

Etude du fonctionnement hydrologique de la planète Ouest

Bilan Hydrologique de la planète Ouest

Septembre 2021



Table des matières

1	Introduction	7
2	Présentation générale de l'étude	9
2.1	<i>Caractéristiques naturelles des bassins versants</i>	9
2.1.1	Description du contexte géologique	9
2.1.2	Description du contexte météorologique.....	10
2.1.3	Caractéristiques morphologiques des bassins versants	12
2.2	<i>Présentation du réseau de suivi</i>	16
2.2.1	Sélection des bassins versants retenus	16
2.2.2	Présentation du type d'équipement installé.....	19
2.2.3	Analyse des lacunes présentes	21
2.3	<i>Principe de la méthode des bilans hydrologiques</i>	22
2.3.1	Origine des données de précipitations	23
2.3.2	Calcul de l'évapotranspiration	24
2.3.3	Calcul du ruissellement	25
2.3.4	Calcul de l'infiltration	27
3	Présentation des résultats à l'échelle des bassins versants suivis	29
3.1	<i>Résultats à l'échelle de l'évènement</i>	29
3.1.1	Analyse du nombre d'écoulement	29
3.1.2	Analyse de la durée d'écoulement	31
3.1.3	Analyse du ruissellement.....	32
3.1.4	Analyse des transferts amont/aval.....	33
3.1.5	Analyse de l'infiltration.....	39
3.2	<i>Résultats à l'échelle des saisons humide et sèche.....</i>	40
3.2.1	Analyse en saison sèche.....	40
3.2.2	Analyse en saison humide	42
3.3	<i>Résultats à l'échelle annuelle.....</i>	47
4	Extrapolation des résultats à l'échelle de la planète.....	49
4.1	<i>Descriptions de la méthode d'extrapolation</i>	49
4.2	<i>Présentation des résultats à l'échelle de la planète.....</i>	51

4.2.1 A l'échelle de l'année 2020	52
4.2.2 A l'échelle de la saison sèche 2020	52
4.2.3 A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021	53
<i>4.3 Présentation des résultats à l'échelle des communes</i>	<i>54</i>
4.3.1 Saint Paul.....	54
4.3.2 Trois-Bassins	57
4.3.3 Saint-Leu	60
4.3.4 Les Avirons.....	62
4.3.5 L'Etang-Salé	65
4.3.6 Saint-Louis	69
<i>4.4 Présentation des résultats par paramètre hydrologique.....</i>	<i>72</i>
4.4.1 Les précipitations	72
4.4.2 L'évapotranspiration	74
4.4.3 Le ruissellement.....	75
4.4.4 L'infiltration	77
<i>4.5 Cohérence entre les calculs des bilans hydrologiques et les mesures piézométriques</i>	<i>78</i>
<i>4.6 Cohérence entre les calculs des bilans hydrologiques et les mesures hydrométriques</i>	<i>79</i>
5 Perspective d'évolution du réseau d'observation.....	82
6 Conclusion	84
Bibliographie	87
ANNEXE 1 Bilan Hydrologique du BRGM 1986.....	89
ANNEXE 2 Carte d'occupation des sols.....	90
ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale.....	91
ANNEXE 4 Caractéristiques des 38 bassins versants principaux de la planète Ouest	95
ANNEXE 5 Calcul de l'évapotranspiration.....	96

Index des figures

<i>Figure 1 : Carte géologique de la planèze Ouest, BRGM 2006.....</i>	10
<i>Figure 2 : Pluviométrie médiane de la Réunion de 1986 à 2016, CIRAD.....</i>	11
<i>Figure 3 : Répartition du coefficient de compacité des bassins suivis</i>	13
<i>Figure 4 : Densité de drainage des bassins retenus.....</i>	14
<i>Figure 5 : Profils en long des bassins versants suivis.....</i>	16
<i>Figure 6 : Réseau d'étude de la planèze Ouest</i>	19
<i>Figure 7 : Emplacement de la station hydrométrique 15057 - Ravine Saint-Gilles en 2018..</i>	20
<i>Figure 8 : Emplacement de la station hydrométrique sur la Ravine du Gol</i>	21
<i>Figure 9 : Analyse de l'origine des lacunes de données.....</i>	22
<i>Figure 10 : Evolution mensuelle des précipitations sur les bassins versants des ravines Tête Dure à Saint-Paul et Gol à Saint-Louis</i>	23
<i>Figure 11 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration pour une altitude de 0 et 2000 m NGR</i>	25
<i>Figure 12 : Modélisation du bief à la station 16076 -Ravine Bernica</i>	26
<i>Figure 13 : Courbe de tarage à la station 16076 – Ravine Bernica</i>	26
<i>Figure 14 : Carte des réserves utiles de La Réunion, BRGM 2011</i>	28
<i>Figure 15 : Nombre de périodes d'écoulement par station et pourcentage de lacunes de données entre avril 2018 et avril 2021.....</i>	30
<i>Figure 16 : Volume ruisselé cumulé d'avril 2018 à avril 2021</i>	31
<i>Figure 17 : Durée des écoulements sur la période d'avril 2018 à avril 2021</i>	32
<i>Figure 18 : Coefficient de ruissellement et volumes ruisselés des évènements Fakir, Danilo et Iman</i>	33
<i>Figure 19 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure, Colimaçons et du Trou le 24/04/2018 (Fakir).....</i>	34
<i>Figure 20 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure et Colimaçons le 12/01/2021 (Danilo).....</i>	36
<i>Figure 21 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure et Colimaçons le 07/03/2021 (Iman)</i>	37
<i>Figure 22 : Corrélation entre les volumes ruisselés cumulés et les volumes infiltrés cumulés de chaque évènement entre avril 2018 et avril 2021</i>	39
<i>Figure 23 : Bilans hydrologiques de la saison sèche 2020 des bassins versants suivis</i>	41

Figure 24 : Coefficients de ruissellement observés pour la saison sèche 2020	42
Figure 25 : Bilans hydrologiques de la saison humide 2019/2020 des bassins versants suivis	43
Figure 26 : : Bilans hydrologiques de la saison humide 2020/2021 des bassins versants suivis	44
Figure 27 : Coefficient de ruissellement des bassins suivis pour la saison humide 2019/2020	45
Figure 28 : Coefficient de ruissellement des bassins suivis pour la saison humide 2020/2021	46
Figure 29 : Bilans hydrologiques de l'année 2020 des bassins versants suivis.....	47
Figure 30 : Coefficients de ruissellement des bassins versants suivis en 2020	48
Figure 31 : Extrapolation sur les espaces inter bassins suivis	50
Figure 32 : Bilans hydrologiques à l'échelle de la planèze	52
Figure 33 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint Paul	54
Figure 34: Bilans hydrologiques sur la commune de Saint-Paul.....	55
Figure 35 : Carte de la surface analysée sur la commune de Trois-Bassins	57
Figure 36 : Bilan hydrologique de la commune des Trois-Bassins	58
Figure 37 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint-Leu.....	60
Figure 38 : Bilan hydrologique de la commune de Saint-Leu	61
Figure 39 : Carte de la surface analysée sur la commune des Avirons	63
Figure 40 : Bilans hydrologiques sur la commune des Avirons	64
Figure 41 : Carte de la surface analysée sur la commune de l'Etang-Salé	66
Figure 42 : Bilans hydrologiques de la commune de l'Etang -Salé	67
Figure 43 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint-Louis	69
Figure 44 : Bilans hydrologiques de la commune de Saint-Louis	70
Figure 46 : Diagrammes des précipitations par commune	72
Figure 47 : Diagrammes de l'évapotranspiration par commune.....	74
Figure 48 : Diagrammes du ruissellement par commune	75
Figure 49 : Diagrammes de l'infiltration par commune	77
Figure 50 : Niveau piézométrique à la station 15024-Chemin Carosse à Saint-Paul	78
Figure 51 : Niveau piézométrique à la station 37056-3-PIB4-C N°3 Plaine du Gol à Saint-Louis	79

Figure 52 : Débit médian en période hautes eaux à la station 33067 - Source Dussac au Tévelave 80

Figure 53 : Débit moyen en période hautes eaux à la station 16076 – Ravine Bernica 80

Index des tables

Tableau 1 : Stations hydrométriques du réseau de suivi 17

Tableau 2 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues de Fakir le 24/04/2021 . 35

Tableau 3 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues de Danilo le 12/01/2021 136

Tableau 4 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues d’Iman le 07/03/2021 ... 38

Tableau 5 : Correspondance entre les stations et les objectifs du suivi hydrométrique..... 82

1 Introduction

La planète Ouest est délimitée au nord par la Rivière des Galets et au sud par la Rivière Saint-Etienne et le Bras de Cilaos. Elle est composée des communes de Trois-Bassins, Saint-Leu, les Aviron, L'Etang-Salé et d'une majeure partie des communes de Saint-Paul et Saint-Louis. Elle représente une superficie d'environ 500 km², soit 20% de la surface totale du département de La Réunion. Elle comprend une population d'environ 220 000 habitants en 2018, soit un quart de la population réunionnaise.

La situation géographique « sous le vent » de la planète Ouest, induit un contexte pluviométrique moins abondant dans l'ouest que dans l'est de l'île. Les précipitations varient considérablement selon l'altitude. Pour des altitudes supérieures à 1000m, les précipitations sont aux alentours de 1 à 2m/an alors qu'elles sont en moyenne inférieures à 1m/an pour des altitudes inférieures à 1000m.

L'occupation du sol varie également selon l'altitude. Au-dessus de 1000m d'altitude prédomine des zones de prairie et de forêt. En-dessous de 1000m d'altitude prédomine des zones d'urbanisation, de culture de canne à sucre et de culture maraichère. Les cultures demandent de forts besoins en eau non satisfaits par le contexte climatique naturelle. L'irrigation des terres agricoles de l'ouest, constitue un des enjeux principaux du secteur. La carte de l'occupation du sol réalisée par le CIRAD figure en ANNEXE 2.

Sur le plan hydromorphologique, la planète Ouest est façonnée par une quarantaine de ravines aux bassins versants étroits. Hormis la Ravine Saint-Gilles dont l'écoulement est pérenne dans sa partie aval, les autres ravines de l'ouest présentent un écoulement ponctuel se produisant uniquement lors d'évènements pluvieux significatifs. Ces écoulements, parfois associés à des évènements cycloniques, provoquent un apport d'eau douce et de matière en suspension pouvant impacter considérablement le récif et l'écosystème associé.

Sur la Ravine de l'Ermitage de faibles écoulements continus sont observés entre la Station d'EPuration (STEP) et l'exutoire à la mer. Ces écoulements sont associés au rejet de la STEP. Ils ne sont pas quantifiés dans cette étude qui a pour objectif de caractériser les termes naturels du grand cycle de l'eau. Or, les rejets de la STEP ne correspondent pas au ruissellement naturel de la ravine.

De même, les volumes d'irrigation des cultures de la planète Ouest ne sont pas pris en compte dans le calcul des bilans hydrologiques. Il est supposé que l'apport en eau par l'irrigation permette de subvenir aux besoins des zones cultivées sans infiltration profonde vers les aquifères sous-jacents.

La prédominance de ravines intermittentes interroge sur leur rôle dans le cycle hydrologique de la planète Ouest, notamment les volumes ruisselés. A travers la modélisation, des estimations ont été réalisées. L'atlas hydrogéologique rédigé par le BRGM en 1986 estime un ruissellement moyen de 280mm/an, soit 20% des précipitations (voir Annexe1). Cependant une méconnaissance globale des

volumes ruisselés dans les bassins versants des ravines intermittentes persiste du fait du faible suivi hydrométrique de ce milieu.

Ainsi en 2018, l'Office de l'eau a déployé un réseau de mesure sur 16 sites répartis dans 12 bassins versants : 4 bassins versants disposent de deux équipements de mesure, un en amont et l'autre en aval afin d'analyser le transfert amont/aval. Parmi les 16 stations du réseau d'étude, 3 stations étaient préexistantes (16076 – Ravine Bernica, 15057 – Ravine Saint Gilles au Verrou et 33067 – Source Dussac au Tévelave) et 13 stations ont été équipées d'un dispositif de mesure du ruissellement en 2018. Le réseau expérimental couvre 222 km², soit 44 % de la surface totale de la planèze.

L'objectif initial des stations préexistantes est l'évaluation de l'état quantitatif de la ressource en eau superficielle de la planèze. Un élargissement de cet objectif est apparu avec la mise en place du réseau expérimental.

Les objectifs du réseau expérimental sont :

1. Quantifier le ruissellement à l'échelle des 16 stations et en déduire l'infiltration des bassins versants associés. Parmi les 16 stations, 3 stations permettent de quantifier le ruissellement dans les secteurs stratégiques identifiés par le Département ;
2. Analyser le transfert amont/aval sur trois bassins versants ;
3. Estimer le ruissellement et l'infiltration à l'échelle de la planèze et des communes associées.

L'estimation des volumes infiltrés de cette étude comporte plusieurs limites : une approximation sur la réserve utile, une non intégration des volumes irrigués et des volumes issus de l'assainissement non collectif. Cependant ces estimations permettent d'approcher un ordre de grandeur des termes hydrologiques du grand cycle de l'eau.

Ce rapport présente dans une première partie les caractéristiques des bassins versants retenus et la méthode utilisée pour l'élaboration des bilans hydrologiques. Une deuxième partie est consacrée à la présentation des résultats à l'échelle de la station. Dans une troisième partie, les résultats aux échelles « planèze » et des communes sont abordés. Enfin, une quatrième partie est donnée les perspectives d'évolution d'un réseau de suivi pérenne.

2 Présentation générale de l'étude

2.1 Caractéristiques naturelles des bassins versants

2.1.1 Description du contexte géologique

La planèze Ouest, est formée d'une superposition de couches basaltiques issus du massif du Piton des Neiges¹. Des affleurements plus récents de la série différenciée du Piton des Neiges datée de - 340 000 ans à - 9 000 ans prédominent sur l'ensemble de la planèze. Ces affleurements sont composés :

- de coulée basaltique (β_2) du nord au sud de la planèze ;
- de tuf volcanique en épandage sur la partie nord-ouest de l'île (*tf*). Cependant, l'aval des bassins versants du nord-ouest est formé de coulée basaltique (β_2) ;
- de tufs soudés (*tfs*) dans le secteur du Maïdo ;
- des brèches d'avalanches de débris de Saint-Gilles (*Br*). La présence de ces brèches particulièrement imperméable explique le caractère pérenne de l'écoulement de la Ravine Saint Gilles dans sa partie aval du Bassin Malheur à la mer. Le Bassin Malheur est une résurgence d'eau souterraine.

Cependant, des coulées plus anciennes de basaltes à olivine (β_1) datées de - 2,2 Ma (Million d'année) à - 340 000 ans affleurent à certains endroits de la planèze. Ces coulées affleurent en aval des bassins versants au niveau de l'Ermitage, de la Saline, de la Grande Ravine et du Tour des Roches. Les basaltes à olivine (β_1) affleurent également à mi pente ou en amont des bassins versants au niveau du Télélave aux Avirons, des hauts de l'Etang-Salé, des Makes, de la chaîne du Bois de Nèfle et du Ruisseau les Hauts à Saint-Louis. Les affleurements des anciennes coulées de basaltes à olivine (β_1) dans les hauts sont parfois associées à la présence de sources pérennes (ex : Source Dussac au Télélave).

