



PO FEDER 2014-2020

Projet de Recherche : ReNovRisk-Transferts

Recherche intégrée et innovante sur les risques naturels

Aléas cycloniques sur la zone atelier « Massif du Maïdo – Littoral – Lagon »

Fiche Action 1.04 :

« Améliorer les compétences au service de l'économie de la connaissance »

N° Convention : GURDTI/20191772-001881

N° Synergie : RE0001881

ACTION 2 : Aléas Hydrologiques

Livrable L2.1 : Rapport synthétique présentant l'implantation des stations, le bilan des mesures effectuées et l'analyse des résultats

| | |
|-------------------|--|
| | Livrable L2.1 : Rapport synthétique présentant l'implantation des stations, le bilan des mesures effectuées et l'analyse des résultats |
| | (01/07/2023) |
| Projet | Programme opérationnel FEDER 2014-2020. <u>Convention</u> N° : GURDTI/20191772-001881 <u>Opération</u> : RENOVRIK TRANSFERT N° Synergie : RE0001881 |
| Fiche action | 1.04 : « Améliorer les compétences au service de l'économie de la connaissance » |
| Porteur du Projet | CAMMAS Jean Pierre |
| Contributeurs | Join Jean-Lambert, Gautier Maxime, Nifaut Quentin |
| Laboratoire | Laboratoire Géosciences Réunion (LGSR) Observatoire des sciences de l'univers de la Réunion (OSU-R) |

Table des matières

| | |
|---|----|
| Résumé..... | 5 |
| Abstract | 6 |
| Introduction..... | 7 |
| Objectifs | 7 |
| Méthodologie d'acquisition | 9 |
| Equipement différentiel pour l'observation du ruissellement sur deux ravines de la planète du Maïdo. | 9 |
| Deux bassins versants sont sélectionnés pour cette étude..... | 9 |
| Implantation des stations de contrôle | 9 |
| Instrumentation de sondes de pression pour le suivi des crues..... | 10 |
| Stations hydrométriques de la ravine Saint-Gilles..... | 10 |
| Station Hydrométrique de la ravine « Forage Ermitage » | 13 |
| Période d'acquisition..... | 13 |
| Contexte climatique | 14 |
| Résultats : Données acquises sur la période..... | 15 |
| Station Maido..... | 15 |
| Station Radier | 16 |



| | |
|---|----|
| Station Forage Ermitage | 16 |
| Analyse des Evènements ruisselants..... | 17 |
| Transfert des crues entre les stations Maido et Radier | 17 |
| Les crues localisées..... | 18 |
| Crues généralisées sur le bassin versant..... | 20 |
| Analyse détaillée des épisodes Iman et Danilo de l'année 2021 | 21 |
| Mise en œuvre du modèle HEC HMS | 22 |
| Première approche quantitative du rôle des vasques de la Ravine Saint-Gilles lors des crues éclair | 24 |
| Un premier modèle conceptuel : | 26 |
| Un second modèle conceptuel prenant en compte la vidange et les variations de remplissage des vasques : | 27 |
| Apport de la modélisation à la compréhension des écoulements de crue | 28 |
| Conclusions et perspectives | 29 |
| Bibliographie | 30 |
| Annexe 1 : synthèse des données à la station Maido 1725m..... | 31 |
| Annexe 2 : synthèse des données à la station Radier 870m..... | 32 |
| Annexe 3 : synthèse des données à la station ForageErmitage 24m | 33 |

Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : la simulation de crue « fantômes » : une problématique récurrente dans la mise en œuvre des modèles | 7 |
| Figure 2 : Contexte hydrologique : spécificité des cours de l'hydrologie Réunionnaise | 8 |
| Figure 3 : situation des stations hydrologiques instrumentés dans le cadre de cette étude..... | 11 |
| Figure 4 : Station hydrométrique du site « Radier » (890m) | 12 |
| Figure 5 : Station hydrométrique du site « Maido » | 12 |
| Figure 6 : Station hydrométrique du site « Forage Ermitage » | 13 |
| Figure 7 : Pluviométrie et température de la station Tan-Rouge (sce Météo-France) | 14 |
| Figure 8: Exemple retard des montées en crue entre Maido et Radier | 20 |
| Figure 9: Analyse de l'épisode Iman sur 3 stations étagées (Maido, Radier, Verrou)..... | 22 |
| Figure 10: Débits modélisés (bleu) et observé (noir) au niveau du radier et Verrou de décembre 2020 à mars 2020 | 23 |
| Figure 11 Détection des vasques sur la Ravine Saint-Gilles | 24 |
| Figure 12: Carte des vasques dans le bassin versant de la Ravine Saint-Gilles et dans les sous-bassins entre le Radier et le Verrou. | 25 |
| Figure 13: Premier modèle conceptuel : réservoir 50 000 m3 considéré comme vide au début de chaque crue | 26 |
| Figure 14: Variation du niveau d'eau fourni par la société Hydroreex dans la vasque du radier de la Ravine Saint-Gilles..... | 27 |
| Figure 15: Modélisation des vasques correspondant à un stockage supplémentaire de 75 000 m3 avec un taux de vidange de 3,11 L toutes les 6 minutes | 28 |
| Figure 16: Répartition de l'écoulement dans les vasques | 28 |
| Figure 17 : Récapitulatif des données à la station Maido 1725 | 31 |
| Figure 18 : Récapitulatif des données à la station Radier 870m | 32 |
| Figure 19 : Récapitulatif des données à la station ForageErmitage 24m..... | 33 |





Liste des Tableaux

Tableau 1 : Situation géographique des stations implantées dans la ravine Saint Gilles 10

Tableau 2 : Situation Géographique de la station ForageErmitage 13

Tableau 3 : Liste des événements pluvieux d'intensité >30mm/24h sur la période considérée 14

Tableau 4 : Inventaire des événements hydrologiques sur la période de mesure à la station Maido. 15

Tableau 5 : Inventaire des événements hydrologiques sur la station du Radier pendant la période de suivi..... 16

Tableau 6 : Chronologie événements torrentiels sur les deux statons amont-aval de la ravine Saint Gilles 17

Tableau 7 : Liste des crues localisés sans correspondances entre les deux stations 19

Tableau 8 : Temps de transfert de la montée en crue entre l'amont (Maido) et l'aval (Radier) 20

Tableau 9 Données de pluie et de débit sur la ravine Saint Gilles lors de l'épisode Iman 21

Tableau 10: Estimation du volume de stockage des 54 vasques localisées sur le sous-bassin versant compris entre le Radier et le Verrou sur la Ravine Saint-Gilles. 25

Tableau 11: Bilans hydrologiques lors des épisodes de Danilo et d'Iman, comparaison au volume de stockage des vasques. 25





Résumé

Au sein du programme ReNovRisk Transfert, une approche de terrain pour l'acquisition de données hydrométriques complémentaire a été identifiée comme la tâche 1 de l'action dédiée aux aléa hydrologiques. Ce rapport en présente les principaux résultats du livrable *L2.1 : Rapport synthétique présentant l'implantation des stations, le bilan des mesures effectuées et l'analyse des résultats*.

Deux bassins versants ont été sélectionnés pour l'instrumentation : la ravine Saint Gilles et la ravine Forage Ermitage. Trois stations hydrométriques ont été installées dans ces bassins versants afin de mesurer les temps de concentration et les maxima d'écoulement lors des épisodes de crue. Les données enregistrées sont analysées, elles fournissent des informations sur les 42 écoulements observés sur l'une ou l'autre des stations sachant que la station Forage Ermitage en bordure littorale n'enregistre aucun écoulement sur toute la durée de l'étude.

L'analyse des résultats met en évidence les mécanismes de transfert de crue sur la ravine Saint Gilles entre les différentes stations. Des crues localisées (89%) sont définies lorsque pour la même averse les écoulements n'apparaissent pas l'une des deux stations. Seulement cinq événements sont identifiés comme appartenant à la même crue observée aux deux stations. Dans ces 5 cas, il est possible de définir un retard d'arrivée de la crue au seuil aval variant entre 1 et 5h selon l'état hydrique de la ravine.

Différents modèles conceptuels sont proposés pour mieux comprendre les écoulements de crue, en particulier le rôle des vasques présentes dans la ravine Saint Gilles. Ces vasques agissent comme des réservoirs naturels et peuvent atténuer ou amplifier les vitesses de transfert de crues. Des approches quantitatives et des modèles physiques sont suggérés pour améliorer la compréhension de ces phénomènes.

En conclusion, le rapport souligne le rôle des vasques naturelles présentes dans les ravines sèches de l'île de La Réunion en tant qu'amortisseurs de crue. Ces bassins creusés par l'érosion dans les formations volcaniques jouent un rôle crucial dans la gestion des risques hydrologiques. Les vasques peuvent stocker une quantité significative d'eau excédentaire lors des épisodes de crue, réduisant ainsi l'impact des crues en aval. Leur capacité de stockage peut atteindre plusieurs milliers de mètres cubes, ce qui représente un potentiel important pour atténuer les crues éclair. En tenant compte de ces caractéristiques, il est proposé d'explorer des stratégies d'aménagement des cours d'eau qui tirent parti de ces bassins naturels. Des solutions telles que l'élévation des vasques à l'aide de gabions ou la création de zones de plantation arbustive autour des bordures sédimentaires peuvent être mises en œuvre pour renforcer l'effet amortisseur des vasques. Cette approche pourrait contribuer à réduire les risques d'inondation dans les zones vulnérables et offrir une alternative plus légère aux aménagements traditionnels.



Abstract

Part of the ReNovRisk Transfert program, a field approach to acquiring complementary hydrometric data has been identified as task 1 of the action dedicated to hydrological hazards. This report presents the main results of deliverable L2.1: Synthetic report outlining station layout, measurements and analysis of results.

Two watersheds were selected for instrumentation: the ravine Saint Gilles and the ravine Forage Ermitage. Three hydrometric stations were installed in these catchments to measure times and flow maxima during flood episodes. The recorded data are analyzed, providing information on the 42 flows observed at any of the stations, bearing in mind that the Forage Ermitage station on the coastal edge did not record any flows over the entire study period.

Analysis of the results highlights the flood transfer mechanisms on the Saint Gilles ravine between the various stations. Localized floods (89%) are defined when, for the same downpour, flows do not appear at one of the two stations. Only five events were identified as belonging to the same flood observed at both stations. In these 5 cases, it is possible to define a flood arrival delay at the downstream threshold ranging from 1 to 5 hours, depending on the water status of the gully.

Various conceptual models are proposed to better understand flood flows, in particular the role of the basins present in the Saint Gilles ravine. These basins act as natural reservoirs and can attenuate or amplify flood transfer velocities. Quantitative approaches and physical models are suggested to improve understanding of these phenomena.

In conclusion, the report highlights the role of natural basins in the dry ravines of Réunion Island as flood buffers. These basins, carved out of volcanic formations by erosion, play a crucial role in hydrological risk management. The basins can store a significant quantity of excess water during flood episodes, reducing the impact of floods downstream. Their storage capacity can reach several thousand cubic meters, representing a significant potential for flash flood mitigation. Taking these characteristics into account, it is proposed to explore river development strategies that take advantage of these natural basins. Solutions such as raising basins with gabions or creating shrub planting zones around sedimentary edges can be implemented to reinforce the cushioning effect of basins. This approach could help reduce the risk of flooding in vulnerable areas, and offer a lighter alternative to traditional structures.

Introduction

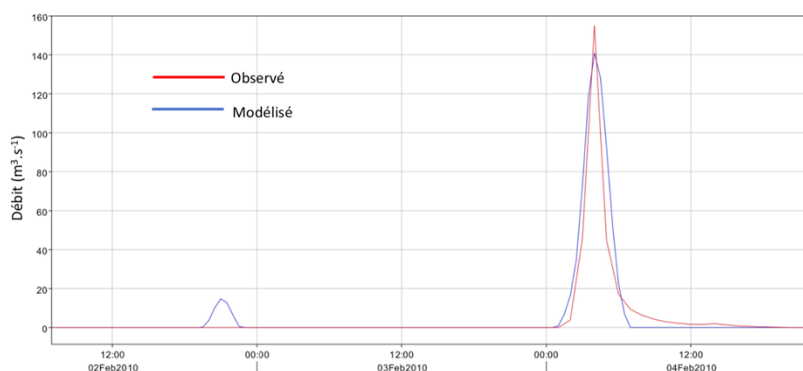
Objectifs

Le projet TRANSFERTS se focalise sur les risques naturels associés aux cyclones qui atterrissent sur la micro-Région Ouest. Son objectif général est d'analyser comment s'opèrent les transferts des aléas cycloniques entre l'atmosphère, l'hydrosphère, le milieu du littoral (défini comme incluant le littoral lui-même, le trait de côte, le lagon et sa barrière récifale), et l'océan ouvert. Ce document présente le livrable L2.1 : *Rapport synthétique présentant l'implantation des stations, le bilan des mesures effectuées et l'analyse des résultats*.

Cette partie du projet visait à améliorer la capacité prédictive des modèles de simulation hydrologique.

