des aléas liés aux inondations intenses pour la région de l'Yzeron a été réalisée en 2016 par l'Irstea. Habituellement ces cartes d'aléa sont obtenues par une modélisation hydraulique qui prend en entrée un événement représentatif d'une période de retour donnée, on réalise une simulation sur un tronçon, qui va donner l'extension de la zone inondée pour cette période de retour.

Le problème hydrologique est de construire cet événement dit « de projet » (pluie de projet, crue de projet). La donnée de base de l'étude hydrologique est la pluie, nous distinguons plusieurs sources de cette donnée (mesures sur terrain, radar météorologique et un simulateur de pluie SAMPO développé à l'Irstea qui génère de longues chroniques de champs de pluies), pour mettre en évidence la variabilité de ces moyens de mesure des précipitations et leurs impacts sur la fiabilité des données. Nous proposerons dans ce rapport de master une Analyse des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface) construites à partir des données radar (un stage effectué en 2017 par Angel Ekoko Safi) et des données de chroniques de champs de pluie simulées (un stage effectué par moi-même en parallèle 2017) sur la région de l'Yzeron, ces données sont ajustées par des lois statistiques pour déduire les quantiles de pluie.

Ce travail est organisé en trois chapitres précédés d'un lexique permettant la compréhension du rapport.

Le premier chapitre définira le contexte de l'étude et éléments de littérature en présentant les précipitations, leurs différents moyens de mesures et une définition de l'inondation.

Le deuxième chapitre présentera, le bassin versant de l'Yzeron en citant toutes ses caractéristiques (localisation, occupation du sol, etc.).

Le troisième chapitre exposera les résultats des analyses des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface) réalisées dans les deux cadres de stage.

Chapitre 1

Contexte de l'étude et éléments de littérature

Chapitre 1 : Contexte de l'étude et éléments de littérature

1.1. Introduction

Lors de fortes précipitations, il peut arriver que le cours d'eau sorte de son lit-(on dit qu'il déborde)- et provoque l'inondation des terres avoisinantes. Le cours d'eau qui s'écoule normalement dans son lit mineur se répand dans la plaine d'inondation et occupe une partie du lit majeur. Plus la durée de l'inondation est longue et plus les dégâts risquent d'être importants (risques.meteo.edu), comme La France est située à 45° nord donc elle est soumise aux influences maritimes de l'Atlantique qui apportent des précipitations.

1.2. Définition de précipitation

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique «entrée» des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants². Les précipitations constituent l'unique «entrée» des principaux systèmes hydrologique des bassins versants.

1.2.1. Types de précipitations

Il existe différents types de précipitations : les précipitations convectives, les précipitations orographiques et les précipitations frontales³:

- **Les précipitations convectives**

Elles résultent d'une ascension rapide des masses d'air dans l'atmosphère. Elles sont associées aux cumulus et cumulo-nimbus, à développement vertical important, et sont donc générées par le processus de Bergeron⁴. Les précipitations résultantes de ce processus sont en général orageuses, de courte durée (moins d'une heure), de forte intensité et de faible extension spatiale.

² <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/chapitre3.html> (consulté le 18/06/2017)

³ <http://www.meteo45.com/precipitations.html> (consulté le 18/06/2017)

⁴ L'effet Bergeron désigne le transfert continu de vapeur d'eau depuis les gouttelettes en surfusion vers les cristaux de glace.

- **Les précipitations orographiques**

Ce type de précipitations résulte de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique particulière. Par conséquent, ce type de précipitations n'est pas « spatialement mobile » et se produit souvent au niveau des massifs montagneux. Les caractéristiques des précipitations orographiques dépendent de l'altitude, de la pente et de son orientation, mais aussi de la distance séparant l'origine de la masse d'air chaud du lieu de soulèvement. En général, elles présentent une intensité et une fréquence assez régulières.

- **Les précipitations frontales ou de type cyclonique**

Elles sont associées aux surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents, que l'on nomme « fronts ». Les fronts froids (une masse d'air froide pénètre dans une région chaude) créent des précipitations brèves, peu étendues et intenses. Du fait d'une faible pente du front, les fronts chauds (une masse d'air chaude pénètre dans une région occupée par une masse d'air plus froide) génèrent des précipitations longues, étendues, mais peu intenses.

1.3. Les moyens de mesures des précipitations

Si l'on veut estimer la quantité d'eau qui, au cours d'une chute de pluie, a réellement atteint le sol en un endroit déterminé et pendant un intervalle de temps donné, on doit donc mesurer en réalité l'épaisseur ou la hauteur d'eau qui aurait recouvert la surface du sol en cet endroit, pendant cet intervalle de temps si toutes les précipitations reçues par celle-ci s'y trouvaient immobilisées⁵.

Sa mesure correcte est relativement délicate car :

- Quel que soit son type, un pluviomètre crée une perturbation aérodynamique qui modifie plus ou moins le champ des précipitations;
- Il existe peu de sites à la fois suffisamment abrités pour réduire au minimum les perturbations aérodynamiques, et pourtant assez dégagés pour fournir un échantillon typique valable pour la région, quelle que soit la direction du vent et la perturbation pluvieuse;
- Une mesure de pluie ne peut jamais être répétée et rarement (et encore approximativement) doublée;

⁵ <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html>

- L'échantillon recueilli par le pluviomètre est toujours infime par rapport à l'ensemble de la pluie qu'il est supposé représenter sur une zone toujours trop étendue; il est d'autant moins représentatif que la pluie sur la zone considérée est hétérogène.

Toutefois pour permettre des observations précises et surtout comparables entre elles, il est indispensable d'utiliser des pluviomètres normalisés, au moins à l'échelle d'une vaste région ou d'un État.