La planèze Ouest est également composée de formations superficielles. Du sable et des galets de plage (*D*) affleurent au niveau de la baie de Saint-Paul, des plages de l'Ermitage, la Saline et de Saint-Leu. Le plateau et l'Etang du Gol à Saint-Louis et l'Etang Saint-Paul sont constitués d'alluvions fluvio-marines (*fm*). La partie basse de l'Etang-Salé repose sur des dunes de sable basaltique (*Db*). Les formations affleurantes au niveau des quartiers de Bois de Nèfle et Pont Neuf à Saint-Louis et de Cambaie et Savanna à Saint-Paul sont d'anciens alluvions (*Fy*) probablement déposés respectivement par la Rivière Saint-Etienne à Saint-Louis et la Rivière des Galets à Saint-Paul. Des dépôts de glissement en masse, de coulée de débris et éboulis (*E*) sont relativement rare sur la planèze Ouest. Ces affleurements sont essentiellement présents à Saint-Louis, au pied de la chaîne du Bois de Nèfles en aval des Makes et dans le quartier du Tapage.

¹ (Carte géologique de la Réunion, 2006)

La **Figure 1** ci-dessous représente la géologie de la planète Ouest.

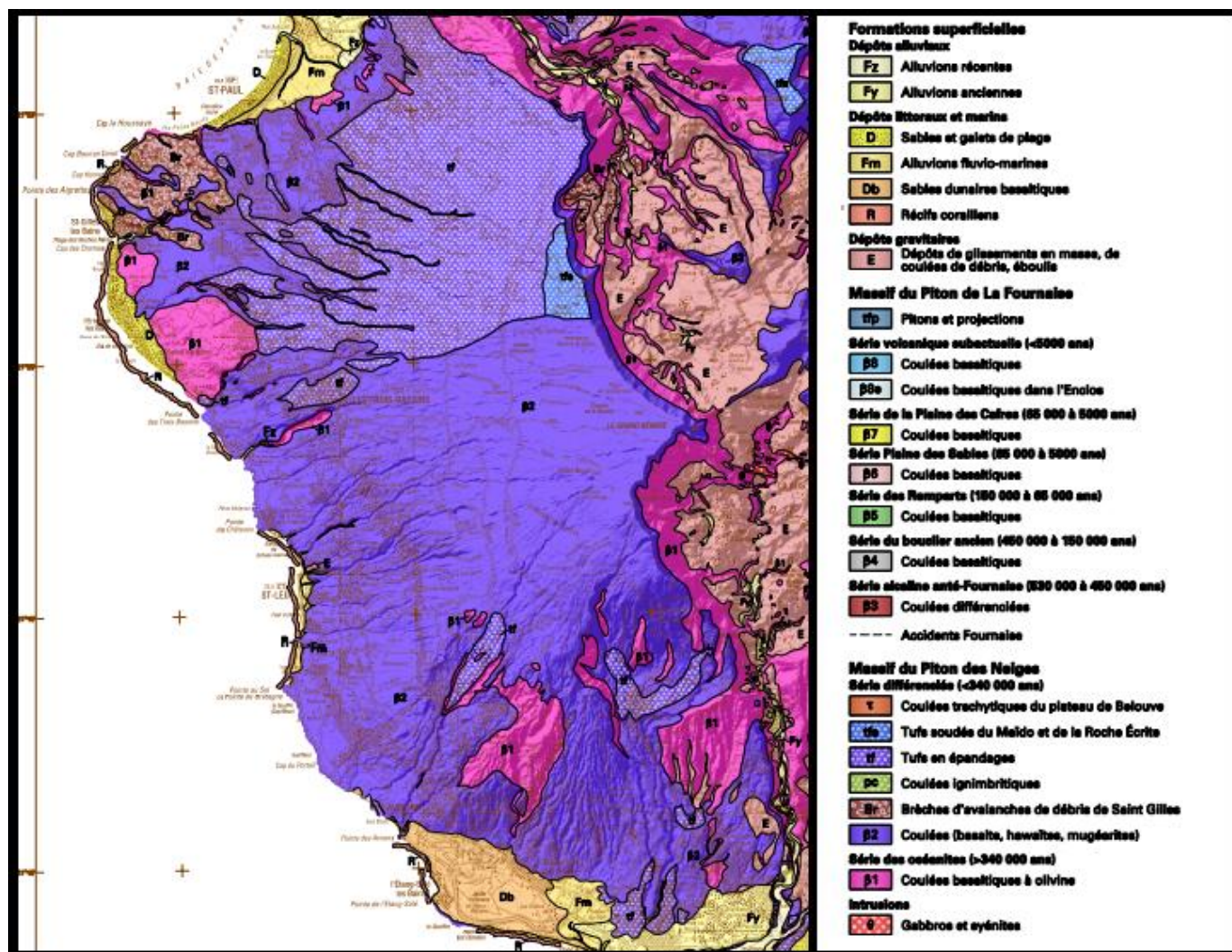


Figure 1 : Carte géologique de la planète Ouest, BRGM 2006

2.1.2 Description du contexte météorologique

L'orientation des Alizées, qui soufflent d'est en ouest, situe géographiquement la planète Ouest « sous le vent ». Combinée au relief intérieur marqué, cela entraîne des précipitations moins importantes dans l'ouest que dans l'est. Les précipitations sur la façade ouest, dépendent du régime de brise, et ont lieu principalement entre 1000 m et 2000 m d'altitude². Le secteur ouest est donc marqué, par une disparité de pluviométrie entre les hauts et les bas de la planète.

L'analyse des pluies médiane de 1986 à 2016 (**Figure 2**), montre une répartition inégale de la pluviométrie entre les secteurs ouest et est. Les précipitations observées dans l'ouest, sont inférieures à 2000 mm/an, valeur maximale observée dans les hauts de l'ouest. Ces valeurs sont largement inférieures à celles observées dans l'est, qui peuvent dépasser les 6000 mm/an.

² (MétéoFrance, Climat de la Réunion, s.d.)

2.1.3 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

Analyse du coefficient de compacité

Le coefficient de compacité ou coefficient de Gravelius, est un indice de forme qui renseigne sur la forme des bassins versants. Il se définit par le rapport du périmètre du bassin versant sur la circonférence d'un cercle de même surface³.

$$KG = \frac{P}{2 \sqrt{\pi i * A}} = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant

A : Aire d'un cercle de même surface que le bassin versant

L'analyse du coefficient de compacité, a été faite sur les trente-huit bassins versants principaux de la planèze. Les valeurs calculées sont présentées dans l'ANNEXE 4. Les coefficients de compacité varient de 1.5 à 4.5, les bassins versants sont globalement allongés et étroits. Cependant trois catégories de compacité ont été mises en évidence afin de comparer les bassins versants entre eux :

- Les bassins versants moyennement allongés ayant un coefficient inférieur à 1.8
- Les bassins versants allongés ayant un coefficient compris entre 1.8 et 3
- Les bassins versants fortement allongés ayant un coefficient supérieur à 3

La majorité des bassins versants observés, soit vingt-neuf des trente-huit bassins, sont de forme allongée. Seuls deux bassins versants sont de forme moyennement allongée, et sept sont de forme fortement allongée.

Parmi les 12 bassins versants retenus, 1 est moyennement allongé, 9 sont de forme allongés et 2 sont très allongés, cf. **Figure 3**. Cependant le bassin versant de la Ravine des Manirons à L'Étang-Salé est moyennement allongé dans sa globalité mais le suivi hydrométrique situé sur le Grand Bras des Manirons couvre un bassin versant allongé.

³ (H. BENDJOUDI, 2002)

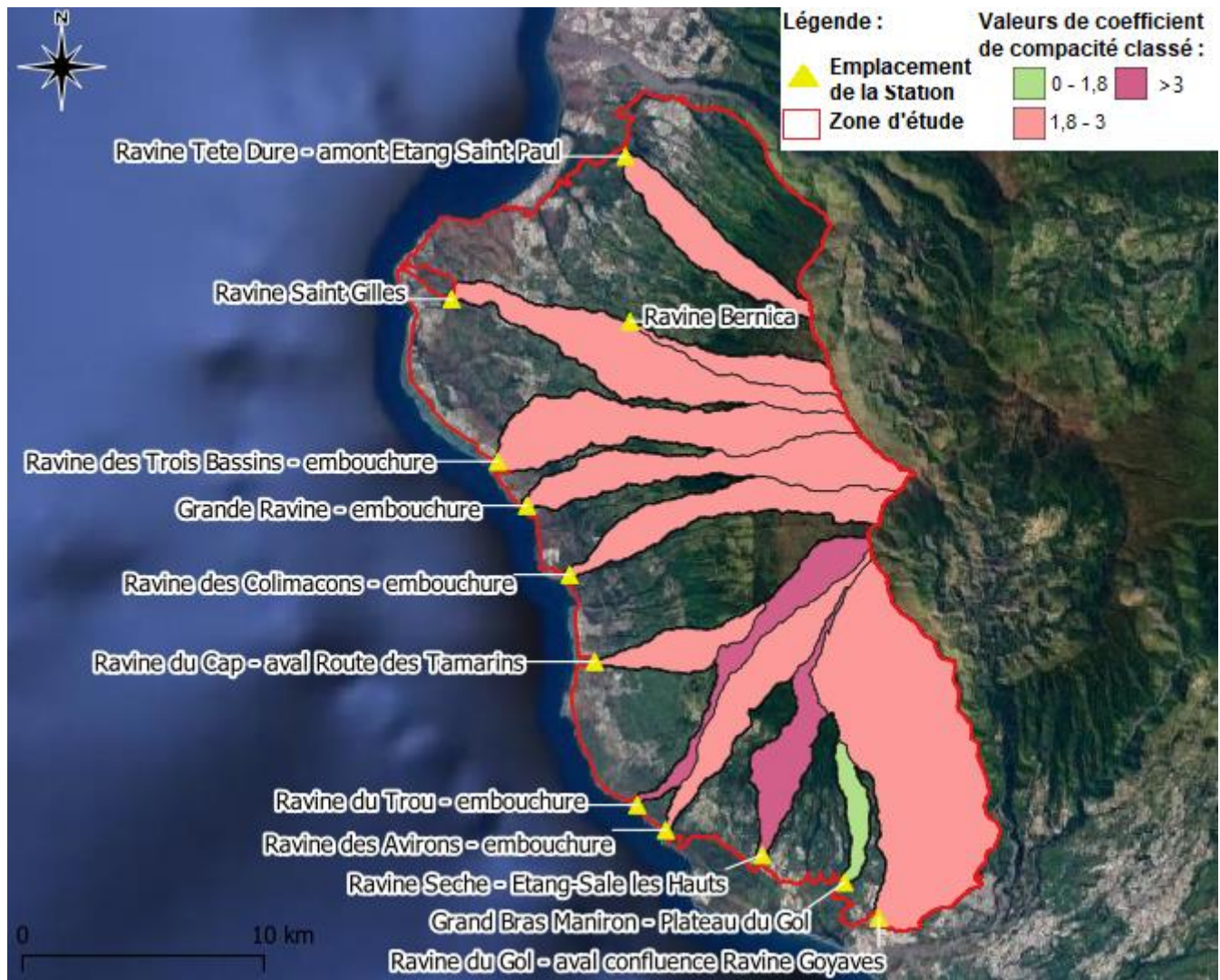


Figure 3 : Répartition du coefficient de compacité des bassins suivis

Analyse de la densité de drainage maximale

La densité de drainage maximale se définit comme étant le rapport entre la somme linéaire d'un cours d'eau et sa superficie. Elle s'exprime en km/km², et traduit l'intensité du bassin versant à drainer l'eau du sommet du bassin à son exutoire. Plus un bassin versant a une densité de drainage maximale élevée, plus sa surface dispose de ravines capables de drainer le ruissellement de surface.

$$D_D = \frac{\sum L_H}{A}$$

Avec :

L_H : Longueur d'un cours d'eau

A : Surface du bassin versant

Les valeurs observées sur les trente-huit bassins versants principaux de la planète Ouest varient entre 0 et 9 km/km², cf. ANNEXE 4. De par l'hydromorphologie de La Réunion marqué par la présence de nombreuses ravines, la densité de drainage maximale est globalement forte à très forte.

Trois catégories de densité de drainage ont été mises en évidence afin de comparer les bassins versants de la planèze Ouest entre eux :

- Une densité de drainage moyenne pour les valeurs comprises entre 1 et 3 km/km²
- Une densité de drainage forte pour les valeurs comprises entre 3 et 5 km/km²
- Une densité de drainage très forte pour les valeurs supérieures à 5 km/km²

La majorité des bassins ont montré une densité de drainage très forte, soit dix-sept sur trente-huit bassins versants. Parmi les bassins restants, quatorze bassins ont une densité de drainage forte, et sept bassins versants ont une densité de drainage moyenne.

Les bassins versants retenus ont des densités de drainage maximales forte et très forte, cf.

Figure 4.

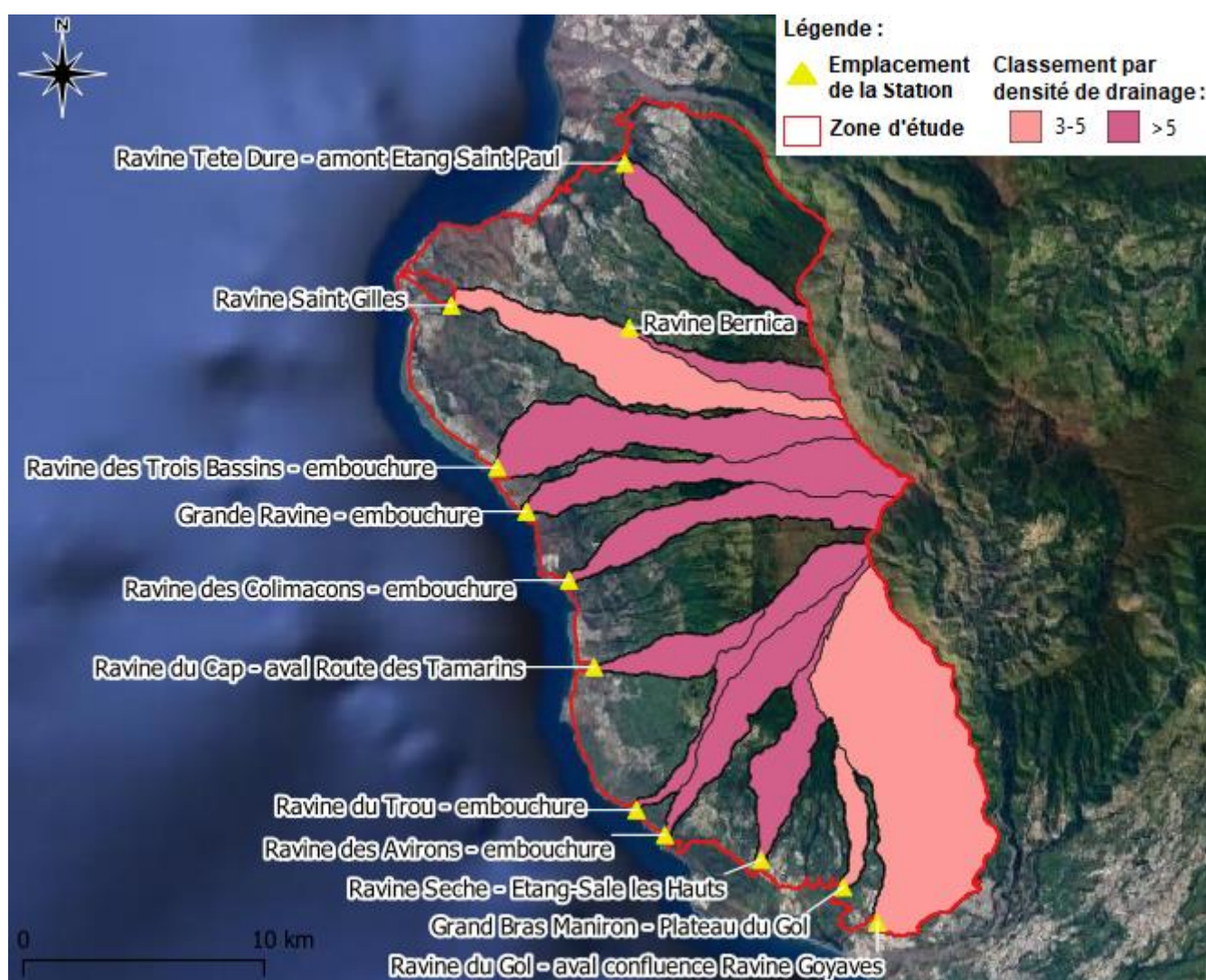


Figure 4 : Densité de drainage des bassins retenus

La dénivellation maximale

La dénivellation maximale mesure la différence de niveau entre le point le plus bas du bassin versant et son sommet. Elle s'exprime en mètre. La dénivellation des 38 bassins versants principaux de la planète Ouest varie entre 100 et 2800 m. Ce critère permet de classer les trente-huit bassins versants en trois catégories :

- Les bassins de basse altitude dont la dénivellation est inférieure à 500 m
- Les bassins d'altitude moyenne à haute dont la dénivellation est comprise entre 500 et 2000 m
- Les bassins de très haute altitude dont la dénivellation est supérieure à 2000 m

La majorité des bassins ont une dénivellation moyenne à haute, soit vingt sur les trente-huit bassins analysés. Quatorze bassins versant ont une dénivellation très hautes et quatre basses. Sur les douze bassins versants retenus, dix ont une dénivellation maximale de très haute altitude et deux d'altitude moyenne à haute. Les bassins versants de très haute altitude sont généralement les bassins de plus grande surface. Les bassins de surface élevée ont préférentiellement été retenus afin de couvrir au maximum la surface suivie.