En particulier, plusieurs essais de modélisation ont mis en évidence la difficulté à paramétrer les simulations de manière à honorer les réponses brutales des événements ruisselants sans pour autant simuler systématiquement des événements non observés (crue fantômes de la Figure 1)

Figure 1 : la simulation de crue « fantômes » : une problématique récurrente dans la mise en œuvre des modèles



Parmi les verrous scientifiques identifiés au début du projet, plusieurs concernaient les observations de terrain, en particulier:

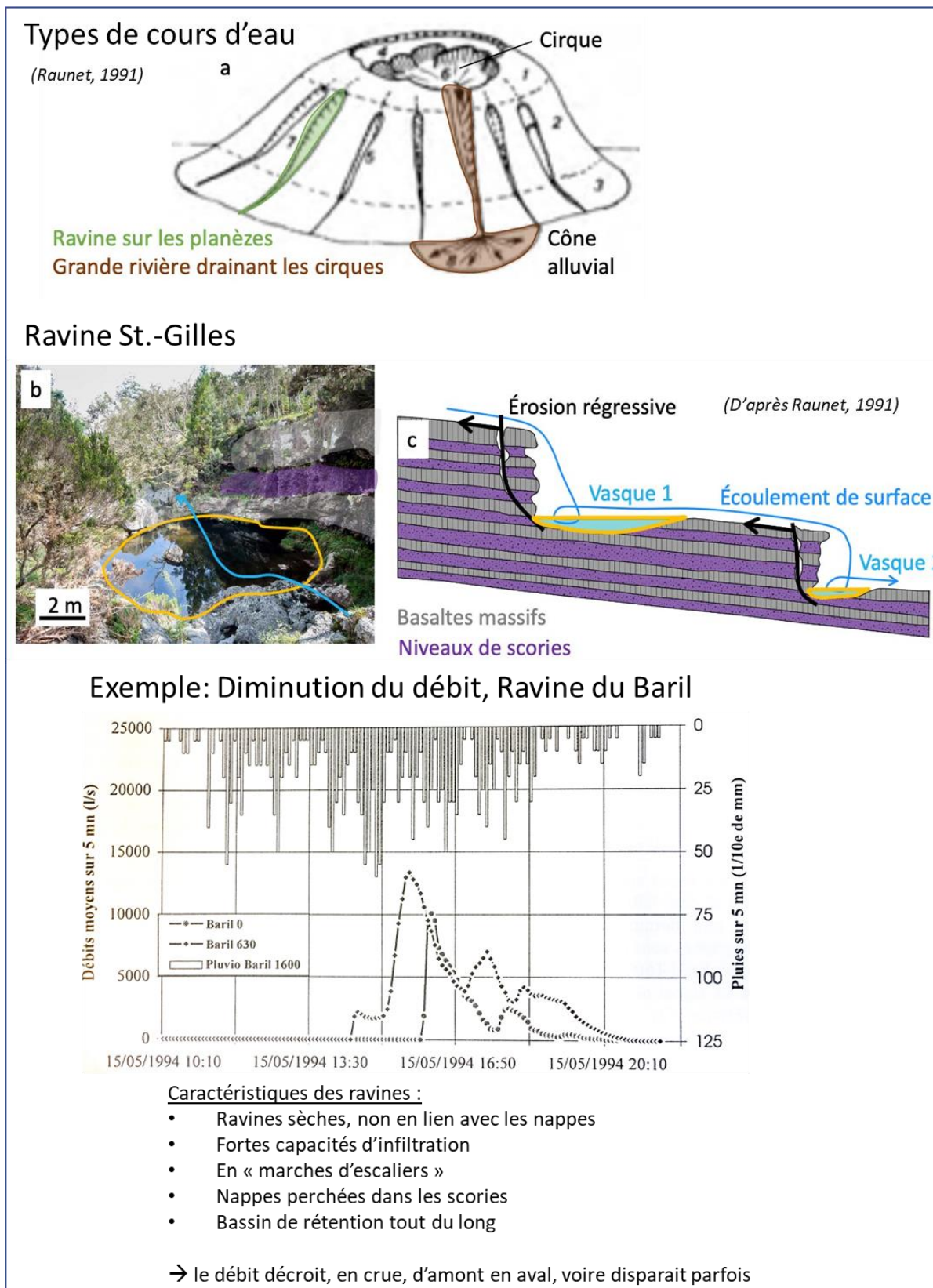
- La qualité des données, que ce soient les observations de pluviométrie ou les lames d'eau
- La phénoménologie des transferts de lame d'eau
- La prévision de ces quantités par les modèles numériques

Raunet (1991) puis Barcelo (1996) ont montré le comportement particulier des ravines non permanentes des principales planètes de l'île, à savoir :

- un débit de base nul ;
- une déconnexion totale aux réservoirs souterrains (due à une zone vadose très épaisse) ;
- une capacité d'infiltration importante, telle que le débit dans une ravine décroît en allant vers l'aval
- des profils d'érosion qui développent une succession de bassins et cascades propres à stocker une partie du ruissellement et à favoriser son infiltration.

Ces aspects constituent une véritable spécificité de l'hydrologie réunionnaise que l'on a résumé sur la Figure 2.

Figure 2 : Contexte hydrologique : spécificité des cours de l'hydrologie Réunionnaise





Pour quantifier ces processus, l'OSU-R s'est appuyé sur des moyens d'observation déployés sur la planèze du Maïdo, sur plusieurs sites et à plusieurs échelles spatiales et temporelles. La mise en œuvre d'observations et de mesures hydrologiques dans le contexte particulier des ravines de la planèze a été développée en essayant de s'appuyer sur des techniques novatrices élaborées en partie sur le site pilote de la Rivière des Pluies et de Salazie dans le cadre du projet ReNovRisk-EROSION, WP2, (JOIN et Augereau 2022).

Compte tenu du contexte hydrologique de la ravine Saint Gilles ((Ho 2015; Roques 2013), l'action entreprise sur ce bassin versant de la planèze du Maïdo s'est particulièrement attaché à documenter par des mesures de terrain, les mécanismes d'amortissement des crues qui semblent caractériser le fonctionnement hydrologique des ravines sèches de l'île de la Réunion.

Au sein du programme ReNovRisk Transfert, cette approche de terrain a été identifiée comme la tâche 1 de l'action dédiée aux aléa hydrologiques. Ce rapport en présente les principaux résultats.

Méthodologie d'acquisition

Equipement différentiel pour l'observation du ruissellement sur deux ravines de la planèze du Maïdo.

Deux bassins versants sont sélectionnés pour cette étude.

Le plus représentatif de la planèze du Maïdo est le bassin versant de la ravine Saint Gilles qui s'étend sur 24 km² jusqu'au rempart du cirque de Mafate à l'altitude 2400m. Il s'agit d'une ravine sèche sur l'essentiel de son cours qui ne devient pérenne qu'au niveau des émergences du bassin malheur à l'altitude 150m.

L'instrumentation de la ravine Saint Gilles à plusieurs niveaux d'altitude dans le bassin versant a pour objectif de renseigner les coefficients de ruissellement et les temps de concentration dans différents tronçons du réseau hydrographique en amont des zones d'émergence. Le dispositif installé a été conçu pour participer à terme au réseau d'observation pérenne intégré à la station côtière littorale de l'OSU-R. (Figure 3).

Un peu plus au sud, un deuxième bassin versant : le bassin versant de la ravine forage Ermitage d'une très faible extension (0,45km²) est associé à une ravine sèche dont l'altitude maximum reste inférieure à 250m NGR. Situé en zone littorale associé à une pluviométrie inférieure à 500mm/an, le ruissellement est essentiellement associé aux épisodes météorologiques les plus intenses, en revanche sa situation concerne directement l'environnement récifal en aval.

Implantation des stations de contrôle

Suite à plusieurs reconnaissances de terrain effectuées sur les ravines de Saint Gilles, ravine de l'Ermitage et ravine Bernica, il a été décidé d'implanter 3 stations hydrométriques dont deux sur la ravine Saint Gilles et une sur la ravine « Forage Ermitage ».





La troisième station a été implantée sur un thalweg de la zone littoral à l'altitude 23,5m juste en amont de la plaine de l'ermitage. Il est destiné à caractériser le ruissellement diffus des zones basses de la plaine.

Sur ces trois sites, les seuils hydrologiques permettant d'établir une relation univoque hauteur/débit sont constitués par l'infrastructure routière (pont, radier ou dalot)

Instrumentation de sondes de pression pour le suivi des crues.

Des travaux d'aménagement ont été réalisés pour permettre l'installation sécurisée d'une sonde de pression. Des tubes piézométriques fixés au niveau du seuil permettent d'introduire des sondes types NKE programmées au pas de temps 5 mn (NKE Instrumentation 2020).

Sur ces deux secteurs, les stations ont été installées sans modifier l'écoulement naturel de la ravine.

Les mesures effectuées visent d'abord à estimer les temps de concentration et les maxima d'écoulement des épisodes de crue.

L'implantation des stations s'est appuyée sur la recherche de seuils naturels stables (fonds rocheux ou bétonnés) situés dans une configuration permettant d'établir une relation univoque entre la hauteur et le débit. Les trois stations installées sont réparties de manière régulière sur le profil hypsométrique du bassin versant. Sur les sites identifiés, les travaux d'aménagement des stations ont été effectués par un artisan. Ces travaux effectués dans le lit de la ravine Saint Gilles et de la ravine Ermitage ont consisté à sécuriser l'accès, à forer des insertions pour les tubes piézométriques pouvant recevoir des sondes d'acquisition pression-température et à fixer des échelles limnimétriques permettant le contrôle visuel ou vidéo de la hauteur d'eau sur le seuil. Ces équipements effectués en zone naturelle ont été démontés au terme du projet. Les trois sites ont été équipés par l'OSU-R avec des sondes type NKE pour permettre le suivi hydrométrique des crues pendant une année hydrologique complète.

Stations hydrométriques de la ravine Saint-Gilles

A l'exception des sources des trois bassins en amont immédiat du captage du Verrou, cette ravine est sèche en dehors des épisodes pluviométriques intenses. Dans sa partie aval, elle est déjà instrumentée en plusieurs points et ses débits sont contrôlés sur un bassin versant s'étendant de l'altitude 30m captage du Verrou jusqu'à son extrémité amont proche du sommet du Piton Maido à l'altitude 2390m. Le choix d'implantation des nouvelles stations hydrométriques est guidé par la volonté de suivre la propagation des crues sur l'ensemble du linéaire existant. Deux sites de mesures limnigraphiques ont été implantés en amont de la station hydrologique du Verrou (alt. 30m) gérée par l'OFFICE de l'EAU. Il s'agit de la station du Radier à l'altitude 890mNgr et la station du Maido à l'altitude 1740mNgr.

Les coordonnées (UTM 40S Réunion) des stations aménagées ou utilisables pour cette étude sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Situation géographique des stations implantées dans la ravine Saint Gilles

| Nom | Type d'acquisition | Gestionnaire | Pas de temps | X | Y | Altitude |
|--------|--------------------|--------------|--------------|-----------|------------|----------|
| Maido | Hauteur | OSU-R | 5 mn | 329653,00 | 7667298,00 | 1725 |
| Radier | Hauteur | OSU-R | 5 mn | 324461,00 | 7668426,00 | 870 |



Figure 3 : situation des stations hydrologiques instrumentés dans le cadre de cette étude

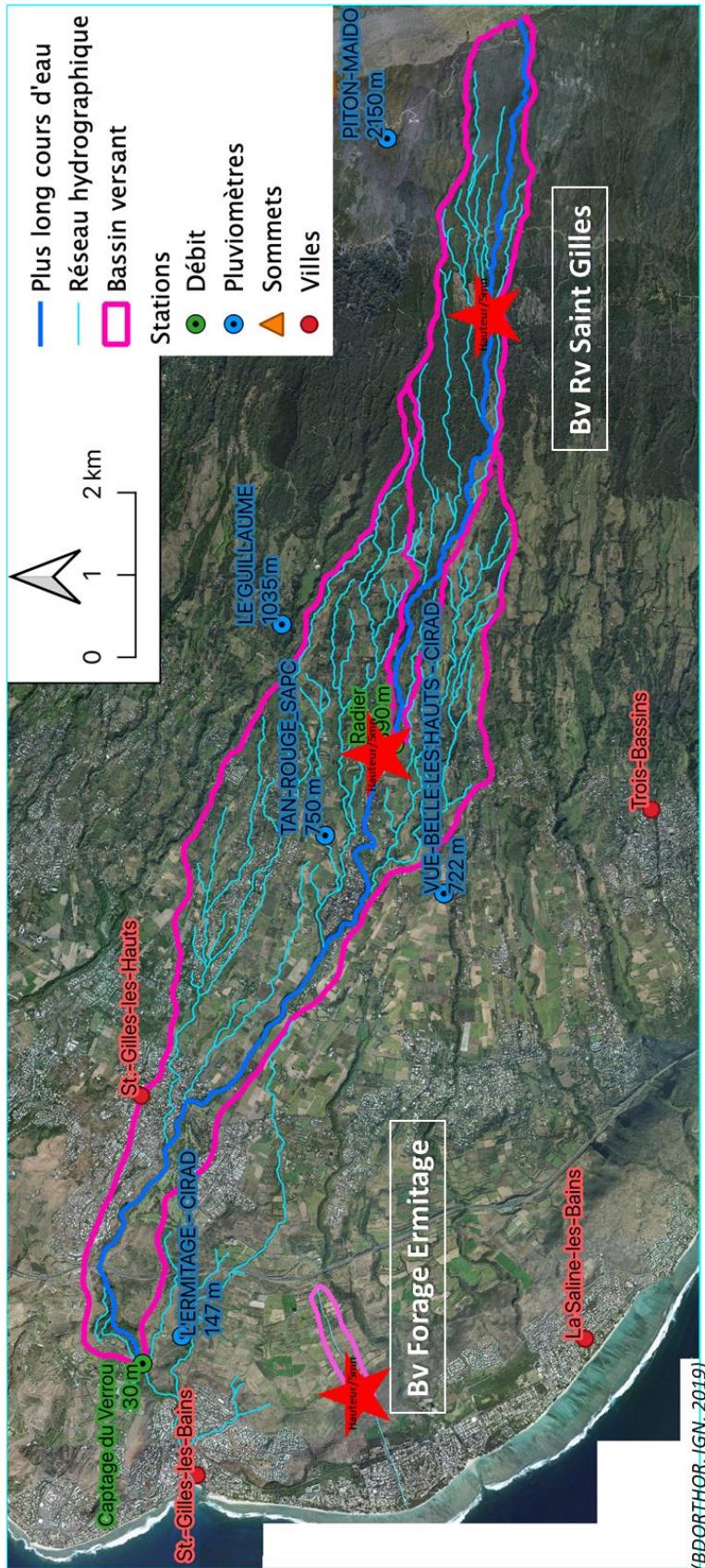


Figure 4 : Station hydrométrique du site « Radier » (890m)