1.3.1. Les mesures directes au sol

Le pluviomètre

Le pluviomètre est l'instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la pluie globale précipitée dans l'intervalle de temps séparant deux relevés. Le pluviomètre est généralement relevé une fois par jour. La hauteur de pluie lue le jour(j) est attribuée au jour ($j-1$) et constitue sa "pluie journalière" ou "pluie en 24 heures". Si la station pluviométrique est éloignée ou difficile d'accès, il est recommandé de recourir au pluviomètre totalisateur. Cet appareil reçoit les précipitations sur une longue période et la lecture se fait par mesure de la hauteur d'eau recueillie ou par pesée. En cas de neige ou de grêle on procède à une fusion avant mesure.

Un pluviomètre se compose d'une bague à arête chanfreinée, l'orifice qui surmonte un entonnoir conduisant au récepteur (seau). Pour uniformiser les méthodes et minimiser les erreurs, chaque pays a dû fixer les dimensions des appareils et les conditions d'installation. Chaque pays a pourtant son type de pluviomètre, dont les caractéristiques sont toutefois peu différentes. En France, c'est le type SPIEA qui est utilisé (surface réceptrice de 400 cm²);

La quantité d'eau recueillie est mesurée à l'aide d'une éprouvette graduée. Le choix du site du pluviomètre est très important. Les normes standards sont basées sur le principe qu'un site est représentatif et caractérisé par l'absence d'obstacles à proximité.

Le pluviographe

Se distingue du pluviomètre en ce sens que la précipitation, au lieu de s'écouler directement dans un récipient collecteur, passe d'abord dans un dispositif particulier (réservoir à flotteur, augets, etc.) qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de précipitation. L'enregistrement est permanent et continu, et permet de déterminer non seulement la hauteur de précipitation, mais aussi sa répartition dans le temps donc son intensité. Les pluviographes fournissent des diagrammes de hauteurs de précipitations cumulées en fonction du temps.

Il en existe deux types principaux utilisés en Europe :

- Le pluviographe à siphon

L'accumulation de la pluie dans un réservoir cylindrique est enregistrée par l'élévation d'un flotteur. Lorsque le cylindre est plein, un siphon s'amorce et le vide rapidement. Les mouvements du flotteur sont enregistrés par un tambour rotatif à vitesse constante, entouré d'un papier, et déterminent le tracé du pluviogramme.

- Le pluviographe à augets basculeurs

Cet appareil comporte, en dessous de son entonnoir de collecte de l'eau, une pièce pivotante dont les deux compartiments peuvent recevoir l'eau tour à tour (augets basculeurs). Quand un poids d'eau déterminé (correspondant en général à 0,1 ou 0,2 mm de pluie) s'est accumulé dans un des compartiments, la bascule change de position : le premier auget se vide et le deuxième commence à se remplir. Les basculements sont comptés soit mécaniquement avec enregistrement sur papier enroulé autour d'un tambour rotatif, soit électriquement par comptage d'impulsions (par exemple système MADD) : appareil permettant l'acquisition d'événements en temps réel, développé par l'HYDRAM en 1983. Les pluviographes à augets basculeurs sont actuellement les plus précis et les plus utilisés.

1.3.2. Les mesures indirectes

Le radar météo

(Radio Detection And Ranging) est devenu un instrument d'investigation et de mesure indispensable en physique de l'atmosphère. La mesure des précipitations est rendue possible par la forte influence que les hydrométéores exercent sur la propagation des ondes électromagnétiques de faible longueur d'onde. Le radar permet ainsi de localiser et de suivre le déplacement des nuages. Certains radars peuvent estimer l'intensité de la précipitation, avec cependant quelques difficultés dues à la calibration.

L'avantage essentiel du radar, par rapport à un réseau classique de pluviographes, réside dans sa capacité d'acquérir, depuis un seul point, de l'information sur l'état des systèmes précipitant intéressant une vaste région ($> 10^5 \text{km}^2$). La portée d'un radar oscille entre 200 et 300 km.

De nombreuses sources d'erreur affectent toutefois la qualité des estimations de précipitation par radar. Un des points sensibles est la nécessité de trouver une relation moyenne pour la transformation des réflectivités des cibles en intensité des précipitations. Malgré l'incertitude des résultats, le radar est un des seuls instruments permettant la mesure en temps réel sur l'ensemble d'un bassin versant et il est, par conséquent, très utile pour la prévision en temps réel. Il permet une bonne représentation des phénomènes dans un rayon d'environ 100 km.

1.4. Définition d'inondation

Les inondations se produisent lors de pluies exceptionnelles, d'orages violents, quand la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols ou des réseaux de drainage est insuffisante. Elle se traduit en une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau.

L'inondation est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où il se manifesterá. La prévention des risques et la protection des populations sont nécessaires afin de protéger la population, les biens et l'environnement⁶.

1.4.1. Types d'inondations

On distingue trois types d'inondation:

La montée lente des eaux en région de plaine

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : on parle d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines (MEDD⁷).

La formation rapide de crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énorme vague pouvant être mortelle (MEDD).

⁶ https://fr.wikidid.org/wiki/Cours_d%27eau (consulté le 21/06/2017)

⁷ Ministère de l'Écologie et du Développement durable : <http://www.prim.net/>

Le ruissellement pluvial

L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues (MEDD).

1.5. Conclusion

Les données de précipitation obtenues par les mesures sont le premier outil de base pour effectuer convenablement une étude hydrologique, la progression en termes de moyens de mesure à travers le temps nous a permis de passer de la mesure ponctuelle à l'aide des pluviomètres et pluviographes à un réseau plus large avec des radars météorologiques, afin de suivre les variabilités des précipitations et surtout des cas extrêmes qui font l'objet de cette étude.