Selon les classes définies précédemment, l'analyse des caractéristiques naturelles des bassins versants de la planète Ouest a permis de différencier les bassins versants selon la géologie, la pluviométrie et quatre critères morphologiques (la surface, la dénivellation maximale, le coefficient de compacité, la densité de drainage maximale).

Concernant la surface du bassin versant, l'analyse a porté sur la surface du bassin versant topographique naturel. Cependant l'anthropisation et l'aménagement urbain sont susceptibles de modifier les axes d'écoulement naturel et ainsi modifier la surface de drainage des bassins versants. C'est par exemple le cas évoqué dans le rapport BRGM/RP-70615-FR publié en avril 2021, de la Ravine du Cap où le bassin versant drainé est estimé à environ 1km² de plus que la surface du bassin topographique naturel.

La comparaison des caractéristiques naturelles des bassins versants met en évidence la supériorité de la surface du bassin versant de la Ravine du Gol par rapport aux autres bassins suivis. En effet la surface du bassin versant de la Ravine du Gol est de 69 Km², soit 12.5% de la surface totale de la planète. Les surfaces des autres bassins suivis varient entre 7.7 Km² (Ravine du Cap) et 31.5 Km² (Ravine Saint Gilles).

La densité de drainage maximale est supérieure à 7 Km/Km² dans les bassins versants de la Ravine Colimaçons (7.7 Km/Km²) et de la Grande Ravine (7.1 Km/Km²). La densité de drainage maximale la plus faible est 3.9 Km/Km² (Ravine Saint Gilles).

Le coefficient de compacité ou coefficient de Gravelius est supérieur à 3 sur les bassins de la Ravine du Trou et de la Ravine Sèche renseignant sur leur forme particulièrement étroite. Cependant l'homogénéité de ce paramètre caractérise des bassins versants globalement étroit sur la planète Ouest.

La pente moyenne du profil en long varie entre 0.10 (Ravine Saint Gilles) et 0.19 (Ravine du Cap). Les profils en long des 12 bassins suivis sont présentés dans la **Figure 5** ci-dessous.

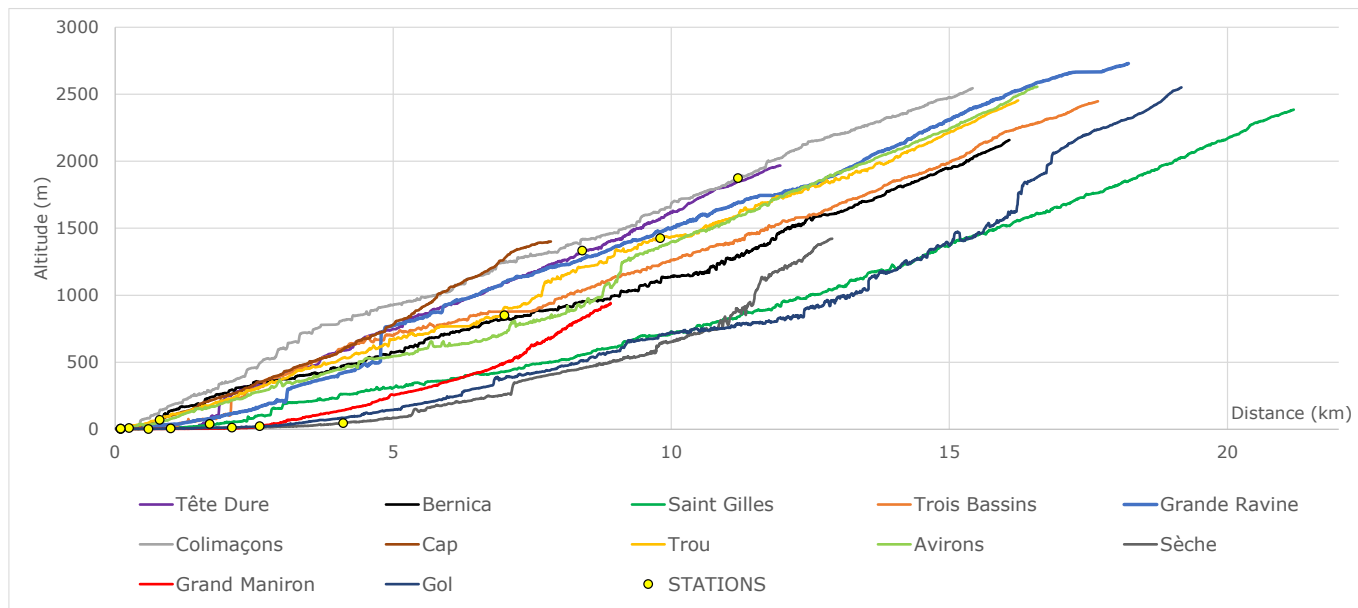


Figure 5 : Profils en long des bassins versants suivis

L'observation des profils en long révèle des ruptures de pente indiquant la présence de cassés. Ces cassés sont en aval du bassin versant sur les bassins de Tête Dure, Trois Bassins, Saint Gilles et Grande Ravine. Ces cassés sont associés à un changement de formations géologiques. En effet les cassés des ravines Tête Dure, Trois Bassins et Grande Ravine apparaissent au niveau des coulées anciennes de basalte β_1 . Les cassés de la Ravine Saint Gilles apparaissent au niveau des brèches (voir la **Figure 1**).

Sur les bassins des ravines du Trou, Avirons, Sèche et Gol, les cassés sont localisés principalement à une altitude supérieure ou équivalente à 1 000m. Ils sont également reliés à la géologie, notamment aux zones d'affleurements des anciennes coulées de basalte β_1 (voir la **Figure 1**).

Un lien entre la géologie et les zones d'écoulements pérennes a précédemment été mis en évidence dans la partie **2.1**. Ce lien est à corréliser ici avec la présence de cassés et de rupture de pente.

2.2 Présentation du réseau de suivi

2.2.1 Sélection des bassins versants retenus

Afin de représenter au mieux la planète Ouest à travers ce réseau d'étude, la sélection des 12 bassins versants a pris en compte :

- La présence des stations préexistantes ;

- La géologie des bassins versants ;
- L'hydromorphologie des bassins versants suivant les paramètres de coefficient de compacité, dénivellation maximale et de densité de drainage maximale ;
- La surface des bassins versants topographiques naturels afin de couvrir au maximum la zone d'étude ;
- La répartition spatiale des bassins versants afin de suivre l'hydrologie en fonction de l'inégale répartition spatiale des précipitations sur la planète.

Le choix des sites de mesure a été réalisé après la sélection des 12 bassins versants. Hormis les 3 stations hydrométriques préexistantes, 13 stations hydrométriques ont été installées dans le courant du 2^{ème} trimestre 2018. Le choix de l'emplacement des stations a nécessité des reconnaissances sur le terrain afin de choisir les sites les plus pertinents possibles.

Le réseau d'étude composé des seize stations hydrométriques suivies par l'Office de l'eau Réunion est présenté dans le **Tableau 1** ci-dessous.

Tableau 1 : Stations hydrométriques du réseau de suivi

Commune	Réseau total ravines de l'Ouest		Coordonnées géographiques (m)			Surface (km ²)
	CODE Station Office de l'Eau	Nom des stations équipés	X	Y	Z	
Saint-Paul	17800	Ravine Tête Dure - RF des Cryptomérias	329062	7672852	1333	0,58
	12801	Ravine Tête Dure - amont Etang Saint Paul	324143	7677365	6	12,41
	16076	Ravine Bernica Tan Rouge	324338	7670514	850	7,08
	15057	Ravine St Gilles au Verrou	316939	7671444	39	24,60
	16802	Ravine des Trois Bassins - embouchure	318851	7664718	1	25,44
Trois-Bassins	16801	Grande Ravine - embouchure	320064	7662882	1	22,08
Saint-Leu	17801	Ravine des Colimaçons - RF des Tamarins	330350	7663305	1874	3,11
	32800	Ravine des Colimaçons - embouchure	321827	7660022	9	16,17
	32802	Ravine du Cap - aval Route des Tamarins	322872	7656415	70	7,61
	33800	Ravine du Trou - route Vaudeville	329522	7657156	1426	6,69
	32801	Ravine du Trou - embouchure	324634	7650471	4	11,65
	33067	Source Dussac au Tévelave	330044	7656361	1120	0,10
	32803	Ravine des Avirons - embouchure	325813	7649431	4	15,96
Etang-Salé	33801	Ravine Sèche - Etang-Salé les Hauts	329808	7648401	45	11,24
Saint-Louis	37801	Grand Bras Maniron - Plateau du Gol	333224	7647262	22	4,27
	37802	Ravine du Gol - aval confluence Ravine Goyaves	334644	7645793	12	63,36

Il se compose de quatre stations situées à plus de 1 000m d'altitude : 17800 - Tête Dure Rf des Cryptomérias, 17801 - Colimaçons Rf des Tamarins, 33800 - Trou route Vaudeville et 33067 Source Dussac au Tévelave. La surface des bassins versants à ces stations sont comprises entre 0,1 km² et 6.7 km². La station en amont de la Ravine Tête Dure couvre une surface est 0,58 km², soit 4 % du bassin total. La station en amont de la Ravine des Colimaçons couvre une surface de 3,11 km², soit 17% de la surface totale du bassin versant. La surface du bassin à la station en amont de la Ravine du Trou est la plus élevée, soit 6,69 km², elle représente 57 % du bassin versant total. Le bassin versant topographique de la Source Dussac est le plus petit bassin versant avec une surface de 0,1 km², elle représente moins d'un pourcent du bassin versant de la Ravine des Avirons.

En plus des 4 stations d'altitude supérieure à 1000m, le réseau est composé d'une station à mi-pente située à 850 m d'altitude : 16076 – Bernica Tan Rouge. Le bassin versant à la station couvre une surface de 7,08 km² et représente environ 30 % de la surface totale de la Ravine Bernica.

Cinq stations sont situées en partie aval des bassins versants à une altitude variant de 10 à 70 m : 15057 Ravine Saint-Gilles, 32802 - Ravine du Cap, 33801 - Ravine Sèche, 37801 - Grand Bras Manirons et 37802 - Ravine du Gol. La station de la Ravine Saint-Gilles se trouve en amont immédiat du captage du Verrou, à une altitude de 39 m. Le bassin versant a une surface de 24,6 km², soit environ 78% du bassin versant total. La station de la Ravine du Cap a été installée à 70 m d'altitude. Son bassin versant a une dénivellation maximale d'altitude moyenne et sa surface est de 7,61 km². Il représente 99 % de la surface totale du bassin versant. La présence de formations de dunes de sable à L'Etang-Salé a limité le choix de site en aval du bassin versant de la Ravine Sèche. L'altitude de la station est à 45m et son bassin versant couvre une surface de 11,24 km², soit 61 % de la surface totale du bassin versant. De même, aucun site n'a été trouvé à l'embouchure de la Ravine des Manirons. La station a été installée en amont sur le Grand Bras Manirons à une altitude de 22m couvrant un bassin versant de 4.27 km², soit 15% de la surface totale de la Ravine des Manirons. La station de la Ravine du Gol a été placée en amont de l'Etang du Gol et en aval de la confluence de la Ravine Goyave. Elle a une altitude de 12 m et la surface de son bassin versant de 63,36 km² est la plus importante. Elle représente environ 91% de la surface du bassin versant total.

Six stations sont situées aux embouchures des bassins versants, soit à une altitude inférieure à 10 m : 12801 - Tête Dure aval, 16802 - Trois Bassin, 16801 - Grande Ravine, 32800 - Colimaçons aval, 32801 - Trou aval et 32803 - Avirons. Les surfaces couvertes par les stations correspondent aux surfaces totales des bassins versants des ravines.

La **Figure 6** ci-dessous illustre le réseau de suivi et les bassins versants associés aux stations.

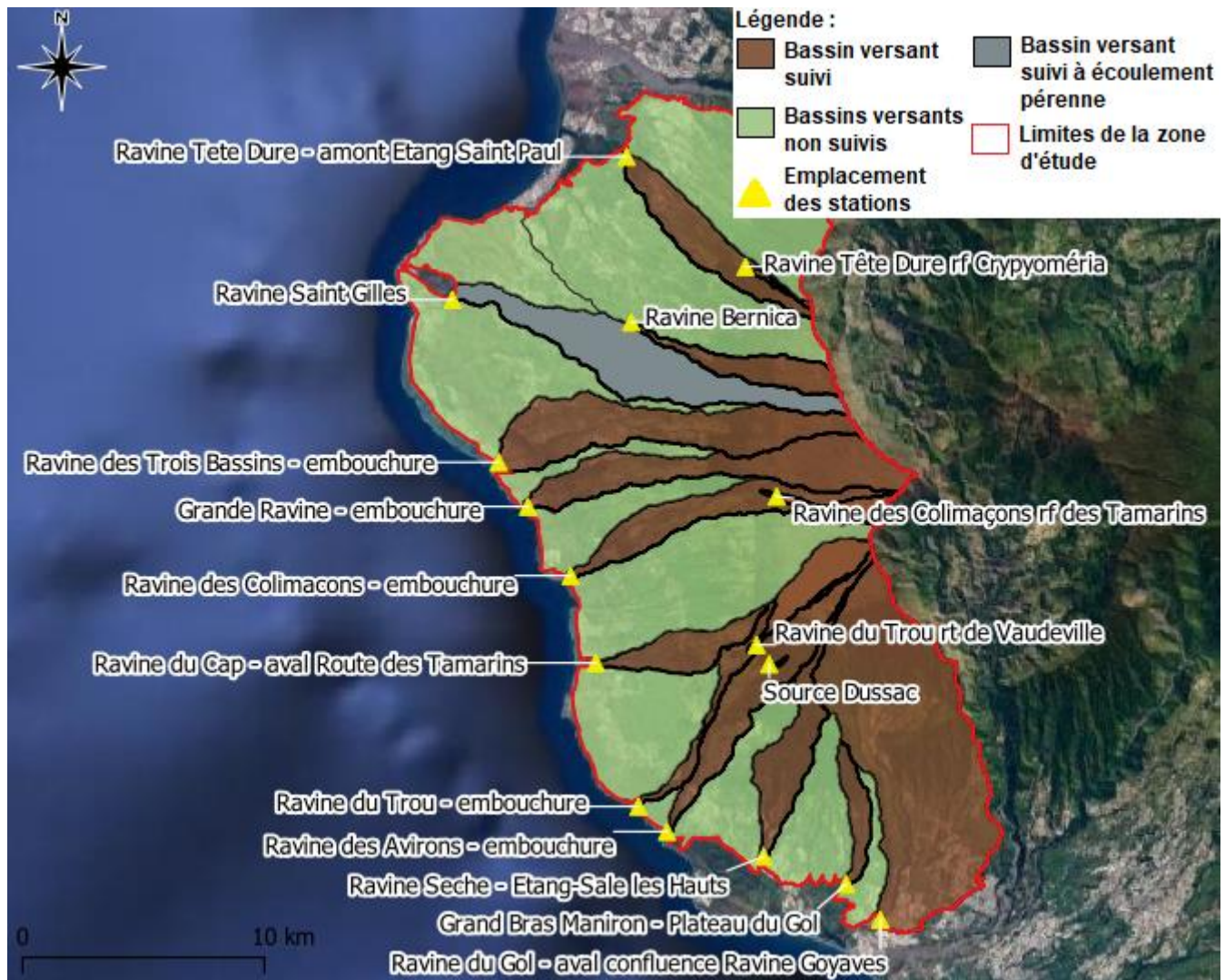


Figure 6 : Réseau d'étude de la planète Ouest

La surface couverte par l'ensemble des bassins versants suivis est de 222 km², soit 44% de la surface totale de la planète Ouest. Hormis les stations 15057 - Ravine Saint-Gilles et 33067 - Source Dussac au Tévelave pour lesquelles l'écoulement est pérenne, les 14 autres stations mesurent des écoulements non pérennes qui ont lieu uniquement lors d'épisodes pluvieux.

