

Mémoire

Auteur : Klein, Lena

Promoteur(s) : Tychon, Bernard

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/12881>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
2020-2021

Crowdsourcing et validation de modélisation d'inondation :
Le cas des inondations pluviales du 30 mai 2016 à Burange

Mémoire rédigé par Lena Klein

**En vue de l'obtention du grade de master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité de
gestion intégrée des ressources en eau**

Promoteur : TYCHON Bernard

Comité de lecture :

TYCHON Bernard,
SCHUMANN Guy,
WELLENS Joost

Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
2020-2021

Crowdsourcing et validation de modélisation d'inondation :
Le cas des inondations pluviales du 30 mai 2016 à Burange

Mémoire rédigé par Lena Klein

**En vue de l'obtention du grade de master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité de
gestion intégrée des ressources en eau**

Promoteur : TYCHON Bernard

Comité de lecture :

TYCHON Bernard,
SCHUMANN Guy,
WELLENS Joost

Copyright :

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de **l'Université de Liège**. **

L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège

Le présent document n'engage que son auteur

KLEIN Lena,

lenaklein@mac.com

Remerciements

Tout d'abord j'adresse mes remerciements à mon promoteur Monsieur Bernard Tychon. Je le remercie pour ses conseils, son aide et ses avis.

Je remercie également Monsieur Guy Schumann et toute l'équipe de RSS-Hydro, qui m'ont accompagnée dans un super stage. Toute l'équipe était accueillante et ouverte à mes questions. Un grand Merci aussi à Monsieur Moh Zare et Madame Laura Giustarini qui ont mis à ma disposition les données issues de leurs modélisations qui sont à la base de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier les habitants de la zone d'étude qui ont répondu aux questionnaires et qui m'ont permis de faire les mesures nécessaires.

Je remercie également Monsieur Bernard Tychon, Monsieur Joost Wellens et Monsieur Guy Schumann, membres de mon jury.

Un grand Merci va aussi à ma famille pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Résumé

Des inondations pluviales de plus en plus fréquentes entraînent des dommages économiques, environnementaux et humains. Pour s'y préparer les scientifiques cherchent à comprendre les inondations à travers les modélisations. Ces modélisations ont besoin d'être validées. Or, ces validations nécessitent un grand nombre de données de qualité souvent manquantes. D'où l'idée, assez récente, de faire intervenir les citoyens dans la collecte de ces données.

Dans cette étude nous collectons des données sur les inondations pluviales du 30 mai 2016 à Dudelange au Grand-Duché de Luxembourg auprès des citoyens pour examiner ensuite si elles sont aptes à valider la modélisation de cet événement.

Dans une première partie nous détaillons la méthodologie ; dans la deuxième partie les données collectées sont traitées et analysées. Dans la dernière partie nous énonçons les difficultés rencontrées et nous formulons des recommandations.

Mots-clés : inondations pluviales, crowdsourcing, modélisation, validation

Abstract

Pluvial floods of increasing frequency cause economic, environmental and human damage. In order to prepare, scientists seek to understand flooding through modelling. These models need to be validated. However, these validations require a large amount of quality data that are often scarce. Hence the recent idea of involving citizens in the collection of this data.

In this study, we crowdsourced data on the 30 May 2016 pluvial flooding in Dudelange in the Grand Duchy of Luxembourg to explore whether they are able to validate this event's modelling.

In the first part we describe the methodology; in the second part the collected data are processed and analysed. In the last part we state the difficulties encountered and we draw recommendations.

Keywords: pluvial flooding, crowdsourcing, modelling, validation

Table de matières

Table de matières	
Liste des figures, tables, cartes, photos	
Sigles et abréviations	
Introduction	1
Contexte général.....	2
Revue de littérature	5
Méthodologie.....	9
Etape 1 : Connaissances du sujet et de la procédure à suivre	10
Etape 2 : Le contexte météorologique.....	11
Etape 3 : Délimiter et décrire la zone d'étude	13
Etape 4 : Le fonctionnement de l'application LISFLOOD	15
Etape 5 : Crowdsourcing	19
Création du questionnaire	19
Analyse des données fournies par le questionnaire.....	20
Recueil de données à travers des entretiens avec les citoyens.....	23
Etape 6 : Analyse des données obtenues par le traitement des photos	24
Résultats et Discussion.....	26
Etendue	26
Profondeur	29
Déroulement des inondations	38
Difficultés rencontrées et recommandations	39
Difficultés	39
Recommandations	41
Conclusion.....	43
Bibliographie	45
Annexes.....	I

Liste des figures, tables, cartes, photos

Figure 1 : Image radar du cumul des précipitations sur 24 heures.....	11
Figure 2: Précipitations simulées par la méthode de regroupement inverse des moyennes floues.....	12
Figure 3: La zone modélisée (en noir) et la zone d'étude (en rouge) (carte de OpenStreetMap).....	13
Figure 4: La zone d'étude avec les inondations (la profondeur maximum) superposées.....	14
Figure 5: Modèle numérique d'élévation de la zone d'étude.....	16
Figure 6: Les variables d'entrée de LISFLOOD.....	17
Figure 7: Carte "OpenStreetMap" avec la partie bas encerclée en rouge	21
Figure 8: Photos obtenues par le crowdsourcing utilisées pour l'estimation de la profondeur d'inondation.....	24
Figure 9: Illustration des convergences (cercles verts) et des divergences (cercles rouges)	27
Figure 10: Illustration des points repérés à l'aide des photos	29
Figure 11: Mesures collectées sur le terrain et les mesures calculées par la modélisation sous forme de courbes	30
Figure 12: Mesures collectées sur le terrain et mesures calculées par la modélisation (avec un intervalle de confiance de 10 cm) sous forme de courbes	31
Figure 13: Erreur de profondeur en cm.....	32
Figure 14: Illustration des points repérés à l'aide des questionnaires.....	34
Figure 15: Mesures corporelles et mesures calculées par la modélisation sous forme de courbes.....	35
Figure 16: Mesures corporelles (avec un intervalle de confiance de 10 %) et mesures calculées par la modélisation (avec un intervalle de confiance de 10 cm) sous forme de courbes	35
Figure 17: Erreur de profondeur en cm.....	36
Tableau 1: Tableau reprenant les objectifs, les méthodes et le matériel	9
Tableau 2: Mesures obtenues par les questionnaires	21
Tableau 3: Les mesures de profondeur obtenues par les photos crowdsourcées	25
Tableau 4: Récapitulatif : étendue de l'inondation	26

Sigles et abréviations

CRED	centre for research on the epidemiology of disasters
I-FCM	inverse fuzzy c-means clustering method (méthode de regroupement inverse des moyennes floues)
LIDAR	light detection and ranging/laser imaging detection and ranging
PAG	plan d'aménagement général
UNDRR	United Nations office for disaster risk reduction

Introduction

En deuxième année de master en Sciences et gestion de l'environnement, à finalité Gestion intégrée des ressources en eau, j'ai eu l'occasion de faire un stage de trois mois au sein de la start-up RSS-Hydro. RSS-Hydro est une entreprise de recherche et de développement spécialisée dans la télédétection environnementale et la modélisation de risques d'inondations.

Au cours de mon stage, j'ai développé et mené l'étude qui est l'objet de ce mémoire. Les scientifiques de RSS-Hydro ont partagé avec moi leur savoir sur l'inondation pluviale du 30 mai 2016 à Dudelange et ont mis à ma disposition la modélisation qui simule cette inondation.

La première partie de ce mémoire décrit le contexte général et l'apport des sciences citoyennes à la collecte des données nécessaires pour des modélisations d'inondations. Il s'en suit une revue de littérature présentant les articles pertinents à ma recherche.

La méthodologie utilisée dans ma recherche est décrite dans la deuxième partie.

Les résultats sont présentés et discutés dans la troisième partie. Les difficultés rencontrées y sont également énoncées. Cette partie se termine par une réflexion qui débouche sur des recommandations.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale.

Contexte général

Au mois de juillet 2021, de grandes parties de la Belgique, de l'Allemagne et du Grand-Duché de Luxembourg ont connu d'importantes inondations à la suite de fortes précipitations. Ces inondations ont coûté la vie à de nombreuses personnes, les infrastructures et les habitations ont été fortement endommagées, les conséquences pour l'environnement sont grandes. Des milliers de personnes se sont retrouvées sans électricité et eau potable.

Si nous avons l'habitude de voir ce genre images nous provenant des pays d'Asie et des pays d'Afrique, nous avons été choqués de constater que nos régions peuvent aussi être frappées par de telles catastrophes naturelles et que nous Occidentaux pouvons devenir réfugiés climatiques dans nos propres pays.

Et pourtant, selon le rapport « Human cost of disasters : An overview of the last 20 years, 2000-2019 » de UNDRR et de CRED, les inondations représentent 44 % des catastrophes naturelles à travers le monde. Au cours de ces deux dernières décennies, elles ont coûté la vie à presque 105 000 personnes et ont engendré des pertes économiques de l'ordre de 651 milliards de dollars. (CRED et UNDRR, 2020)

Il est donc important d'approfondir constamment les connaissances sur les inondations pour mieux les gérer et prendre les mesures adéquates au niveau de l'aménagement du territoire et au niveau des systèmes d'alerte. Les scientifiques élaborent des modélisations sur lesquelles se basent des simulations de scénarios d'inondation. A partir de ces scénarios les décideurs politiques doivent prendre des mesures de prévention, de protection et de préparation.

Les modélisations ont besoin de données précises. Elles proviennent de stations de mesure et de la télédétection. Cette dernière a permis d'augmenter considérablement la quantité et la qualité des données (Assumpção, T.H., 2018).

Cependant il reste des défis à relever :

- la résolution spatiale et temporelle des données n'est pas aussi concise que voulue ;
- les moyens traditionnels de collecte de données sont onéreux ;

- certains endroits ne sont pas accessibles (de manière physique ou par manque de connexion) ;
- la disponibilité des données n'est pas toujours garantie au moment voulu ;
- certaines données sont de qualité incertaine ;
- la dimensionnalité des données collectées est limitée

(Zheng, F., 2018).

C'est ici qu'entrent en jeu les sciences citoyennes qui semblent être en mesure de fournir les données manquantes. Ainsi, dans sa revue de littérature sur l'intégration des données collectées par les citoyens dans la modélisation d'inondations, T.H. Assumpção relève que celle-ci constitue une voie viable pour résoudre ces problèmes de manque de données (Assumpção, T.H., 2018).

Les données des citoyens peuvent être utilisées dans les différentes étapes de la modélisation : comme variable d'entrée, dans la calibration et dans la validation des modélisations (Zheng, F., 2018).

Dans ce mémoire, je me suis limitée à l'étape validation. J'ai analysé si le crowdsourcing est en mesure de valider la modélisation des inondations du 30 mai 2016 à Burange au Grand-Duché de Luxembourg.

Le crowdsourcing se réfère au premier niveau de l'échelle de Hakley, qui hiérarchise les différents niveaux de participation à la science citoyenne (Hakley, M., 2018) (Annexe I).

F. Zheng décrit le crowdsourcing comme suit : « Le crowdsourcing était traditionnellement utilisé comme un modèle de résolution de problèmes (Brabham, 2008), ou comme une méthode particulière de distribution de tâches ou de sous-traitance (Howe, 2006), mais il peut aujourd'hui être considéré comme un type de science citoyenne, qui est considérée comme l'implication des citoyens dans la science, allant de la collecte de données à la génération d'hypothèses (Bonney, 2009) ». (Zheng, F., 2018)

Dans ce mémoire le crowdsourcing sert à collecter des données sur les inondations pluviales du 30 mai 2016 auprès des habitants du quartier Burange à Dudelange au Grand-Duché de Luxembourg. Cette inondation est survenue à la suite d'intenses précipitations (jusqu'à 80 l/m² sur 24 heures) qui ont saturé le système de drainage urbain. Par la suite, il y a eu débordement

d'eau dans les rues et dans les habitations. Ces mêmes données sont par la suite analysées pour conclure si elles contribuent à la validation de la modélisation réalisée rétrospectivement par RSS-Hydro sur cet événement d'inondation.

Cette modélisation fait partie d'un plus grand projet ayant comme but la création de cartes de risque d'inondations pour la ville de Dudelange. En effet, la ville de Dudelange est partenaire du pacte climat et elle multiplie ses efforts portant sur l'élaboration de stratégies d'adaptation climatique. La ville mise sur la participation citoyenne pour aborder différentes problématiques. Elle est la première commune du pays à conclure une convention de collaboration avec l'Université de Luxembourg (décembre 2020) pour promouvoir la démocratie participative. Dans le même ordre d'idée, la ville a organisé plusieurs panels avec des questionnaires pour recueillir les propositions des citoyens sur ce qu'ils sont prêts à faire pour améliorer la mobilité intra urbaine (Ville de Dudelange, 2021).

Le recours aux sciences citoyennes dans le domaine de la gestion des inondations est récent et tous les articles que j'ai retenus dans ma démarche de contextualisation ont paru à partir de 2014.

1) **Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges (Assumpção et collab, 2018)**

Dans cette revue d'articles scientifiques, les auteurs expliquent ce que l'on peut entendre par « science citoyenne ». Ils relèvent les différents termes qui désignent la participation des citoyens dans la genèse du savoir et ils distinguent quatre niveaux de participation et d'engagement sur une échelle adaptée de Haklay (2013).

Les auteurs ont évalué des articles scientifiques présentant la contribution des citoyens à des démarches de modélisation, de monitoring et de cartographie. Les démarches des citoyens étaient variées et avaient comme but la collecte de données sur la profondeur d'eau, la vitesse, la couverture et l'utilisation des sols et la topographie. Les auteurs concluent que la science citoyenne présente des opportunités, mais qu'il y a toujours des défis à relever.

L'article m'a permis d'avoir un premier aperçu sur les différentes études faites avec l'apport des citoyens. Un tableau particulièrement intéressant présente la littérature scientifique sur les données collectées par crowdsourcing pour la modélisation d'inondations, il m'a permis d'identifier des textes sur la matière étudiée que j'ai pu utiliser par après.

2) **Flood hazard assessment and the role of citizen science. (Sy, B. et al., 2018)**

Cette revue d'articles expose les forces et les faiblesses des démarches courantes dans l'évaluation des risques d'inondation. Elle montre comment l'intégration des sciences citoyennes dans ces démarches peut les améliorer. Les auteurs ont donné une description détaillée des différentes méthodes de collecte participative de données. Cet article a été une

source d'inspiration, même si je n'avais pas à ma disposition les mêmes outils (réseaux sociaux, plateformes internet).