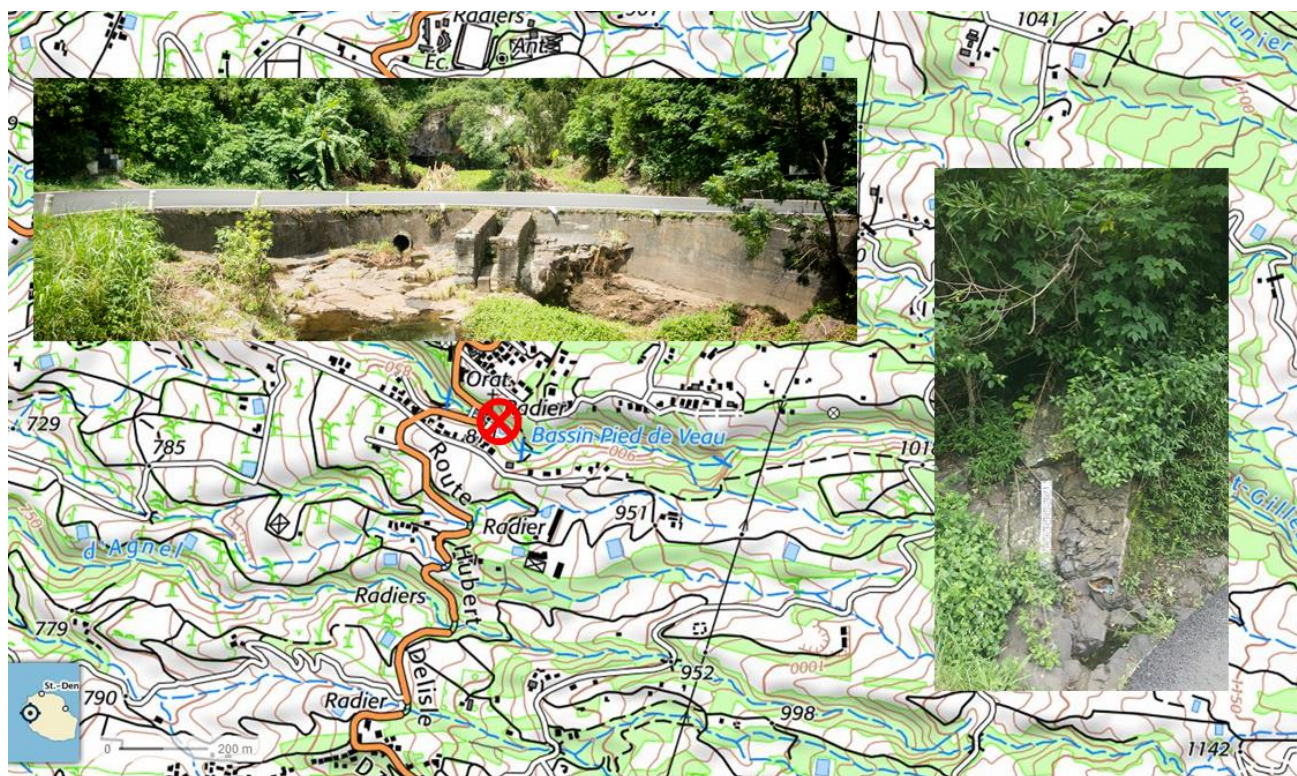
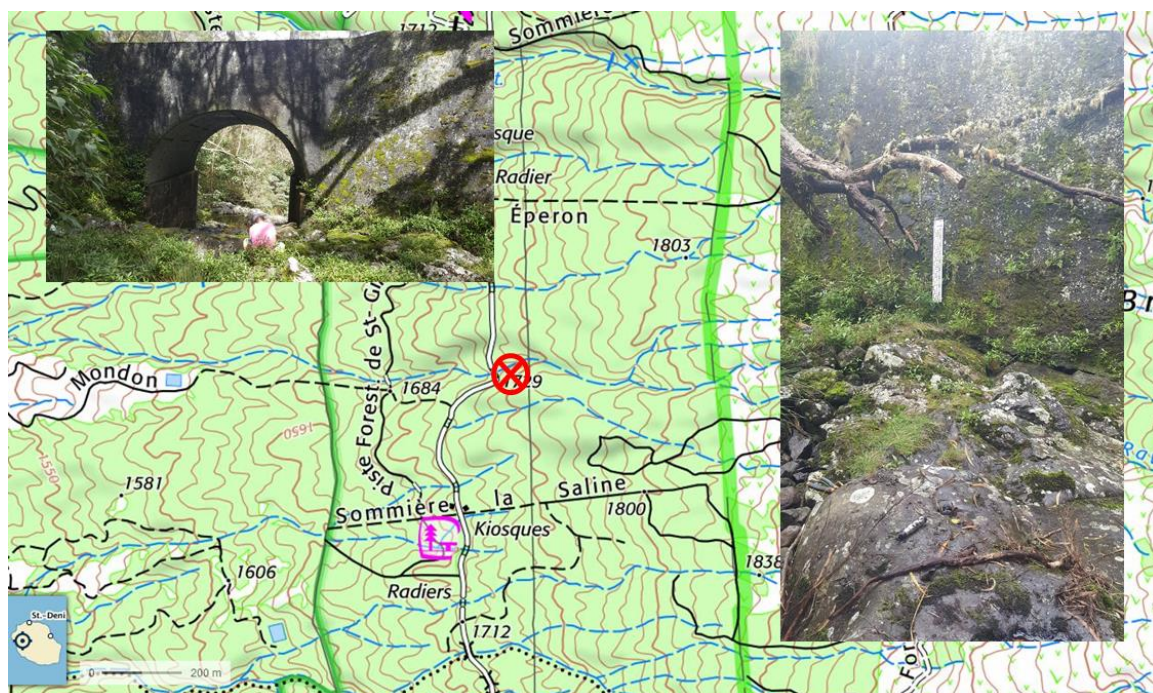


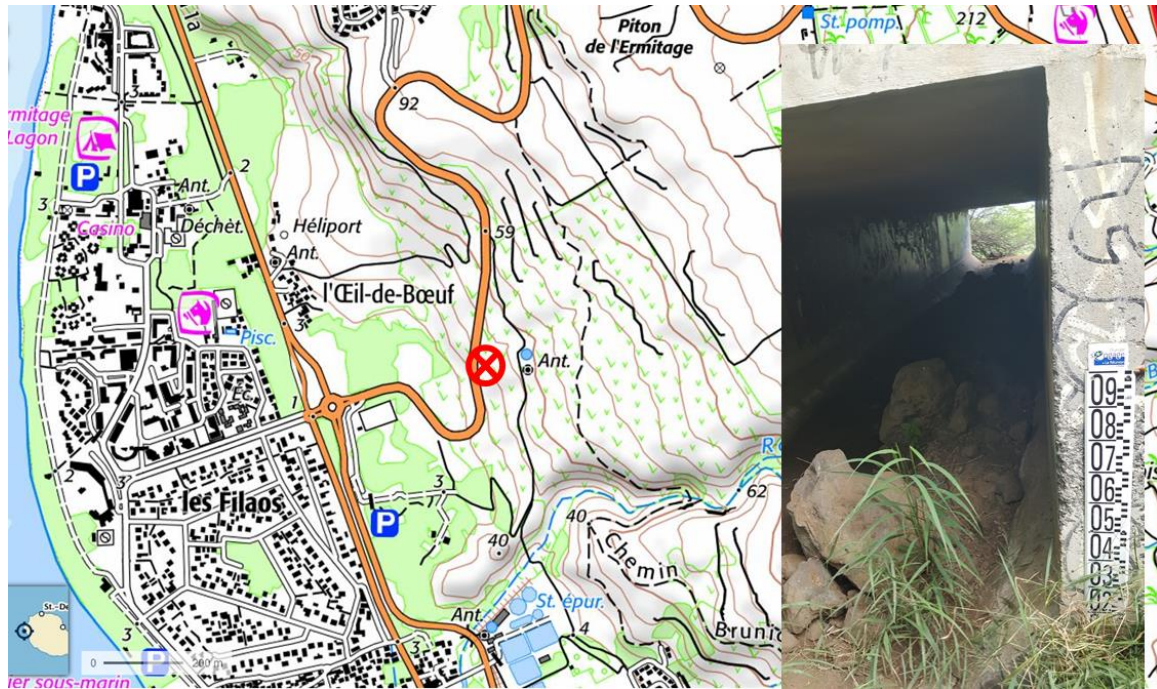
Figure 5 : Station hydrométrique du site « Maido »



Station Hydrométrique de la ravine « Forage Ermitage »

Situées dans la zone littorale du lagon de l'Ermitage, cette station est implantée au niveau d'un dalot Routier et permet d'évaluer le ruissellement résultant d'un petit thalveg drainant un bassin versant naturel de 0,45km². Le seuil est constitué par l'ouvrage de franchissement routier.

Figure 6 : Station hydrométrique du site « Forage Ermitage »



Les coordonnées (UTM 40S Réunion) de la station sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Situation Géographique de la station ForageErmitage

| Nom | Type d'acquisition | Gestionnaire | Pas de temps | X | Y | Altitude |
|----------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|------------|----------|
| ForageErmitage | Hauteur | OSU-R | 5 mn | 316263,00 | 7668646,20 | 23,5 |

Période d'acquisition

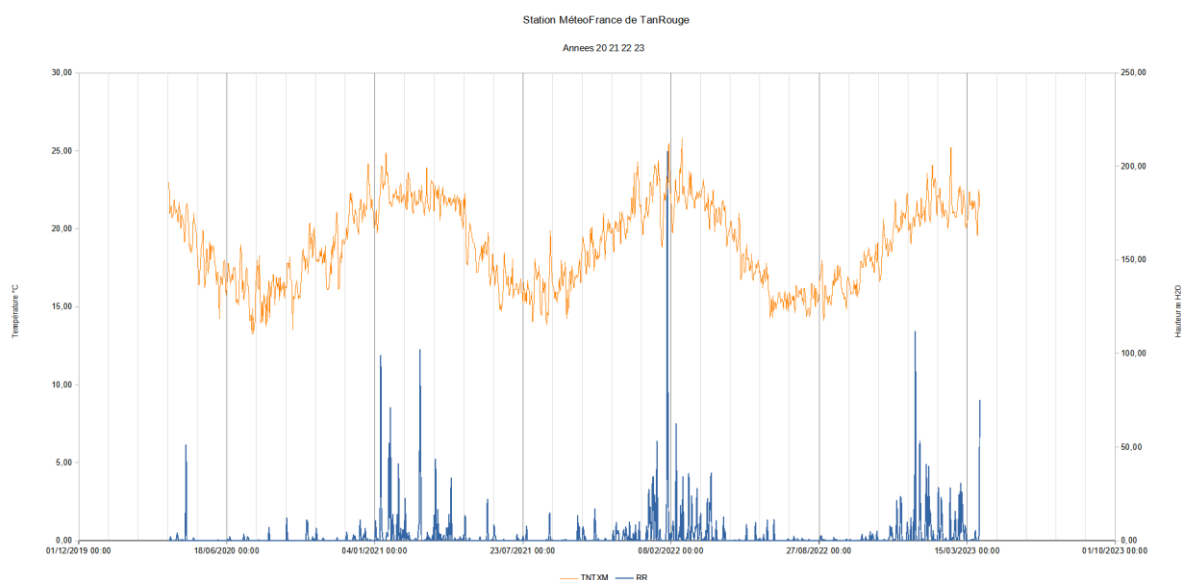
L'installation des stations a été réalisée dès le début de l'année 2020 avec des premiers enregistrements au début mars 2021. Sur les trois stations, les capteurs étaient nécessairement hors d'eau la plupart du temps compte tenu de l'aspect intermittent des écoulements que l'on cherche à mesurer. Ces conditions imposent des contrastes de températures importants sur les systèmes d'acquisition électronique et ont entraîné de nombreuses pannes durant l'année 2021-2022 qui correspondait à la période initialement prévue pour l'enregistrement de données de crues ciblées pendant la saison des pluies. Du fait de l'avenant au programme initial, il a été décidé de prolonger la durée d'enregistrement sur la saison des pluies 2022-2023 et les trois stations ont été démontées le 7 avril 2023 et les sites remis en état.

Cette période d'acquisition a permis d'enregistrer sur les deux bassins versants les durées de ruissellement issues des principaux évènements pluviométriques des deux saisons humides 2021/2022 et 2022/2023.

Contexte climatique

Malgré la prolongation d'une année consacrée au suivi des stations, la période d'investigation complète correspond finalement à un contexte climatique particulièrement déficitaire en épisodes de pluies intenses. Nous présentons ci-dessous la pluviométrie journalière mesurée à la station de Tan-Rouge (altitude 750m) que l'on peut considérer comme représentative du contexte climatique du bassin versant de la Ravine Saint Gilles

Figure 7 : Pluviométrie et température de la station Tan-Rouge (scc Météo-France)



Les intensités journalières notables apparaissent en 2021 avec l'épisode Danilo (99mm/24h) et les plus fortes sont liées à l'épisode pluvio-orageux du 6 au 7 mars associé à la Tempête Tropicale Iman, puis en 2022 aux deux épisodes cycloniques du 1^{er} au 5 février (Batsirai) et du 19 au 22 février (Emnati). Une douzaine d'averse supérieure à 30mm/jour dont seulement trois supérieures à 100mm, sont référencées sur la station.

Tableau 3 : Liste des évènements pluvieux d'intensité >30mm/24h sur la période considérée

| Année 20 et 21 | mm | Année 22 | mm | Année 23 | mm |
|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| 24 avr. 20 00:00 | 51,00 | 14 janv. 22 00:00 | 33,50 | 4 janv. 23 00:00 | 111,70 |
| 12 janv. 21 00:00 | 99,00 | 15 janv. 22 00:00 | 34,20 | 10 janv. 23 00:00 | 53,40 |
| 23 janv. 21 00:00 | 52,00 | 20 janv. 22 00:00 | 53,00 | 19 janv. 23 00:00 | 40,70 |
| 25 janv. 21 00:00 | 71,00 | 3 févr. 22 00:00 | 207,90 | 22 janv. 23 00:00 | 39,70 |
| 5 févr. 21 00:00 | 41,00 | 4 févr. 22 00:00 | 36,20 | 6 mars 23 00:00 | 30,60 |
| 6 mars 21 00:00 | 102,00 | 15 févr. 22 00:00 | 62,40 | 1 avr. 23 00:00 | 75,30 |
| 7 mars 21 00:00 | 40,00 | 24 févr. 22 00:00 | 34,10 | | |
| 27 mars 21 00:00 | 43,50 | 4 mars 22 00:00 | 36,10 | | |

| | | | | | |
|------------------|-------|-----------------|-------|--|--|
| 17 avr. 21 00:00 | 33,50 | 3 avr. 22 00:00 | 36,10 | | |
|------------------|-------|-----------------|-------|--|--|

Résultats : Données acquises sur la période

Les données enregistrées sur les trois stations sont fournies sous forme numérique au format libre office (odt).

Pour chaque station, le fichier est constitué d'un classeur odt dont la première feuille rassemble les caractéristiques de la station, les feuilles suivantes présentent le récapitulatif des données acquises en colonne Date/Température/hauteur d'eau relative (m) pour les années 2021, 2022, 2023.

Station Maido

Malgré des lacunes liées à la difficulté de maintenir des capteurs électroniques hors d'eau avec immersion aléatoire (variations de température et humidité), l'essentiel des événements les plus pluvieux de la période ont pu être enregistrés (Cf. Figure 17 : Récapitulatif des données à la station Maido 1725 Annexe1) .

Sur l'ensemble des enregistrements dépouillés, 25 épisodes d'écoulement sont identifiés.