Chapitre 2

*Présentation et Caractéristiques du bassin versant choisi pour nos tests
d'études*

Chapitre 2 : Présentation et Caractéristiques du bassin versant choisi pour nos tests d'études

2.1. Introduction

Ce chapitre présente le bassin versant de l'Yzeron en précisant toutes ses caractéristiques (localisation, occupation du sol, etc.). C'est ce bassin qui nous permet de

Tester notre démarche. Un grand nombre d'informations de qualité y est disponible, et notamment les données d'un réseau de pluviomètres ayant permis caler le générateur de champs de pluie SAMPO. D'autres caractéristiques physiques de ce bassin versant manquent toutefois (bathymétrie des lits mineurs dans sa configuration actuelle...), mais cela n'empêche pas d'appliquer les méthodes dans cette phase de développement.

2.2. Critères du choix de ce bassin versant

- En 2016, le bassin versant de l'Yzeron a intégré le réseau des bassins versants, un réseau d'observatoires expérimentaux en hydrologie qui rassemble plusieurs organismes de recherche français et une quinzaine de bassins versants. L'Yzeron y fait figure de site pilote de par l'ensemble de ses caractéristiques : la densité de son réseau d'observation, sa composition urbaine et péri-urbaine, sa grande taille et un historique de données inégalé ;
- C'est un objet d'étude commun entre Irstea et le syndicat en charge de gestion de l'eau et des milieux aquatiques (SAGYRC⁸) ;
- De nombreuses données sont disponibles au niveau de l'unité de recherche ce qui aide à bien comprendre le fonctionnement de ce bassin versant et le modéliser ;
- Il a été touché par des fortes crues ces dernières années ;
- En particulier le simulateur de champs de pluies stochastiques a été calé sur ce bassin versant ;

2.3. Localisation

Le bassin versant de l'Yzeron est situé dans l'Ouest Lyonnais et s'étend sur 146,9 km². Le cours d'eau principal est l'Yzeron, qui prend sa source à Montromant dans les monts du lyonnais et se jette dans le Rhône au niveau d'Oullins. Cette rivière est composée de deux affluents principaux, le Charbonnières et le Ratier. Le point culminant du bassin se situe à 912m d'altitude et son exutoire à 162m, ce qui correspond à un dénivelé de 750m. La majorité des pentes du bassin sont de plus de 10 % (Mercier, 2016).

⁸ Syndicat d'Aménagement de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières



Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Yzeron (SAGYRC, 2016)

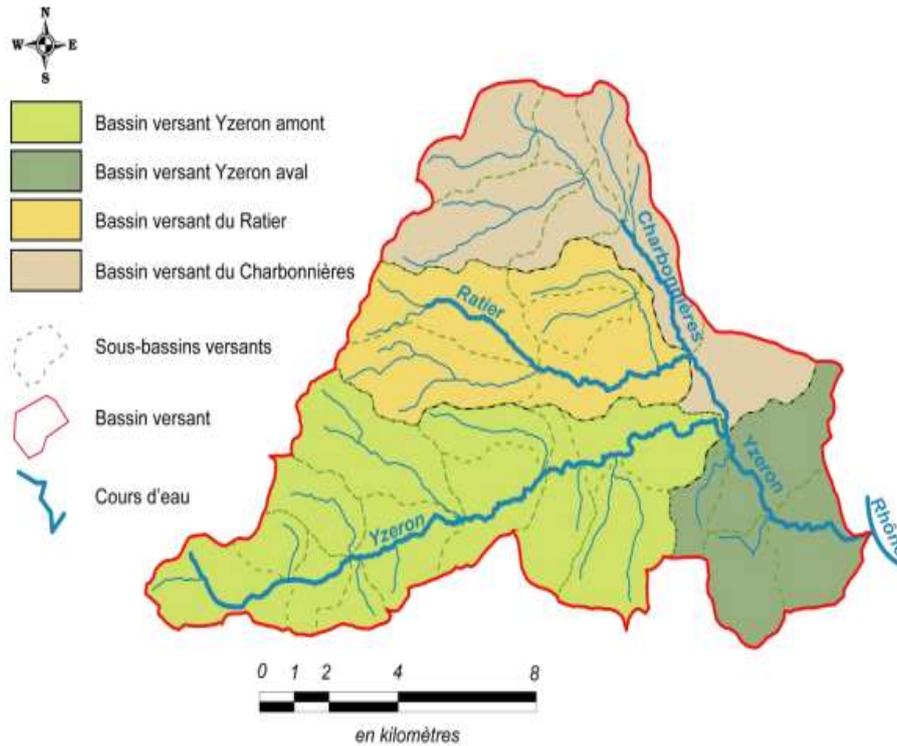


Figure 2 : les 4 sous bassins versants de l'Yzeron (SAGYRC, 2016)

2.4. Occupation du sol

Au 19ème siècle, le bassin était un bassin essentiellement rural avec une activité agricole importante. Puis dans les années 1900, la déprise agricole a commencé, engendrant la modification de l'occupation du sol : les cultures en prairie pour l'alimentation animale et des boisements. Aujourd'hui, l'étalement urbain notamment de l'agglomération lyonnaise a transformé le bassin agricole en bassin périurbain sur sa partie aval. La présence de zones artisanale et industrielle constitue de forts enjeux sur ce territoire. En revanche, sur la partie amont du bassin, l'agriculture reste présente et ainsi que quelques boisements sur les zones les plus abruptes (Mercier, 2016).

La population sur ce territoire est de 144 000 habitants dont 80 % vivant en zones urbaine et périurbaine (SAGYRC, le 19/07/16).