3) Perspectives on Citizen Science Data Quality (Downs, R.R. et al., 2021)

Dans cet article, les auteurs mettent en garde qu'il ne faut pas négliger l'aspect « qualité » des données recueillies par les sciences citoyennes. En effet, devant l'enthousiasme pour ces nouvelles méthodes qui fournissent des données là où elles sont manquantes, on a tendance à oublier qu'il faut tout mettre en œuvre pour garantir la qualité des données citoyennes. A défaut, on dispose peut-être d'une quantité remarquable de données mais qui ne peuvent pas être utilisées par la suite.

4) A review of citizen science and crowdsourcing in applications of pluvial flooding (See, L., 2019)

L'auteure fait un relevé des articles qui traitent l'intégration des sciences citoyennes et du crowdsourcing dans les recherches sur les inondations pluviales. D'après elle, le crowdsourcing peut contribuer à valider des modélisations d'inondations qui sont indispensables pour la mise en place de systèmes d'alerte. Elle reconnaît qu'un des défis du crowdsourcing peut être la faible qualité des données collectées, mais elle soutient que cela ne constitue pas d'obstacle à la validation des modélisations.

5) Crowdsourced data for flood hydrology: feedback from recent citizen science project in Argentina, France, and New Zealand. (Le Coz et al., 2016)

Cet article décrit trois projets où le crowdsourcing a contribué à la documentation d'événements d'inondations en Argentine, en France et en Nouvelle-Zélande. Ces projets ont eu recours aux vidéos et photos prises par les citoyens pour l'analyse et la modélisation rétrospective des inondations. Même s'il ne s'agit pas d'inondations pluviales, il est intéressant d'étudier ces projets-modèles qui font un large appel aux nouvelles technologies. Les auteurs mettent aussi l'accent sur les différentes étapes de mise en route de ces initiatives et sur l'interaction entre les différents participants (scientifiques ou non).

6) Street-Scale Modeling of Storm Surge Inundation along the New Jersey Hudson River Waterfront (Blumberg, A et al, 2015)

Dans cet article, les scientifiques décrivent comment ils ont pu valider leur modélisation d'inondation des zones côtières urbaines au long de la rivière Hudson par l'ouragan Sandy grâce à un crowdsourcing à grande échelle. Cette étude est impressionnante par l'expertise avec laquelle les scientifiques ont pris en compte toutes les variables qui auraient pu mitiger les résultats.

7) Crowdsourcing and interactive modelling for urban flood management (Gebremedhin, E.T. et al., 2020)

Cet article qui décrit un grand projet de modélisation interactive en Tanzanie se base sur la cartographie participative et un engagement de longue durée de tous les participants. L'objectif est d'améliorer la modélisation pour évaluer plus efficacement les risques d'inondation. Les auteurs mettent l'accent sur le co-développement inclusif de la modélisation. La méthodologie est décrite de façon détaillée. De cet article je retiens des recommandations à suivre pour améliorer la qualité des données obtenues par crowdsourcing et pour initier et soutenir l'engagement des citoyens.

8) Reconstituting past flood events: the contribution of citizen science. (Sy, B. et al, 2020)

Les scientifiques montrent dans leur article comment les inondations pluviales urbaines des années 2005, 2009 et 2012 dans la ville de Dakar ont pu être reconstituées même si les données scientifiques disponibles étaient rares. Une démarche structurée et planifiée de collecte de données auprès de citoyens choisis a pallié ce manque de données. Les auteurs mettent l'accent sur le fait qu'il faut bien préparer les participants, leur apprendre comment lire et utiliser des

cartes et faire des visites sur le terrain pour raviver la mémoire. Ce qui est admirable, c'est que des événements reculés ont pu être reconstitués.

9) Model Validation Using Crowd-Sourced Data from a large pluvial flood (Kutija et al, 2014)

Cet article montre comment des données obtenues par crowdsourcing ont été utilisées pour valider la modélisation obtenue par City Cat de l'inondation pluviale du 28 juin 2012 à Newcastle.

L'apport de cet article est important pour mon travail ; les outils choisis sont ceux que j'ai utilisé moi-même : photos et questionnaires. Les scientifiques insistent sur le fait qu'il faut prétraiter les données obtenues par crowdsourcing afin de pouvoir les utiliser. Les scientifiques étaient conscients que certaines différences entre la modélisation et les mesures de terrain peuvent être dues aux variables d'entrée (canalisation, modèle numérique d'élévation) de la modélisation et ils en ont tenu compte.

Méthodologie

Le tableau 1 ci-dessous expose les objectifs à atteindre, le choix des méthodes et le matériel utilisé.

Etape	Objectif	Méthodes	Matériel
1	Connaître le contexte	Lecture, analyse et comparaison	Google Scholar etc
2	Connaître le contexte météorologique	Analyse et description	MétéoLux Questionnaires
3	Délimiter et définir la zone d'étude	Recueil de données géographiques	Carte topographique
4	Décrire le fonctionnement de l'application LISFLOOD	Analyse et description	LISFLOOD QGIS
5	Collecter les données auprès des citoyens	Élaboration d'un questionnaire	Questionnaires Entretiens
6	Analyse des données obtenues par les photos	Analyse et prétraitement	Photos
7	Valider ou non la modélisation	Confrontation des données, des mesures et des résultats de la modélisation	Mesures et résultats

Tableau 1: Tableau reprenant les objectifs, les méthodes et le matériel

Etape 1 : Connaissances du sujet et de la procédure à suivre

Pour établir le cadre théorique il était important d'étudier des articles scientifiques sur la contribution des sciences citoyennes aux modélisations d'inondations. Cette recherche s'est faite en ligne, en entrant les mots clés suivants dans le moteur de recherche (GoogleScholar, ...):

« Flood* »

« validat* »

« crowdsourc* »

« citizen science ».

L'intérêt principal portait sur des publications scientifiques validées par des pairs et qui traitaient des inondations pluviales.

Les rapports de MétéoLux et du Géoportail et des articles de la presse quotidienne ont été utiles pour connaître le contexte météorologique et le déroulement de l'événement.

Le plan d'aménagement général (PAG) de la ville de Dudelange a fourni des détails sur la zone d'étude.

Le manuel de LISFLOOD-FP a permis de prendre connaissance du fonctionnement de l'application.

Etape 2 : Le contexte météorologique

L'inondation étudiée dans ce mémoire est survenue suite à d'importantes précipitations. Ces masses d'eau n'ont pas pu s'infiltrer dans le sous-sol vu les surfaces peu perméables de cette zone urbaine. Cela a donné lieu à un ruissellement superficiel important surchargeant le système de drainage qui a débordé.

L'image radar des précipitations ci-dessous (figure 1) représente le cumul de pluie sur 24 heures du 30 mai 2016. Il convient de noter que la ville de Dudelange se trouve en zone rouge (80-90 mm sur 24 heures)

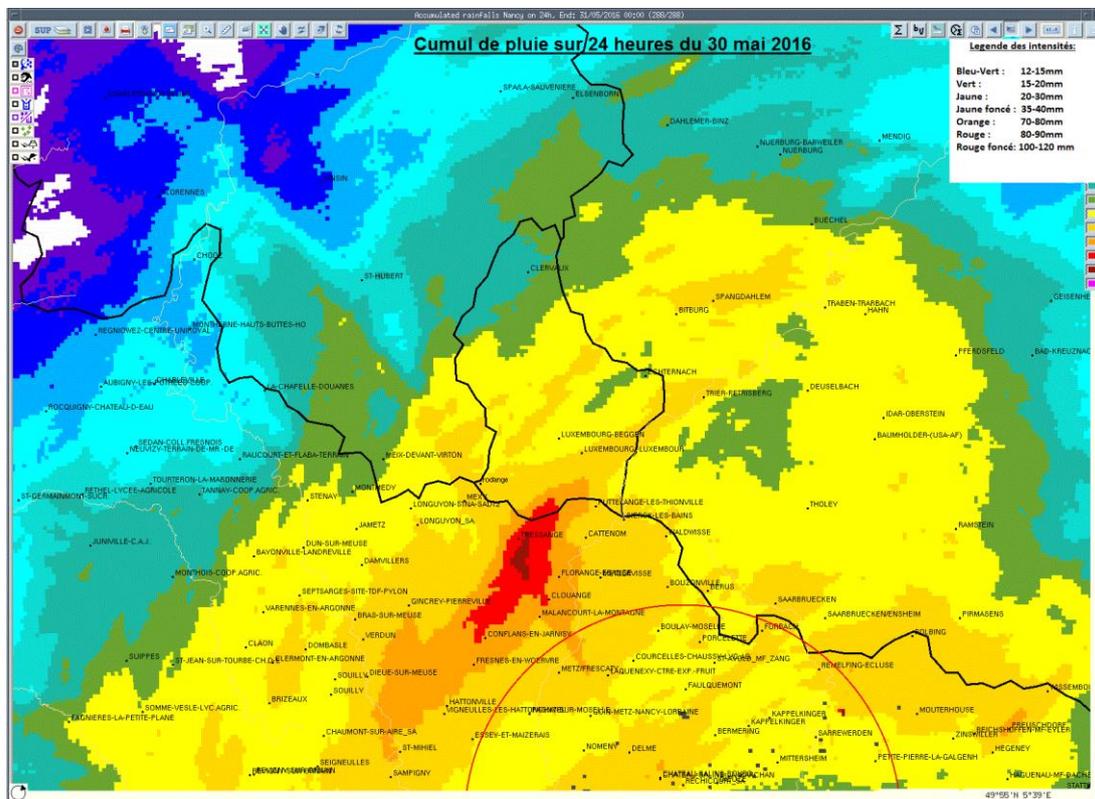


Figure 1 : Image radar du cumul des précipitations sur 24 heures

Le rapport de MétéoLux, un service de l'Administration de la navigation aérienne, explique la situation météorologique, qui a mené aux inondations du 30 mai 2016, comme suit :

« Depuis le 27 mai 2016, les tendances orageuses ont augmenté de jour en jour à la suite d'une advection d'air chaude et humide depuis les régions subtropicales. Ces tendances ont connu un

maximum le 30 mai 2016. Une dépression quasi stationnaire s'est ensuite formée qui a provoqué de fortes chutes de pluie. Pendant l'après-midi du 30 mai 2016 de nouvelles précipitations intenses se sont formées qui se sont dirigées vers le Sud-est du Luxembourg, qui ont donné lieu à des quantités de pluies atteignant 80-90 l/m². » (MétéoLux, 2016)

Pour connaître les précipitations par heure pour la zone étudiée, j'ai eu recours à l'interpolation spatiale des précipitations établie par Moh Zare (Senior scientist chez RSS-Hydro), qui s'est servi de la méthode de regroupement inverse des moyennes floues (i-FCM) (en anglais inverse fuzzy c-means clustering (i-FCM) method) (Zare, M. et al., 2021) (figure 2).

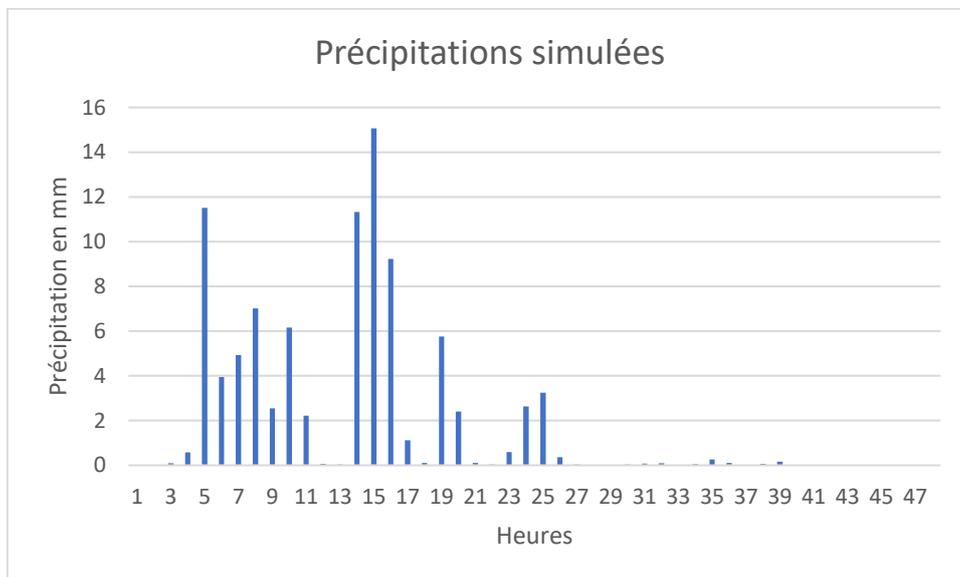


Figure 2: Précipitations simulées par la méthode de regroupement inverse des moyennes floues

Etape 3 : Délimiter et décrire la zone d'étude

Les scientifiques de RSS-Hydro mènent un projet de recherche dans le but de dresser des cartes de risques d'inondations pour la ville de Dudelange. Dans une première étape, ils ont simulé a posteriori les inondations survenues le 30 mai 2016 dans le quartier de Burange. Ces simulations sont à la base de ce mémoire ; elles ont donc déterminé ma zone d'étude. J'ai dû limiter ma zone d'étude à la rue Révérend Père Jacques Thiel et à une partie de la rue Pasteur (longitude 6.09629 ; latitude 49.49084) (figure 3) à cause d'un manque de ressources et du temps limité. Néanmoins, cette zone est intéressante puisque la modélisation y indique une forte inondation (figure 4).