Les coefficients de ruissellement mesurés dans les bassins versants suivis ont été extrapolés aux bassins versants non suivis afin d'obtenir un ruissellement global à l'échelle de la planète.

2.2.2 Présentation du type d'équipement installé

Rappelons que trois stations préexistantes à la mise en place du réseau d'étude ont été intégrées au suivi : 33067 - la Source Dussac au Tévelave, 16076 - la Ravine du Bernica et 15057 - la Ravine Saint-Gilles.

Ces stations sont composées d'une centrale d'acquisition équipée d'un capteur de pression, d'une batterie de 12V et d'un panneau solaire permettant de garantir en toute autonomie la transmission quotidienne des données enregistrées au pas de temps cinq minutes.

Le capteur pression mesure une hauteur d'eau contrôlée par un seuil déversoir situé en aval du dispositif de mesure. La présence d'un seuil déversoir favorise nettement la fiabilité de la relation hauteur-débit à la station.

L'installation d'une échelle limnimétrique assure la vérification du bon fonctionnement du dispositif de mesure à chaque passage terrain. Ainsi la qualité des données issues de ces stations est considérée comme correcte.

La **Figure 7** ci-dessous illustre un dispositif de mesure muni d'une centrale d'acquisition avec télétransmission quotidienne des données.



Figure 7 : Emplacement de la station hydrométrique 15057 - Ravine Saint-Gilles en 2018

Pour les treize autres bassins versants équipés dans le cadre de cette étude, le dispositif de mesure présente une installation plus simple et moins coûteuse. Cependant il ne permet pas la télétransmission des données.

Le dispositif de mesure est composé de deux sondes de type DIVER : une sonde mesure la pression absolue dans le lit du cours d'eau, et une autre mesure la pression atmosphérique sur l'une des rives du cours d'eau. La hauteur d'eau enregistrée correspond à la différence entre la pression absolue et la pression atmosphérique. Les sondes enregistrent au pas de temps de six minutes.

Une intervention trimestrielle des agents de terrain de l'Office de l'eau assure la collecte des données enregistrées et la programmation des sondes pour la collecte suivante. En cas de panne, de perte ou de vandalisme de sonde, les agents assurent également le remplacement de cette dernière.

La fiabilité de la relation hauteur-débit est impactée par :

- l'absence de seuil déversoir augmentant les incertitudes sur la rugosité ;

- l'absence d'échelle limnimétrique ne permettant pas une vérification rapide d'une dérive ou une anomalie du signal enregistré par la sonde.

La **Figure 8** ci-dessous illustre un dispositif de mesure de type DIVER.

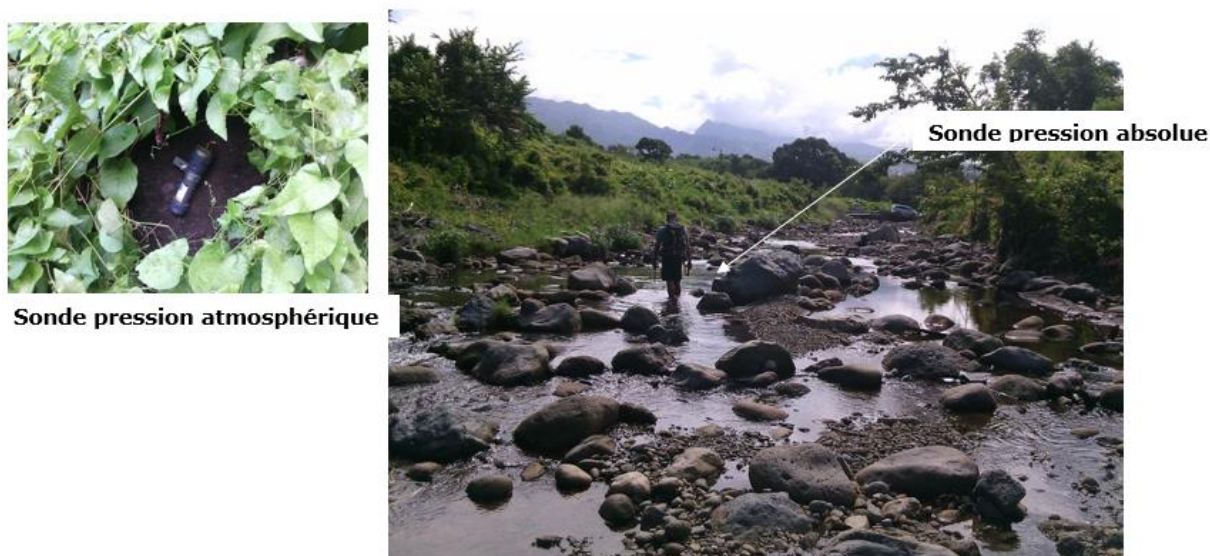


Figure 8 : Emplacement de la station hydrométrique sur la Ravine du Gol

L'installation d'un dispositif de mesure avec centrale d'acquisition, seuil déversoir et échelle limnimétrique améliorerait nettement la fiabilité des données enregistrées à la station hydrométrique.

2.2.3 Analyse des lacunes présentes

Rappelons que 13 stations du réseau d'étude ont été installées entre le 1^{er} et le 2^{ème} trimestre de l'année 2018. La période d'étude retenue s'étend d'avril 2018 à avril 2021.

Cinq des treize stations équipées par un dispositif de type DIVER ne présentent aucune lacune. Les lacunes varient entre 1.5 mois et 29 mois selon leur origine. Les six sources de lacunes suivantes ont été recensées :

- La détérioration ou vol de sonde par vandalisme ;
- La détérioration ou perte de sonde suite à une crue ;
- La panne de sonde – sonde HS ;
- La dérive ou l'anomalie du signal de la sonde ;
- La mauvaise manipulation sur le terrain lors de la collecte des données ;
- Remaniement/consolidation du lit de la Ravine Sèche à L'Etang-Salé (aléa divers).

La **Figure 9** illustre le nombre de mois de lacune selon leurs origines et le nombre de stations concernées.

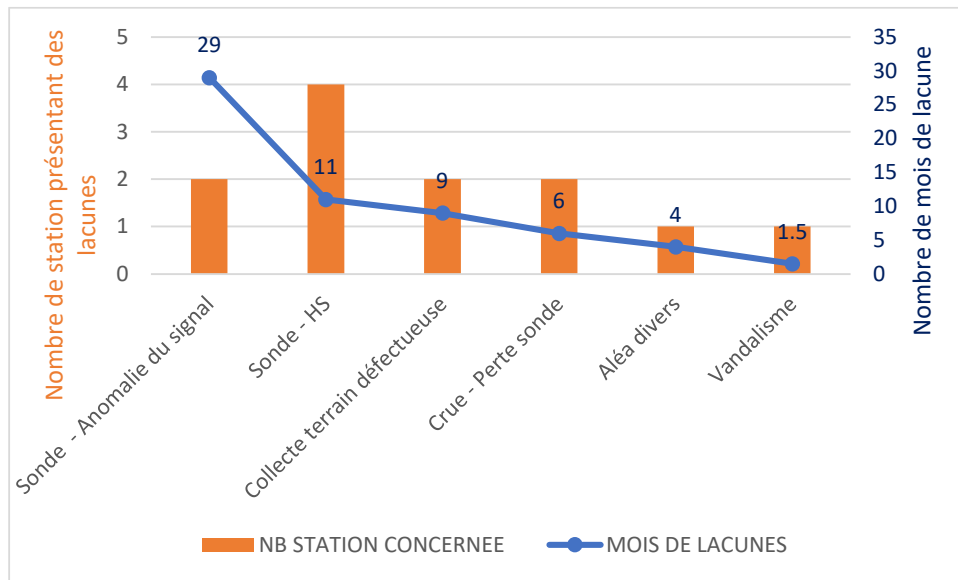


Figure 9 : Analyse de l'origine des lacunes de données

Les lacunes proviennent principalement d'un problème lié à la sonde, soit 71% des lacunes recensées. Les 29 mois de lacunes sont issus d'une dérive ou d'une anomalie du signal de la sonde et 11 mois proviennent d'une panne de sonde.

L'augmentation de la fréquence de validation du signal permettrait inéluctablement la réduction des lacunes en provenance d'une dérive ou d'une anomalie du signal.

L'augmentation de la fréquence des passages terrain, par exemple mensuelle plutôt que trimestrielle, réduirait par 3 la somme des lacunes associées aux pannes de sonde, aux crues, aux mauvaises manipulations terrain, au vandalisme et tout autre aléa divers.

2.3 Principe de la méthode des bilans hydrologiques

Le calcul du bilan hydrologique a été réalisé sur l'ensemble des bassins versants suivis à l'échelle annuelle, à l'échelle des saisons (humide et sèche) et à l'échelle des événements pluvieux. Le bilan est effectué sur les bassins versants topographiques. La formule du bilan hydrologique est la suivante :

$$\text{Précipitations} = \text{Evapotranspiration} + \text{Ruissellement} + \text{Infiltration}$$

Dans cette formule, le terme infiltration correspond à une infiltration totale, elle ne distingue pas la réserve utile de l'infiltration plus profonde vers les nappes souterraines.

Les coefficients de ruissellement et d'infiltration correspondent respectivement à la part du volume ruisselé et du volume infiltré sur le volume précipité.

Afin de pouvoir approcher plus finement la quantité d'eau ruisselée et infiltrée à l'échelle de l'ensemble de la planète, les coefficients de ruissellement calculés sur les bassins versants

instrumentés ont ensuite été extrapolés aux bassins versants non suivis. Les précisions de la méthode d'extrapolation utilisée sont explicitées à la partie **4.1** de cette étude.

2.3.1 Origine des données de précipitations

Les données de précipitation ont été fournies par Météo France.

Les données de lame d'eau précipitée journalière ont été fournies pour les bassins versants suivis et les bassins versants non suivis. Ces données ont été utilisées pour le calcul des volumes précipités aux échelles annuelle, saison humide et saison sèche entre avril 2018 et avril 2021.

Les données de lame d'eau au pas de temps quinze minutes ont été fournies uniquement pour les bassins suivis afin de calculer les volumes précipités à l'échelle de l'épisode pluvieux.

La **Figure 10** ci-dessous illustre l'évolution mensuelle des précipitations sur les bassins versants des ravines Tête Dure à Saint-Paul et Gol à Saint-Louis pour les 3 années d'études 2018 à 2020.

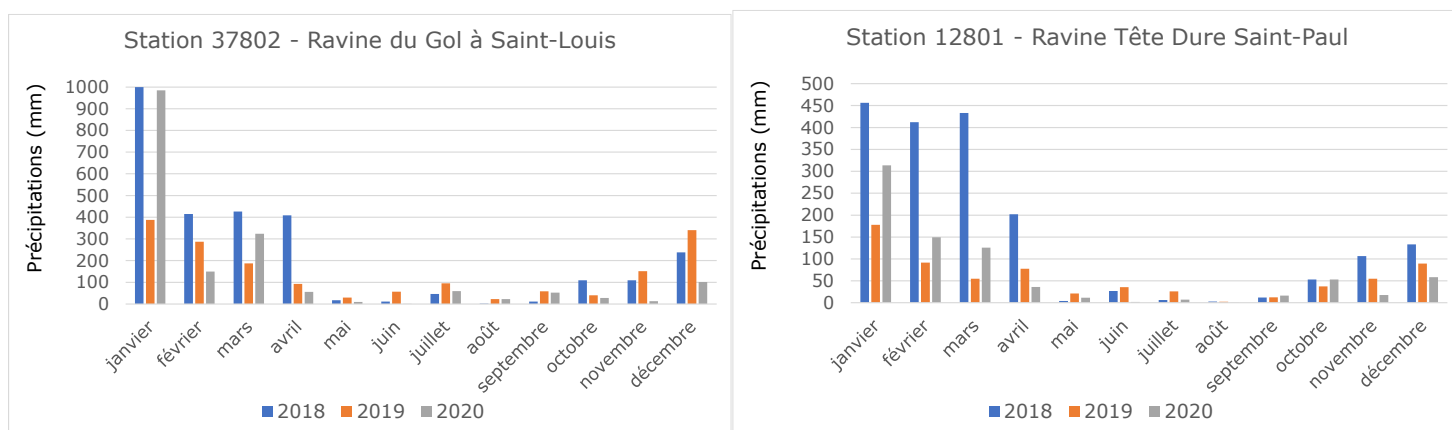


Figure 10 : Evolution mensuelle des précipitations sur les bassins versants des ravines Tête Dure à Saint-Paul et Gol à Saint-Louis

La saison humide s'étend à La Réunion entre le mois de novembre d'une année X au mois d'avril de l'année X+1. Ce sont les mois les plus arrosés alors que les mois de mai à octobre sont plus secs. Ce constat est remarqué sur l'ensemble des bassins versants.

L'année 2018, globalement excédentaire sur l'ensemble de la planète (voir l'ANNEXE 3), est incontestablement plus pluvieuse que les années 2019 et 2020. En 2018, le cumul annuel de pluie est d'environ 1850mm sur le bassin versant de la Ravine Tête Dure à Saint-Paul. Les valeurs de précipitations varient entre 400mm et 450mm pour les mois de janvier 2018 à mars 2018 et environ 200mm en avril 2018. Le bassin versant de la Ravine du Gol à Saint-Louis est plus arrosé avec environ 2800mm cumulé en 2018. Le mois de janvier 2018 atteint 1000mm de pluie. Cette forte valeur est en partie expliquée par les fortes pluies générées dans le secteur Sud lors du passage du cyclone BERGUITTA le 18/01/2018. Les précipitations des mois de février 2018 à mars 2018 sont aux alentours de 400mm.