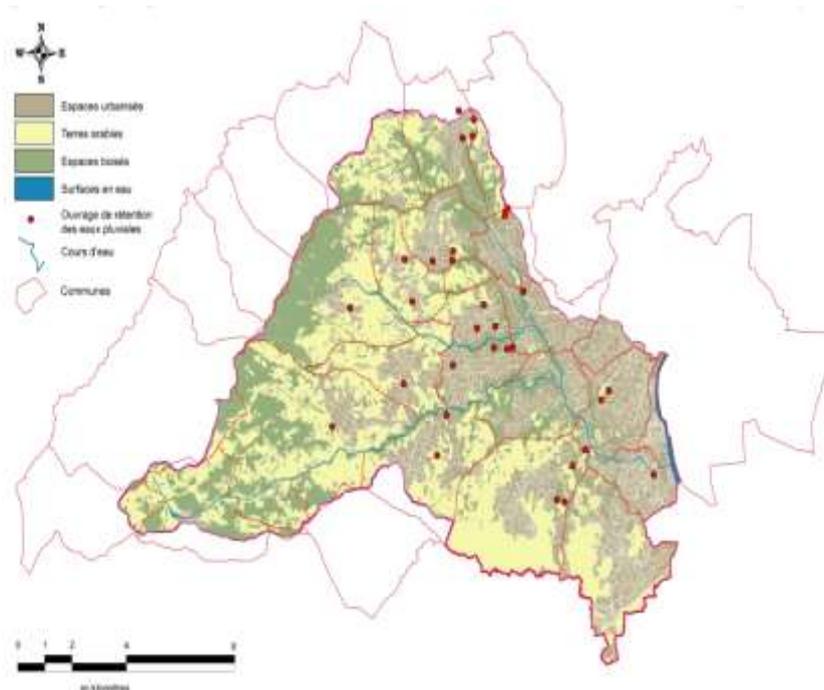


Figure 3 : l'occupation de sols de bassin versant Yzeron (SAGYRC, 2016)

2.5. Géomorphologie, climat et hydrologie

Le bassin de l'Yzeron possède une géologie dominée par des roches cristallines et métamorphiques (gneiss, granite et schiste), n'ayant pas de bonne capacité de rétention de l'eau (SAGYRC, le 19/07/16). De plus, la pédologie du bassin est composée essentiellement de limons, de sable et d'argile, ce qui caractérise un sol peu perméable et peu profond.

Ce territoire est influencé par deux types de climat, continental et méditerranéen. De forts étés secs sont observés en été et des crues courtes et intenses plutôt au printemps et en automne. En moyenne, 830 mm de précipitations tombent par an pour des températures moyennes annuelles variant entre 8° C (minimum) et 17° C (maximum) (Mercier, 2016).

Le temps de réponse du bassin est estimé entre 8 heures et 12 heures selon la littérature (Chocat, 1997 ; Braud et al, 2013 in Labbas, 2014).

Ce cours d'eau est donc « naturellement » favorable aux crues rapides, du fait de sa géomorphologie, de sa topographie et de son climat. En effet, c'est une zone de nombreuses fois touchée par les inondations, dont la dernière par débordement de cours d'eau qui remonte à 2003. Radojevic a énoncé une autre caractéristique du bassin qui pourrait influencer ces crues fréquentes et rapides, le développement de l'urbanisation (Braud et al, 2013).

2.6. Historique des crues sur le bassin versant Yzeron

Le bassin de l'Yzeron, situé en sud-ouest de Lyon, a été toujours touché par des crues rapides et violentes depuis les années 1990. La plus importante crue a eu lieu en décembre 2003 avec une période de retour supérieur à 50 ans en amont du bassin et de 20-30 ans en aval engendrant ainsi de nombreux dégâts.

Les débits de pointes atteints lors des crues récentes les plus significatives et enregistrées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Événement	Craponne (48 km ²)	Période de retour	Taffignon (129 km ²)	Période de retour
26 avril 1989	23,0 m ³ /s	10-20 ans	54,0 m ³ /s	5 ans
5 octobre 1993	-	-	85,0 m ³ /s	10-20 ans
2 décembre 2003	54,0 m ³ /s	> 50 ans	96,0 m ³ /s	20-30 ans
17 avril 2005	24,0 m ³ /s	10-20 ans	66,0 m ³ /s	10 ans
6-7 août 2007	20,0 m ³ /s	10-20 ans	26,0 m ³ /s	< 2 ans
2 novembre 2008	44,2 m ³ /s	> 30 ans	69,8 m ³ /s	Env 11 ans
6 février 2009	21,5 m ³ /s	10-20 ans	51,5 m ³ /s	5 ans
7-8 septembre 2010	19,3 m ³ /s	10-20 ans	41,9 m ³ /s	< 5 ans

Tableau 1: débits de pointes lors des récentes crues (source HYDRATEC)

Les trois plus fortes crues observées sur le bassin versant Yzeron, pour lesquelles des données fiables existent sur l'étendue des zones inondables, se sont produites en 2003, 2005 et 2008 :

- la crue de décembre 2003 est la plus importante inondation ayant eu lieu sur le bassin versant depuis la mise en service de la station de mesure de Taffignon (1988). Elle correspond à un grand épisode pluvieux homogène sur l'ensemble du bassin versant et a causé de nombreux dégâts ;
- la crue de 2005 est une crue printanière ayant principalement touché le bassin versant aval ;
- la crue de novembre 2008 est une crue automnale qui a été particulièrement violente sur le charbonnières, principal affluent de l'Yzeron ;

2.7. Aménagement du bassin pour la prévention des inondations et la protection des milieux aquatiques

Pour but de protéger les biens et les personnes pour un événement exceptionnel des projets d'aménagements ont été prévus sur le bassin versant Yzeron pour prévenir le risque inondation et diminuer la vulnérabilité du territoire aval, zone péri-urbaine avec de forts enjeux, de construire un ou deux barrages à pertuis ouvert sur l'Yzeron et son affluent le Charbonnières.