Tableau 4 : Inventaire des événements hydrologiques sur la période de mesure à la station Maido.

| Jour | Heure | Hauteur pic de crue Maido | Heure de début | Hauteur initiale |
|-------------------------|-------|---------------------------|-------------------|------------------|
| 11 mars 2020 | 17:10 | 0,37 | 11 mars 20 17:05 | 0,04 |
| 24 mars 2020 | 14:39 | 0,53 | 24 mars 20 14:29 | 0,07 |
| 12 janvier 2021 | 18:39 | 2,86 | 12 janv. 21 16:04 | 0,05 |
| 25 janvier 2021 | 15:09 | 0,54 | 25 janv. 21 15:04 | 0,07 |
| 14 février 2021 | 17:09 | 0,46 | 14 févr. 21 17:04 | 0,06 |
| 19 février 2021 | 16:34 | 0,59 | 19 févr. 21 16:29 | 0,07 |
| 7 mars 2021 | 3:59 | 2,84 | 7 mars 21 03:14 | 0,25 |
| 17 avril 2021 | 12:49 | 0,74 | 17 avr. 21 12:19 | 0,07 |
| 6 juin 2021 | 8:29 | 0,42 | 6 juin 21 08:14 | 0,09 |
| Lacunes | | | | |
| Décembre – janvier 2022 | | | | |
| 3 avril 2022 | 10:40 | 0,75 | 03/04/22 03:55 | 0,01 |
| 10 décembre 2022 | 18:04 | 0,04 | 10/12/22 17:59 | 0,00 |
| 15 décembre 2022 | 16:49 | 0,18 | 15/12/22 16:44 | 0,00 |
| 19 Janvier 2023 | 9:04 | 0,18 | 19/01/23 08:39 | 0,05 |
| 20 janvier 2023 | 17:09 | 0,26 | 20/01/23 17:04 | 0,01 |
| 22 janvier 2023 | 16:54 | 0,27 | 22/01/23 16:49 | 0,01 |
| 26 janvier 2023 | 3:54 | 0,08 | 26/01/23 03:49 | 0,03 |
| 4 février 2023 | 14:24 | 0,13 | 04/02/23 14:14 | 0,00 |
| 21 février 2023 | 1:49 | 0,51 | 20/02/23 22:14 | 0,00 |

Les épisodes de décembre 2021 et janvier 2022 (en italique) n'ont pas pu être mesurés et les crues de cette période ne sont pas prise en compte dans l'analyse.

Station Radier

Sur la station du radier, 30 jours d'écoulement ont été enregistrés sur les trois années de mesures. Malgré quelques lacunes, les principaux épisodes hydrologiques ont été enregistrés.

Tableau 5 : Inventaire des événements hydrologiques sur la station du Radier pendant la période de suivi

| Jour | Heure | Hauteur pic de crue Radier | Date départ | Hauteur initiale |
|------------------|--------|-------------------------------|-------------------|---------------------|
| 14 mars 2020 | 13:30 | 0,21 | 14 mars 20 12:55 | 0,03 |
| 30 mars 2020 | 23:59 | 0,27 | 30 mars 20 23:49 | 0,02 |
| 12 janvier 2021 | 19:14 | 2,20 | 12 janv. 21 19:04 | 0,11 |
| 25 janvier 2021 | 12:14 | 0,24 | 25 janv. 21 11:59 | 0,10 |
| 5 février 2021 | 12:56 | 0,25 | 5 févr. 21 12:51 | 0,07 |
| 14 février 2021 | 11:56 | 0,17 | 14 févr. 21 11:46 | 0,03 |
| 19 février 2021 | 15:51 | 0,21 | 19 févr. 21 15:41 | 0,02 |
| 7 mars 2021 | 4:31 | 2,66 | 7 mars 21 04:26 | 0,1 |
| 27 mars 2021 | 18:24 | 0,35 | 27 mars 21 18:19 | 0,02 |
| 17 avril 2021 | 13:44 | 0,27 | 17 avr. 21 13:24 | 0,07 |
| 6 mai 2021 | 8:24 | 0,23 | 6 mai 21 08:19 | 0,09 |
| 6 juin 2021 | 3:39 | 0,26 | 6 juin 21 03:19 | 0,05 |
| 22 décembre 2021 | 14 :59 | 1,77 | 22 déc. 21 13:29 | 0,24 |
| 6 janvier 2022 | 20 :19 | 0,72 | 6 janv. 22 19:34 | 0,21 |
| 7 janvier 2022 | 19 :29 | 1,12 | 7 janv. 22 18:34 | 0,57 |
| 8 janvier 2022 | 20 :29 | 1,12 | 8 janv. 22 20:19 | 0,66 |
| 9 janvier 2022 | 18 :49 | 2,18 | 9 janv. 22 18:14 | 0,69 |
| 12 janvier 2022 | 22 :14 | 1,16 | 12 janv. 22 22:09 | 1,03 |
| 15 janvier 2022 | 05 :49 | 2,50 | 15 janv. 22 01:59 | 1,03 |
| 3 avril 2022 | 10:40 | 0,75 | 3 avr. 22 08:30 | 0,14 |
| 10 décembre 2022 | 14:44 | 0,34 | 10 déc. 22 14:29 | 0,15 |
| 15 décembre 2022 | 14:29 | 0,35 | 15 déc. 22 14:19 | 0,15 |
| 29 décembre 2022 | 19:24 | 0,29 | 29 déc. 22 18:54 | 0,17 |
| 4 janvier 2023 | 16:04 | 0,37 | 4 janv. 23 15:39 | 0,17 |
| 19 janvier 2023 | 17:49 | 0,35 | 19 janv. 23 17:39 | 0,15 |
| 20 janvier 2023 | 20:09 | 0,36 | 20 janv. 23 19:59 | 0,15 |
| 22 janvier 2023 | 16:14 | 0,39 | 22 janv. 23 15:44 | 0,12 |
| 26 janvier 2023 | 3:54 | 0,08 | | |
| 4 février 2023 | 12:24 | 0,57 | 4 févr. 23 12:19 | 0,15 |
| 8 février 2023 | 16:14 | 0,64 | 8 févr. 23 14:29 | 0,17 |
| 9 février 2023 | 14:24 | 0,67 | 9 févr. 23 14:14 | 0,18 |
| 17 février 2023 | 10:14 | 0,41 | 17 févr. 23 10:09 | 0,16 |
| 21 février 2023 | 5:49 | 1,52 | 21 févr. 23 05:24 | 0,13 |
| 26 février 2023 | 15:59 | 0,25 | 26 févr. 23 15:39 | 0,18 |
| 27 février 2023 | 15:04 | 0,39 | 27 févr. 23 14:54 | 0,22 |
| 4 mars 2023 | 20:09 | 0,36 | 4 mars 23 19:54 | 0,22 |
| 6 mars 2023 | 8:44 | 0,34 | 6 mars 23 08:39 | 0,22 |
| | | | | |

Station Forage Ermitage

Les enregistrements effectués ne montrent pas d'écoulements significatifs (hauteur d'eau supérieure au seuil d'incertitude du capteur) au niveau du dalot routier en amont duquel la station est implantée.

Ce résultat est concordant avec la faible pluviométrie enregistrée sur la période à la station de l'Ermitage (Cirad).

Analyse des Evènements ruisselants

Transfert des crues entre les stations Maido et Radier

L'analyse porte sur l'ensemble des évènements hydrologiques à l'exception de la période de décembre 2021 à février 2022.

Le pointage précis (pas de temps de 5mn) des montés en crues et pics de crue permet de documenter les mécanismes de transfert de crue sur la ravine Saint Gilles entre les côtes 1725m et 870m. Sur la durée d'instrumentation 42 écoulements de moins de 24h ont été enregistrés sur les deux stations sèches tout le reste du temps.

Compte tenu des décalages d'offset sur les capteurs et des variations parfois brutales de pression atmosphérique de référence (en particulier sur les évènements cycloniques), les hauteurs de pics de crue sont évalués par soustraction de la valeur maximum atteinte avec la valeur de hauteur mesurée par le capteur juste avant la montée en crue (variable « Amplitude » dans le

Tableau 6

Tableau 6)

Afin d'estimer l'importance relative des évènements, une variable indicatrice a été créée sous la forme d'un % de la hauteur mesurée au regard de la plus grosse crue mesurée pendant la période (variable « Hauteur relative » dans le

Tableau 6

Tableau 6)

Tableau 6 : Chronologie évènements torrentiels sur les deux stations amont-aval de la ravine Saint Gilles

| Etiquette | Hauteur radier | DatePic | Hauteur relative | Hauteur radier | Date début | Hauteur initiale | Amplitude |
|-----------|----------------|---------------|------------------|----------------|---------------|------------------|-----------|
| Maido | 0,37 | 11/3/20 17:10 | 12 % | 0,37 | 11/3/20 17:05 | 0,04 | 0,33 |
| Radier | 0,21 | 14/3/20 13:30 | 7 % | 0,21 | 14/3/20 12:55 | 0,03 | 0,18 |
| Maido | 0,53 | 24/3/20 14:39 | 16 % | 0,53 | 24/3/20 14:29 | 0,07 | 0,46 |
| Radier | 0,27 | 30/3/20 23:59 | 10 % | 0,27 | 30/3/20 23:49 | 0,02 | 0,25 |
| Maido | 2,86 | 12/1/21 18:39 | 100 % | 2,86 | 12/1/21 16:04 | 0,05 | 2,81 |
| Radier | 2,20 | 12/1/21 19:14 | 82 % | 2,20 | 12/1/21 19:04 | 0,11 | 2,09 |
| Radier | 0,24 | 25/1/21 12:14 | 5 % | 0,24 | 25/1/21 11:59 | 0,10 | 0,14 |
| Maido | 0,54 | 25/1/21 15:09 | 17 % | 0,54 | 25/1/21 15:04 | 0,07 | 0,47 |
| Radier | 0,25 | 5/2/21 12:56 | 7 % | 0,25 | 5/2/21 12:51 | 0,07 | 0,18 |
| Radier | 0,17 | 14/2/21 11:56 | 5 % | 0,17 | 14/2/21 11:46 | 0,03 | 0,14 |
| Maido | 0,46 | 14/2/21 17:09 | 14 % | 0,46 | 14/2/21 17:04 | 0,06 | 0,40 |
| Radier | 0,21 | 19/2/21 15:51 | 7 % | 0,21 | 19/2/21 15:41 | 0,02 | 0,19 |
| Maido | 0,59 | 19/2/21 16:34 | 19 % | 0,59 | 19/2/21 16:29 | 0,07 | 0,52 |
| Maido | 2,84 | 7/3/21 3:59 | 92 % | 2,84 | 7/3/21 3:14 | 0,25 | 2,59 |
| Radier | 2,66 | 7/3/21 4:31 | 100 % | 2,66 | 7/3/21 4:26 | 0,10 | 2,56 |
| Radier | 0,35 | 27/3/21 18:24 | 13 % | 0,35 | 27/3/21 18:19 | 0,02 | 0,33 |
| Maido | 0,74 | 17/4/21 12:49 | 24 % | 0,74 | 17/4/21 12:19 | 0,07 | 0,67 |
| Radier | 0,74 | 17/4/21 13:44 | 26 % | 0,27 | 17/4/21 13:24 | 0,07 | 0,67 |

| | | | | | | | |
|--------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Radier | 0,23 | 6/5/21 8:24 | 5 % | 0,23 | 6/5/21 8:19 | 0,09 | 0,14 |
| Radier | 0,26 | 6/6/21 3:39 | 8 % | 0,26 | 6/6/21 3:19 | 0,05 | 0,21 |
| Maido | 0,42 | 6/6/21 8:29 | 12 % | 0,42 | 6/6/21 8:14 | 0,09 | 0,33 |
| Maido | 0,75 | 3/4/22 10:40 | 26 % | 0,75 | 3/4/22 3:55 | 0,01 | 0,74 |
| Radier | 0,75 | 3/4/22 10:40 | 24 % | 0,75 | 3/4/22 8:30 | 0,14 | 0,61 |
| Radier | 0,34 | 10/12/22 14:44 | 7 % | 0,34 | 10/12/22 14:29 | 0,15 | 0,19 |
| Maido | 0,04 | 10/12/22 18:04 | 1 % | 0,04 | 10/12/22 17:59 | 0,00 | 0,04 |
| Radier | 0,35 | 15/12/22 14:29 | 8 % | 0,35 | 15/12/22 14:19 | 0,15 | 0,20 |
| Maido | 0,18 | 15/12/23 16:49 | 6 % | 0,18 | 15/12/22 16:44 | 0,00 | 0,18 |
| Radier | 0,29 | 29/12/22 19:24 | 5 % | 0,29 | 29/12/22 18:54 | 0,17 | 0,12 |
| Radier | 0,37 | 4/1/23 16:04 | 8 % | 0,37 | 4/1/23 15:39 | 0,17 | 0,20 |
| Maido | 0,18 | 19/1/23 9:04 | 5 % | 0,18 | 19/1/23 8:39 | 0,05 | 0,13 |
| Radier | 0,35 | 19/1/23 17:49 | 8 % | 0,35 | 19/1/23 17:39 | 0,15 | 0,20 |
| Maido | 0,26 | 20/1/23 17:09 | 9 % | 0,26 | 20/1/23 17:04 | 0,01 | 0,25 |
| Radier | 0,36 | 20/1/23 20:09 | 8 % | 0,36 | 20/1/23 19:59 | 0,15 | 0,21 |
| Radier | 0,39 | 22/1/23 16:14 | 11 % | 0,39 | 22/1/23 15:44 | 0,12 | 0,27 |
| Maido | 0,27 | 22/1/23 16:54 | 9 % | 0,27 | 22/1/23 16:49 | 0,01 | 0,26 |
| Maido | 0,08 | 26/1/23 3:54 | 2 % | 0,08 | 26/1/23 3:49 | 0,03 | 0,05 |
| Radier | 0,57 | 4/2/23 12:24 | 16 % | 0,57 | 4/2/23 12:19 | 0,15 | 0,42 |
| Maido | 0,13 | 4/2/23 14:24 | 5 % | 0,13 | 4/2/23 14:14 | 0,00 | 0,13 |
| Radier | 0,64 | 8/2/23 16:14 | 18 % | 0,64 | 8/2/23 14:29 | 0,17 | 0,47 |
| Radier | 0,67 | 9/2/23 14:24 | 19 % | 0,67 | 9/2/23 14:14 | 0,18 | 0,49 |
| Radier | 0,41 | 17/2/23 10:14 | 10 % | 0,41 | 17/2/23 10:09 | 0,16 | 0,25 |
| Maido | 0,51 | 21/2/23 1:49 | 18 % | 0,51 | 20/2/23 22:14 | 0,00 | 0,51 |
| Radier | 1,52 | 21/2/23 5:49 | 54 % | 1,52 | 21/2/23 5:24 | 0,13 | 1,39 |
| Radier | 0,25 | 26/2/23 15:59 | 3 % | 0,25 | 26/2/23 15:39 | 0,18 | 0,07 |
| Radier | 0,39 | 27/2/23 15:04 | 7 % | 0,39 | 27/2/23 14:54 | 0,22 | 0,17 |
| Radier | 0,36 | 4/3/23 20:09 | 5 % | 0,36 | 4/3/23 19:54 | 0,22 | 0,14 |
| Radier | 0,34 | 6/3/23 8:44 | 5 % | 0,34 | 6/3/23 8:39 | 0,22 | 0,12 |

Ce tableau permet d'observer plusieurs éléments significatifs de la spécificité du régime d'écoulement sur la ravine Saint Gilles et permet de préciser les conditions du transfert des crues torrentielles dans le contexte des ravines sèches de la Réunion.