Les années 2019 et 2020, sont globalement déficitaires dans le nord de la planète de Saint-Paul à Saint-Leu et légèrement excédentaires dans le sud des Avirons à Saint-Louis (voir l'ANNEXE 3). Les cumuls annuels du bassin versant de la Ravine Tête Dure sont de 680mm en 2019 et de 790mm en 2020. Le bassin versant de la Ravine du Gol est plus arrosé avec 1750mm en 2019 et 1800mm en 2020.

2.3.2 Calcul de l'évapotranspiration

Les valeurs d'évapotranspiration dans l'ouest varient dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, la saison chaude et humide (entre novembre et avril) est favorable à l'évapotranspiration. Dans l'espace, le fort gradient altitudinal des bassins versants allant de 0m à plus de 2000m, induit une diminution de l'évapotranspiration lorsque l'altitude augmente. Le CIRAD a mis au point une méthode de calcul de l'évapotranspiration moyenne journalière par décade selon l'altitude. Cette méthode est expliquée dans le rapport « Fluctuation saisonnière de l'évapotranspiration (ET0 Penman-Monteith) en fonction de l'altitude dans l'ouest et le sud de l'île de la Réunion ». Les valeurs d'évapotranspiration retenues dans le cadre de cette étude sont calculées à partir de la formule suivante :

$$ETc = ET0 + Alt * Gr(i)$$

ETc	:	évapotranspiration calculée
ET0	:	évapotranspiration à 0 m NGR
Alt	:	altitude du poste que l'on souhaite mesurer
Gr(i)	:	gradient de la décade concernée

L'altitude retenue par bassin versant correspond à l'altitude pondérée de chaque bassin versant. Le calcul de pondération a été effectué par tranche de 100m via le logiciel QGIS. Le calcul de l'évapotranspiration a été réalisé avec les valeurs d'ET0 et du gradient disponible dans l'ANNEXE 5.

La **Figure 11** ci-dessous, illustre l'évolution mensuelle de l'évapotranspiration au cours d'une année pour les altitudes 0 m et 2000 m.

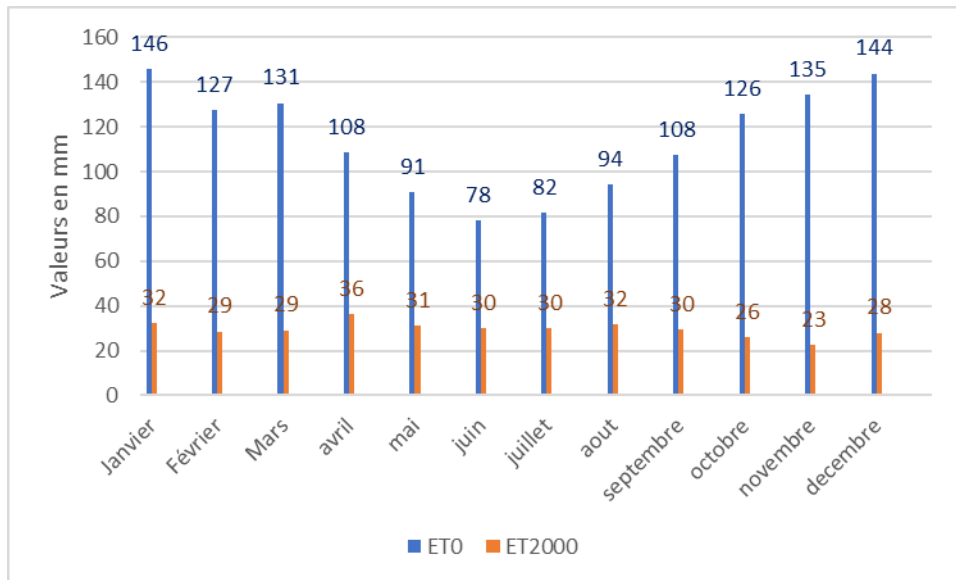


Figure 11 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration pour une altitude de 0 et 2000 m NGR

L'évapotranspiration fluctue considérablement selon l'altitude. Au niveau de la mer les valeurs sont nettement plus élevées et les variations mensuelles sont plus importantes qu'à 2000 m d'altitude.

Pour une altitude de 2000m, l'évapotranspiration varie peu, entre 23mm en novembre et 36mm en avril.

Au niveau de la mer, l'évapotranspiration évolue selon la température de l'air. Elle est globalement plus importante en saison chaude et humide et atteint son maximum en janvier avec 146mm. La valeur minimale est observée au mois de juin avec 78mm.

2.3.3 Calcul du ruissellement

Les données enregistrées par les stations hydrométriques, sont des hauteurs d'eau qui sont ensuite converties en débit, grâce à une courbe de tarage construite par modélisation via les logiciels Fudaa-Mascaret, Canal 21 et BaRatinage. La modélisation hydraulique est réalisée à partir de levés topographiques et éventuellement de jaugeages sur les stations à écoulement pérenne.

La **Figure 12** ci-dessous représente la modélisation du bief à la station 16076 – Ravine Bernica.

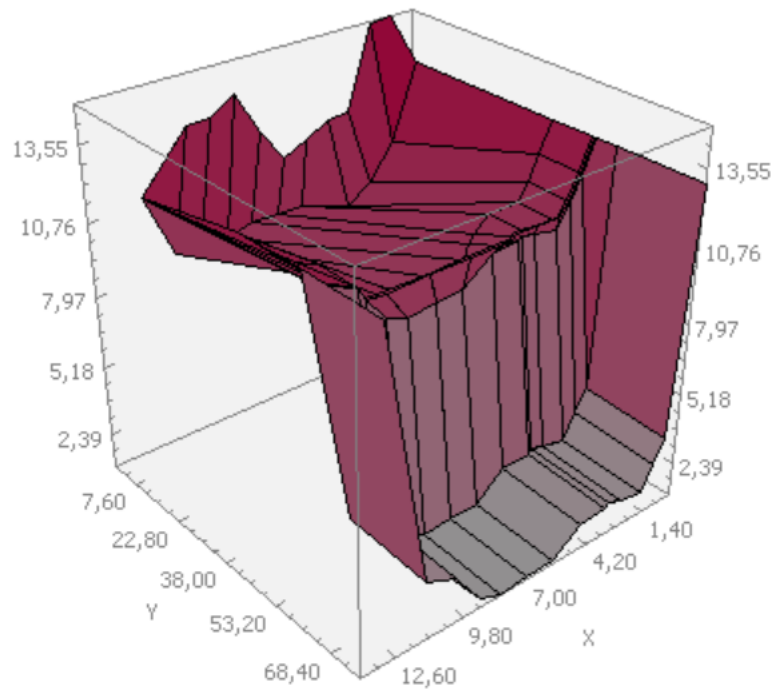


Figure 12 : Modélisation du bief à la station 16076 -Ravine Bernica

La **Figure 13** ci-dessous illustre la relation hauteur-débit ou courbe de tarage à la station 16076 – Ravine Bernica.

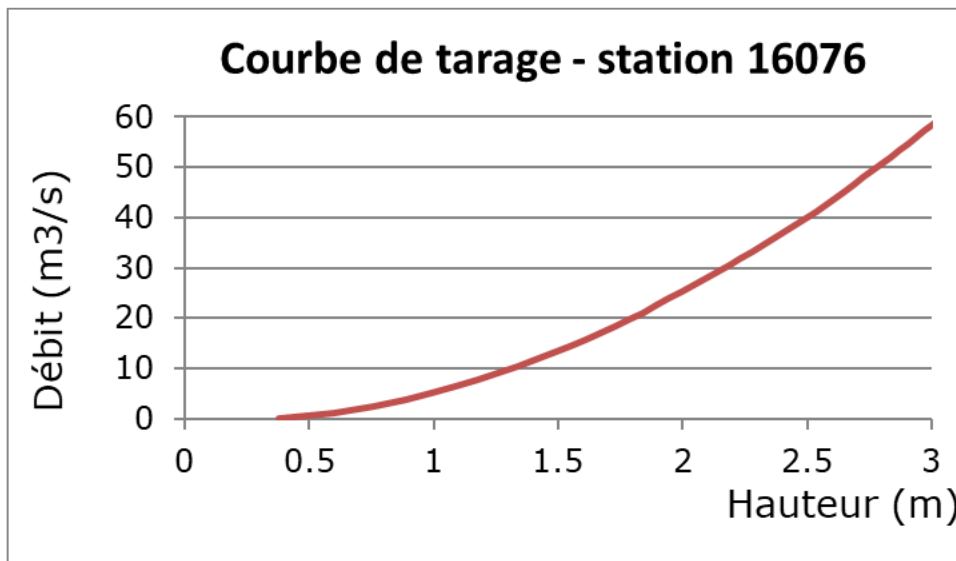


Figure 13 : Courbe de tarage à la station 16076 – Ravine Bernica

Le ruissellement est calculé à partir de la chronique de débit au pas de temps d’acquisition. Cependant l’absence de seuil hydraulique à déversoir sur les 13 stations installées en 2018 ne permet pas d’avoir une vision précise de la période d’écoulement. Ainsi, des incertitudes existent sur la durée des périodes d’écoulement avec, par conséquent, une sous-estimation des volumes ruisselés sur ces stations. Les trois stations préexistantes (Bernica, Dussac et Saint-Gilles) équipées d’un seuil déversoir ne sont pas concernées par ces incertitudes.

2.3.4 Calcul de l'infiltration

L'infiltration globale est calculée par la soustraction du ruissellement et de l'évapotranspiration aux précipitations. Cette valeur est surestimée compte tenu des incertitudes sur les périodes d'écoulement des stations sans seuil déversoir.

$$\text{Infiltration} = \text{Précipitations} - (\text{Evapotranspiration} + \text{Ruissellement})$$

L'infiltration totale est la somme de la réserve utile du sol et de la percolation vers l'aquifère sous-jacent. Les eaux d'infiltration participent à la recharge des aquifères sous-jacent seulement lorsque la réserve utile est saturée. La réserve utile du sol correspond à la quantité d'eau maximale retenue par le sol pouvant être utilisée par les plantes. Lorsque la réserve utile est égale à zéro, cela entraîne un stress hydrique pour les végétaux. La détermination de la réserve utile du sol est nécessaire au calcul du volume percolé vers l'aquifère.

$$\text{Infiltration totale} = \text{Réserve Utile du sol} + \text{Percolation vers la nappe}$$

Le volume percolé vers les aquifères peut être estimé en soustrayant le volume de la réserve utile du sol au volume infiltré total.

$$\text{Percolation vers la nappe} = \text{Infiltration totale} - \text{Réserve Utile du sol}$$

L'étude « Méthode de quantification spatiale des ressources en eau souterraine de l'île de la Réunion » réalisé BRGM en 2011 a permis l'élaboration d'une carte quasi complète de la réserve utile sur le territoire réunionnais à partir de la carte établie par le CIRAD sur les zones cultivées (voir **Figure 14** ci-dessous).

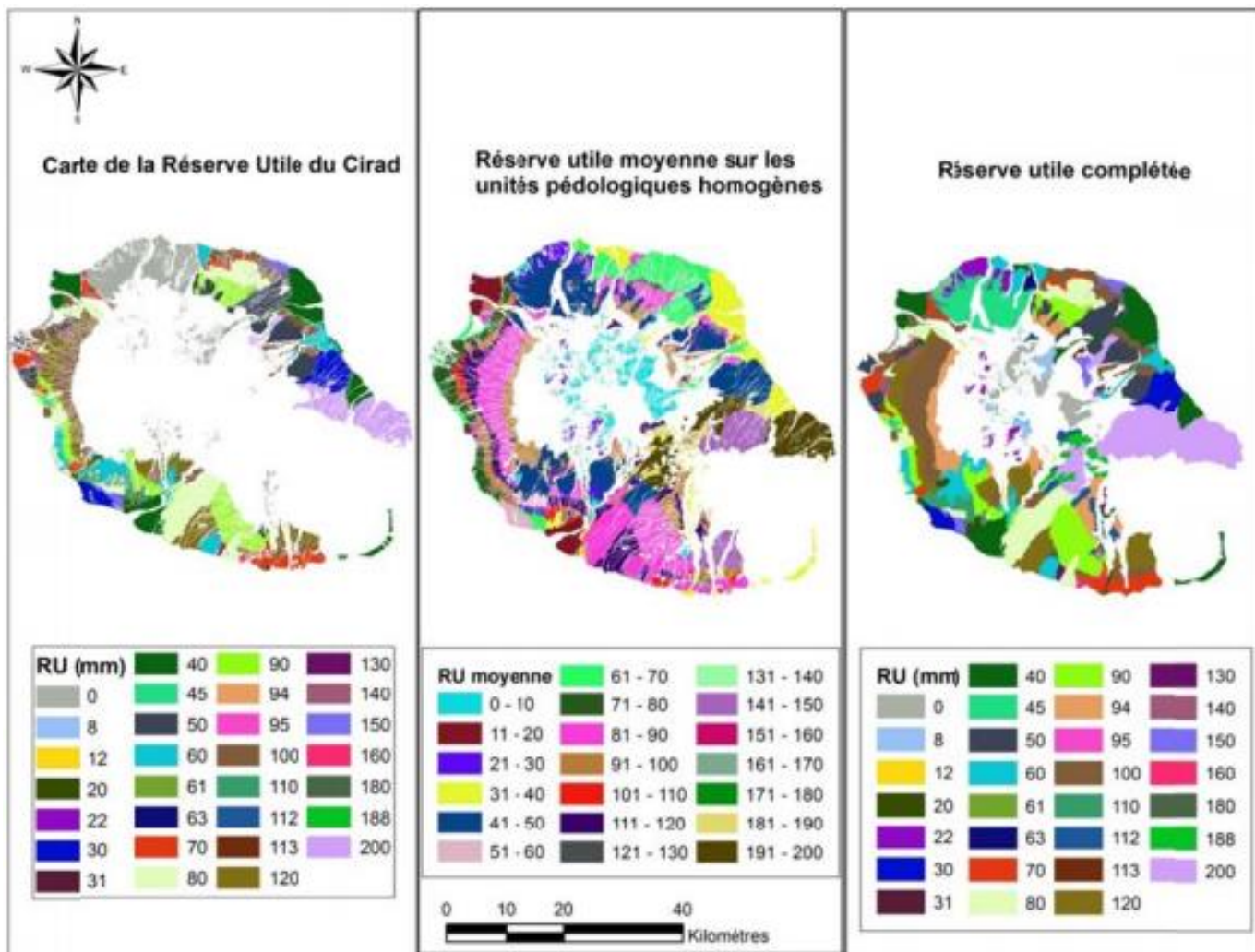


Figure 14 : Carte des réserves utiles de La Réunion, BRGM⁴ 2011

La réserve utile varie selon la nature du sol et le couvert végétal. Sur l'ensemble de la planète les valeurs vont de 30mm à 120mm.

La nature du sol et le couvert végétal varient dans l'espace notamment selon l'altitude. Ainsi sur un même bassin versant, la réserve utile du sol varie de façon significative. Par exemple dans le secteur de Saint-Leu, la réserve utile du sol est de 60mm sur la tranche littorale, elle passe à 90mm en remontant vers les zones cultivées, puis 100mm plus haut sous couvert forestier et enfin diminue à 94mm sur la partie sommitale de la planète.

Afin d'approcher l'ordre de grandeur du volume percolé dans les nappes sur l'ensemble de la planète, la valeur de 80mm a été retenue pour considérer la réserve utile dans ce secteur. Cette valeur a été utilisée dans l'élaboration des bilans hydrologiques à l'échelle de la planète et des communes.

⁴ BRGM/RP-59682-FR (Bessière & Allier, 2011)

3 Présentation des résultats à l'échelle des bassins versants suivis

Rappelons que le réseau de suivi est composé de 16 stations hydrométriques sur 12 bassins versants distincts.