Des aménagements ont déjà été effectués sur l'Yzeron comme l'élargissement du lit mineur. Ces aménagements ont un double objectif : favoriser l'écoulement d'une crue de période de retour 30 ans et restaurer le fonctionnement naturel du cours d'eau notamment pour

Chapitre 3

*Résultats des analyses des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface)
réalisées à partir des données radar et des chroniques de champs de pluie.*

Chapitre3 : résultats des analyses des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface) réalisées à partir des données radar et des chroniques de champs de pluie.

3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous exposons une analyse des courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface), ces courbes ont été réalisées à partir de deux types de données. Des données radar et des chroniques de champs de pluie simulés par interpolation entre les pluviomètres déjà existant sur la région de l'Yzeron. L'importance des tailles de ces données et leurs complexités en termes de leur manipulation (accès, visualisation...) nous ont incités à développer des outils de traitement de différentes natures (géostatistique, statistique..), afin de construire ces courbes de quantiles de pluie pour plusieurs durées et surfaces.

3.2. Construction de courbes IdF_S à partir des champs de pluie simulés

Projet	Travail CHARFAOUI .N (2017)
Nature des données	Série chronologique de champs de pluie simulés par un modèle stochastique calé sur le réseau de pluviomètres, utilisation d'un simulateur de pluie (SAMPO)
Profondeur temporelle	Génération « à volonté » dans la limite du volume de données gérables (dans notre étude, 100 ans non zippés = 80 Go)
Domaine	Bassin versant de l'Yzeron (même régime climatique)
Réserves générales	Les « événements forts » sont générés par méthode géostatistique sur la base des observations disponibles
Pas de temps	Choisi par l'utilisateur et appliqué dès le processus de calage de SAMPO ; les pas de temps plus importants sont reconstitués par agrégation ; ici : 30 minutes
Pas d'espace	Choisi par l'utilisateur et appliqué dès processus de calage de SAMPO ; ici, 250x250 m. La résolution dépend de la qualité de l'information spatiale (réseau de pluviomètres) et du calage des variogrammes. Ensuite : agrégation spatiale correcte.
Volume de données	Dépend des choix des opérateurs : 100 ans de pluies stochastiques au pas de temps 30 min et sur des mailles 250x250 = 80 Go ⁹
OBJECTIFS	Développer des méthodes et un outil pour obtenir sur un bassin versant de régime pluviométrique homogène les courbes IdF_S (valables jusque T= 100 ans et plus si possible)

⁹ Gigaoctet

Traitements effectués	<p>1. Echantillonnage des maxima annuels d'intensités moyennes sur le domaine la Figure 5 : Pour un jeu de surfaces {S} et un jeu de durées {d} : jeu de « blocs 3D » [durée, Surface] ; <u>moyennes glissantes</u> (cependant plus le bloc a une surface importante plus il est contraint par les frontières du domaine).</p> <p>2. Ajustement de lois GEV indépendantes pour obtenir les quantiles $Imoy[durée, Surface](T)$.</p> <p>3. Obtention des courbes IdF_S à l'aide d'un outil statistique présenté dans la Figure 6 (Voir Mémoire CHARFAOUI, 2017)</p>
------------------------------	---

Tableau 2 : Etapes de construction des courbes IdF_S à base de longues chroniques de champs d'intensité de pluie.

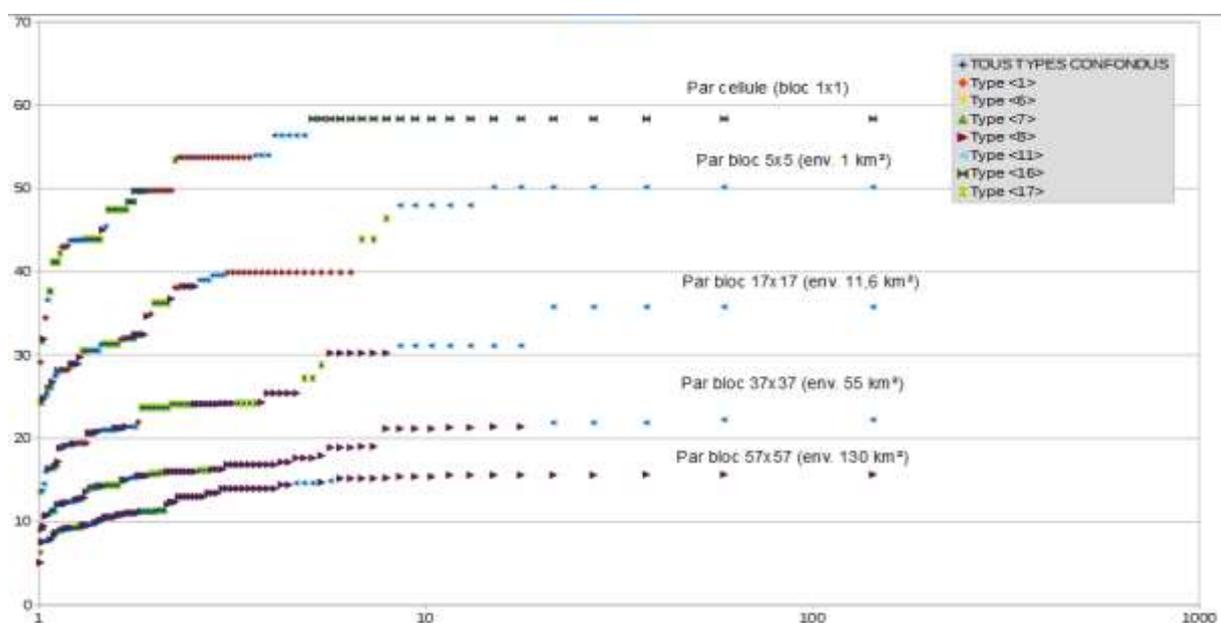


Figure 5 : Echantillons des max annuels sur un seul pas de temps (30 min) avec des tailles de blocs croissantes ; sélection de résultats de 1x1 à 57x57, avec code couleur des types de temps