1. Tous les écoulements observés sur le seuil amont ne sont pas nécessairement observés sur l'aval du cours d'eau.
2. Il en va de même sur le seuil aval ou l'on observe des écoulements alors que la partie amont du bassin versant est restée sèche.
3. Les événements hydrologiques affectant simultanément l'ensemble du bassin versant permettent de définir de préciser les vitesses d'écoulement entre les deux stations.

Les crues localisées

Les crues isolées sont observées lorsque la montée en crue sur l'une des deux stations ne peut pas être mise en lien avec les observations de l'autre station. Cela correspond par exemple aux crues du Maido qui ne sont pas enregistrées à la station aval ou inversement des crues observées à la station Radier sans écoulements mesurés à la station du Maido. Sur les deux



stations ces écoulements sporadiques et finalement localisés représentent 37 évènements soit 89% des écoulements mesurés pendant la période de fonctionnement des deux stations simultanées.

Tableau 7 : Liste des crues localisés sans correspondances entre les deux stations

| Etiquette | Hauteur radier | DatePic | % Ecart Radier | Hauteur radier | Date début | Hauteur | Amplitude |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|-----------|
| Maido | 0,37 | 11/3/20 17:10 | 12 % | 0,37 | 11/3/20 17:05 | 0,04 | 0,33 |
| Maido | 0,53 | 24/3/20 14:39 | 16 % | 0,53 | 24/3/20 14:29 | 0,07 | 0,46 |
| Maido | 0,54 | 25/1/21 15:09 | 17 % | 0,54 | 25/1/21 15:04 | 0,07 | 0,47 |
| Maido | 0,46 | 14/2/21 17:09 | 14 % | 0,46 | 14/2/21 17:04 | 0,06 | 0,40 |
| Maido | 0,59 | 19/2/21 16:34 | 19 % | 0,59 | 19/2/21 16:29 | 0,07 | 0,52 |
| Maido | 0,42 | 6/6/21 8:29 | 12 % | 0,42 | 6/6/21 8:14 | 0,09 | 0,33 |
| Maido | 0,04 | 10/12/22 18:04 | 1 % | 0,04 | 10/12/22 17:59 | 0,00 | 0,04 |
| Maido | 0,18 | 15/12/23 16:49 | 6 % | 0,18 | 15/12/22 16:44 | 0,00 | 0,18 |
| Maido | 0,18 | 19/1/23 9:04 | 5 % | 0,18 | 19/1/23 8:39 | 0,05 | 0,13 |
| Maido | 0,27 | 22/1/23 16:54 | 9 % | 0,27 | 22/1/23 16:49 | 0,01 | 0,26 |
| Maido | 0,08 | 26/1/23 3:54 | 2 % | 0,08 | 26/1/23 3:49 | 0,03 | 0,05 |
| Maido | 0,13 | 4/2/23 14:24 | 5 % | 0,13 | 4/2/23 14:14 | 0,00 | 0,13 |
| Maido | 0,51 | 21/2/23 1:49 | 18 % | 0,51 | 20/2/23 22:14 | 0,00 | 0,51 |
| Radier | 0,21 | 14/3/20 13:30 | 7 % | 0,21 | 14/3/20 12:55 | 0,03 | 0,18 |
| Radier | 0,27 | 30/3/20 23:59 | 10 % | 0,27 | 30/3/20 23:49 | 0,02 | 0,25 |
| Radier | 0,24 | 25/1/21 12:14 | 5 % | 0,24 | 25/1/21 11:59 | 0,10 | 0,14 |
| Radier | 0,25 | 5/2/21 12:56 | 7 % | 0,25 | 5/2/21 12:51 | 0,07 | 0,18 |
| Radier | 0,17 | 14/2/21 11:56 | 5 % | 0,17 | 14/2/21 11:46 | 0,03 | 0,14 |
| Radier | 0,21 | 19/2/21 15:51 | 7 % | 0,21 | 19/2/21 15:41 | 0,02 | 0,19 |
| Radier | 0,35 | 27/3/21 18:24 | 13 % | 0,35 | 27/3/21 18:19 | 0,02 | 0,33 |
| Radier | 0,23 | 6/5/21 8:24 | 5 % | 0,23 | 6/5/21 8:19 | 0,09 | 0,14 |
| Radier | 0,26 | 6/6/21 3:39 | 8 % | 0,26 | 6/6/21 3:19 | 0,05 | 0,21 |
| Radier | 0,34 | 10/12/22 14:44 | 7 % | 0,34 | 10/12/22 14:29 | 0,15 | 0,19 |
| Radier | 0,35 | 15/12/22 14:29 | 8 % | 0,35 | 15/12/22 14:19 | 0,15 | 0,20 |
| Radier | 0,29 | 29/12/22 19:24 | 5 % | 0,29 | 29/12/22 18:54 | 0,17 | 0,12 |
| Radier | 0,37 | 4/1/23 16:04 | 8 % | 0,37 | 4/1/23 15:39 | 0,17 | 0,20 |
| Radier | 0,35 | 19/1/23 17:49 | 8 % | 0,35 | 19/1/23 17:39 | 0,15 | 0,20 |
| Radier | 0,39 | 22/1/23 16:14 | 11 % | 0,39 | 22/1/23 15:44 | 0,12 | 0,27 |
| Radier | 0,57 | 4/2/23 12:24 | 16 % | 0,57 | 4/2/23 12:19 | 0,15 | 0,42 |
| Radier | 0,64 | 8/2/23 16:14 | 18 % | 0,64 | 8/2/23 14:29 | 0,17 | 0,47 |
| Radier | 0,67 | 9/2/23 14:24 | 19 % | 0,67 | 9/2/23 14:14 | 0,18 | 0,49 |
| Radier | 0,41 | 17/2/23 10:14 | 10 % | 0,41 | 17/2/23 10:09 | 0,16 | 0,25 |
| Radier | 1,52 | 21/2/23 5:49 | 54 % | 1,52 | 21/2/23 5:24 | 0,13 | 1,39 |
| Radier | 0,25 | 26/2/23 15:59 | 3 % | 0,25 | 26/2/23 15:39 | 0,18 | 0,07 |
| Radier | 0,39 | 27/2/23 15:04 | 7 % | 0,39 | 27/2/23 14:54 | 0,22 | 0,17 |
| Radier | 0,36 | 4/3/23 20:09 | 5 % | 0,36 | 4/3/23 19:54 | 0,22 | 0,14 |
| Radier | 0,34 | 6/3/23 8:44 | 5 % | 0,34 | 6/3/23 8:39 | 0,22 | 0,12 |

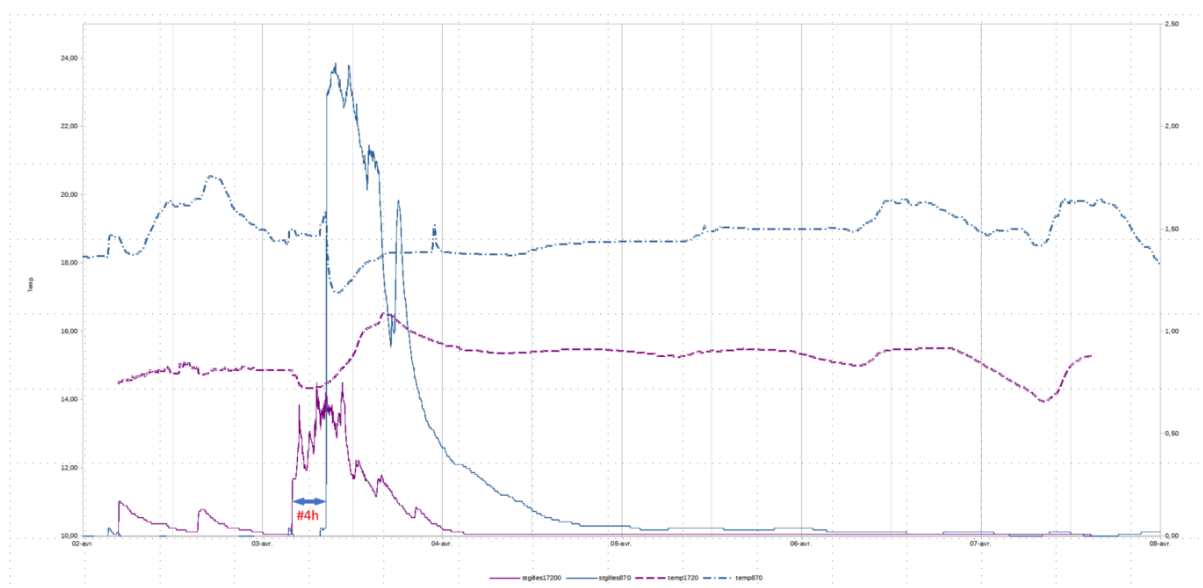


Il est remarquable que ces crues locales soient systématiquement associées aux événements les plus petits dont la hauteur relative de montée des eaux ne dépasse pas 20% de la hauteur maximum atteinte à la station sur la période d'observation (97,3% des cas).

Crues généralisées sur le bassin versant

Seulement 5 événements sont identifiés comme appartenant à la même crue observée aux deux stations. On note alors un décalage temporel entre le début du ruissellement observé à l'amont et celui enregistré sur la station aval (Figure 8).

Figure 8: Exemple retard des montées en crue entre Maido et Radier



Le Tableau 8 présente les caractéristiques des 5 crues enregistrées la même journée sur les deux sites

Tableau 8 : Temps de transfert de la montée en crue entre l'amont (Maido) et l'aval (Radier)

| Maido | Radier | | Maido | Radier |
|---------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Date début | Datedébut | Retard en heure | Intensité relative | Intensité relative |
| 12/1/21 16:04 | 12/1/21 19:04 | 3,0 | 100% | 82% |
| 7/3/21 3:14 | 7/3/21 4:26 | 1,2 | 92% | 100% |
| 17/4/21 12:19 | 17/4/21 13:24 | 1,1 | 24% | 26% |
| | | | | |
| 3/4/22 3:55 | 3/4/22 8:30 | 4,6 | 26% | 24% |
| | | | | |
| 20/1/23 17:04 | 20/1/23 19:59 | 2,9 | 9% | 8% |

Pour chaque événement, l'heure précise de la montée en crue est notée au seuil aval et permet de préciser le retard d'arrivée de la crue au seuil aval. Les résultats obtenus traduisent

un retard variable compris entre 1h et 5h pour une moyenne de 2,56h. Les trois évènements successifs de l'année 2021 semblent monter une diminution du temps de transfert avec l'avancée dans la saison des pluies.

Analyse détaillée des épisodes Iman et Danilo de l'année 2021

Pour cette analyse, les données acquises ont été complétées par les mesures de débit effectuées par l'office de l'eau sur la partie aval du bassin versant au niveau du captage du verrou à l'altitude 30m sur la ravine Saint Gilles. Les données hydrologiques ont été analysées au regard de la pluviométrie à 6mn issues des stations MétéoFrance implantées sur la zone d'étude. L'utilisation du modèle HEC HMS a permis de tester la relation pluie débit en s'appuyant sur une reconstitution théorique de la relation hauteur débit à la station du Radier (Gautier 2021).

Les données traitées sont présentées dans le Tableau 9

Tableau 9 Données de pluie et de débit sur la ravine Saint Gilles lors de l'épisode Iman

| Épisode | | DANILO | | IMAN | |
|-------------------------------------|---|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| Système | | Sous bassin Radier/Verrou | Bassin versant complet | Sous bassin Radier/Verrou | Bassin versant complet |
| ÉVÈNEMENT | Début (début de l'inverse) | 12/01/2021 13:42 | | 06/03/2021 20:40 | |
| | Fin (retour au débit initial au Verrou) | 14/01/2021 00:00 | | 08/03/2021 20:00 | |
| | Durée | 1j 16h 18min | | 1j 23h 18min | |
| | Durée (s) | | 145 080 | | 170 280 |
| Coefficient de ruissellement (%) | | 0,33 | | 6,20 | |
| Lame d'eau (pluie) (mm) | | 84 | 89 | 133 | 146 |
| BILAN ENTRÉES | Volume de pluie sur le bassin considéré (m ³) | 1 509 073 | 2 138 868 | 2 387 376 | 3 520 186 |
| | Volume écoulé au Radier (m ³) | 103 610 | / | 355 084 | / |
| | ENTRÉE (m ³) | 1 612 683 | 2 138 868 | 2 742 460 | 3 520 186 |
| BILAN SORTIE | Volume écoulé au Verrou (m ³) = SORTIE | 7 072 | 7 072 | 218 294 | 218 294 |
| BILAN | Surplus d'eau (m ³) ENTRÉE - SORTIE | 1 605 611 | 2 131 796 | 2 524 166 | 3 301 892 |
| | Surplus d'eau (il reste x% de l'ENTRÉE) | 99,56 | 99,67 | 92 | 94 |
| | Différence de volume Radier-Verrou (m ³) | 96 538 | / | 136 790 | / |
| PLUIE | Intensité (mm.h ⁻¹) | 2,09 | 2,20 | 2,82 | 3,09 |
| | Début de la pluie | 12/01/2021 13:42 | | 06/03/2021 20:42 | |
| | Pic de pluie | 12/01/2021 16:30 | | 07/03/2021 03:54 | |
| | Fin de la pluie | 12/01/2021 19:42 | | 07/03/2021 20:24 | |
| | Valeur pic de pluie (mm) | 6,06 | | 10,23 | 10,56 |
| HAUTEUR D'EAU MAIDO | Debut hauteur | / | | 07/03/2021 02:45 | |
| | Pic de hauteur (m) | / | | 07/03/2021 04:00 | |
| | Fin hauteur | / | | / | |
| | Valeur du pic de hauteur (m) | / | | 2,89 | |
| DÉBIT RADIER | Début débit | 12/01/2021 19:05 | | 07/03/2021 04:35 | |
| | Pic de débit | 12/01/2021 19:15 | | 07/03/2021 04:40 | |
| | Fin débit | 14/01/2021 06:00 | | 08/03/2021 20:00 | |
| | Valeur pic de débit (m ³ .s ⁻¹) | 10,15 | | 23 | |
| DÉBIT VERROU | Début débit | / | | 07/03/2021 06:48 | |
| | Pic de débit | / | | 07/03/2021 07:00 | |
| | Fin débit | / | | 08/03/2021 20:00 | |
| | Valeur pic de débit (m ³ .s ⁻¹) | / | | 10,64 | |
| DURÉES ET TEMPS | Durée de la pluie | 6h | | 23h 43 min | |
| | Temps de montée Maïdo | / | | 01:15:00 | |
| | Temps de montée Radier | 00:10:00 | | 00:05:00 | |
| | Temps de montée Verrou | / | | 00:12:00 | |
| | Temps de Réponse Maïdo | / | | 00:06:00 | |
| | Temps de Réponse Radier | 02:45:00 | | 00:46:00 | |
| | Temps de réponse Verrou | / | | 03:06:00 | |
| | Temps de base Maïdo | / | | / | |
| | Temps de base Radier | 1j 10h 55min | | 1j 15h 25min | |
| | Temps de base Verrou | / | | 1j 13h 12min | |
| | Durée entre les pics Maïdo - Radier | / | | 00:40:00 | |
| | Durée entre les pics Radier - Verrou | 01:39:00 | | 02:20:00 | |
| Durée entre les pics Maïdo - Verrou | / | | 03:00:00 | | |