Le ruissellement et l'infiltration ont été déterminés sur les 16 bassins versants équipés d'un dispositif de mesure et à quatre échelles temporelles différentes : évènement pluvieux, saison humides, saison sèche et année.

Comme évoqué précédemment, le ruissellement et l'infiltration des stations non équipées de seuil déversoir présentent des incertitudes. Ces incertitudes tendent à sous-estimer le ruissellement et surestimer l'infiltration.

3.1 Résultats à l'échelle de l'évènement

Parmi les seize stations du réseau d'étude, deux sont implantées sur des systèmes ayant un écoulement pérenne (Ravine Saint-Gilles au Verrou et Source Dussac au Tévelave) et les quatorze autres enregistrent un ruissellement intermittent uniquement en cas de pluies significatives.

Le nombre et la durée des écoulements ponctuels enregistrés sur les seize stations ont été analysés sur la période d'avril 2018 à avril 2021.

3.1.1 Analyse du nombre d'écoulement

Rappelons que la planèze Ouest est caractérisée par une hétérogénéité spatiale des précipitations, notamment en lien avec l'altitude (voir **Figure 2**). Les précipitations sont plus importantes dans les « hauts » de la planèze, soit pour des altitudes supérieures à 1000m.

La **Figure 15** ci-dessous illustre le nombre de période d'écoulement par station ainsi que le pourcentage de lacune de données sur la période d'étude s'étalant d'avril 2018 à avril 2021.

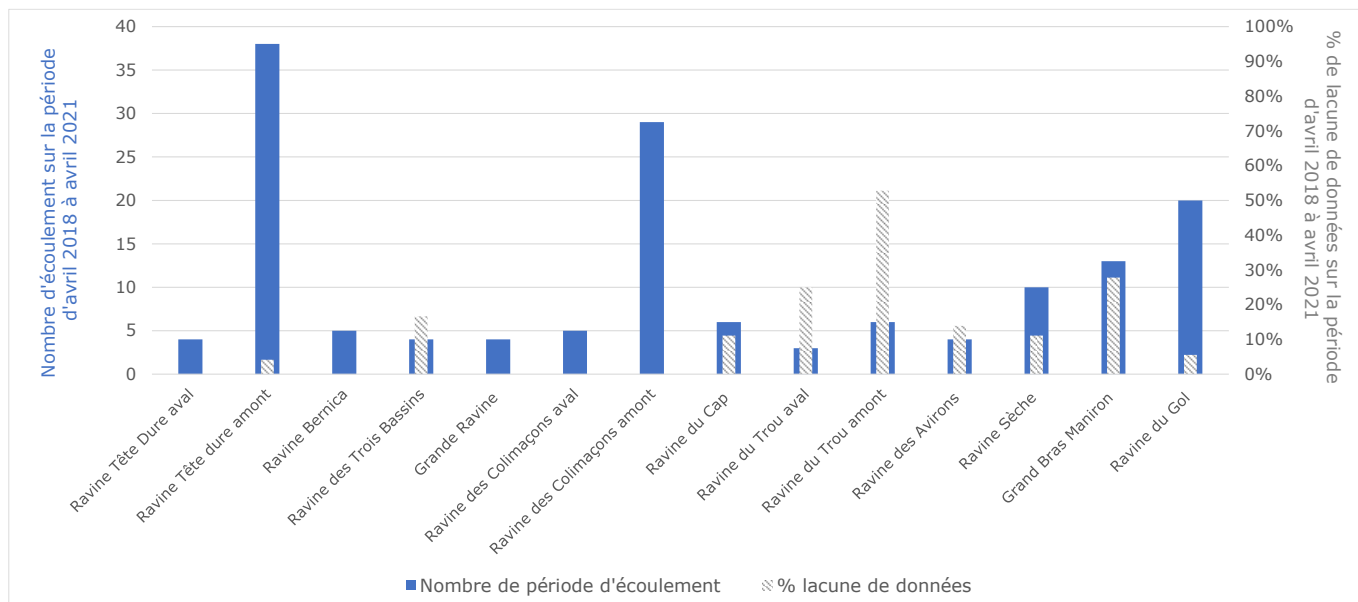


Figure 15 : Nombre de périodes d'écoulement par station et pourcentage de lacunes de données entre avril 2018 et avril 2021

La comparaison du nombre d'écoulement entre avril 2018 et avril 2021 doit prendre en compte les lacunes de données aux stations. Le pourcentage de lacune de données varie entre 0% sur les ravines Tête Dure aval, Bernica, Grande Ravine, Colimaçons amont et 53% sur la Ravine Trou amont. Les ravines Trou aval et Grand Bras Manirons comportent des lacunes respectivement de 25% et 28%. Les ravines Trois Bassins et Avirons ont 17% et 14% de lacune sur la période d'étude. Les ravines Tête Dure amont, Cap, Sèche et Gol ont des lacunes inférieures ou égales à 10% soit moins de 4 mois de lacune.

Les stations Tête Dure amont et Colimaçons amont présentent un nombre d'écoulement supérieur à 25 événements, soit nettement plus que les autres stations. Ces deux stations situées à plus de 1000m d'altitude confirment un écoulement plus fréquent dans les hauts de la planète que dans les bas. Le pourcentage de lacune trop important sur la station Ravine du Trou amont ne permet pas l'utilisation du nombre d'écoulement sur cette station des « hauts ».

Les stations situées dans les « bas », à proximité des exutoires (étangs ou mer) des bassins versants enregistrent un nombre d'écoulement plus faible. Entre les communes de Saint-Paul et Saint-Leu, les stations enregistrent entre 4 et 6 périodes d'écoulement entre avril 2018 et avril 2021. Les stations présentent sur les ravines de L'Étang-Salé à Saint-Louis enregistrent un nombre d'écoulement plus élevé, soit entre 10 et 20. Rappelons que le sud-ouest a bénéficié d'un contexte pluviométrique plus favorable durant les saisons humides 2018/2019 et 2019/2020.

Cependant la supériorité du nombre d'écoulement n'est pas révélatrice d'une supériorité du volume ruisselé. En effet les volumes ruisselés cumulés sur la période d'étude sont plus importants

sur les bassins versants de grande surface (voir

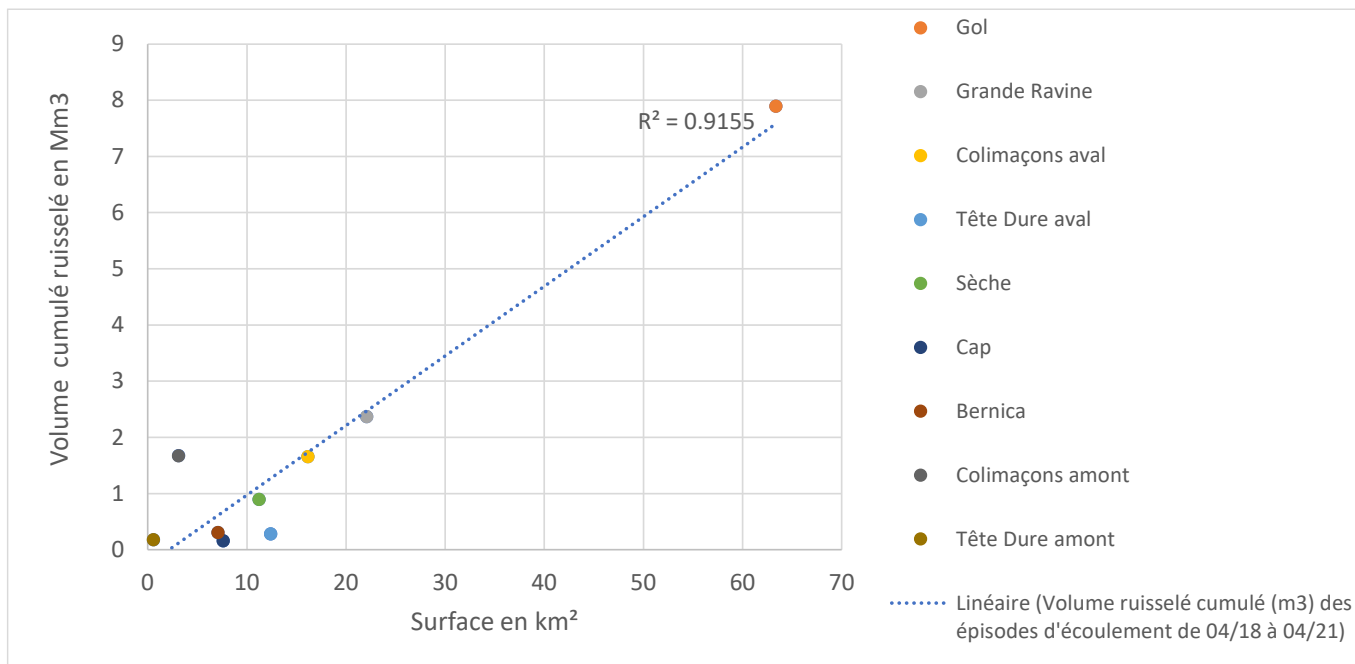


Figure 16). Les valeurs sont exprimées en Mm³ (million de mètre cube).

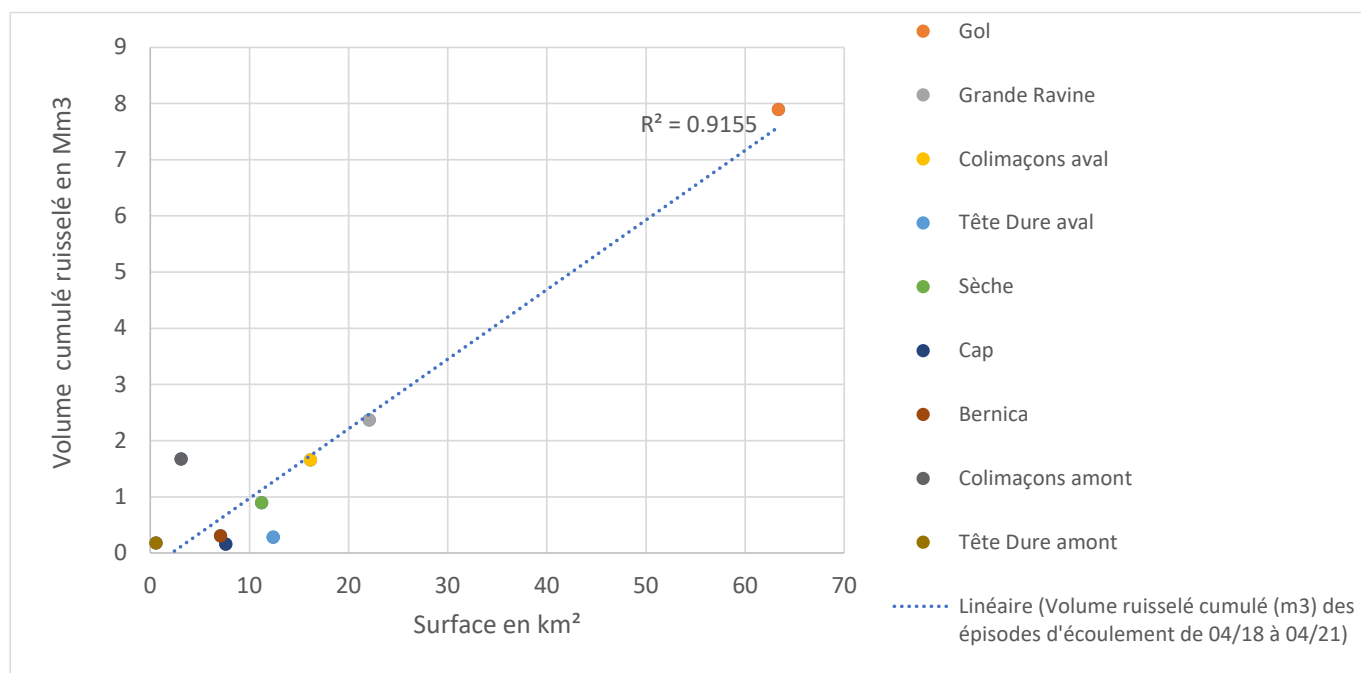


Figure 16 : Volume ruisselé cumulé d'avril 2018 à avril 2021

La comparaison des volumes ruisselés par rapport à la surface des bassins versants montre un coefficient de 92%. Seules les stations présentant moins de 15% de lacune sur la période d'avril 2018 à avril 2021 ont été retenues.

Cependant la dispersion des points confirme l'hétérogénéité spatiale des précipitations selon (i) l'altitude et (ii) l'axe nord/Sud.

Les volumes ruisselés cumulés des stations « Tête Dure amont » et « Colimaçons amont », d'altitudes supérieures à 1000m, sont supérieurs à la courbe de tendance. Cela traduit une productivité plus élevée sur les bassins versants de hautes altitudes en lien avec l'inégale répartition des pluies selon l'altitude.

Le contexte pluviométrique de la période d'étude d'avril 2018 à avril 2021 est plus favorable dans le sud de la planèze (voir ANNEXE 3). Les années 2018, 2019 et 2020 sont globalement excédentaires dans le sud alors que dans le nord les années 2019 et 2020 sont déficitaires. Ce qui pourrait expliquer que la station Tête Dure aval au nord de la planèze se situe largement sous la courbe de tendance.

La station Colimaçons amont présente l'écart le plus élevé avec la courbe de tendance. Cette station située à la fois en haute altitude et dans un contexte pluviométrique excédentaire cumule les facteurs favorables au ruissellement.

3.1.2 Analyse de la durée d'écoulement

Comme cela a été dit au paragraphe **2.3.3**, l'analyse de ce paramètre présente des incertitudes liées à l'absence de seuils déversoirs.

Les durées d'écoulement minimales, moyennes et maximales sur la période d'avril 2018 à avril 2021 ont été retenues pour caractériser la durée des écoulements.

La **Figure 17** ci-dessous renseigne sur les durées d'écoulement par station. Les stations présentant moins de 15% de lacune sur la période d'avril 2018 à avril 2021 ont été retenues.

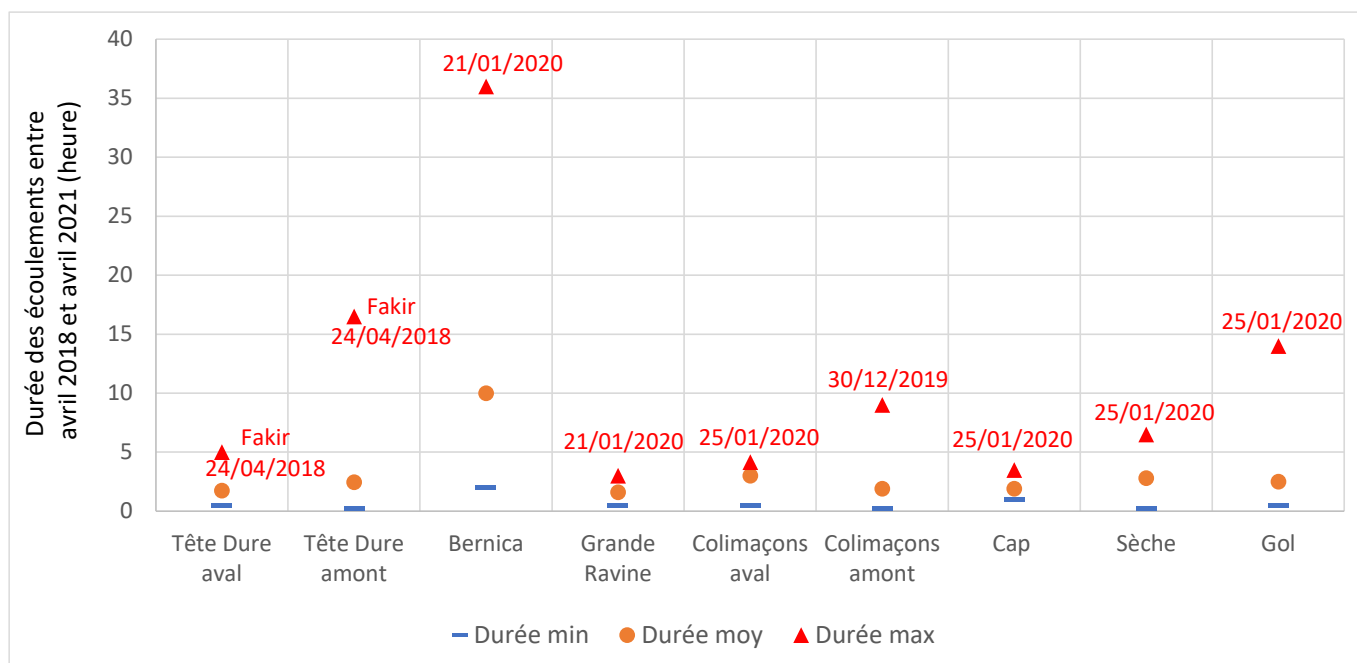


Figure 17 : Durée des écoulements sur la période d'avril 2018 à avril 2021

Hormis la station Bernica sur laquelle l'écoulement dure en moyenne 10H, les durées moyennes sont entre 2H et 4H sur les autres stations. L'évènement pluvieux du 21/01/2020 engendre un long

écoulement de 36H sur la station du Bernica et surélève considérablement la durée moyenne d'écoulement.