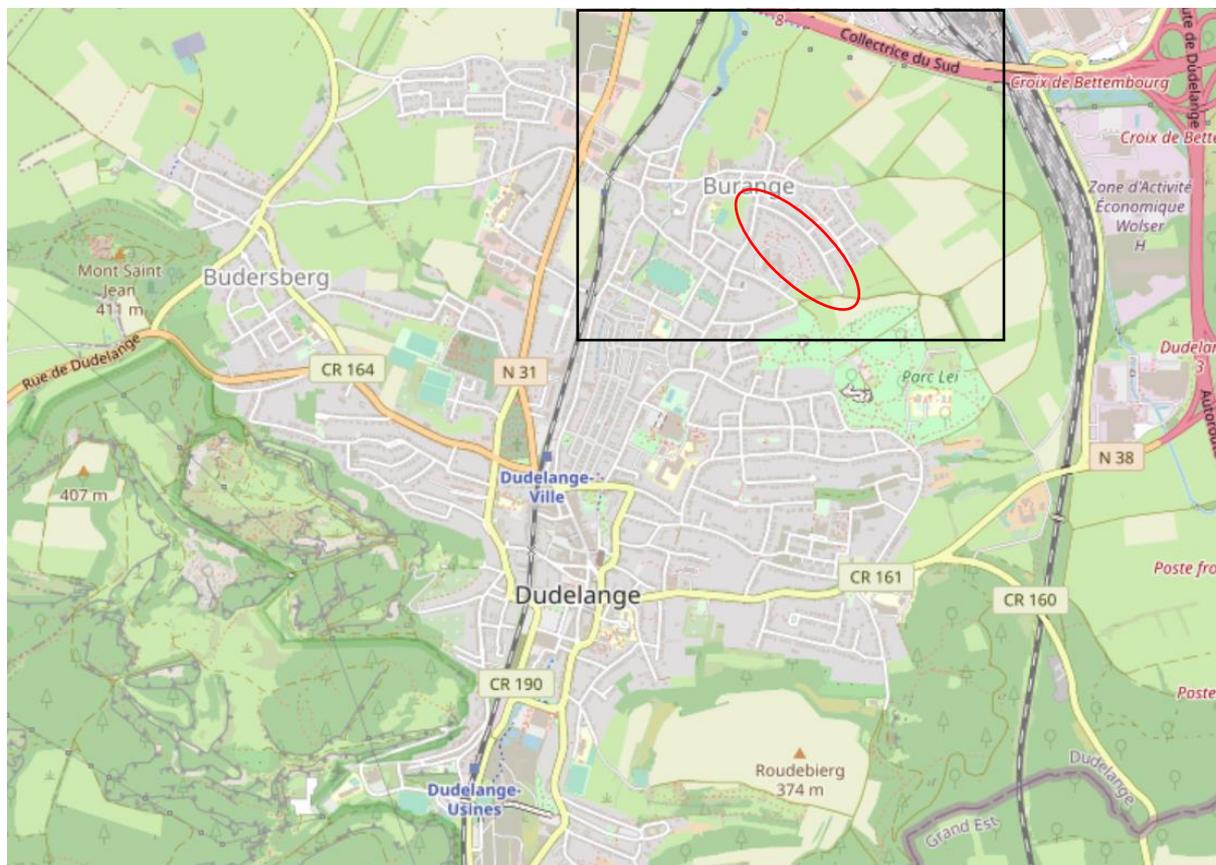


Figure 3: La zone modélisée (en noir) et la zone d'étude (en rouge) (carte de OpenStreetMap)

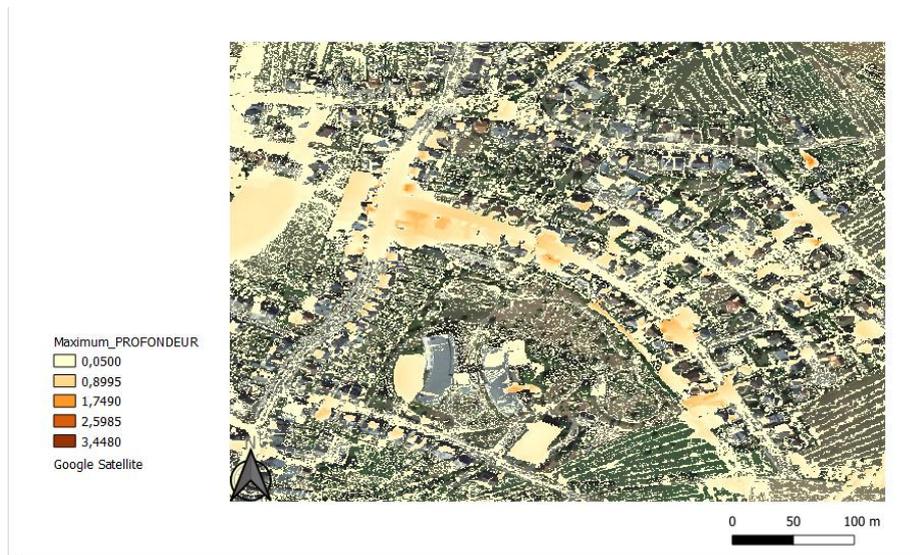


Figure 4: La zone d'étude avec les inondations (la profondeur maximum) superposées

La recherche s'étend sur une zone de 0,058 km².

Dudelange fait partie du Gutland. Cette région naturelle appartient au bassin de Paris – Golfe de Luxembourg-Trèves.

Au sous-sol de la zone d'étude à Burange on trouve des couches à Hildoceras bifrons. On est donc en présence de marnes peu perméables (géologie.lu).

La ville se trouve dans la vallée du Diddelénger Bach. Ce ruisseau, affluent de l'Alzette, prend sa source à Dudelange. L'Alzette prend sa source en France dans la commune de Villerupt (département Meurthe et Moselle). Au terme de 64 kilomètres, l'Alzette se jette dans la Sûre à sa sortie d'Ettelbruck. Le bassin versant de l'Alzette s'étend sur 231,7 km² (emwelt.lu).

La zone d'étude présente un dénivelé de 11 mètres (de 293 à 282 mètres) (Géoportail).

La zone d'étude est faiblement à moyennement habitée : maisons quatre faces dans la rue Révérend Père Jacques Thiel et des maisons en rangée dans la rue Pasteur. En amont de la rue Révérend Père Jacques Thiel se trouvent des pâturages et le bois Parc Le'h (PAG).

Etape 4 : Le fonctionnement de l'application LISFLOOD

La modélisation à valider dans ce mémoire a été réalisée avec l'application LISFLOOD.

LISFLOOD-FP est un modèle d'inondation développé par l'Université de Bristol. Il s'agit d'un modèle matriciel conçu à des fins de recherche. LISFLOOD est appliqué dans de nombreux domaines, entre autres dans :

- La simulation de mesures de prévention d'inondation
- La simulation de mesures de régulation de cours d'eau
- Modélisation d'inondations
- La simulation des impacts des changements climatiques sur la ressource eau

Des schémas numériques simulent la propagation d'ondes de crues/d'inondations le long des canaux et des plaines d'inondation. Le modèle permet de simuler des événements d'inondation particuliers de même que le bilan hydrique à long terme. (Bates P., 2013 ; Github)

Pour fonctionner le code a besoin de suffisamment d'informations, en particulier le flux de masse en fonction du temps à tous les points d'entrée. Les unités standard SI (mètres pour la longueur, secondes pour le temps, ...) sont utilisées pour la modélisation.

Les scientifiques de RSS-Hydro ont utilisé l'application LISFLOOD pour simuler les inondations pluviales du 30 mai 2016 à Dudelange.

Les variables d'entrée ont été :

- Le modèle numérique d'élévation, réalisé par le Cadastre du Grand-Duché de Luxembourg.

Le portail du cadastre et de la topographie précise que « la représentation numérique du Grand-Duché de Luxembourg compte approximativement 80 milliards de points 3D, avec en moyenne 15 points mesurés par mètre carré au départ du laser [LIDAR] ». (

Portail du cadastre et de la topographie)

Pour la simulation Moh Zare a retenu un fichier modèle numérique d'élévation de 50 cm de résolution.

Il convient de noter que « le nuage de points est complété par une orthophotographie aérienne d'une résolution de 10 cm par pixel au sol. » (Portail du cadastre et de la

topographie)

Il est important de tenir compte de cette résolution, car elle détermine le degré de précision des résultats de la modélisation. Pour la même raison, il fallait inclure un intervalle de confiance de 10 cm dans l'analyse des résultats.

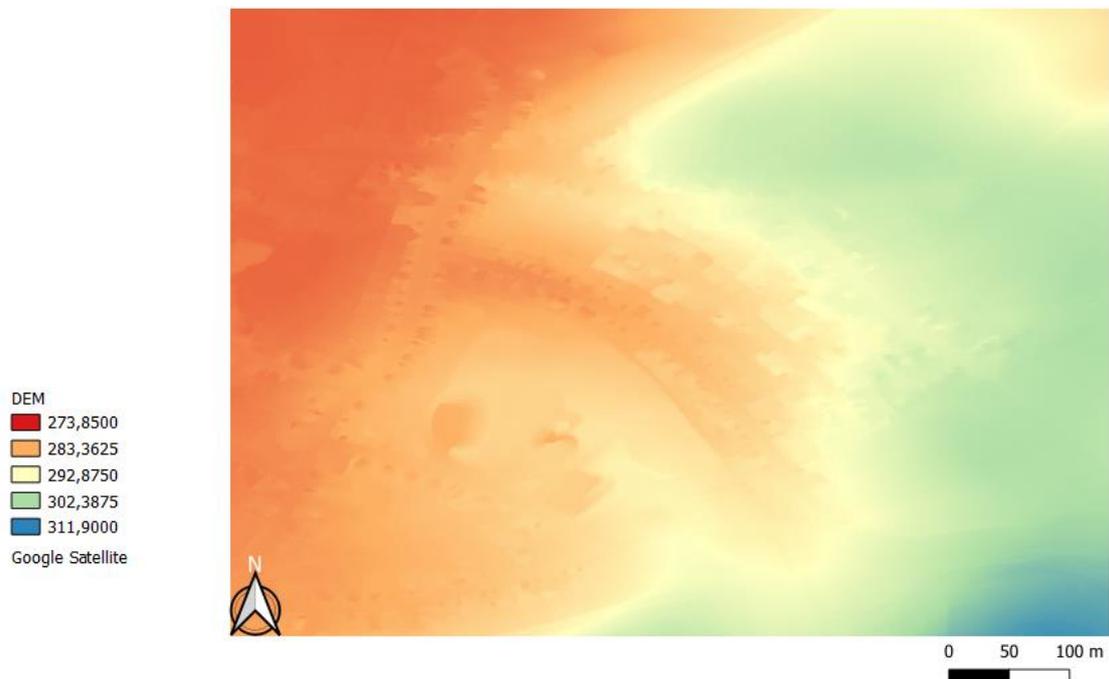


Figure 5: Modèle numérique d'élévation de la zone d'étude

- Les données de précipitation : elles ont été simulées par interpolation spatiale par Moh Zare de RSS-Hydro.
- La durée de la simulation s'est faite sur 172 800 secondes (48 heures) en tranches de 3 600 secondes (1 heure). Les résultats sont donnés pour toutes les 3 600 secondes dans le fichier .mass.
- La valeur n de Manning a été fixée à 0,065 pour la zone d'étude. Elle estime ici la vitesse moyenne de l'eau sur une surface libre.
- Par l'option depththresh la profondeur à partir de laquelle une cellule est considérée comme humide a été fixée à 0,05 mètres.

- La vitesse à laquelle l'eau est acheminée à travers la zone d'étude (routingspeed) a été fixée à $0,1 \text{ ms}^{-1}$.
- Le routesfthresh a été fixé à 0,1 pour permettre la stabilité du modèle.

```

model - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
DEMfile          DemInput.asc
resroot          res
dirroot          results_event_x
sim_time         172800
initial_tstep    3600.0
massint          3600.0
saveint          3600.0
fpfric           0.065
bcifile          event_x.bci
rainfall         event_x.rain
routing
depththresh      0.05
#routingspeed    0.1
#routesfthresh   0.1
#elevoff
#voutput
#qoutput
acceleration
drycheckoff
hazard
Ln 1, Col 1      100%   Unix (LF)   UTF-8

```

Figure 6: Les variables d'entrée de LISFLOOD

L'application LISFLOOD génère des résultats décrivant :

- La profondeur des eaux
- L'étendue des inondations
- La vitesse d'écoulement
- La durée de l'inondation

Parmi les fichiers générés par l'application LISFLOOD seuls les suivants ont été retenus dans la partie analyse de ce travail :

- WD_xx

Ces rasters représentent la profondeur d'eau par heure. Le WD_01 représente la profondeur à 1 :00 du 30 mai 2016, le WD_48, représente la profondeur à 24 :00 du 31 mai 2016.

- Maximum_PROFONDEUR

Ce raster représente la profondeur d'eau maximale (.max) prédite par le modèle pour chaque pixel au cours des 48 heures.

- Res.maxTM

Ce fichier représente l'heure de la profondeur maximale d'inondation pour chaque pixel.

Pour ouvrir les fichiers .tiff avec les résultats obtenus par l'application LISFLOOD l'application QGIS a été utilisée.

QGIS est une application de système d'information géographique (SIG) permettant de visualiser, de modifier et d'analyser des données géospatiales. L'application permet d'utiliser des couches matricielles et des couches vectorielles (sous forme de points, de lignes ou de polygones), ainsi que de géo-référencer des images. (QGIS.org)

En outre il a fallu importer les fichiers obtenus par LISFLOOD dans QGIS pour visualiser l'étendue des inondations simulée par l'application.

Pour repérer dans QGIS les points de mesure de la profondeur d'inondation deux couches vectorielles ont été créées. L'une a été faite à partir des points de mesure obtenus par les photos des citoyens. L'autre a été faite à partir des points de mesure obtenus par le questionnaire.

Etape 5 : Crowdsourcing

Création du questionnaire

L'objectif de ce travail est d'analyser si la modélisation LISFLOOD peut être validée par des données collectées auprès des citoyens. Dans ce but un questionnaire a été élaboré et distribué. Un questionnaire est un moyen abordable et pratique. Il permet aux sondés de rester anonymes et de prendre leur temps pour répondre aux questions. Les sondés ici sont les habitants de la zone d'étude. Par la suite les habitants de la zone d'étude seront désignés par « citoyens » pour faciliter la lecture. Le questionnaire a été imprimé et mis dans les boîtes aux lettres des habitants. Le questionnaire était accompagné d'une lettre précisant que les données collectées seraient utilisées dans le cadre d'un travail de fin d'études mené sous la supervision des chercheurs de l'entreprise RSS-Hydro. La lettre précisait que les réponses seraient traitées de manière anonyme et confidentielle.

Le questionnaire comportait 20 questions (questionnaire complet en annexe) de différents types :

- fermées,
- à choix multiple,
- semi-ouvertes,

en luxembourgeois ou en français pour faciliter la compréhension.

Le retour des questionnaires devait se faire par envoi postal (une enveloppe affranchie était incluse).

Les données recherchées pour valider la modélisation étaient : (questions 3, 5, 9, 10, 11)

- la profondeur de l'eau d'inondation
- l'étendue de l'inondation
- le déroulement de l'événement.