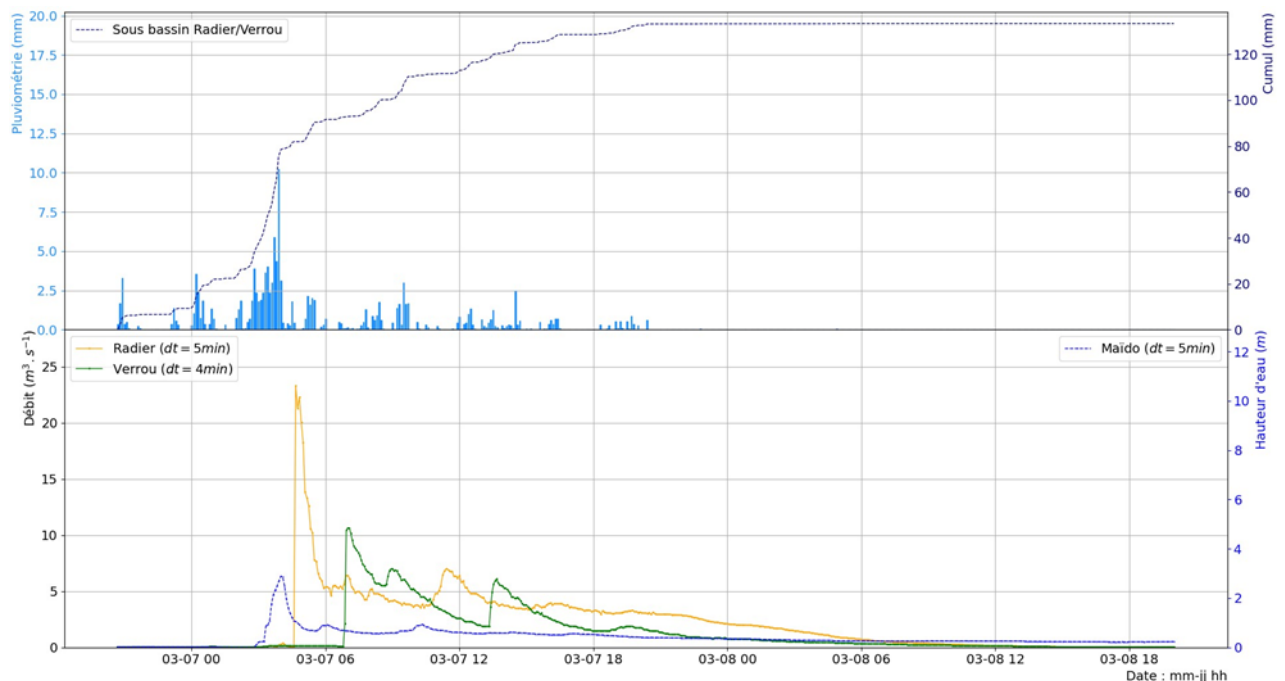
Les données concernant les lames d'eau permettent de calculer le coefficient de ruissellement du bassin, rapport entre la lame d'eau écoulée à l'exutoire et la lame d'eau précipitée. Ce coefficient est très faible pour l'épisode de Danilo ($C_r = 0,33$), ce qui indique que quasiment toute la pluie s'est infiltrée ou a été stockée dans le bassin versant. En effet, la présence d'un pic de débit (et de hauteur d'eau) à la station du Radier n'atteindra jamais l'exutoire puisqu'au captage du Verrou aucune augmentation de débit n'a été observée. Le coefficient de ruissellement est plus élevé pour l'épisode d'Iman avec une valeur de $C_r = 6,2$. Cependant, les épisodes de Danilo et d'Iman ne sont pas forcément comparables sachant que la pluie de Danilo a duré quelques heures alors que celle d'Iman a duré près d'un jour.

En revanche, cette diminution effective de débit vers l'exutoire confirme des observations similaires effectuées sur la ravine du Baril dans le sud de l'île (Barcelo 1996) ou l'auteur utilise deux stations hydrologiques et mesure une crue de 10m³/s à 600m d'altitude alors que l'embouchure reste sèche.

La Figure 9 présente la superposition des hydrogrammes et limnigrammes (pour la station du Maido) au regard de la pluviométrie. Ce graphique confirme aussi l'ordre de grandeur du temps de transfert d'amont en aval de la montée en crue sur les différents tronçons de la ravine Saint gilles. Les tests de modélisations entrepris sur la Ravine Saint-Gilles sont produits pour respectivement pour les stations du Verrou et du Radier.

En vue d'améliorer nos possibilités d'utilisation de l'outil de modélisation, plusieurs essais de calibration de la relation hauteur/débit ont été entrepris sur les deux stations à l'aide d'acquisition d'images vidéos puis de mesures directes au Laser. Devant le faible nombre d'évènements observables, les données obtenues n'ont pas été suffisantes pour proposer une courbe de tarage utilisable pour transformer les hauteurs en débits sur la station du Maido.

Figure 9: Analyse de l'épisode Iman sur 3 stations étagées (Maido, Radier, Verrou)



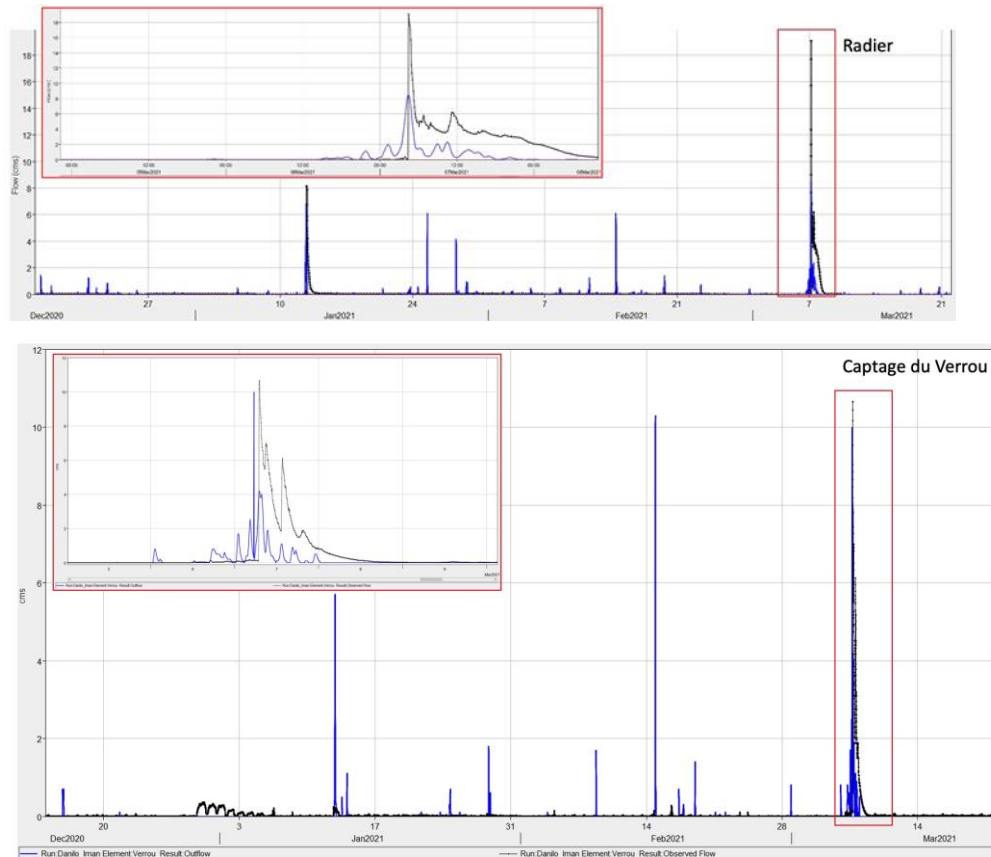
Mise en œuvre du modèle HEC HMS

Le calage en temps du modèle est plutôt bon mais les formes de crue et de décrue ne sont pas du tout reproduites, le critère de Nash négatif (-15,433) atteste de la non pertinence de ce modèle. De très nombreuses crues modélisées mais non observées apparaissent et subsistent malgré les tentatives de calibration qui ont toutes échouées. En effet, diminuer la valeur de capacité des réservoirs sols ou d'infiltration augmente l'amplitude des pics de crue et rend les crues « fantômes » plus nombreuses et diminuer la valeur de ces paramètres ne permet plus de modéliser l'amplitude des pics observés (Figure 10).

Ainsi, de nouvelles valeurs de paramètres ne seront pas proposées pour ce modèle. Il semblerait plus pertinent de rechercher ce que le modèle ne prend pas en compte et qui pourrait expliquer, une partie, de ces observations.

Figure 10: Débits modélisés (bleu) et observé (noir) au niveau du radier et Verrou de décembre 2020 à mars 2021

L'encadre rouge montre un zoom sur l'épisode Iman



Ces premiers tests de modélisation ne permettent pas de représenter fidèlement les courbes de crue et de décrue avec des pas de temps relativement faibles (6 minutes) pour de longues périodes de simulation (quelques mois). Les courbes de crue et de décrue sont symétriques alors que des montées en crue très brusques sont observées (+10 m3.s⁻¹ en 8 minutes au Captage du Verrou). Les courbes de décrues sont tout aussi mal représentées car les taux d'infiltration des modules utilisés pour la modélisation sont constants, ce qui ne reflète pas la réalité où des décroissances exponentielles des débits sont observées. Ces formes de crues et de décrues étaient pourtant bien modélisées, a priori, dans les travaux de (DO, 2015) car les données étaient au pas de temps horaire, ce qui moyennait les grandeurs. Au pas de temps de 6 minutes les formes des courbes ne sont pas reproduites en modélisation. Il est également à noter que des crues fantômes subsistent dans les modèles quel que soit le pas de temps de modélisation. De très nombreuses crues modélisées mais non observées apparaissent et subsistent malgré les tentatives de calibration qui ont toute échouées. En effet, diminuer la valeur de capacité des réservoirs sols ou d'infiltration augmente l'amplitude des pics de crue

et rend les crues « fantômes » plus nombreuses et diminuer la valeur de ces paramètres ne permet plus de modéliser l'amplitude des pics observés. En revanche, les données permettent de bien caler le modèle d'un point de vue temporel et les pics de crue modélisés correspondent bien aux pics de crue observés.

L'estimation des paramètres, étant réalisée à partir de mesures et d'expérimentations pédologiques qui correspondent à des données locales, il n'est sans doute pas réaliste de considérer ces valeurs comme homogènes sur de grandes étendues spatiales dans les sous-bassins versants. Enfin, une calibration automatique du modèle donne souvent des valeurs de ces paramètres qui n'ont plus un réel sens physique (perte de 3 ordres de grandeur de certains paramètres sur la Rivière des Pluies) soit à cause du moyennage des valeurs et de la non prise en compte de certains phénomènes. Par exemple toute l'eau qui est perdue par le système s'infiltre alors que des stockages de surface ont été observés et ils contribuent à retenir une certaine quantité des eaux de ruissellement sur la Ravine Saint-Gilles. Le modèle utilisé n'est pas paramétré pour tenir compte du stockage éventuel d'eau de ruissellement dans les dépressions circulaires de surface.

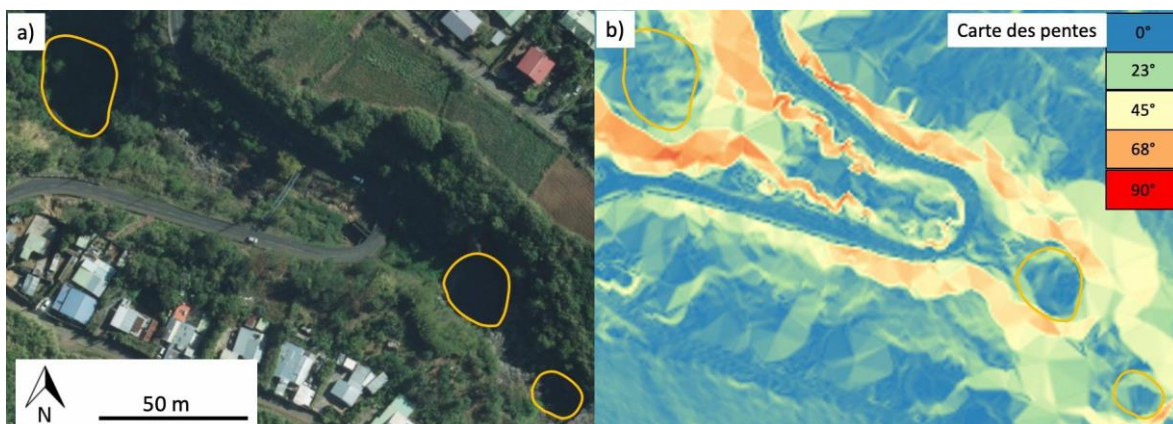
Première approche quantitative du rôle des vasques de la Ravine Saint-Gilles lors des crues éclair

En vue de préciser le rôle éventuel des dépressions associées aux bassins et ressauts qui caractérisent les ravines sèches de la Réunion et en particulier la Ravine Saint Gilles, nous avons cherché dans un premier temps à identifier et quantifier le volume des vasques présentes sur le linéaire de la ravine Saint Gilles :

Les observations de terrain ainsi que les données spatiales : ortho-photos de l'IGN et le MNT à 1 m de résolution, permettent de localiser les vasques sur la Ravine Saint-Gilles. Certaines se repèrent directement sur les photographies aériennes et d'autres grâce à une carte des pentes (dérivée du MNT). Cette dernière met particulièrement bien les vasques en évidence car elles laissent apparaître une zone plane bordée de pentes plus fortes qui est traversée par un cours d'eau (Figure 11).