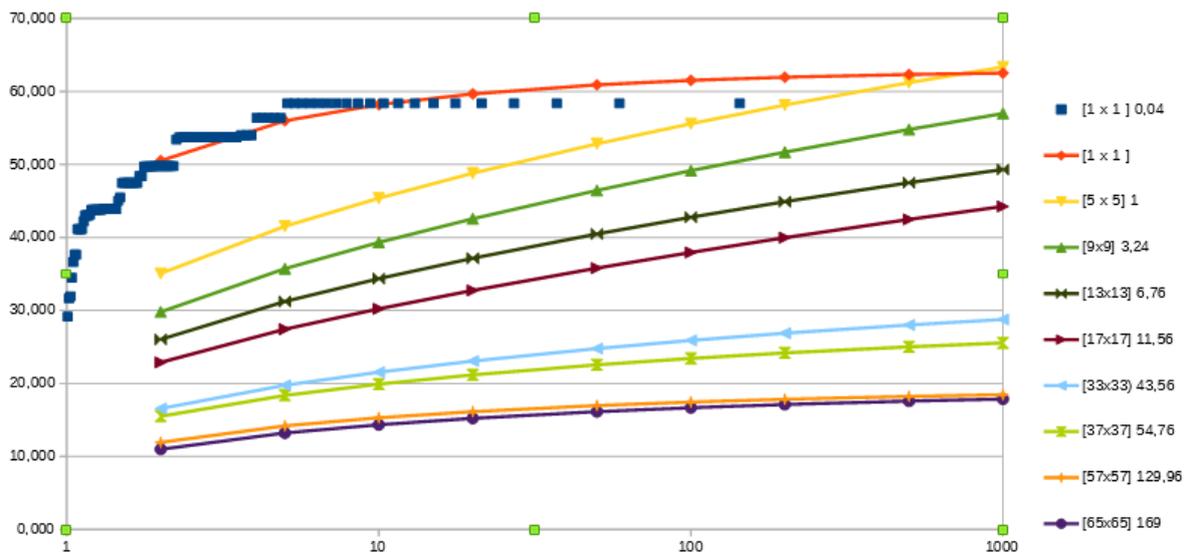


Figure 6 : Illustration l'ordre croissant des échantillons des maxima annuels de pluie moyennés sur une cellule pour différents types de pluie en fonction de leurs fréquences.

3.3. Construction de courbes IdF_S à partir des données radar.

Projet	Stage A. Ekoko Safi (2017)
Nature des données	Série chronologique de cartes radar (mesures indirectes mais spatialisées), Les données couvrent une période de 10 ans soit du 01 juillet 2006 au 30 juin 2016 et sont des lames d'eau sous le format geotiff Figure 7 .
Profondeur temporelle	10 ans disponibles
Domaine	France métropolitaine
Réserves générales	Données déjà traitées (Mesures indirectes + code qualité selon emplacement géographique)
Pas de temps	Pas de temps de la mesure : 5 minutes. Les sommes à des pas de temps plus important sont correctes.
Pas d'espace	Intensités données par cellules de 1 km ² mais la « résolution » spatiale d'une carte radar est difficile à définir (information continue, et la précision dépend de l'éloignement au radar et de la présence d'obstacles)

Volume de données	Données mises à disposition par Météo France : 2 To ¹⁰ (travail de restructuration des données pour faciliter les traitements : 2 x 2 To)
OBJECTIFS	Développer des méthodes et un outil (voir stage Angel Ekoko Safi 2017) pour obtenir en tout point du territoire métropolitain les courbes IdF_S (valables jusqu'à une période de retour T = 100ans, validé pour T = 10 ans dans ce travail).
Traitements effectués	<p>1. Filtrage des données, un examen visuel des images radar à l'aide de l'outil présenté dans le travail (EKOKO.A 2017), tout en fixant un seuil afin de réduire et/ou de supprimer les échos déjà cité dans la partie 1.3.2 ;</p> <p>2. Analyse géostatistique ;</p> <p>3. Analyse régionale des précipitations décrit par Hosking et Wallis (1997) permet la consolidation de l'information régionale et, par conséquent, établir les quantiles à n'importe quel site à l'intérieur d'une région donnée ;</p> <p>4. Sélection d'une loi statistique GPD régionale et estimation des paramètres ;</p> <p>5. Obtention des courbes IdF_S à l'aide d'un outil statistique pour deux durées (30minutes et 1h) sur un pixel situé dans le bassin versant de l'Yzeron, ces courbes sont présentées dans les Figures 8, 9 et 10.</p>

Tableau 3: Etapes de construction des courbes IdF_S à base des données radar.

¹⁰ Téraoctet



Figure 7 : Carte de la mosaïque de lame d'eau radar en format geotiff (source : SCHAPI)