Au cours de l'élaboration du questionnaire l'idée est venue d'inclure des questions (questions 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17), fournissant des informations sur les sondés, à savoir :

- leur âge, leur sexe et leur adresse ;
- leur vécu (est-ce qu'ils ont déjà connu des épisodes d'inondations) ;
- leur intérêt pour les phénomènes météorologiques (est-ce qu'ils consultent les sites « MétéoLux » et « Inondations.lu »);
- leur niveau d'alerte en amont de l'événement (est-ce qu'ils ont pris des précautions);
- leur niveau de connaissance sur les causes des inondations ;
- leur disposition à prendre des mesures préventives.

Il était en effet intéressant de sonder l'intérêt des citoyens pour les sciences et leur disposition à suivre les conseils des scientifiques. Ces informations pourraient intéresser les autorités locales lorsqu'elles voudraient, dans l'avenir, lancer eux-mêmes des projets de crowdsourcing dans le cadre du pacte climat 2.0.

Le questionnaire se terminait par trois questions ouvertes qui laissaient s'exprimer librement les sondés (questions 18, 19, 20).

Analyse des données fournies par le questionnaire

Sur les 70 questionnaires distribués, huit ont été retournés.

A partir des données fournies ci-dessus, seuls trois points de mesures ont pu être définis. Une personne ne se rappelait plus la profondeur d'eau et quatre personnes n'ont pas fourni d'adresse, ce qui a rendu impossible la géolocalisation.

Les réponses fournies aux questions 10 et 11 concernant la hauteur d'eau par rapport au corps sont prétraitées pour permettre l'analyse. Pour ce faire il fallait avoir recours à l'anthropométrie. L'anthropométrie se définit comme « techniques de mesure des proportions morphologiques pratiquées sur le corps humain » (la Langue française). Les moyennes hommes (180 cm) et femmes (166 cm) d'Europe occidentale ont été retenues (worlddata). Pour obtenir les mesures concernant la hauteur des chevilles, des genoux et des hanches un rapport de proportionnalité a été calculé. Un intervalle de confiance de 10 % a été calculé afin de tenir compte des différences de tailles individuelles.

Les mesures ainsi obtenues ont été reportées dans le tableau 2 ci-dessous :

ID	Longitude (X)	Latitude (Y)	Mesure	Profondeur d'eau (en cm)
A	6.0963476	49.4913573	chevilles	6,474
B	6.0943577	49.4918176	genoux	51,3
C	6.0947457	49.4917398	hanches	86,4

Tableau 2: Mesures obtenues par les questionnaires

Nous supposons que les citoyens ont donné la hauteur d'eau au pic de l'inondation (hypothèse). Pour cette raison, le fichier maximum.profondeur de la modélisation a été utilisé.

Dans les entretiens et les questionnaires les citoyens parlaient de « partie en haut » et « partie en bas » de la rue Père Révérend Jacques Thiel. Pour permettre le repérage sur la carte j'ai défini la « partie en bas » comme zone comprise jusqu'à la maison 117 de cette même rue (figure 6).

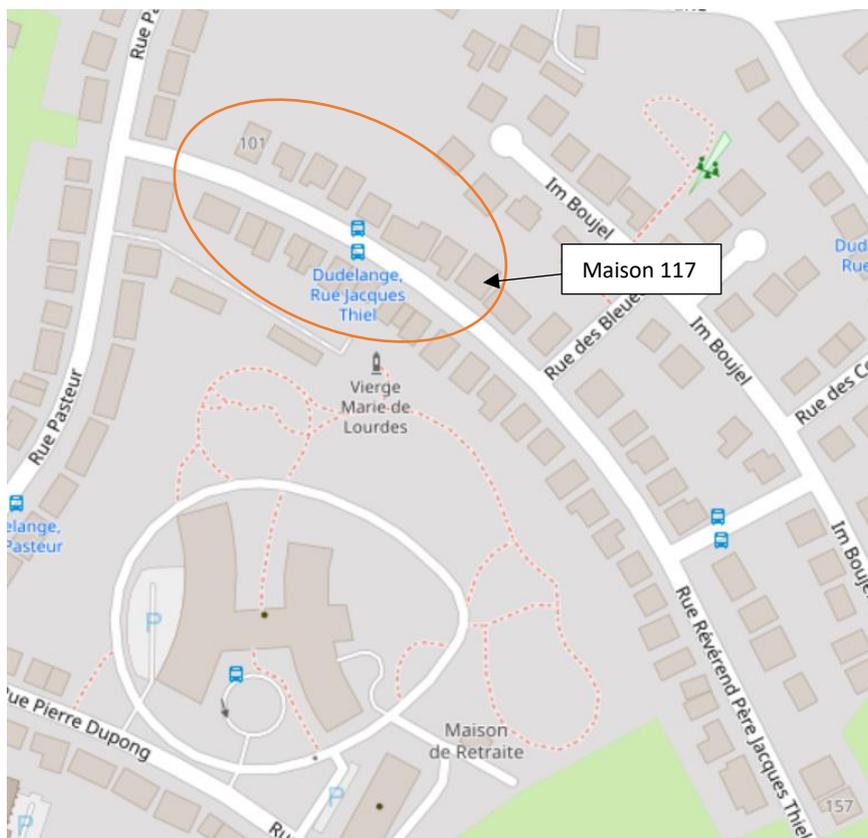


Figure 7: Carte "OpenStreetMap" avec la partie bas encerclée en rouge

Les réponses aux questions 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ne sont pas traitées dans cette partie. Cependant les renseignements fournis sont utilisés dans la partie « difficultés rencontrées et recommandations ».

Recueil de données à travers des entretiens avec les citoyens.

En deuxième phase, trois visites dans la zone d'étude ont eu lieu.

La première a permis de mieux connaître la zone d'étude (topologie), de retrouver les endroits documentés sur les photos et de poser des questions aux habitants croisés dans la rue.

La deuxième visite a été consacrée à la prise de mesures (profondeur d'inondation).

La troisième visite a eu lieu après la réception des questionnaires remplis. Comme l'analyse des réponses données a laissé paraître des imprécisions, cette visite a été l'occasion de reposer des questions aux citoyens afin d'obtenir plus de clarté. Les personnes interviewées étaient invitées à retrouver sur la carte QGIS les points dont ils savaient qu'ils étaient inondés. Ces informations permettaient de vérifier les endroits précis inondés.

Ces entretiens comportaient les trois questions dont les réponses étaient indispensables à la validation de la modélisation :

- la profondeur de l'eau d'inondation
- l'étendue de l'inondation
- le déroulement de l'événement.

Ces entretiens ont permis de recueillir de nouvelles données quant à l'étendue des inondations. Un nouveau point de mesure a été déterminé (figure 10). Ce point a été intégré aux points de mesures obtenu suite à l'analyse des photos.

Etape 6 : Analyse des données obtenues par le traitement des photos

Comme les inondations décrites ont eu lieu le 30 mai 2016, il fallait avoir recours aux photos prises par les citoyens pour déterminer la profondeur de l'eau d'inondation.

Il convenait de bien choisir les photos en éliminant celles qui étaient floues ou qui ne comportaient pas de points de repère. L'absence d'horodatage sur les photos a constitué une difficulté supplémentaire. Certains éléments présents sur les photos ont pu renseigner sur l'heure approximative ; d'abord la luminosité indiquait que la photo a été prise pendant la journée et la présence de pluie permettait de délimiter le créneau horaire.

La confrontation des photos avec les récits des citoyens a permis de déterminer si les photos avaient été prises au début, au cours ou bien autour du pic des inondations.

A partir des parties submergées du mobilier urbain (poteaux, boîtes électriques) et des habitations, la profondeur de l'inondation a pu être évaluée. Ces endroits ont pu être retrouvés lors des visites de terrain, ils constituaient donc des points de mesure fiables.

Ci-dessous (figure 7) le genre de photo utilisée pour récupérer des points de mesures de profondeur d'eau.

a.



b.



Figure 8: Photos obtenues par le crowdsourcing utilisées pour l'estimation de la profondeur d'inondation

De cette façon 6 points de repère ont pu être définis. En ces points la mesure de la profondeur de l'eau d'inondation a été prise avec un mètre déroulant pendant les visites sur le terrain et les coordonnées géographiques ont pu être notées.

Les mesures de profondeur ont été rapportées dans un tableau Excel (tableau 3).

ID#	x (longitude)	y (latitude)	Profondeur d'eau (cm)
1	6.094770	49.491867	32
2	6.094717	49.491906	24
3	6.0945094	49.4917874	60
4	6.0948718	49.4917593	18
5	6.095288	49.491741	38
6	6.0951031	49.4917005	18

Tableau 3: Les mesures de profondeur obtenues par les photos crowdsourcées

Résultats et Discussion

Etendue

Les indications des sondés (endroits inondés ou non) (tableau 4) sont reportées graphiquement sur la carte créée (figure 8). La couleur verte indique que l'endroit était inondé, la couleur rouge indique qu'il n'y avait pas d'inondations. On remarque des divergences entre la modélisation et les indications des sondés dans trois des six zones.

Maison	Témoignages	Modélisation
Maison 111 (a)	Pas d'eau	Eau
« partie en bas » (d)	Eau	Eau
Maison 117 (e)	Eau	Eau
« partie en haut » (b)	Pas d'eau	Eau
« partie en haut » (c)	Pas d'eau	Eau
« Partie en haut » (f)	Eau	Eau

Tableau 4: Récapitulatif : étendue de l'inondation

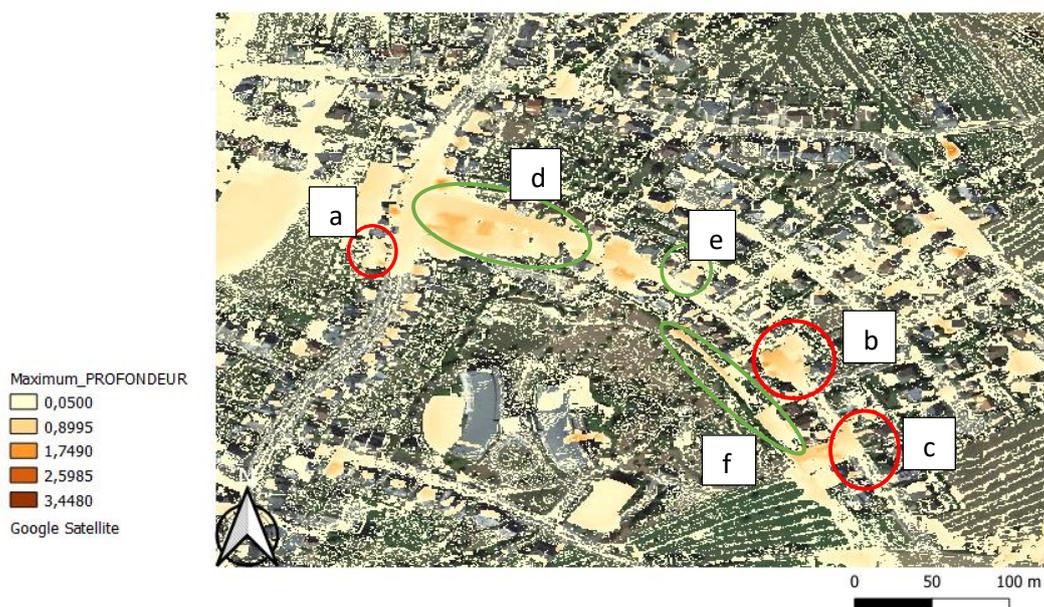


Figure 9: Illustration des convergences (cercles verts) et des divergences (cercles rouges)

Divergence en zone a :

La citoyenne avait indiqué qu'il n'y avait pas d'eau d'inondation à l'intérieur de sa maison. Dans son commentaire elle indiquait que depuis 1969 sa maison était épargnée des inondations à cause d'aménagements particuliers qui empêcheraient l'eau de pénétrer à l'intérieur de sa maison. Elle n'a donc fourni qu'une réponse partielle ; il est donc possible qu'il y eût une inondation à l'extérieur de sa maison. Cependant la modélisation indique une profondeur d'eau d'environ 80 cm devant le garage de sa maison. Une telle inondation devrait déborder sur la cave et ne passerait pas inaperçue.

Divergence en zone b :

Le citoyen indique qu'il n'y avait pas d'inondation ni à l'intérieur ni à l'extérieur de sa maison, alors que la modélisation indique une profondeur variant de 80-140 cm sur la bande longeant la maison. Comme la modélisation relève à cet endroit également deux zones voisines dont l'une aurait connu une profondeur d'inondation maximale d'environ 6 cm et l'autre aurait connu une profondeur d'inondation maximale d'environ de 140 cm en zone b on peut supposer qu'il y a une erreur dans la modélisation, due probablement au modèle numérique d'élévation ou à la non prise en compte de la canalisation.

Divergence en zone c :

Le citoyen indique qu'il n'y avait pas d'inondation ni à l'intérieur ni à l'extérieur de sa maison, alors que la modélisation indique une profondeur variant de 80-140 cm sur la bande longeant la maison. Comme la modélisation relève à cet endroit également deux zones voisines dont l'une aurait connu une profondeur d'inondation maximale d'environ 6 cm et l'autre aurait connu une profondeur d'inondation maximale d'environ de 100 cm en zone c on peut supposer qu'il y a une erreur dans la modélisation, due probablement au modèle numérique d'élévation ou à la non prise en compte de la canalisation.

Convergence en zone d :

Les informations sur cette zone sont multiples et convergentes :

- Les citoyens habitant cette zone indiquent dans les questionnaires et dans les entretiens qu'il y avait inondations à la fois à l'extérieur de leurs maisons qu'à l'intérieur.
- Les citoyens habitant « en haut » de cette zone ont indiqué que la zone était inondée.
- Les photos mises à disposition par les habitants de la zone montrent clairement que celle-ci a été inondée.

Ici les données fournies par les citoyens valident les résultats de la modélisation en matière d'étendue de l'inondation.

Convergence en zone e :

L'habitant a indiqué que l'eau était venue jusqu'à hauteur de ses chevilles. On suppose que cette mesure se réfère à l'extérieur étant donné qu'il indiquait en même temps qu'il n'y avait pas de dégâts matériels.

Ici les données fournies par l'habitant valident les résultats de la modélisation en matière d'étendue de l'inondation.

Convergence en zone f :

Un habitant dont le jardin est attenant à cette zone, indique qu'il y avait inondations. En effet, à cet endroit se trouve un fossé, qui collecte les eaux de surface provenant des jardins, des prés et du parc du centre pour personnes âgées.

La modélisation indique qu'il y avait inondations en cette zone, le tracé du fossé est visible.

Ici les données fournies par l'habitant valident les résultats de la modélisation en matière d'étendue de l'inondation.