Figure 11 Détection des vasques sur la Ravine Saint-Gilles

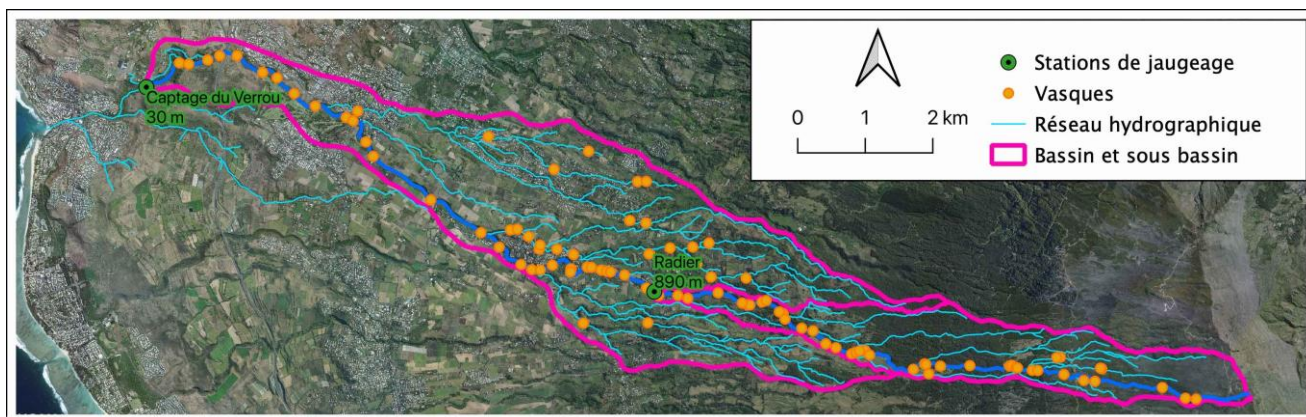
Utilisation mixte terrain + images satellites et/ou la carte des pentes issue du MNT à 1 m de résolution.



Ces deux outils permettent d'identifier 54 vasques entre la station du Radier et le Captage du Verrou (il demeure cependant des incertitudes quant aux zones boisées qui rendent le MNT et donc la carte des pentes inutilisable en quelques endroits du bassin versant). Ces vasques

sont principalement réparties le long du cours d'eau principal de la Ravine Saint-Gilles et ne présentent pas de distribution particulière le long de ce cours d'eau. Quatre vasques ont été directement observées sur le terrain en amont de la station du Maïdo et une en amont de la station du Radier (Figure 12).

Figure 12: Carte des vasques dans le bassin versant de la Ravine Saint-Gilles et dans les sous-bassins entre le Radier et le Verrou.



La surface de ces vasques peut être estimée sur SIG aux erreurs de tracés près. Comme elles sont de forme subcirculaire, les erreurs de tracés reviennent à faire une erreur sur le rayon d'un cercle. Ces vasques font en moyenne 314 m^2 de surface soit 10 m de rayon et une erreur de $\pm 3 \text{ m}$ engendre une diminution de 51 % de la surface ou une augmentation de 69 %. Ainsi ces valeurs de 51 % et de 69 % seront appliquées à la surface totale estimée sur SIG afin d'obtenir un encadrement. Les vasques observées sur le terrain permettent d'en estimer la profondeur, entre 1 et 5 m. En combinant les valeurs estimées sur la surface des vasques et sur leur profondeur il est alors possible de proposer une estimation du volume total de ces dernières qui se situe entre $10\,000 \text{ m}^3$ et $160\,000 \text{ m}^3$ (Tableau 10).

Tableau 10: Estimation du volume de stockage des 54 vasques localisées sur le sous-bassin versant compris entre le Radier et le Verrou sur la Ravine Saint-Gilles.

| Estimations | Surface (m^2) | Profondeur (m) | Volume (m^3) |
|-------------|--------------------------|----------------|-------------------------|
| Min. | 9 176 | 1 | 9 176 |
| Moy. | 18 727 | 2,5 | 46 818 |
| Max. | 31 649 | 5 | 158 245 |

Le Tableau 11 récapitule les bilans fait en termes de volume d'eau et de contenance des vasques.

Tableau 11: Bilans hydrologiques lors des épisodes de Danilo et d'Iman, comparaison au volume de stockage des vasques.

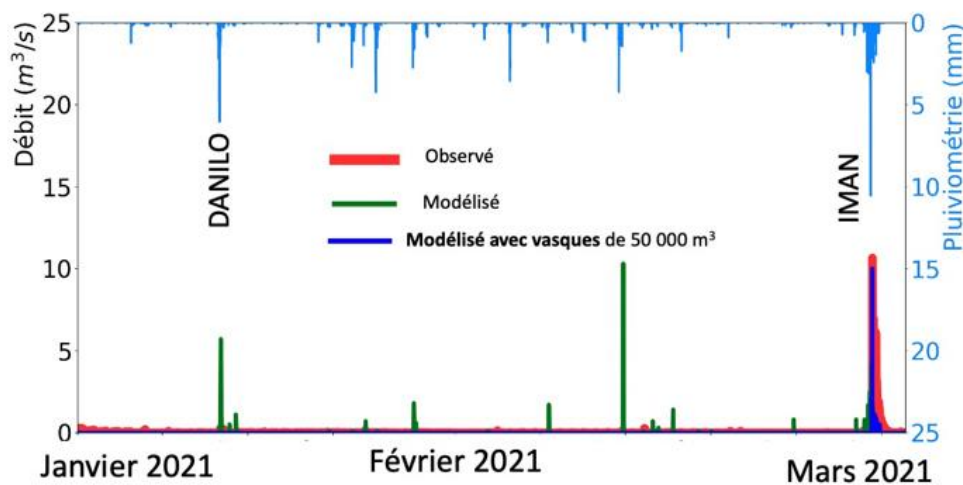
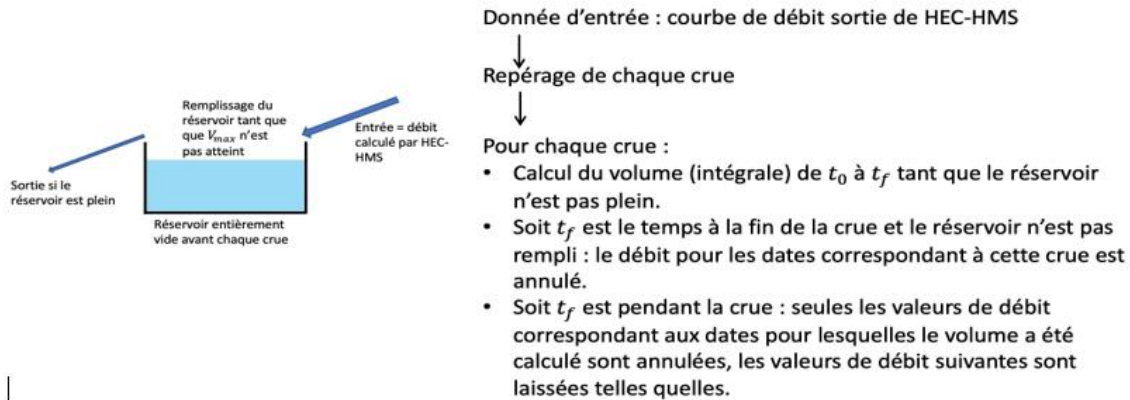
| Épisode | | DANILO | | | | | | IMAN | | | | | |
|---|--|---------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| Système | | Sous bassin Radier/Verrou | | | Bassin versant complet | | | Sous bassin Radier/Verrou | | | Bassin versant complet | | |
| ÉVÉNEMENT | Début (début de l'inverse) | 12/01/2021 13:42 | | | | | | 06/03/2021 20:40 | | | | | |
| | Fin (retour au débit initial au Verrou) | 14/01/2021 00:00 | | | | | | 08/03/2021 20:00 | | | | | |
| | Durée | 1j 16h 18min | | | | | | 1j 23h 18min | | | | | |
| | Durée (s) | 145 080 | | | | | | 170 280 | | | | | |
| Coefficient de ruissellement (%) | | 0,33 | | | | | | 6,20 | | | | | |
| Lame d'eau (pluie) (mm) | | 84 | | | 89 | | | 133 | | | 146 | | |
| BILAN ENTRÉES | Volume de pluie sur le bassin considéré (m ³) | 1 509 073 | | | 2 138 868 | | | 2 387 376 | | | 3 520 186 | | |
| | Volume écoulé au Radier (m ³) | 103 610 | | | / | | | 355 084 | | | / | | |
| | ENTRÉE (m³) | 1 612 683 | | | 2 138 868 | | | 2 742 460 | | | 3 520 186 | | |
| BILAN SORTIE | Volume écoulé au Verrou (m ³) = SORTIE | 7 072 | | | 7 072 | | | 218 294 | | | 218 294 | | |
| | Surplus d'eau (m ³) ENTRÉE - SORTIE | 1 605 611 | | | 2 131 796 | | | 2 524 166 | | | 3 301 892 | | |
| BILAN | Surplus d'eau (il reste x% de l'ENTRÉE) | 99,56 | | | 99,67 | | | 92 | | | 94 | | |
| | Différence de volume Radier-Verrou (m ³) | 96 538 | | | / | | | 136 790 | | | / | | |
| | Pour les incertitudes | MIN | EST | MAX | MIN | EST | MAX | MIN | EST | MAX | MIN | EST | MAX |
| VASQUES | Volume des vasques (m ³) | 9 176 | 46 818 | 158 243 | 14 442 | 73 685 | 249 055 | 9 176 | 46 818 | 158 243 | 14 442 | 73 685 | 249 055 |
| | Surplus d'eau - volume des vasques Reste après vasques (m ³) | 1 596 435 | 1 558 794 | 1 447 368 | 2 131 696 | 2 058 111 | 1 882 741 | 2 514 990 | 2 477 349 | 2 365 923 | 3 287 450 | 3 228 207 | 3 052 837 |
| | Surplus d'eau - volume des vasques Reste après vasques (% du reste) | 99,4 | 97,1 | 90,1 | 100,0 | 96,5 | 88,3 | 99,6 | 98,1 | 93,7 | 99,6 | 97,8 | 92,5 |
| | Effet des vasques, stockage de x % de l'eau restante | 0,6 | 2,9 | 9,9 | 0,0 | 3,5 | 11,7 | 0,4 | 1,9 | 6,3 | 0,4 | 2,2 | 7,5 |

Un premier modèle conceptuel :

La courbe de débit sortant de la plateforme de modélisation HEC-HMS correspond directement à l'eau ruisselant en surface du bassin versant jusqu'à l'exutoire qu'est le captage du Verrou. Une première approche simple afin de modéliser le rôle de ces vasques est d'introduire un nouveau réservoir juste avant l'exutoire. Ce réservoir doit permettre de stocker toute l'eau s'écoulant jusqu'à ce qu'il déborde, l'excès d'eau se retrouve alors à continuer sa course en aval engendrant une crue. Dans cette première approche, le réservoir représentant les vasques est considéré complètement vide avant chaque crue et le volume maximal de 50 000 m³ est entièrement disponible pour stocker l'eau de chaque crue.

La Figure 13 en explique le fonctionnement et présente les résultats. Un code Python a permis de tester ce modèle. Un volume de stockage supplémentaire de 50 000 m³ permet d'arrêter les crues de faible intensité ou de faible durée et laisse apparaître un seuil au-delà duquel les crues sont tout de même observées. Le volume considéré ici est bien compris dans l'encadrement du volume total des vasques estimé précédemment.

Figure 13: Premier modèle conceptuel : réservoir 50 000 m³ considéré comme vide au début de chaque crue

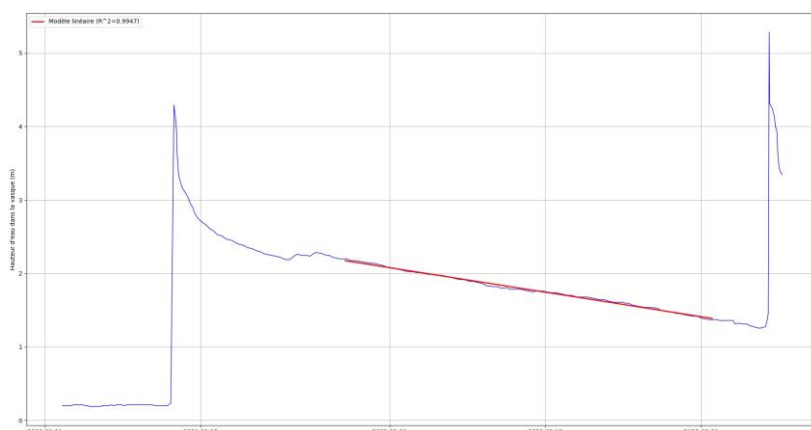


Un second modèle conceptuel prenant en compte la vidange et les variations de remplissage des vasques :

Les données recueillies auprès de la société Hydrex permettent d'avoir une idée de la vitesse de vidange d'une vasque. Cette société dispose d'un capteur de pression et donc de hauteur d'eau dans une vasque en amont du Radier de la Ravine Saint-Gilles. Ces données permettent de constater qu'entre les épisodes de Danilo et d'Iman la vasque se vide de façon linéaire (). La surface est estimée à 381 m^2 sur SIG. Les 35 jours où la diminution du niveau d'eau est linéaire dans la vasque permettent d'estimer un volume perdu de $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ soit $0,11 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. Avec l'hypothèse où toutes les vasques auraient le même fonctionnement linéaire de vidange pour un volume total de $75 000 \text{ m}^3$ les pertes en eau serait de $3,11 \text{ L}$ toutes les 6 minutes (pas de temps considéré).

Figure 14: Variation du niveau d'eau fourni par la société Hydrex dans la vasque du radier de la Ravine Saint-Gilles.

La vidange de la vasque est linéaire à raison de $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ sur les 35 jours entre Danilo et Iman (tracé rouge).



Il est alors possible de concevoir un nouveau modèle tenant compte d'une vidange des vasques. Il permet donc de suivre l'évolution du remplissage du réservoir représentant les vasques au cours du temps ().

Un volume maximal est défini et le volume initial est considéré égal à 0 m^3 , puis pour chaque pas de temps dans la courbe de débit sortant de HEC-HMS, il faut :

- calculer le volume V_i entre le temps t_i et t_{i-1}
- mettre à jour l'état de remplissage au temps i : $R_i = R_{i-1} + V_i - TV$ avec TV le taux de vidange
- si $R_i < 0$: alors $R_i = 0$
- sinon si $R_i \geq V_{max}$ alors $R_i = V_{max}$ et l'excédent ruisselle c'est à dire que les débits sont laissés tels quels.
- sinon le débit $Q_i = 0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La Figure 15 présente les résultats obtenus avec un volume de stockage de 75000 m^3 et un taux de vidange de $0,51/\text{mn}$. Ce paramètre de vidange introduit une amélioration sensible pour la restitution des crues observées.