Les durées maximales varient entre 3H et 36H et les durées minimales entre ¼ d'heure et 2H.

3 évènements pluvieux distincts marquent la durée maximale des écoulements :

- Le passage du cyclone Fakir le 24/04/2018 provoque les crues les plus longues de la Ravine Tête Dure ;
- L'intense épisode pluvieux du 30/12/2019 occasionne la plus longue crue en amont de la Ravine des Colimaçons ;
- L'épisode pluvieux de la fin janvier 2020 provoque les plus longues crues de la Ravine Bernica et de la Grande Ravine le 21/01/2020 et des ravines Colimaçons aval, Cap, Sèche et Gol le 25/01/2020.

3.1.3 Analyse du ruissellement

Les coefficients de ruissellement et les volumes ruisselés ont été analysés sur 3 évènements pluvieux : Fakir le 24/04/2018, Danilo le 12/01/2021 et Iman le 07/03/2021.

La

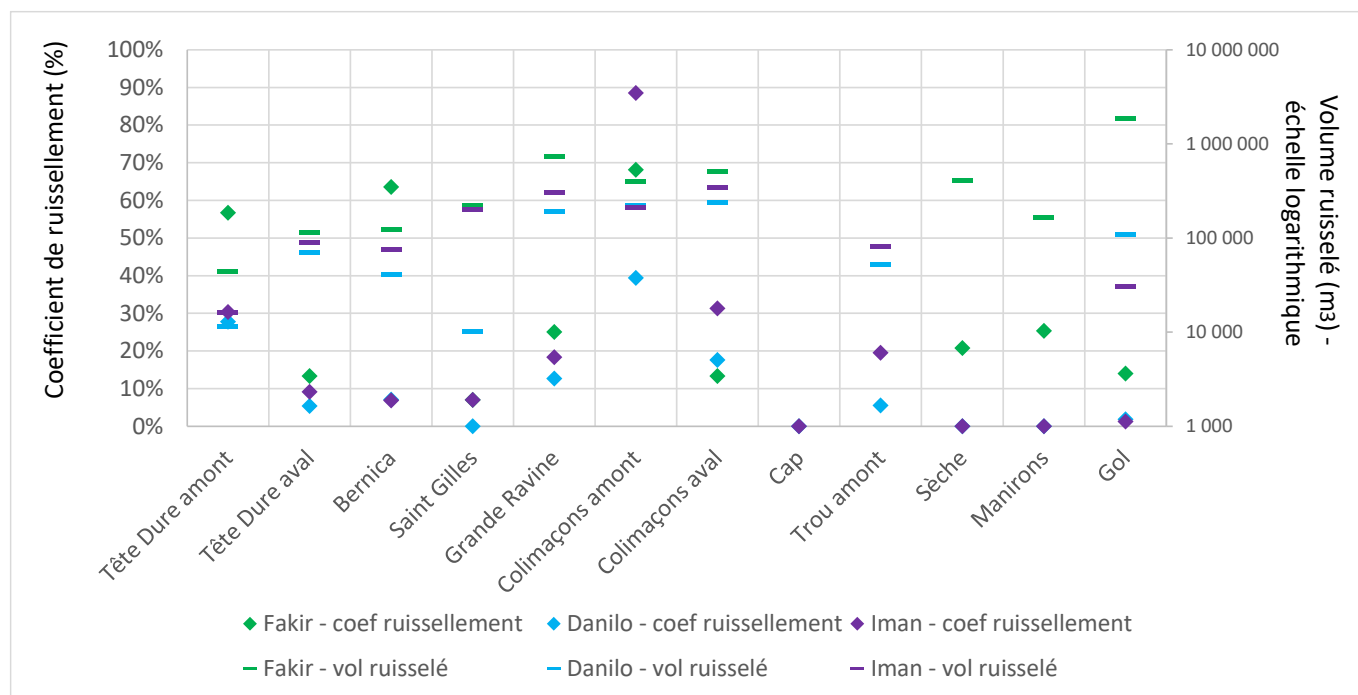


Figure 18 ci-dessous représente les coefficients de ruissellement et les volumes ruisselés des trois évènements cités précédemment. Les stations comportant des lacunes de données sur plus d'un évènement n'ont pas été retenues.

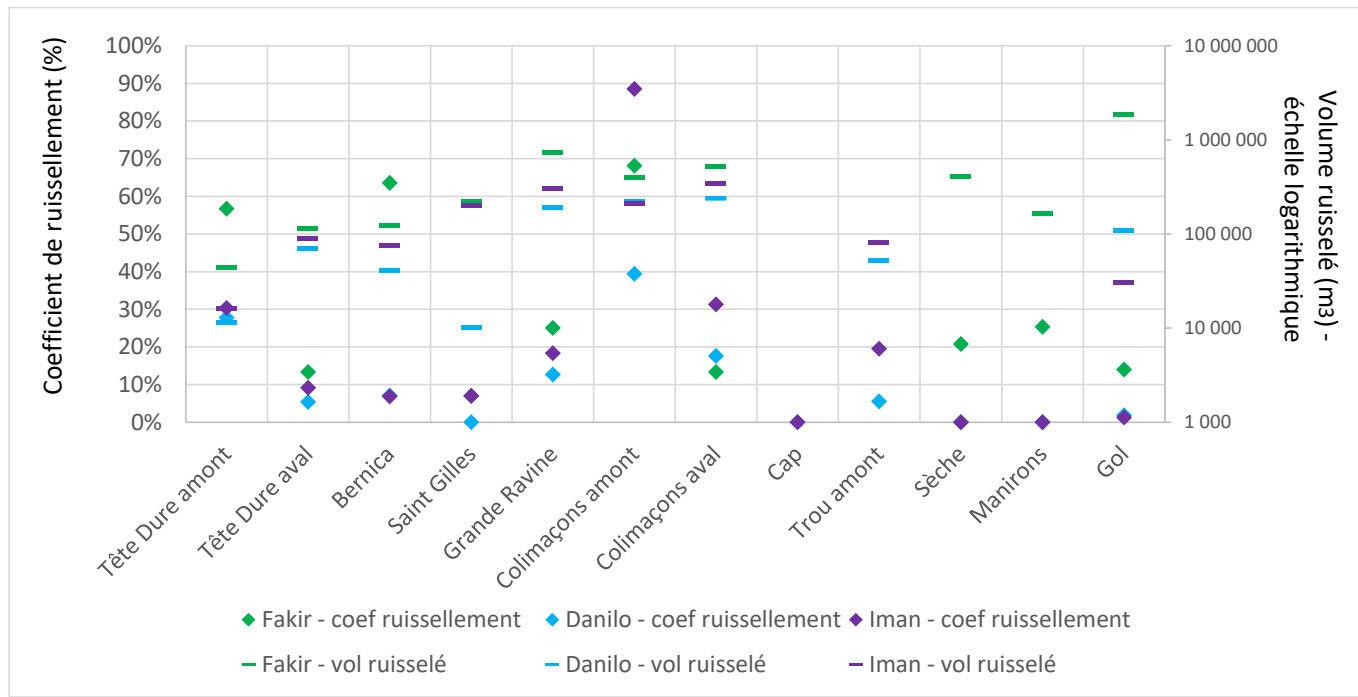


Figure 18 : Coefficient de ruissellement et volumes ruisselés des évènements Fakir, Danilo et Iman

L'évènement Fakir du 24/04/2018 a provoqué des crues sur l'ensemble des ravines de la planèze Ouest. Parmi les trois évènements analysés, les stations ont enregistré un ruissellement plus élevé lors de Fakir. Les valeurs varient entre 44 000m³ sur la station Tête Dure amont à 1 870 000m³ sur la station Gol. Les coefficients de ruissellement les plus élevés sont également calculés lors de l'évènement Fakir avec des valeurs supérieures à 50% sur la station de moyenne altitude, Bernica, et les stations de très haute altitude, Tête Dure amont et Colimaçons amont. Les coefficients de ruissellement des stations de basses altitudes varient entre 7% sur la Ravine Saint-Gilles à 25% sur le Grand Bras Manirons et la Grande Ravine. Les stations Cap et Trou amont n'ont pas de données pour cet évènement.

Les tempêtes Danilo le 12/01/2021 et Iman le 07/03/2021 ont impacté essentiellement le nord de la planèze et ont provoqué des crues d'intensité inférieure à celles de Fakir. Les stations dont la dénivellation moyenne du bassin versant est globalement plus basse (Cap, Sèche, Manirons) n'ont pas enregistré d'écoulement. Les coefficients de ruissellement des ravines en crue varient entre 1% à la station Gol et 88% à la station Colimaçons amont. Les volumes ruisselés varient entre 10 000m³ à la station St Gilles le 12/01/2021 à 340 000m³ à la station Colimaçons aval le 07/03/2021.

3.1.4 Analyse des transferts amont/aval

Les transferts amont/aval ont été étudiées sur les 3 bassins versants équipés d'une station en amont et d'une station en aval : Ravine Tête Dure, Ravine des Colimaçons et Ravine du Trou.

Les paramètres observés entre l'amont et l'aval sont le temps de transfert et les volumes ruisselés transférés. Le temps de transfert est caractérisé par la différence des heures enregistrées

des pics de crue entre l'amont et l'aval. Le volume ruisselé correspond au ruissellement provoqué sur toute la durée de l'évènement pluvieux.

Le transfert amont/aval a été observé sur trois évènements pluvieux intenses : le 24/04/2018 lors du passage du cyclone Fakir, le 12/01/2021 lors du passage de la tempête Danilo et le 07/03/2021 lors du passage de la tempête Iman.

Transfert amont /aval lors de l'évènement Fakir

La

Figure 19 ci-dessous, permet de comparer les pics de crue des stations amont et des stations aval des ravines Tête Dure, Colimaçons et Trou lors de l'évènement Fakir le 24/04/2018.

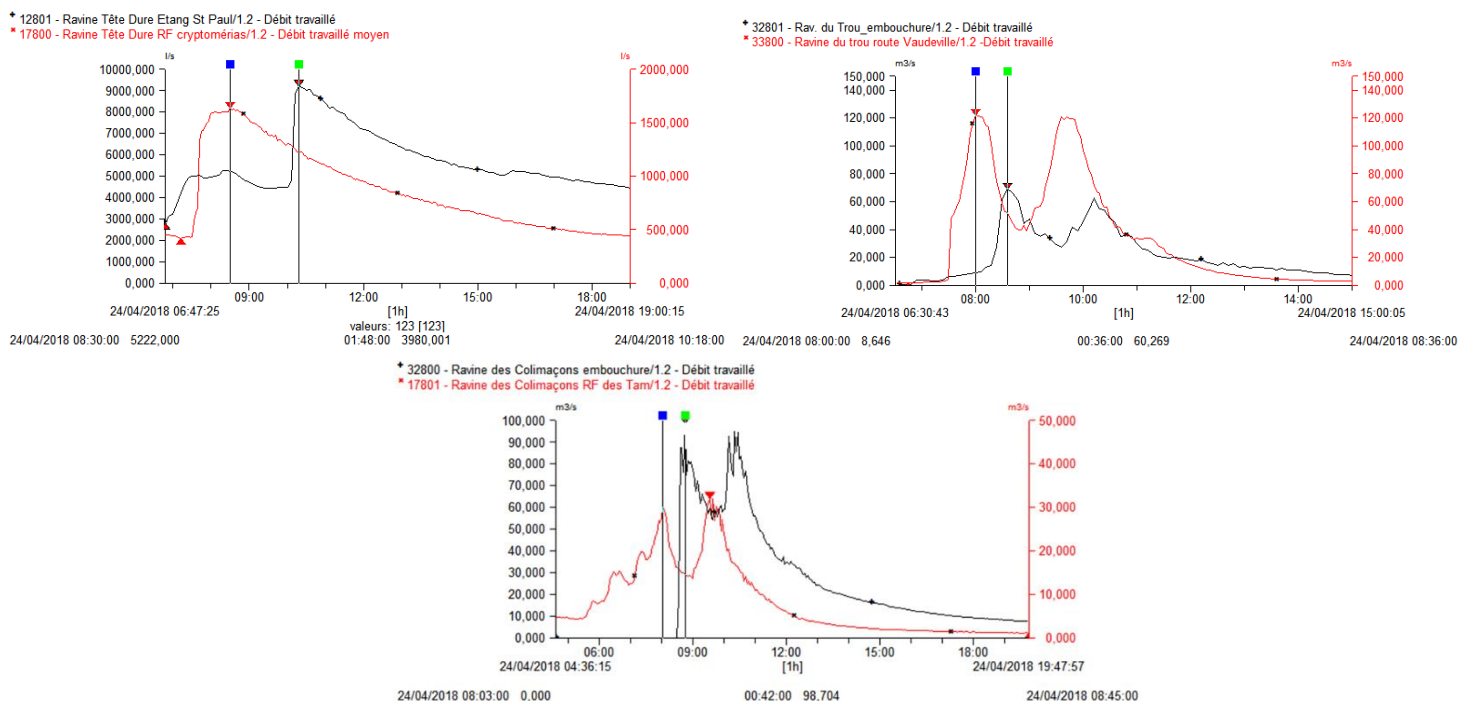


Figure 19 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure, Colimaçons et du Trou le 24/04/2018 (Fakir)

Le **Tableau 2** ci-dessous récapitule les caractéristiques du transfert amont/aval lors des crues provoquées par le passage du cyclone Fakir sur les ravines Tête Dure, Colimaçons et du Trou.

Tableau 2 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues de Fakir le 24/04/2021

Commune	Bassin Versant	Fakir (24/04/2018)			
		Temps de transfert	Vitesse de transfert (m/s)	Volume ruisselé (m3)	Volume ruisselé (l/m2)
Saint-Paul	Tête Dure amont	1H48	1.07	44 100	76
	Tête Dure aval			114 600	9
Saint-Leu	Colimaçons amont	42min	3.85	314 000	101
	Colimaçons aval			513 000	32
	Trou amont	36min	4.17	Lacune	Lacune
	Trou aval			338 000	29

Comme le montre le tableau 2, le pic de crue de la Ravine Tête Dure amont a lieu à 8h30, pour un volume ruisselé de 44 100 m³. Le temps de transfert sur la Ravine Tête Dure de l'amont vers l'aval est de 1 heure et 48 minutes. La station en aval affiche un volume ruisselé de 114 600 m³.