Profondeur

a) Mesures repérées par photos

Les endroits repérés à l'aide des photos et visités par la suite pour prendre les mesures des profondeurs ont été marqués sur la carte (figure 10) ci-dessous par des points rouges :



Figure 10: Illustration des points repérés à l'aide des photos

La superposition de la couche vectorielle des points de mesure avec la couche matricielle de l'inondation a permis de trouver pour chaque point la profondeur simulée par la modélisation LISFLOOD.

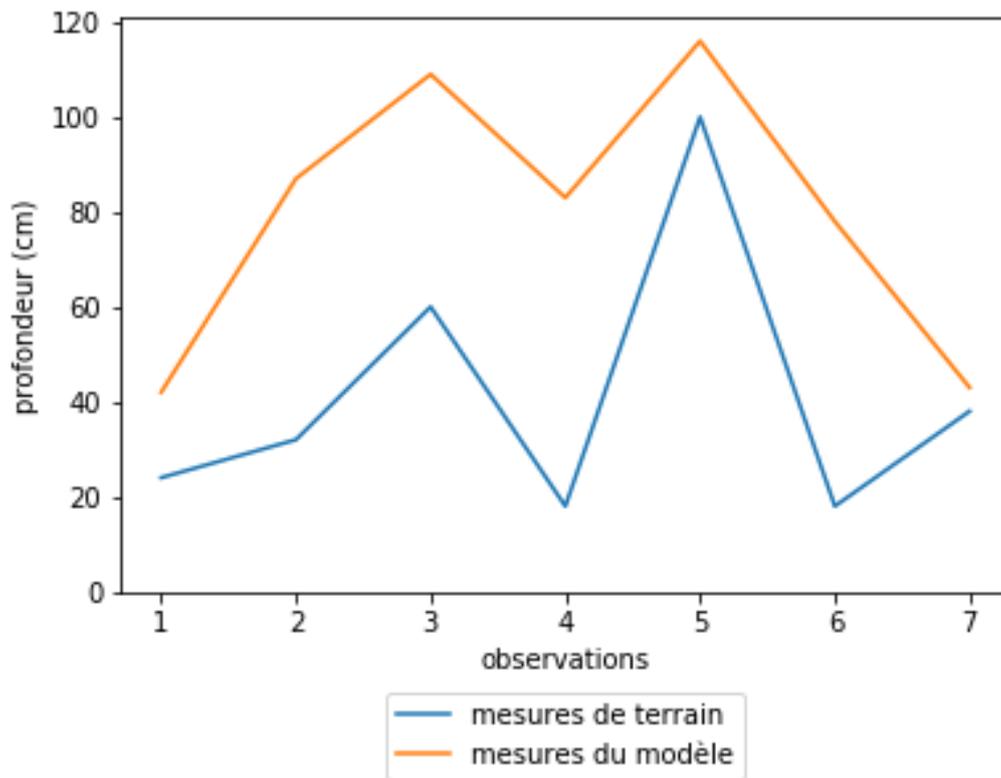


Figure 11: Mesures collectées sur le terrain et les mesures calculées par la modélisation sous forme de courbes

Le premier graphique (figure 11) montre les mesures collectées sur le terrain et les mesures calculées par la modélisation sous forme de courbes. Il permet d'avoir une représentation graphique des profondeurs mesurées sur le terrain et des profondeurs calculées par la modélisation. Ce premier aperçu montre que dans les points 1, 5, 7 les courbes sont plutôt rapprochées, alors que dans les points 2, 3, 4, 6 les deux courbes sont plutôt éloignées.

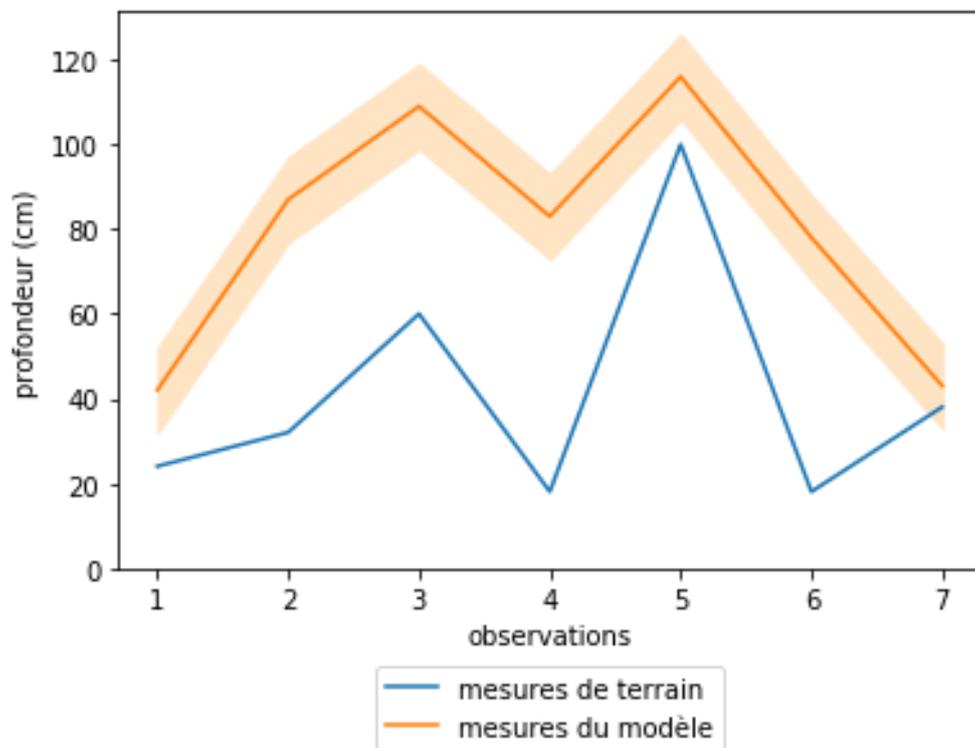


Figure 12: Mesures collectées sur le terrain et mesures calculées par la modélisation (avec un intervalle de confiance de 10 cm) sous forme de courbes

Comme le modèle numérique d'élévation est susceptible d'engendrer des inexactitudes dans les profondeurs obtenues par la modélisation, j'ai calculé un intervalle de confiance de 10 cm. Ce graphique (figure 12) représente donc les mesures collectées sur le terrain et les mesures calculées par la modélisation sous forme de courbe complétée par la représentation de l'intervalle de confiance de 10 cm.

Les deux courbes ont un point d'intersection : point de mesure 7. Il en découle que les mesures de terrain en ce point valident la modélisation.

L'écart entre les deux courbes aux points 1 et 5 n'est pas important. En ces points les mesures prises sur le terrain sont proches des mesures calculées par la modélisation.

L'écart entre les deux courbes en les points 2, 3, 4, 6 est important. Ici les mesures de terrain diffèrent considérablement des mesures calculées par la modélisation.

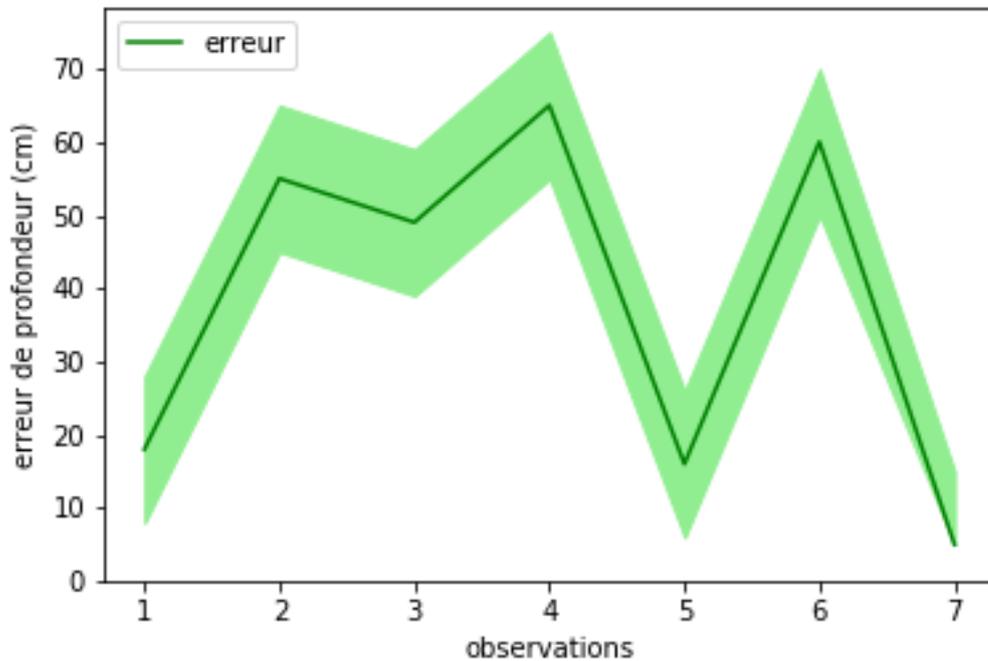


Figure 13: Erreur de profondeur en cm

Le graphique (figure 13) chiffre l'erreur en centimètres.

Cette représentation permet d'illustrer les différences entre les mesures de terrain et les mesures calculées par la modélisation.

En trois des sept points l'erreur n'est pas élevée :

- En point 1:
- En point 5:
- En point 7:

Etant donné que les différences sont en-dessous de 30 cm, on peut dire qu'il y a une concordance plutôt bonne entre les profondeurs d'inondation observées et simulées.

Dans son article « Model validation using crowd-sourced data from a large pluvial flood » V. Kutija écrit: "Of twelve investigated locations some points showed a relatively good match

between the observed and simulated inundation depths with differences of up to ± 0.3 m” (Kutija, V. et al., 2014).

Une analyse détaillée des écarts entre les mesures permet de trouver des explications plausibles et multiples. Il n’est pas possible de déterminer les causes exactes pour chaque point de mesure ; souvent plusieurs facteurs sont en jeu.

- Les photos comme source d’erreur
Etant donné que les photos ne sont pas horodatées, l’heure à laquelle elles ont été prises a dû être estimée. Il est donc possible qu’une mauvaise attribution de l’heure estimée sur les photos et profondeur a été faite.
- La modélisation comme source d’erreur
Certains éléments qui peuvent contribuer à répartir, évacuer ou augmenter l’eau ne sont pas pris en compte par la modélisation. Parmi lesquelles on peut énumérer le système de canalisation, les allées descendant vers les garages, l’activité humaine (pompage) et le jaillissement d’eau des évacuations. Ici il convient également de noter qu’en général les modélisations surestiment les profondeurs d’inondation.
- Les variables d’entrée et les paramètres du modèle comme source d’erreur
L’application LISFLOOD s’utilise normalement pour modéliser de grands événements d’inondation. L’utiliser pour modéliser un événement mineur peut entraîner des inexactitudes.

b) Mesures repérées par rapport au corps

Les mesures corporelles de profondeur ont été collectées à travers le questionnaire. Elles sont représentées graphiquement par des points roses sur la carte (figure 14) ci-dessous :



Figure 14: Illustration des points repérés à l'aide des questionnaires

La superposition de la couche vectorielle des points de mesure avec la couche matricielle de l'inondation a permis de trouver pour chaque point la profondeur calculée/simulée par la modélisation LISFLOOD.

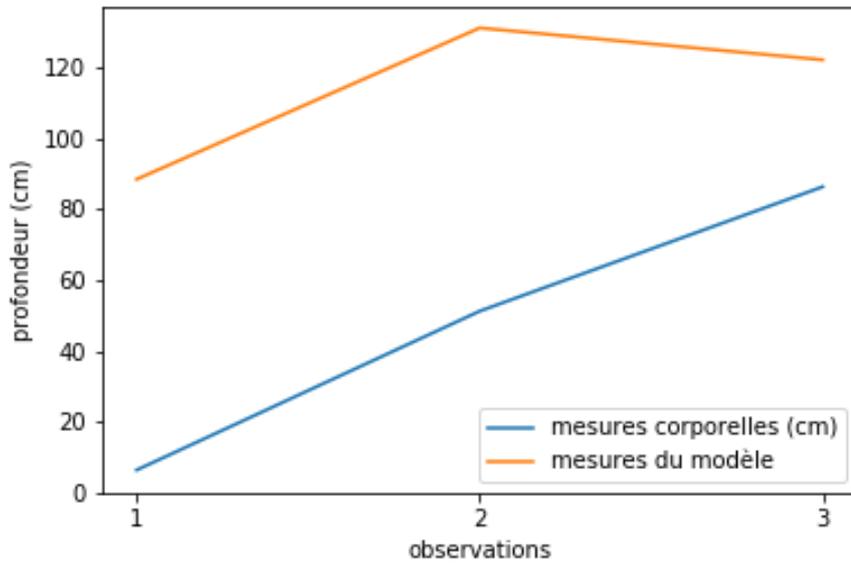


Figure 15: Mesures corporelles et mesures calculées par la modélisation sous forme de courbes

Ce graphique (figure 15) contient les courbes indiquant la profondeur d'eau simulée par la modélisation et les mesures corporelles obtenues par crowdsourcing. Un premier aperçu montre un écart important.