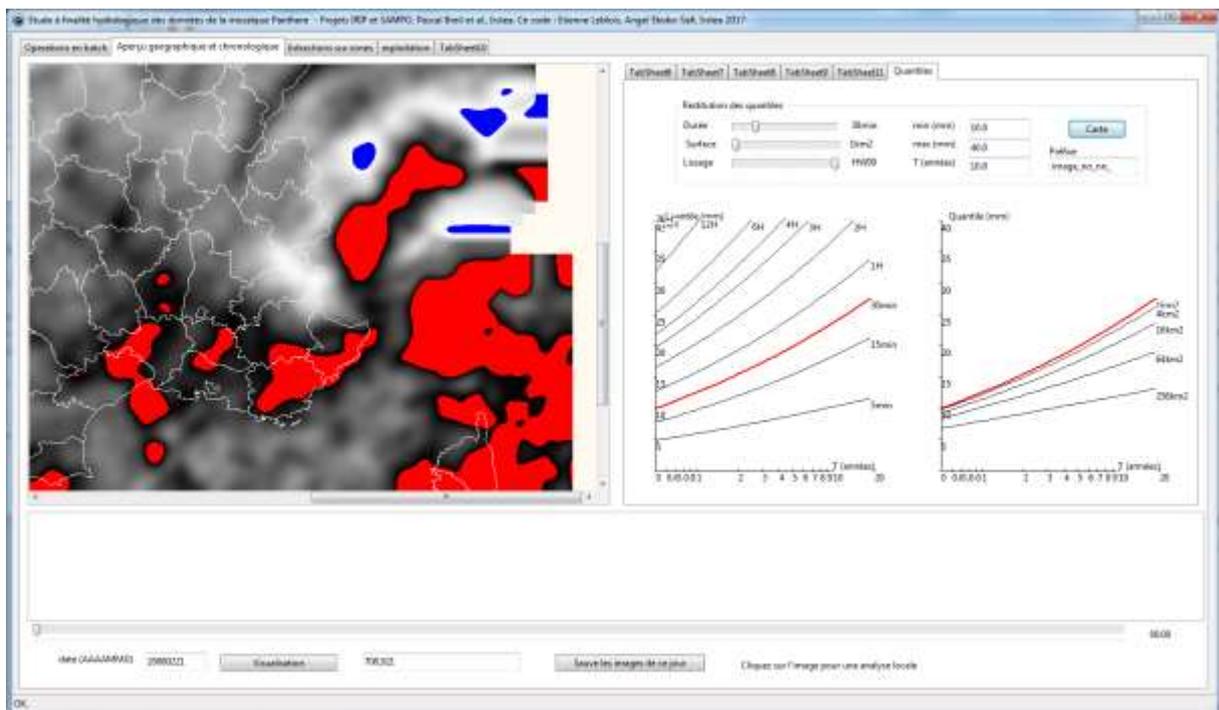


Figure 8 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron (pixel 1) - pas de temps 1 h

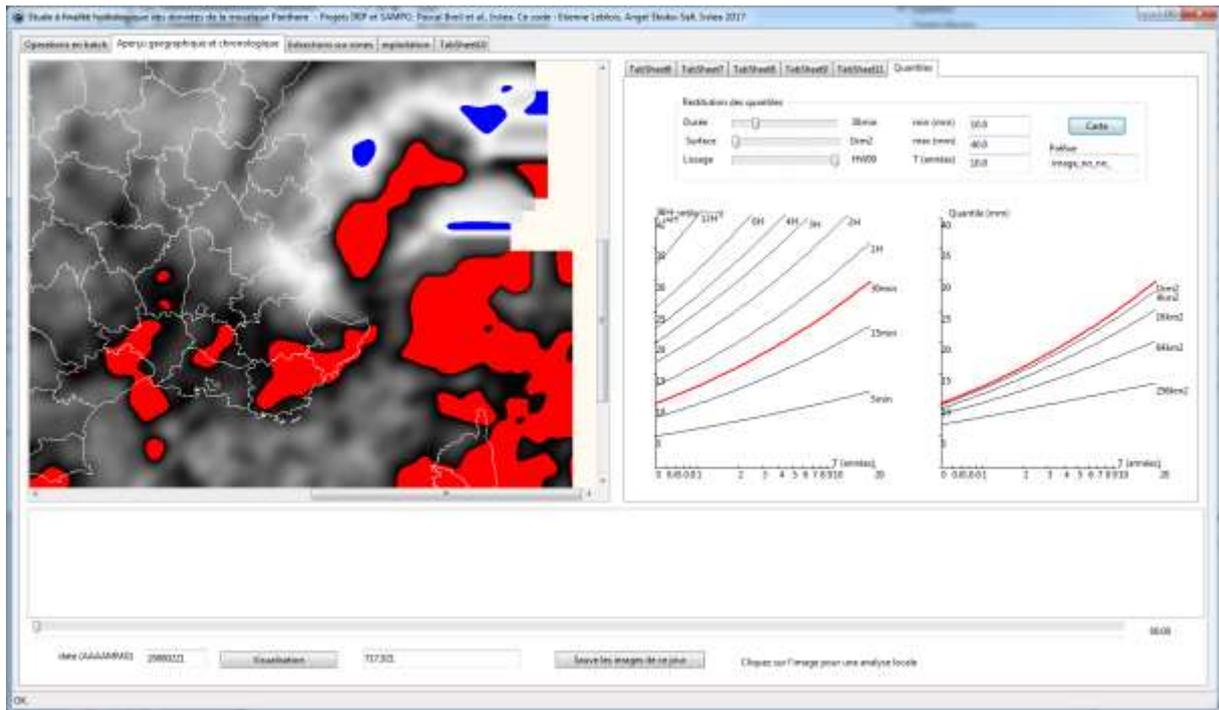


Figure 9 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron (pixel 2) - pas de temps 30 min