Figure 15: Modélisation des vasques correspondant à un stockage supplémentaire de $75\ 000 \text{ m}^3$ avec un taux de vidange de $3,11 \text{ L}$ toutes les 6 minutes

La courbe du bas présente l'évolution du remplissage et de la vidange de ce réservoir supplémentaire.

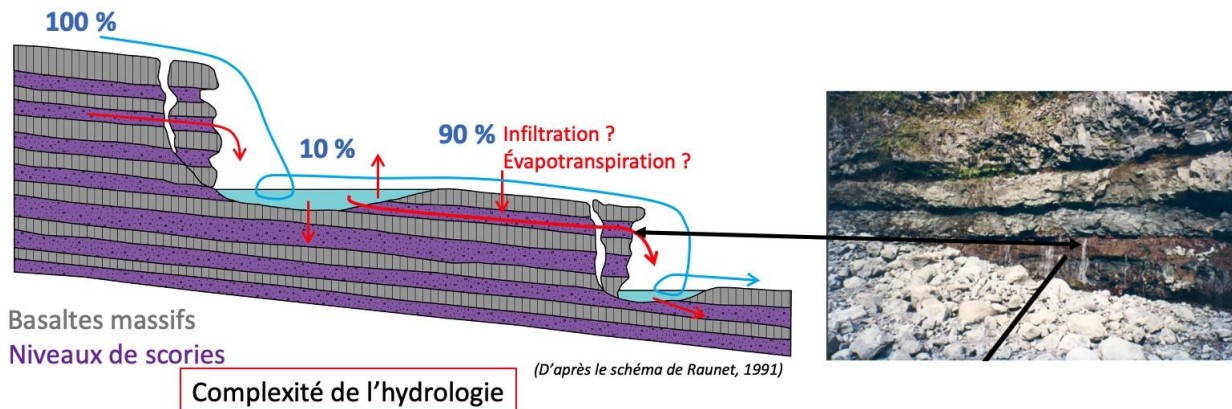


Apport de la modélisation à la compréhension des écoulements de crue

Ces premières approches quantitatives permettent de mettre en évidence un rôle des vasques dans les phénomènes de seuil de déclenchement des crues. En effet de par le volume de stockage supplémentaire qu'elles proposent elles peuvent atténuer voire faire disparaître certaines crues. Ces vasques jouent également un rôle dans la forme de la courbe de montée en crue, lorsque ce stockage de surface est plein, l'eau peut alors continuer de ruisseler en aval et provoquer une crue brusque.

En utilisant les données du bilan hydrologique fait sur le sous-bassin versant de la Ravine Saint-Gilles entre la station du Radier et celle du Verrou et l'estimation du volume des vasques, il est possible d'affirmer que ces dernières ont potentiellement pu stocker entre 1 % à 10 % du volume d'eau excédentaire lors de l'épisode de Danilo et 1 % à 6 % sur l'épisode d'Iman. Le restant d'eau s'est soit infiltré ou, dans une moindre mesure, évaporé ou encore stocké dans la canopée.. De plus, le contexte géologique et géomorphologique marqué par l'alternance de coulées laviques interstratifiées avec des niveaux de scories très perméables laisse envisager des communications possibles souterraines entre les différents bassins au cours des épisodes d'écoulement superficiels via des nappes perchées entre ces niveaux (Figure 16).

Figure 16: Répartition de l'écoulement dans les vasques



Toutefois quelque soit le modèle choisi, cette simplification d'un stockage unique pour représenter les vasques ne peut pas tenir compte de leur disposition spatiale tout le long de la ravine. Il serait donc intéressant de continuer d'instrumenter ces vasques afin d'en comprendre le fonctionnement hydrologique d'un point de vue physique et de développer un modèle d'écoulement plus complexe. Les modèles spatialisés actuels résolvant les équations modélisant les écoulements de surface ne tiennent pas compte des stockages ponctuels de surface. Les MNT où ces équations sont résolues sont modifiés justement afin de permettre un écoulement total et aucun stockage de surface, les dépressions du sol sont « comblées » (Maréchal, 2011). L'approche reste donc à développer.

Conclusions et perspectives

Les mesures de hauteur d'eau réalisées par l'Université de la Réunion dans le cadre du programme ReNovRisk sur la ravine Saint-Gilles avaient pour objectif de mieux comprendre



le transfert des crues d'amont en aval et les potentielles pertes en eau liées à des infiltrations sur ce bassin. Ces hauteurs d'eau, à défaut de donner des informations sur les volumes transités, donnent des indications sur les dynamiques en jeu d'amont en aval. L'exploitation de ces données pour la modélisation telle que développée ici reste incomplète du fait de l'absence de courbe de tarage, des fortes incertitudes liées à ces données et de séries relativement courtes.

En revanche, ces données ont permis de confirmer des processus essentiels pour comprendre et améliorer nos modèles d'écoulement dans le contexte si particulier.

Plusieurs pistes d'améliorations de la compréhension de la mise en place des crues éclair pourraient être suivies :

- Les paramètres des modèles étant à priori bien estimés car obtenus par mesures extérieures en pédologie et pétrophysique et non par calibration. Il serait utile de s'intéresser aux phénomènes observés et non pris en compte dans les modèles puis tenter de les implémenter.
- Passer des modèles conceptuels à des modèles physiques respectant les lois de la mécanique des fluides.
- Développer, dans les modèles la prise en compte des phénomènes complexes observés tels que le stockage des eaux dans les vasques faisant office de petits bassins de rétention naturels.
- Continuer de recueillir des données en différents contextes (étiages, périodes de tempêtes tropicales, périodes de cyclones) et ce à différentes échelles : tout le bassin versant, à l'échelle d'une vasque avec des mesures de hauteur d'eau en amont, dedans et en aval afin de mieux comprendre l'hydrologie qui reste très complexe.

Sur un plan plus opérationnel, nous avons évalué le rôle majeur que peuvent jouer les vasques naturelles en tant qu'amortisseur de crue. Ces bassins creusés par érosion régressive dans l'empilement volcanique sont caractéristiques de la géomorphologie unique de nos ravines sèches installées sur les planèzes volcaniques. Au regard de la gestion des risques hydrologiques dans le contexte de la Réunion, cet avantage naturel mériterait sans doute d'être exploité dans le cadre d'une politique d'aménagement des cours d'eau telle qu'elle a pu être menée dans les alpes au travers des programmes du type RTM (Restauration des Terrains en Montagne) avec la mise en œuvre d'ouvrage de très grande ampleur. L'objectif de ces travaux RTM pourraient dans le cas d'une ravine tel que la ravine Saint Gilles s'avérer beaucoup plus léger. Les bassins naturels constituant une dépression qui agit tant comme un réservoir qu'un dissipateur d'énergie, nous proposons de tester et mesurer l'impact d'un rehaussement obtenu via un muret de gabion et/ou une plantation arbustive plantée et entretenue sur la bordure sédimentaire présente à l'exutoire de chaque vasque. Le bassin situé juste à l'amont de la station radier pourrait dans ce cadre être utilisé comme démonstrateur de l'impact hydro-sédimentaire de ce type d'aménagement.

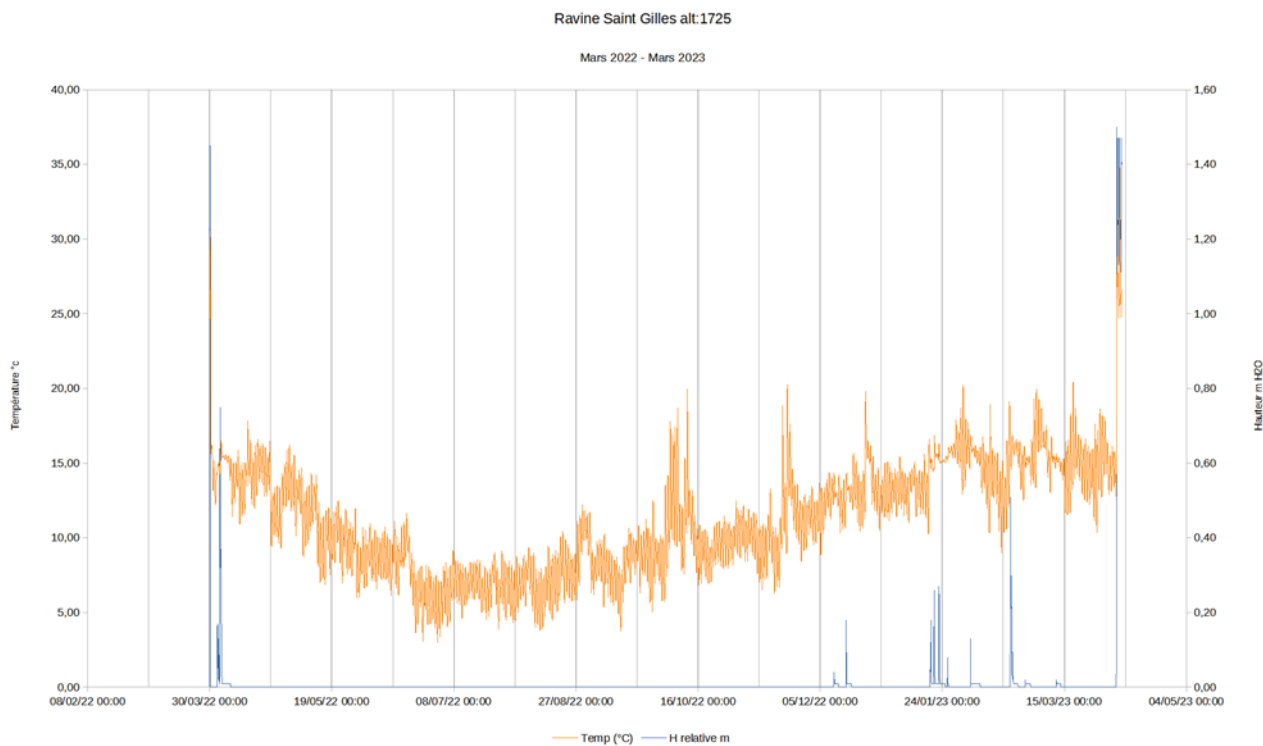
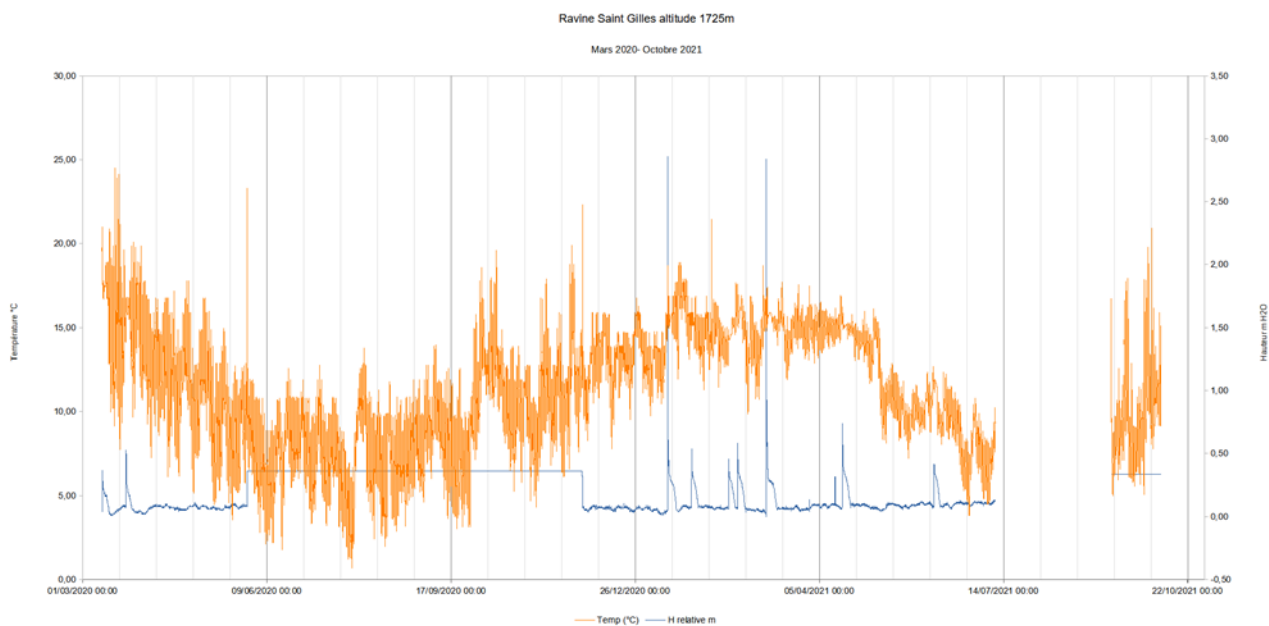


Bibliographie

- Barcelo, A. 1996. « Analyse des mécanismes hydrologiques en domaine volcanique insulaire tropicale à relief jeune. Massif de La Fournaise (île de La Réunion). » *Thèse de l'Université de La Réunion*, 266.
- Gautier, Maxime. 2021. « Apports de nouvelles données à la modélisation hydrologique de deux bassins versants réunionnais Estimation de l'impact des vasques naturelles de la Ravine Saint-Gilles ». Diplôme d'ingénieur des Mines d'Ales. Réunion.
- Ho, Ahn Dao. 2015. « Modélisation hydrologique du bassin versant de la Ravine de St- Gilles : impact de l'urbanisation sur le taux de ruissellement ». Rapport de stage de 2ème année en HOE-REA à l'ENSE3.
- JOIN, Jean-Lambert, et Emmanuel Augereau. 2022. « ReNovRisk Action 2 - Tache2 - Outils complémentaires à l'analyse hydrologique ». Rapports de synthèse livrables de l'action 2 tache 2.
- NKE Instrumentation. 2020. « Sondes TD : Température et Pression ». *Nke instrumentation* (blog). 2020. <https://nke-instrumentation.fr/produit/wisens-td/>.
- Raunet, M. 1991. « Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole ». *CIRAD - Région Réunion*, 438.
- Roques, Jeremie. 2013. « J. ROQUES, Modélisation prospective et rétrospective du ruissellement sur deux bassins versants de l'Ouest Réunionnais – Apport de la modélisation hydrologique à la connaissance des hydrosystèmes insulaires volcaniques, 2013 ». Rapport Master 2 Univ. Avignon.

Annexe 1 : synthèse des données à la station Maido 1725m

Figure 17 : Recapitulatif des données à la station Maido 1725



Annexe 2 : synthèse des données à la station Radier 870m

Figure 18 : Récapitulatif des données à la station Radier 870m



Annexe 3 : synthèse des données à la station ForageErmitage 24m

Figure 19 : Recapitulatif des données à la station ForageErmitage 24m