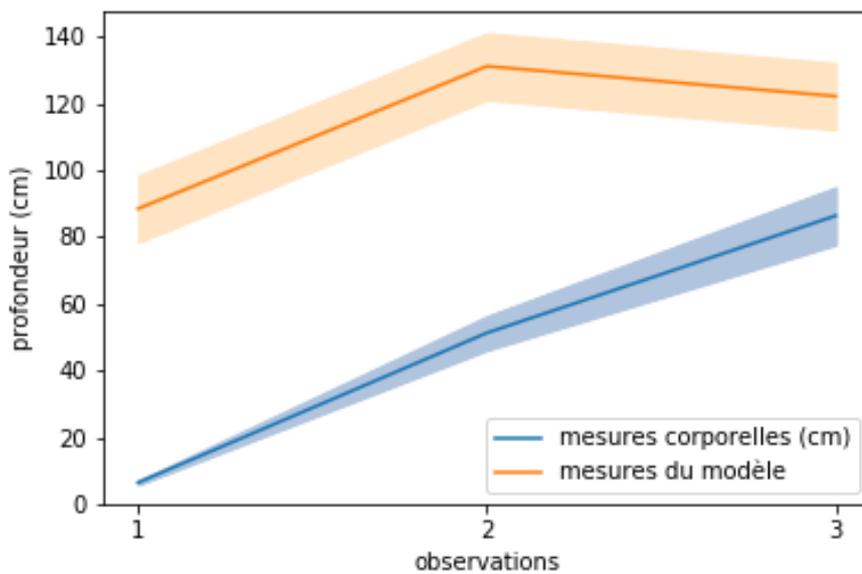


Figure 16: Mesures corporelles (avec un intervalle de confiance de 10 %) et mesures calculées par la modélisation (avec un intervalle de confiance de 10 cm) sous forme de courbes

Il faut tenir compte des incertitudes liées aux données citoyennes :

- Indication imprécise de la hauteur d'eau dans le questionnaire (Schéma corporel)
- Différence de la taille des sondés
- Fiabilité de la mémoire

Pour toutes ces raisons, un intervalle de confiance de 10% a été calculé pour les mesures corporelles. Les mesures calculées par la modélisation sont représentées avec un intervalle de confiance de 10 cm. Les deux courbes ne se rapprochent pas. (Figure 16)

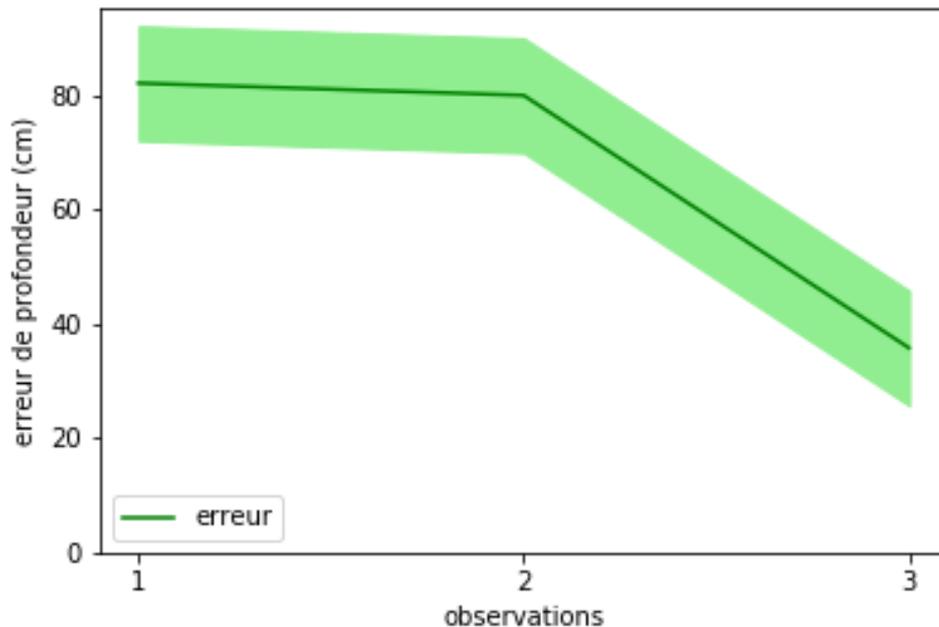


Figure 17: Erreur de profondeur en cm

Ce graphique (figure 17) chiffre l'erreur en cm.

Cette représentation permet d'illustrer les différences entre les mesures de terrain et les mesures calculées par la modélisation.

Les mesures corporelles diffèrent d'au moins 35 cm de celles de la modélisation. Les données obtenues par crowdsourcing ne valident donc pas la modélisation.

Il faut dire que de nombreuses difficultés ont été rencontrées lors de la collecte et de l'analyse des données obtenues par questionnaires et entretiens.

Parmi lesquelles il faut énumérer :

- Les sondés ne donnaient que des indications imprécises concernant la profondeur : impossible de dire où exactement ils ont pris les mesures (à l'intérieur ou l'extérieur).
- Contradictions dans les réponses : Par exemple une citoyenne avait indiqué que l'eau lui venait jusqu'aux chevilles, mais sur le schéma elle avait marqué le mollet.
- Le temps qui s'est écoulé entre l'inondation et cette étude fait que les citoyens qui n'ont pas eu beaucoup de dégâts, ne se souviennent plus de façon précise et ont même tendance à minimiser.

Vice-versa, on peut penser que le citoyen qui avait l'eau jusqu'aux hanches, donne une indication plutôt exacte ; car, comme le font remarquer Sotgiu et Galati : « les personnes qui ont vécu des événements traumatisants et stressants, comme des inondations, ont tendance à conserver un souvenir plus précis, détaillé et persistant dans le temps de l'événement » (Sotgiu et Galati, 2007)

Déroulement des inondations

Les indications des citoyens sur le déroulement ont été floues, c'est pourquoi elles ne peuvent pas être utilisées. Les citoyens décrivaient surtout leurs impressions :

« Il a plu en masse et on voyait que les évacuations ne suivaient plus. »

« Les plaques d'égout dans la rue et dans la cave ont « sauté » et l'eau a jailli de partout. ».

A défaut d'informations collectées auprès des citoyens sur le déroulement des inondations, la validation de cette partie de la modélisation est impossible.

En résumé, l'on peut constater que :

- Les données obtenues par crowdsourcing sur l'étendue de l'inondation se prêtent assez bien pour la validation de la modélisation,
- Les mesures obtenues par les photos valident assez bien la modélisation,
- Les mesures corporelles ne peuvent pas valider la modélisation,
- Les données citoyennes concernant le déroulement de la journée ne peuvent pas être utilisées pour la validation de la modélisation.

Difficultés rencontrées et recommandations

Difficultés

Dans ce travail, la difficulté résidait dans le fait que les données obtenues par crowdsourcing étaient souvent de qualité incertaine.

Il y a plusieurs raisons :

- Le cadre de l'étude

Pour cette étude il s'agissait d'une collecte rétrospective de données se rapportant à un événement d'inondation ayant eu lieu en 2016. Le laps de temps écoulé (5 ans) a pu avoir un effet négatif sur la mémoire. De plus, d'autres inondations ont eu lieu dans la zone d'étude, ce qui a pu engendrer de la confusion entre les événements. Pour ces raisons, certaines réponses ne fournissent que peu d'informations fiables.

Cette étude a été faite sous l'initiative de l'entreprise RSS-Hydro dans le but de valider ou non leur modélisation. Il en résulte que la zone d'étude était restreinte. Cela a une influence sur la quantité des données collectées.

- Le questionnaire

Les questions sur l'étendue, la profondeur et le déroulement des inondations n'étaient pas assez précises et n'étaient pas assez mises en avant, ce qui a eu comme conséquence que certaines réponses étaient floues et ne fournissaient pas les données attendues. Il aurait fallu demander plus de précisions, par exemple la taille des participants comme complément à la question sur la hauteur de l'eau mesurée sur le corps.

De même il y a eu malentendu sur le terme d'inondation. Certains citoyens ne savaient pas qu'on parle déjà d'inondations à partir d'une profondeur de 5 centimètres (seuil défini par le modélisateur) et qu'il ne faut pas forcément avoir de l'eau à l'intérieur de sa maison.

La mise en page du questionnaire était assez sobre ce qui a pu avoir un effet sur la motivation de retourner ou non le questionnaire.

Comme il s'agissait d'une étude rétrospective dans une zone restreinte le recours aux nouvelles technologies de communications n'était pas approprié. En plus, on savait que la plupart des habitants étaient plutôt âgés et donc, possiblement, moins à l'aise avec les nouvelles technologies. Or, un questionnaire imprimé sur papier et envoyé par voie postale offre moins de possibilités au niveau de la conception des questions. Il en résulte des réponses moins détaillées.

- Le profil des sondés

La plupart des difficultés résultaient du fait que les sondés n'étaient pas sensibilisés à ce genre d'étude. Les habitants de la zone d'étude semblaient être plutôt insouciants face aux risques d'inondations ; même s'ils avaient vécu d'importantes inondations en 2016, ils déclaraient dans les questionnaires qu'ils n'avaient pas pris de mesures depuis pour limiter les dégâts si de nouvelles inondations se produisaient.

Le manque de motivation a entraîné un taux de participation plutôt bas. Les sondés ne répondaient pas à toutes les questions. Les réponses n'allaient pas toujours de pair avec les questions posées.

Certains citoyens faisaient plutôt part de leur ressenti au lieu de donner des réponses précises. Les réponses étaient souvent contradictoires et elles ne pouvaient pas réellement être utilisées.

La moitié des participants n'ont pas laissé leurs adresses, ce qui rendait leurs réponses inutilisables.

Les photos mises à disposition par les citoyens n'étaient pas horodatées, ce qui en a compliqué l'analyse. En plus, les habitants de la « partie haut » de la rue, n'avaient pas mis à disposition des photos, ce qui est logique : ils n'avaient pas connu d'inondation, donc il n'y avait rien à photographier.

Le faible retour de réponses s'explique aussi par le fait que les habitants qui n'avaient pas connu d'inondations sur leur propriété jugeaient qu'ils n'étaient pas concernés et qu'ils n'avaient pas besoin de répondre.

Les sondés n'étaient pas assez conscients du fait qu'ils faisaient partie d'une recherche scientifique dont le succès dépend en grande partie de la qualité de leurs réponses.

Recommandations

A partir des difficultés éprouvées dans cette collecte de données citoyennes on peut formuler des recommandations pour éviter celles-ci lors de futurs projets.

Les articles repris dans la revue littéraire donnent d'ailleurs de nombreuses pistes, qui sont largement valables pour l'étude présente.

Tous les auteurs sont d'accord sur les points suivants :

- qu'il est judicieux de ne pas laisser passer trop de temps entre l'événement d'inondation et le crowdsourcing ;
- qu'il est primordial de sensibiliser le public cible pour le faire prendre conscience du risque d'inondation et pour le motiver, à travers cela, à participer à des projets scientifiques ayant comme but la prévention et la limitation des dégâts ;
- qu'il est important de communiquer clairement quel est l'objectif du crowdsourcing et quelles méthodes seront utilisées ;
- que le public cible doit être formé à ces méthodes de collecte de données ;
- que des protocoles d'observations et de prises de mesures doivent être établis pour s'assurer que tous les participants suivent la même démarche et ne se mettent pas en danger ;
- que des réunions doivent être organisées pour bien préparer le crowdsourcing. Lors de ces réunions, des experts en la matière (hydrologues, ingénieurs, sociologues...) de même que les citoyens concernés seraient invités à s'échanger pour lancer le projet ;
- que le projet doit être coordonné par un modérateur qui serait également interlocuteur pour les participants (en cas de questions) ;
- que les nouvelles techniques de communication et les réseaux sociaux sont utiles pour communiquer et interagir avec les participants, pour collecter un maximum de données, y compris des photos et des vidéos horodatées.

- que des enquêteurs supplémentaires doivent être prévus pour faire du porte-à-porte. Ceux-ci recueilleraient les données auprès des personnes qui ne seraient pas à l'aise avec les nouvelles technologies ;
- que des cartes de la zone d'étude doivent être utilisées comme support ; les citoyens y pourraient indiquer graphiquement l'endroit où ils ont pris une photo (Kutja, V., 2014) ou bien où ils ont pris les mesures de profondeur.

Conclusion

Au début, ce travail a été porté par l'espoir de démontrer comment le crowdsourcing peut pallier le manque de données dans la modélisation d'inondations. Les articles étudiés sur les différents projets de crowdsourcing sont pleins d'enthousiasme et encouragent à suivre cette nouvelle voie.

De plus, devant la gravité du phénomène naturel et devant l'urgence d'agir vite et bien pour prévenir les conséquences néfastes des inondations, tout apport contribuant à améliorer les modélisations est bienvenu. Les défis posés par la crise climatique exigent que scientifiques et citoyens travaillent main dans la main à la résolution des problèmes.

En participant à la collecte de données, les citoyens aideraient ainsi les scientifiques, qui travaillent avec acharnement pour établir des cartes de risque d'inondation qui doivent servir de base de décision aux autorités politiques.

Au cours de l'étude cependant, nous n'avons pas pu récupérer beaucoup de questionnaires. Ceux qui nous ont été retournés étaient souvent incomplets. Par conséquent, l'essentiel de ce travail n'était plus de traiter des quantités de données, mais plutôt de décider comment les données obtenues pourraient être utilisées judicieusement afin de servir dans ce projet. Après le traitement des données récoltées nous avons quand même pu valider en partie la modélisation. Nous voilà de nouveau plus optimistes quant à l'apport du crowdsourcing. En effet, les données crowdsourcées peuvent valider des modélisations d'inondations dans une certaine mesure. Cependant nous avons reconnu que des efforts supplémentaires sont nécessaires pour que cette validation devienne plus générale. C'est pourquoi une partie « recommandations » a été ajoutée à ce travail. Il s'est avéré, qu'avant de faire participer les citoyens, un large travail de sensibilisation et de préparation doit être fait. Les citoyens doivent être suivis tout au long.

En conclusion, nous pouvons dire que cette étude n'a peut-être pas atteint son objectif premier « valider la modélisation », mais qu'elle a montré le chemin pour de futurs projets à initier. En effet, comme la ville de Dudelange s'engage dans le pacte climat et inclut déjà la participation

citoyenne dans ses projets, il est tout à fait concevable que la ville se serve au futur du crowdsourcing pour compléter les cartes de risques d'inondation que l'entreprise RSS-Hydro est en train d'établir.

Bibliographie

Assumpção, T. H., Popescu, I., Jonoski, A., and Solomatine, D. P.: *Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 1473–1489, <https://doi.org/10.5194/hess-22-1473-2018>, 2018.

Bates, P., Trigg, M., Neal, J. et Dabrowa, A. (25.11.2013). *LISFLOOD-FP: User Manual*.

Blumberg, Alan F., Georgas, N., Yin, L., Herrington, T.O., Orton, P.M. (2015). *Street-Scale Modeling of storm surge inundation along the New Jersey Hudson River Waterfront*. DOI: 10.1175/JTECH-D-14-00213.1

CRED et UNDRR. (2020). *Human cost of disasters: An overview of the last 20 years, 2000-2019*. En ligne, [Human Cost of Disasters 2000-2019 FINAL.pdf \(undrr.org\)](https://www.undrr.org/publications/human-cost-of-disasters-2000-2019-final).