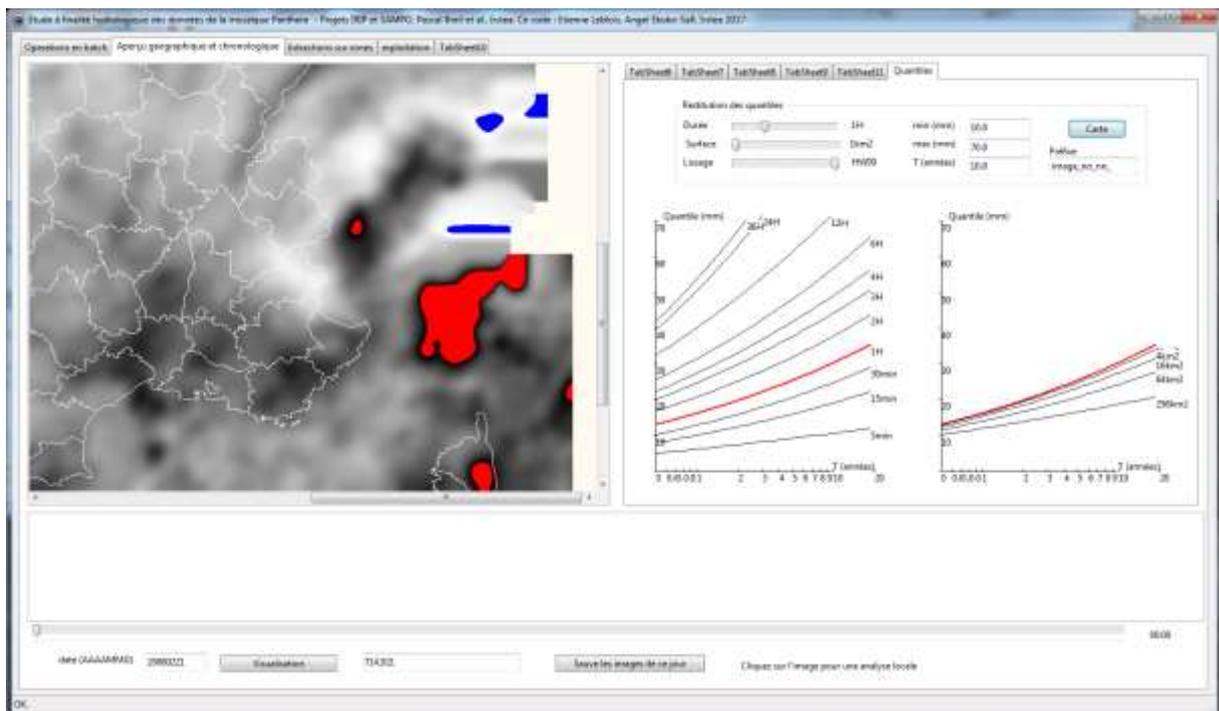


Figure 10 : Outil Radar - Régime pluviométrique dans la région de l'Yzeron - pas de temps 1 h

3.4. Comparaison des résultats

Nous avons comparé entre les deux courbes pour un pas de temps de 30 minute et une période de retour $T = 10$ ans sur un pixel de 1 km^2 , dans notre travail le pixel représente un bloc de 5×5 cellules.

Nous remarquons d'après **la Figure 6** que la valeur de l'intensité de pluie correspondante a $T=10$ ans est environ de 45 mm/h , par contre pour **la Figure 9** la valeur est environ 30 mm/h , l'erreur estimée dans ce cas est de l'ordre de 30% .

Cet écart est tolérable, vu la nature des données et la façon de leurs traitements (nous avons travaillé avec des échantillons des valeurs maximales dans un cas et des valeurs supérieures à un seuil dans l'autre cas ce qui a amené à choisir deux différentes lois statistique GEV et GPD).

Nous constatons aussi que la définition des surfaces pour les deux cas n'est pas la même (dans notre cas nous avons cherché une surface centrée sur sa valeur maximale en parcourant tout le domaine par contre pour le travail avec des données radar nous avons choisi un pixel au hasard sur le domaine de l'Yzeron).

3.5. Conclusion

L'élaboration des courbes IdF_S permet d'exposer la relation les pluies fortes (quantiles), la durée et la fréquence, on parle de IdF et de Idf_S lorsque cette dernière relation est fonction d'une surface.

Toutes ces analyses sont des variantes d'une seule et même approche, mais appliquées à des variables d'intérêt pluviométriques différentes en exploitant des données radar et de mettre en valeur les données de pluie simulées par un générateur de pluie SAMPO développé a l'Irstea .

Conclusion générale

L'estimation et le diagnostic de l'aléa inondation par débordement des cours d'eau sont des enjeux majeurs pour l'amélioration des cartes d'aléa inondation. Un diagnostic fiable de l'aléa permet de minimiser le risque lié à ce phénomène. Pour parvenir à ce diagnostic, une étude spatio-temporelle des pluies de longues durées par bassin versant s'avèrerait alors nécessaire.

L'objectif principal de ce mémoire était de déterminer les courbes (Intensité-Durée-Fréquence-Surface) sur le bassin versant de l'Yzeron à partir des données issues d'une simulation de cent ans, puis les comparer avec d'autres courbes IdF_S construites dans le cadre d'un autre stage (Ekoko Safi.A 2017) à partir des données radar. Cette analyse sera une contribution aux méthodes de l'estimation de l'aléa inondation et par conséquent la prévention de risque inondation.

Tout d'abord, nous avons présenté les définitions essentielles sur les champs composants les données et les moyens de base nécessaire pour cette étude.

Ensuite, une présentation du bassin versant de l'Yzeron afin de préciser le cas réel pour comprendre le contexte de l'étude.

Enfin, nous avons mis en évidence les étapes de construction des courbes IdF_S pour les deux types de données, puis une comparaison et interprétation de cette dernière.

Les résultats de cette étude offrent la possibilité de procéder aux dimensionnements des ouvrages hydrauliques à partir des données issues des simulations de cent ans et des données radar. Ce qui constitue une vraie base en termes de durée afin de faire les aménagements hydrauliques qui permettrait d'améliorer des cartes d'aléa inondation.

Références bibliographiques

Charfaoui NH. (2017). Contribution au développement d'une chaîne de traitement basée sur la simulation continue pour estimer l'aléa d'inondation probabiliste, comparaison avec les méthodes « par événement de projet », rapport d'ingénieur Irstea/Polytechnique Alger.

Ekoko Safi A. (2017). Analyse des données de lame d'eau radar pour l'étude des pluies fortes en France métropolitaine. Une contribution à la méthode IRIP de détermination de l'aléa de ruissellement intense, rapport de Master Irstea/Université de Rouen.