Downs, R.R., Ramapriyan, H.K., Peng, G., Wei, Y. (2021). *Perspectives on Citizen Science Data Quality*. Front. Clim. 3:615032. doi: 10.3389/fclim.2021.615032

Emwelt. (2018). *Le réseau hydrographique*. En ligne, https://environnement.public.lu/fr/waasser/rivieres/reseau_hydrographique.html

Gebremedhin, E.T., Basco-Carrera, L., Jonoski, A., Iliffe, M., Winsemius, H. (2020) *Crowdsourcing and interactive modelling for urban flood management*. *J Flood Risk Management*. 13:e12602. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12602>

Haklay, M. (2018). Participatory citizen science. In Haklay M., Hecker S., Bowser A., Makuch Z., Vogel J., & Bonn A. (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 52-62). London: UCL Press., en ligne, <http://www.jstor.org/stable/j.ctv550cf2.11>

Jafari, M.M.; Ojaghlou, H.; Zare, M.; Schumann, G.J. (2021). *Application of a Novel Hybrid Wavelet-ANFIS/Fuzzy C-Means Clustering Model to Predict Groundwater Fluctuations*. *Atmosphere* 2021, 12, 9. doi:10.3390/atmos12010009

LeCoz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillen, N.F., Garcia, C.M., et al. (2016) *Crowdsourced data for flood hydrology: feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand*. Journal of Hydrology, Elsevier, 541, pp.766-777. [ff10.1016/j.jhydrol.2016.07.036](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.036). [ff.fhal-01945326f](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.036)

En ligne, https://ec-jrc.github.io/lisflood-model/1_1_introduction_LISFLOOD/.

Kutija, V., Bertsch, R., Glenis, V., Alderson, D., Parkin, G., Walsh, C., Robinson, J., Kilsby, Ch. (2014) *"Model Validation Using Crowd-Sourced Data From A Large Pluvial Flood"* CUNY Academic Works. https://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic/415

MétéoLux, (2016). *Retour sur les fortes précipitations survenues le 30 mai 2016*. En ligne, <https://www.meteolux.lu/de/aktuelles/retour-sur-les-fortes-precipitations-survenues-le-30-mai-2016/?lang=fr>, page consulté en mars 2021.

Plan d'aménagement général. En ligne, <https://www.dudelange.lu/fr/Pages/PAG-en-vigueur.aspx>

Portail du cadastre et de la topographie. (2020). *LIDAR*. En ligne, [LiDAR - Cartographie / Vues aériennes - Portail du cadastre et de la topographie - Luxembourg \(public.lu\)](https://www.public.lu/fr/actualites/2020/07/01/lidar)

Portail luxembourgeois des sciences de la Terre. (n.d). *Carte géologique du Grand-Duché du Luxembourg*. En ligne, <http://www.geologie.lu/index.php/geologie-du-luxembourg/carte-geologique>.

QGIS. En ligne, [Bienvenue sur le projet QGIS !](https://qgis.org/fr/site/index.php).

See, L. (2019). *A Review of Citizen Science and Crowdsourcing in Applications of Pluvial Flooding*. Front. Earth Sci. 7:44. doi: 10.3389/feart.2019.00044

Sotgiu, I. and Galati, D.: *Long-term memory for traumatic events: experiences and emotional reactions during the 2000 flood in Italy*, J. Psychol., 141, 91–108, 2007.

Sy, B., et al. (2019). *Flood hazard assessment and the role of citizen science*. En ligne, <https://doi.org/10.1111/jfr3.12519>

Sy, B., Frischknecht, C., Dao, H., Consuegra, D., and Giuliani, G. (2020). *Reconstituting past flood events: the contribution of citizen science*, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 61–74, <https://doi.org/10.5194/hess-24-61-2020>.

Ville de Dudelange, (19 mai 2021). *La participation citoyenne plus que jamais au cœur de Dudelange*. En ligne, <https://www.ondiraitlesud.lu/un-pas-de-plus-vers-la-democratie-participative/>

Worlddata. (n.d). *Size by continents*. En ligne, <https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php#by-area>.

Zheng, F., Tao, R., Maier, H. R., See, L., Savic, D., Zhang, T., et al. (2018). *Crowdsourcing methods for data collection in geophysics: State of the art, issues, and future directions*. *Reviews of Geophysics*, 56, 698–740. <https://doi.org/10.1029/2018RG000616>.

Annexes

Annexes.....	I
I) Échelle de participation – Haklay.....	II
II) Questionnaire (version française).....	III
III) Les réponses aux questionnaires.....	IX
IV) Photos avec points de mesures.....	XVIII

I) Échelle de participation – Haklay

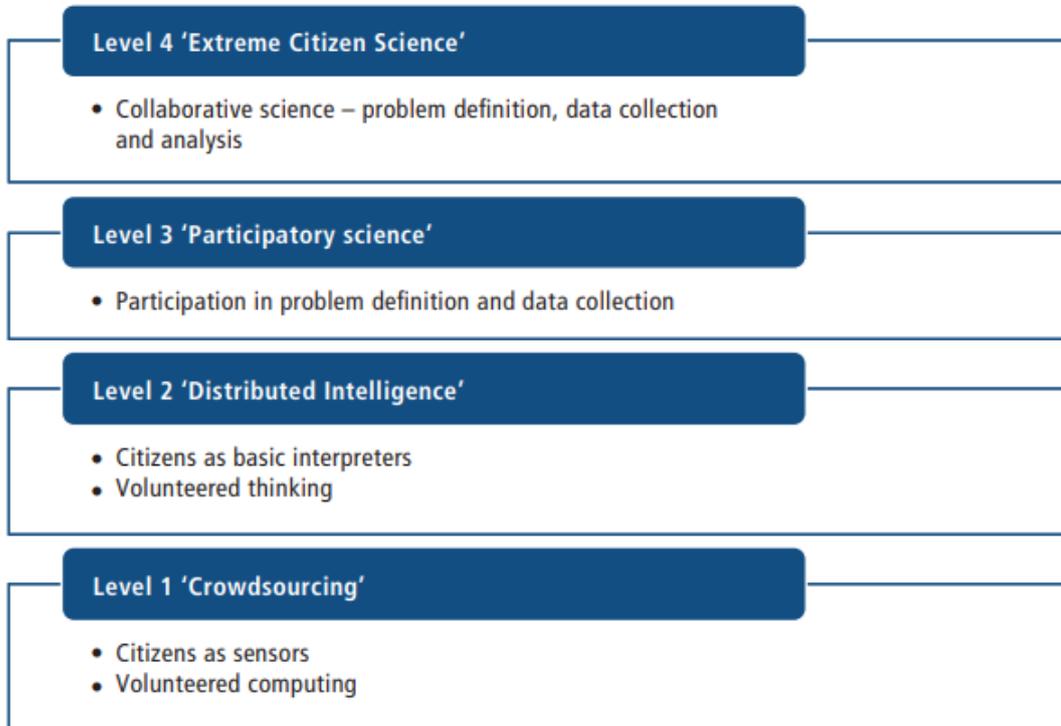


Fig. 4.1 Levels of participation in citizen science (Haklay 2013)

Figure 1: L'échelle de participation de Haklay

II) Questionnaire (version française)

Questionnaire : version française

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de mes études en environnement à l'Université de Liège je fais actuellement un stage chez RSS-Hydro. J'y participe à un projet de modélisation d'inondations.

Nous nous intéressons particulièrement aux inondations du **30 mai 2016** à Burange.

Pour recueillir des informations supplémentaires j'ai élaboré un questionnaire que j'aimerais vous soumettre. Je serais très contente si vous pouviez supporter notre recherche en répondant aux questions de mon enquête. Vos réponses seront traitées de manière anonyme et confidentielle.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à nous contacter :

Adresse électronique : info@rss-hydro.lu
Adresse : 100, route de Volmerange
3593 Dudelange

Nous espérons pouvoir compter sur votre participation !

Merci

Lena Klein, Université de Liège / RSS-Hydro

Merci de renvoyer le questionnaire rempli à cette adresse :

**RSS-Hydro
100, route de Volmerange
L-3593 Dudelange**

Les questions :

Ce questionnaire s'adresse aux personnes à partir de 18 ans qui ont effectivement habité dans le quartier Burange en 2016.

Merci de ne cocher qu'une seule réponse par question, sauf si indiqué autrement.

1. Dans quelle tranche d'âge vous retrouvez-vous ?

18-25	
26-50	
51-75	
>75	

2. Votre sexe

Féminin	
Masculin	

3. Avez-vous une cave ou/et un garage dans le sous-sol de votre maison ?

Oui	
Non	

4. Est-ce que vous connaissez le site internet « MétéoLux » et/ou le site internet « inondations.lu » ?

Oui, je consulte parfois le site internet « MétéoLux »	
Oui, je consulte parfois le site internet « Inondations.lu »	
Oui, mais je ne les consulte pas	
Non	

5. Avez-vous déjà fait l'expérience d'inondations chez vous avant mai 2016 ?

Oui, mais les inondations n'étaient jamais si graves qu'en 2016	
Oui, ces inondations étaient encore pires qu'en 2016	
Non, jamais	

6. Etiez-vous au courant des inondations du 30 mai 2016 avant qu'elles ne se produisent ? Si oui, vous avez reçu l'information par quel moyen ?

Non	
Télévision	
Radio	
Réseaux sociaux	
SMS	
Amis/voisins	
MétéoLux	
Autre :	

7. Avez-vous fait des précautions, lorsque vous avez remarqué qu'il s'agissait de fortes pluies et qu'il y avait un risque d'inondation ? Lesquels ?

--

8. Qui avez-vous contacté en premier lorsque vous avez remarqué les inondations ?

CGDIS	
Police	
Votre assurance	
Famille / voisin(s)	
Administration de la gestion de l'eau	
Autre :	

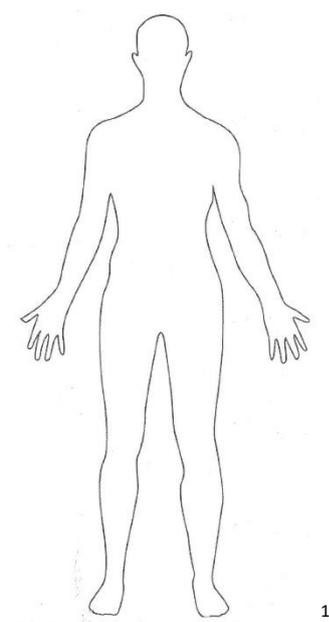
9. En deux/trois phrases comment décririez-vous que cette journée s'est déroulée ?

--

10. Après les inondations l'eau dans votre cave/garage ou dans/devant votre maison a atteint quelle hauteur ?

Les chevilles	
Les genoux	
Les hanches	
La taille	
Autre :	

11. Pouvez-vous tracer la hauteur de l'eau sur cette image ?



12. Quelle(s) est/sont selon vous les causes de ces inondations ? (Pour cette question vous pouvez cocher plusieurs réponses)

La pluie	<input type="checkbox"/>
Les changements climatiques	<input type="checkbox"/>
L'aménagement du territoire	<input type="checkbox"/>
Le réseau d'égouttage	<input type="checkbox"/>
La géologie	<input type="checkbox"/>
La localisation de la maison	<input type="checkbox"/>
Diddelenger Baach	<input type="checkbox"/>
Autre :	<input type="checkbox"/>

13. Avez-vous l'impression que le nombre d'inondations a augmenté récemment ?

Oui	<input type="checkbox"/>
Non	<input type="checkbox"/>

14. À la suite des inondations en 2016, avez-vous fait des aménagements afin de réduire les dégâts lors de nouvelles inondations ?

Oui	<input type="checkbox"/>
Non	<input type="checkbox"/>

¹ Source : <https://www.pinterest.se/pin/290271138458591054/>

15. Si oui, lesquels ?

--

16. Si des inondations se produisaient demain, seriez-vous prêt à y faire face ?

Oui	
Non	

17. Comment vous préparez-vous pour les prochaines inondations ?

--

18. Avez-vous des suggestions qui pourraient, selon vous, contribuer à atténuer le problème d'inondations à Burange ?

--

19. Avez-vous encore des commentaires ou voulez-vous nous donner encore d'autres informations ?

--

20. Acceptez-vous de laisser votre nom et votre adresse ?²

² Nous utilisons ces informations pour les comparer avec les données de notre modèle d'inondation.

III) Les réponses aux questionnaires

Toutes les réponses ont été traduites en français.

ID	1. Dans quelle tranche d'âge vous retrouvez-vous ?
1	51-75
2	>75
3	26-50
4	51-75
5	51-75
6	>75
7	51-75
8	51-75

ID	2. Votre sexe
1	51-75
2	>75
3	26-50
4	51-75
5	51-75
6	>75
7	51-75
8	51-75

ID	3. Avez-vous une cave ou/et un garage dans le sous-sol de votre maison ?
1	Oui
2	Oui
3	Oui
4	Oui
5	Oui
6	Oui
7	Oui
8	Oui

ID	4. Est-ce que vous connaissez le site internet « MétéoLux » et/ou le site internet « inondations.lu » ?
1	Non
2	Oui, je consulte parfois le site internet « MétéoLux »
3	Non
4	Oui, je consulte parfois le site internet « MétéoLux »
5	Non
6	Non
7	Oui, je consulte parfois le site internet « MétéoLux »
8	Oui, je consulte parfois le site internet « MétéoLux »

ID	5. Avez-vous déjà fait l'expérience d'inondations chez vous avant mai 2016 ?
1	Oui, ces inondations étaient encore pires qu'en 2016
2	Pas d'inondations jamais depuis 1969
3	Non, jamais
4	Oui, mais les inondations n'étaient jamais si graves qu'en 2016
5	Oui, mais les inondations n'étaient jamais si graves qu'en 2016
6	Oui, ces inondations étaient encore pires qu'en 2016
7	Non, jamais
8	Oui, ces inondations étaient encore pires qu'en 2016

ID	6. Etiez-vous au courant des inondations du 30 mai 2016 avant qu'elles ne se produisent ? Si oui, vous avez reçu l'information par quel moyen ?
1	Amis/voisins
2	/
3	Télévision, réseaux sociaux, amis/voisins
4	Non
5	Non
6	Non
7	Non
8	Amis/voisins, Expérience

ID	7. Avez-vous fait des précautions, lorsque vous avez remarqué qu'il s'agissait de fortes pluies et qu'il y avait un risque d'inondation ? Lesquels ?
1	Lors des inondations de 1987-88 nous avons beaucoup de dégâts. Nous avons permis aux pompier d'installer des pompes pour attraper l'eau.
2	/
3	Non
4	Pas du tout, l'eau était direct là, on n'avait pas de chance pour intervenir
5	L'eau est arrivée si vite qu'on n'a pas eu le temps de faire quoi que ce soit.
6	Lors des inondations du 30-05-2016 on a été épargnée et c'est uniquement les habitants en bas de la rue (Révérend Père Jacques Thiel) ont eu des dégâts.
7	Nous avons dégagé le fossé entre notre maison et la maison de repos.
8	Nous avons tout mis en place : quand l'eau est arrivée à l'intérieur du garage, nous avons essayé de la nettoyer, afin d'éviter le pire.

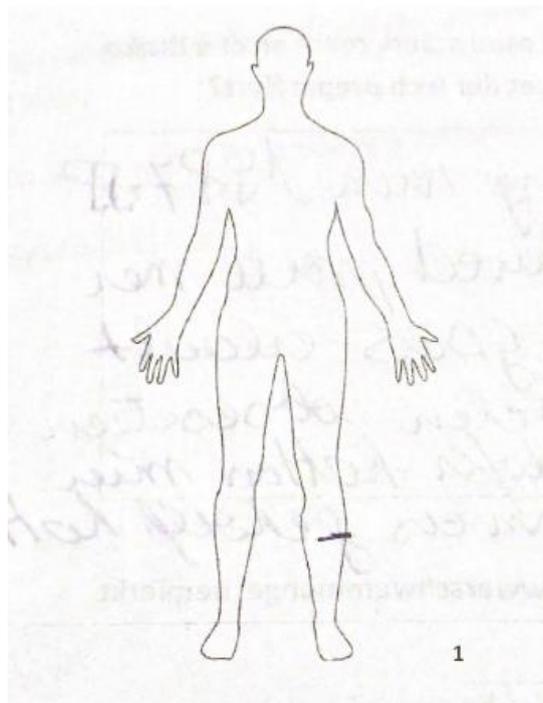
ID	8. Qui avez-vous contacté en premier lorsque vous avez remarqué les inondations ?
1	CDIS
2	/
3	/
4	CGDIS, AGE
5	amis/voisin
6	CDGIS
7	/
8	amis/voisins, Commune

ID	9. En deux/trois phrases comment décririez-vous que cette journée s'est déroulée ?
1	Nous avons aidé nos voisins. Comme la plupart d'entre eux n'ont pas de drain, nous avons des coûts élevés. Ni l'assurance ni la municipalité ne nous ont aidés à supporter les coûts.
2	aucune idée
3	/
4	Les plaques d'égout dans la rue et dans la cave ont « sauté » et l'eau a jailli de partout.
5	Clairement terrible ! L'eau et la saleté étaient partout dans la cave et sur la terrasse. Dans une telle situation, on est tout simplement impuissant.
6	/
7	Dans la partie inférieure de la rue, les "nouvelles maisons" n'ont pas pu faire face à la pluie et l'eau s'est donc accumulée.
8	Il a plu en masse et on voyait que les évacuations ne suivaient plus.

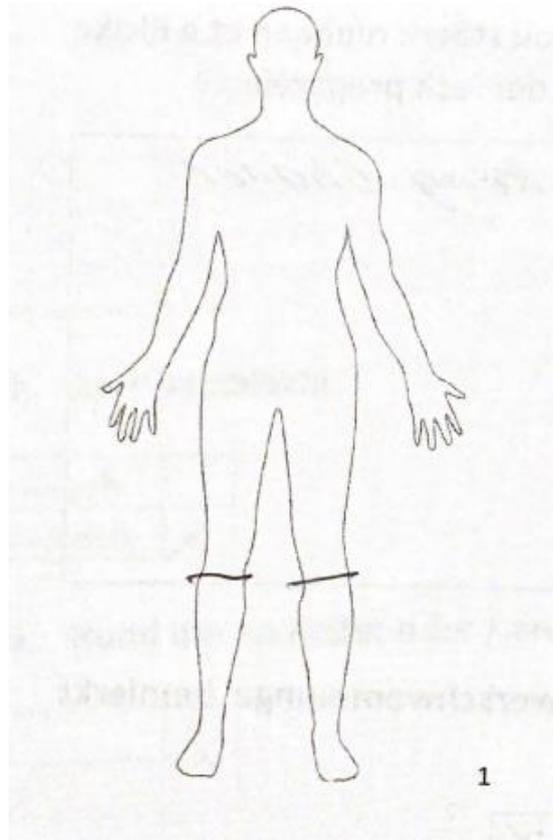
ID	10. Après les inondations l'eau dans votre cave/garage ou dans/devant votre maison a atteint quelle hauteur ?
1	Les genoux
2	Je ne me rappelle plus
3	/
4	Les genoux
5	Les chevilles
6	Les chevilles
7	Pas d'inondations
8	Les hanches

11. Pouvez-vous tracer la hauteur de l'eau sur cette image ?

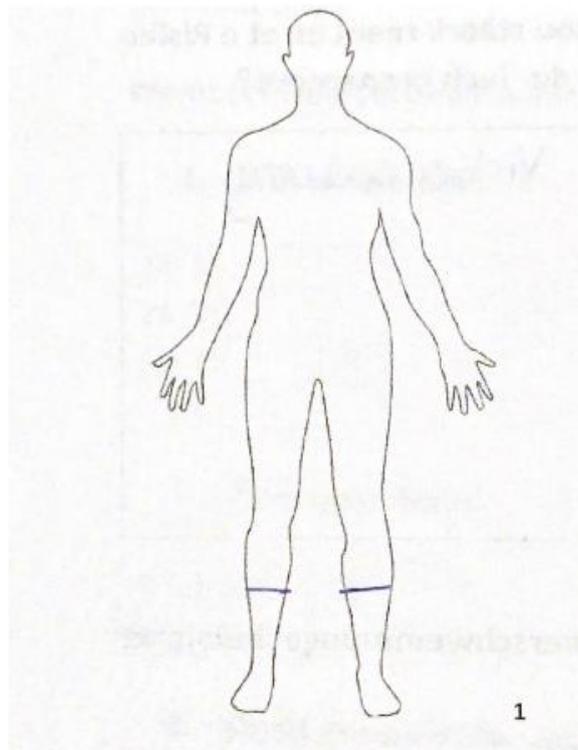
ID1 :



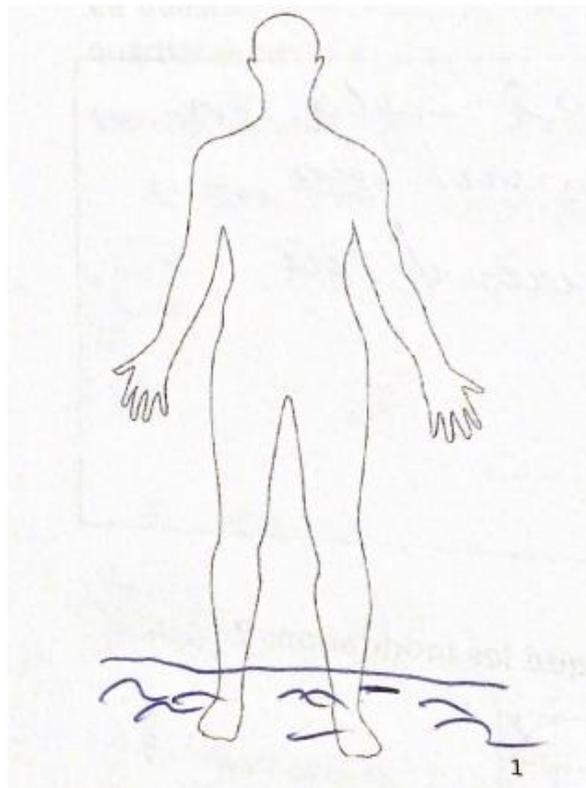
ID4 :



ID5 :



ID6 :



ID	12. Quelle(s) est/sont selon vous les causes de ces inondations ? (Pour cette question vous pouvez cocher plusieurs réponses)
1	Pluie, L'aménagement du territoire, Le réseau d'égouttage
2	/
3	/
4	La pluie, Le réseau d'égouttage, Diddelenger Baach(, gedechelt Parc Leh an Thiel Stross)
5	La pluie, Les changements climatiques, Le réseau d'égouttage, Diddelenger Baach
6	L'aménagement du territoire, réseau d'égouttage
7	Réseau d'égout
8	La pluie, le réseau d'égout

ID	13. Avez-vous l'impression que le nombre d'inondations a augmenté récemment ?
1	Non
2	/
3	Non
4	Oui
5	Oui
6	Non
7	Non (à Burange)
8	Oui

ID	14. À la suite des inondations en 2016, avez-vous fait des aménagements afin de réduire les dégâts lors de nouvelles inondations ?
1	Oui
2	/
3	Non
4	Non
5	Non
6	Oui
7	Oui
8	Oui

ID	15. Si oui, lesquels ?
1	/
2	/
3	/
4	/
5	/
6	Un drain français à l'arrière du terrain
7	On s'est acheté des sacs de sable
8	La commune a installé une protection contre les inondations pour nous.

ID	16. Si des inondations se produisaient demain, seriez-vous prêt à y faire face ?
1	Non
2	/
3	Oui
4	Non
5	Non
6	Non
7	Non
8	Oui

ID	17. Comment vous prépariez-vous pour les prochaines inondations ?
1	/
2	/
3	/
4	Si chacun essaie de se préparer à sa propre manière, c'est contreproductif ! Certains installent des clapets anti-retours ou des barrières. Mais l'eau refoulée chez les uns va augmenter l'inondation chez les autres.
5	On ne peut pas se préparer à une inondation. L'eau est plus forte, pénètre partout et ne peut pas être freinée
6	/
7	/
8	Nous érigeons cette protection

ID	18. Avez-vous des suggestions qui pourraient, selon vous, contribuer à atténuer le problème d'inondations à Burange ?
1	Le drainage autour des maisons
2	/
3	/
4	Lorsqu'il pleut beaucoup les eaux du Diddelenger Bach sont refoulées de Bettembourg à Dudelange. De plus, il y a des ruissellements du Parc Lé'h. Les bassins de rétention font partie de la solution, mais l'eau cherche toujours sa voie.
5	Les autorités communales devraient charger un service spécialisé avec la recherche de solution.
6	Demander à la commune de faire des bassins de récupération d'eau et d'adapter le système de canalisation.
7	Les responsables communaux devraient réparer les erreurs commises lors de l'aménagement de la canalisation.
8	La situation s'est améliorée depuis que la commune a réduit le débit de l'eau drainée. Il paraît qu'un drainage supplémentaire est en planification.

ID	19. Avez-vous encore des commentaires ou voulez-vous nous donner encore d'autres informations ?
1	/
2	Nos tuyaux d'évacuations sont assez profonds et ont une bonne pente et même si tout le voisinage avait des inondations nous n'étions jamais concernés.
3	/
4	En 2016, nous avons eu des dommages de 25 000 euros : nettoyer, peindre, nouvelles portes, ascenseur. 3 lettres adressées à la commune, pas de réaction.
5	Protéger la nature, couper moins d'arbres.
6	Lors des premières inondations en 1978 on avait demandé à la commune d'installer un drainage qui a été installé à un autre endroit et le problème d'eau n'a jamais été résolu.
7	J'habite ici depuis 1974, la première inondation a eu lieu après la pose d'un nouveau drainage. Donc mauvaise planification.
8	/

ID	20. Acceptez-vous de laisser votre nom et votre adresse ?
1	/
2	Oui
3	/
4	Oui
5	/
6	Oui
7	/
8	oui

IV) Photos avec points de mesures



Figure 2: Points 1, 2, 5

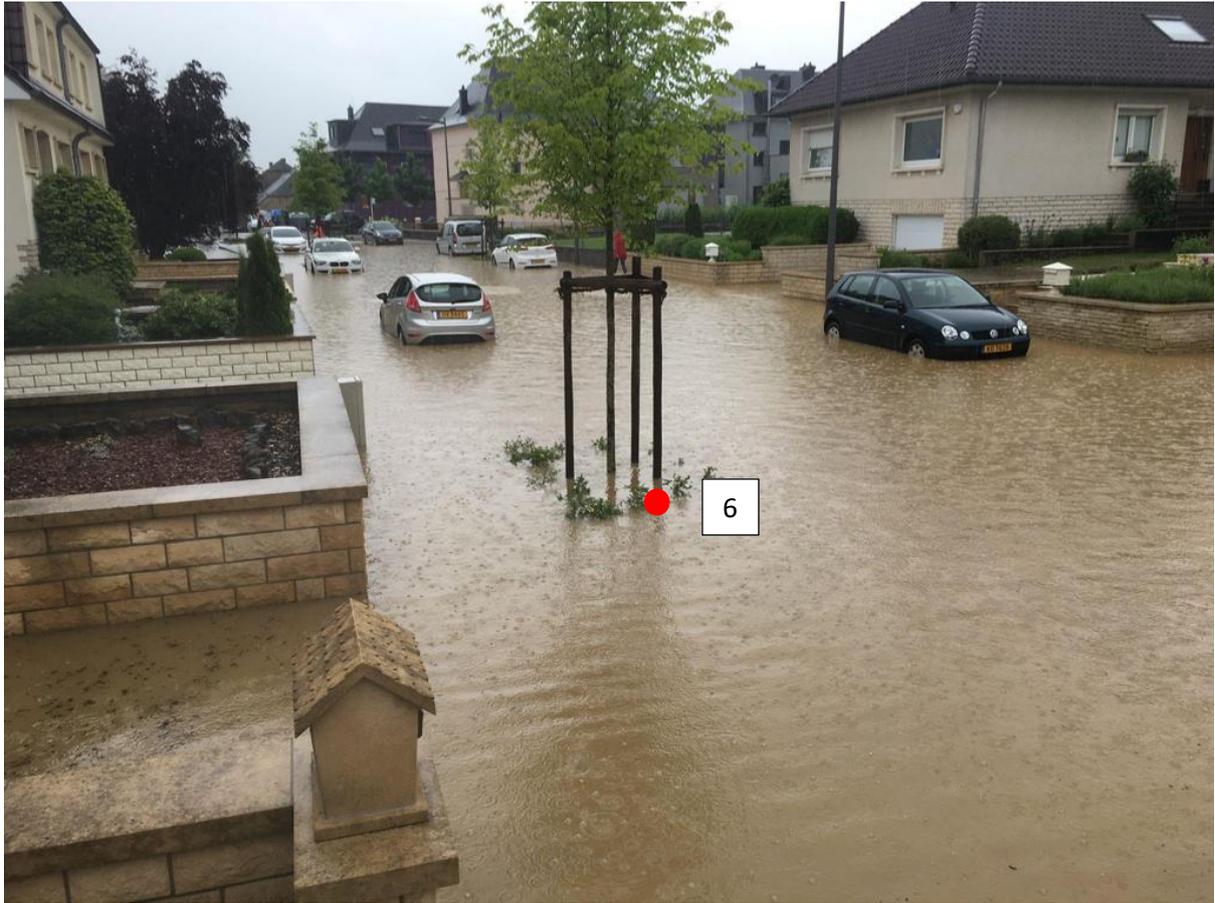


Figure 3: Point 6



Figure 4: point 7



Figure 5: Point 3



Figure 6: Point