Le pic de la Ravine des Colimaçons a lieu avant le pic de la Ravine Tête Dure. Il est estimé un volume ruisselé en amont de 400 000 m³. Le transfert s'effectue en 42 minutes, le volume ruisselé en aval est de 510 000 m³.

Le pic de crue de la Ravine du Trou a lieu à 8h00, à peu près au même moment que celui de la Ravine des Colimaçons. Le temps de transfert est de 36 minutes. Le volume ruisselé retrouvé en aval est de 338 000 m³.

En conclusion, le temps de transfert des bassins versants de Saint-Leu (Colimaçons et Trou), de l'ordre de 40min, est plus rapide que celui du bassin versant de la Ravine Tête Dure d'environ 1H50. La vitesse de transfert entre la station amont et la station aval est de l'ordre de 4m/s sur les ravines Colimaçons et Trou contre 1m/s sur la Ravine Tête Dure. Le ruissellement est proportionnellement plus abondant en amont avec 76 l/m² sur la station Tête Dure et 101 l/m² sur la station Colimaçons. Alors qu'en aval les stations enregistrent respectivement 9 l/m² et 32 l/m².

Transfert amont /aval lors de l'évènement Danilo

L'analyse des temps de transfert lors du passage de la tempête Danilo en janvier 2021, est effectuée sur les ravines de Tête Dure et des Colimaçons. Les lacunes de données sur la ravine du Trou aval ne permettent pas l'analyse du temps de transfert.

L'écart de temps entre les premiers pics de crue amont et aval de la Ravine Tête Dure est de 3H18. Les stations enregistrent un volume ruisselé de 11 300 m³ en amont et 51 500 m³ en aval.

Sur le bassin versant de la Ravine des Colimaçons, le pic de crue en amont est observé à 17H soit 24min après celui de la Ravine Tête Dure amont. Le volume ruisselé en amont est de 221 600 m³ alors qu'en aval il est de 237 200 m³.

La **Figure 20** ci-dessous, permet de comparer les pics de crue des stations amont et des stations aval des ravines Tête Dure et Colimaçons.

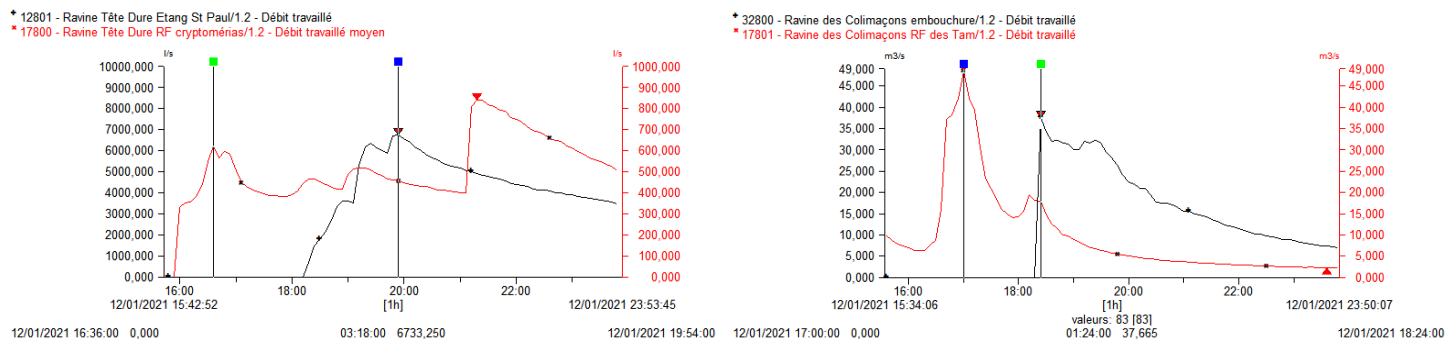


Figure 20 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure et Colimaçons le 12/01/2021 (Danilo)

Le **Tableau 3** ci-dessous récapitule les caractéristiques du transfert amont/aval lors des crues provoquées par le passage de la tempête Danilo sur les ravines Tête Dure, Colimaçons et du Trou.

Tableau 3 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues de Danilo le 12/01/2021

Commune	Bassin Versant	Danilo (12/01/2021)			
		Temps de transfert	Vitesse de transfert (m/s)	Volume ruisselé (m3)	Volume ruisselé (l/m2)
Saint-Paul	Tête Dure amont	3H18	0.59	11 300	20
	Tête Dure aval			51 500	4
Saint-Leu	Colimaçons amont	1H24	1.92	221 600	71
	Colimaçons aval			237 200	15
	Trou amont	Lacune	Lacune	51 900	8
	Trou aval	Lacune	Lacune	Lacune	Lacune

Sur cet évènement, le temps de transfert du bassin versant de la Ravine des Colimaçons est de 1H24min. Il est plus rapide que celui du bassin versant de la Ravine Tête Dure d'environ 3H20. La vitesse de transfert entre la station amont et la station aval est de l'ordre de 2m/s sur la Ravine des Colimaçons contre 0.6m/s sur la Ravine Tête Dure. Le ruissellement spécifique, rapporté à la surface du bassin versant suivi, est proportionnellement plus abondant en amont avec 20 l/m² sur la station

Tête Dure et 71 l/m² sur la station Colimaçons, qu'en aval, où les stations présentent respectivement des ruissellements spécifiques de 4 l/m² et 15 l/m².

Transfert amont /aval lors de l'évènement Iman

L'analyse des temps de transfert lors du passage de la tempête Danilo en janvier 2021 est effectuée sur les ravines de Tête Dure et des Colimaçons. Les lacunes de données sur la ravine du Trou aval ne permettent pas l'analyse du temps de transfert.

L'écart de temps entre le pic de crue amont et aval de la Ravine Tête Dure est 2H12. Les stations enregistrent un volume ruisselé de 16 000 m³ en amont et 90 000 m³ en aval.

Sur le bassin versant de la Ravine des Colimaçons, le pic de crue en amont est observé à 3H54 soit 36min avant celui de la Ravine Tête Dure amont. Le volume ruisselé en amont est de 211 000 m³ alors qu'en aval il est de 341 300 m³.

La **Figure 21** ci-dessous, permet de comparer les pics de crue des stations amont et des stations aval des ravines Tête Dure et Colimaçons.

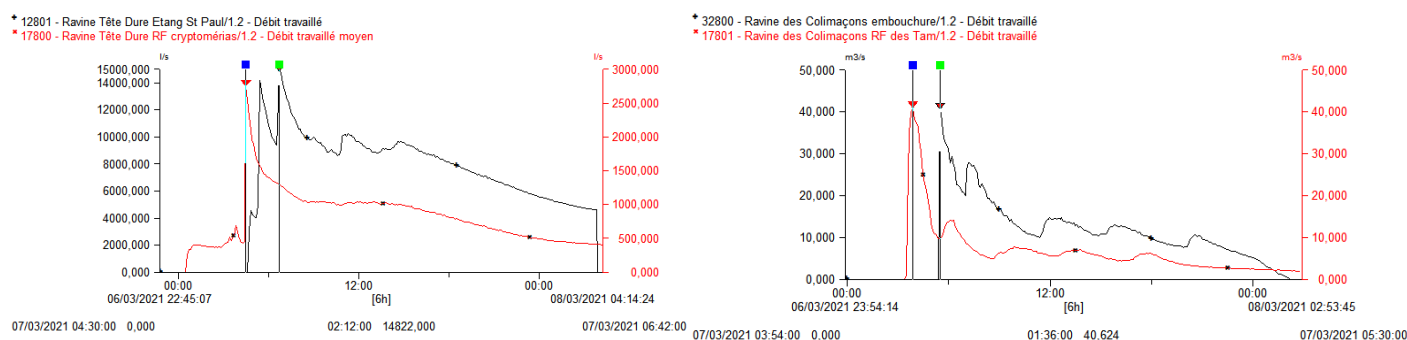


Figure 21 : Comparaison des hydrogrammes des bassins versants des ravines Tête Dure et Colimaçons le 07/03/2021 (Iman)

Le **Tableau 4** ci-dessous récapitule les caractéristiques du transfert amont/aval lors des crues provoquées par le passage de la tempête Iman sur les ravines Tête Dure, Colimaçons et du Trou.

Tableau 4 : caractéristique du transfert amont/aval lors des crues d’Iman le 07/03/2021

Commune	Bassin Versant	Iman (07/03/2021)			
		Temps de transfert	Vitesse de transfert (m/s)	Volume ruisselé (m3)	Volume ruisselé (l/m2)
Saint-Paul	Tête Dure amont	2H12	0.88	16 000	28
	Tête Dure aval			89 800	7
Saint-Leu	Colimaçons amont	1H36	1.68	211 000	68
	Colimaçons aval			341 300	21
	Trou amont	Lacune	Lacune	80 900	12
	Trou aval	Lacune	Lacune	Lacune	Lacune

Le temps de transfert du bassin versant de la Ravine des Colimaçons est de 1H36min. Il est plus rapide que celui du bassin versant de la Ravine Tête Dure de 2H12. La vitesse de transfert entre la station amont et la station aval est de l’ordre de 1.7m/s sur la Ravine des Colimaçons contre 0.9m/s sur la Ravine Tête Dure. Le ruissellement est proportionnellement plus abondant en amont avec 28 l/m² sur la station Tête Dure et 68 l/m² sur la station Colimaçons. Alors qu’en aval les stations enregistrent respectivement 7 l/m² et 21 l/m².

Inter-comparaison des transferts amont /aval des 3 bassins versants étudiés

L’analyse des temps de transfert des stations amont/aval révèle un temps de transfert plus rapide sur les ravines Colimaçons et du Trou à Saint-Leu que la Ravine Tête Dure à Saint-Paul. Les caractéristiques naturelles des bassins versants pourraient expliquer ces différences de temps de transfert.

Rappelons que le coefficient de Gravelius ou coefficient de compacité est un indice de forme qui renseigne sur la forme des bassins versants. Il se définit par le rapport du périmètre du bassin versant sur la circonférence d’un cercle de même surface. Plus la valeur est élevée, plus le bassin versant est étroit, plus le temps de concentration est court donc plus le temps de transfert amont/aval est rapide. Parmi les trois bassins versants analysés, les coefficients de compacité par ordre décroissant sont de 3.4 sur la Ravine du Trou, 2.85 sur la Ravine des Colimaçons et 2.5 sur la Ravine Tête Dure (voir l’ANNEXE 4). Les coefficients de compacité plus élevés des ravines du Trou et Colimaçons semblent expliquer la rapidité des temps de transfert amont/aval sur ces ravines.

La densité de drainage maximale se définit comme étant le rapport entre la somme des linéaires d’un cours d’eau et sa superficie. Elle s’exprime en km/km² et traduit la capacité maximale du bassin

versant à drainer l'eau du sommet du bassin à son exutoire. Avec une valeur de 7.65, la Ravine des Colimaçons a une plus forte densité de drainage que les ravines du Trou (5.6) et Tête Dure (5.6). Cette valeur plus forte explique probablement pourquoi la Ravine des Colimaçons présente des temps de transfert amont/aval plus court que la ravine Tête Dure à Saint-Paul.

3.1.5 Analyse de l'infiltration

Rappelons que l'infiltration totale est la somme de la réserve utile du sol et de la percolation vers l'aquifère sous-jacent. Les eaux d'infiltration participent à la recharge des aquifères sous-jacent seulement lorsque la réserve utile est saturée. La réserve utile du sol correspond à la quantité d'eau maximale retenue par le sol pouvant être restituée à la plante.

$$\text{Infiltration totale} = \text{Réserve Utile du sol} + \text{Percolation vers la nappe}$$

Une réserve utile du sol saturée est un préalable d'une part à la percolation vers la nappe et d'autre part au ruissellement de surface. Ainsi les précipitations ne provoquant pas de ruissellement ne serait donc pas suffisante pour saturer la réserve utile et donc participer à la recharge de la nappe sous-jacente.

Ainsi, la recharge des aquifères de la planèze Ouest se ferait essentiellement lors d'intenses évènements pluvieux engendrant de forts ruissellements et saturant la réserve utile.

La **Figure 22** ci-dessous présente la corrélation entre les volumes ruisselés cumulés et les volumes infiltrés cumulés de chaque évènement entre avril 2018 et avril 2021.

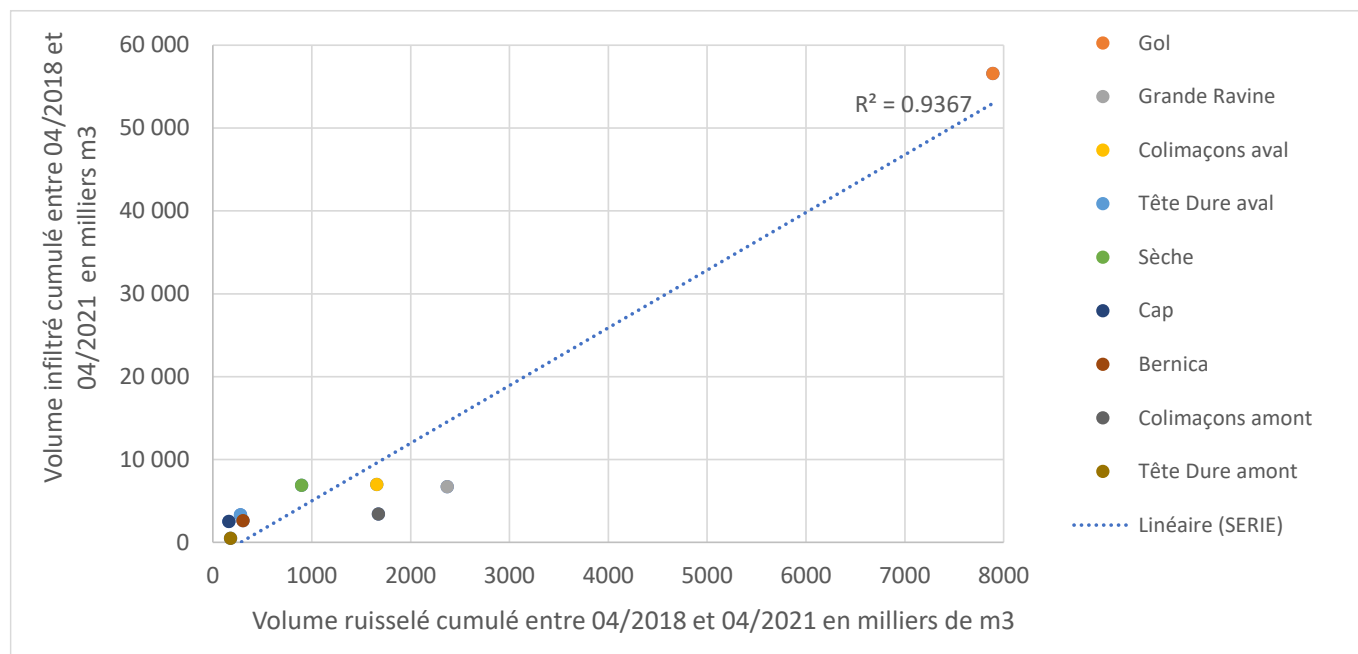


Figure 22 : Corrélation entre les volumes ruisselés cumulés et les volumes infiltrés cumulés de chaque évènement entre avril 2018 et avril 2021

Avec un coefficient de corrélation de 94%, la **Figure 22** montre que les volumes ruisselés cumulés sont bien corrélés avec les volumes infiltrés cumulés entre avril 2018 et avril 2021. Seules

les stations présentant moins de 15% de lacune sur la période d'avril 2018 à avril 2021 ont été retenues.

Cependant la dispersion des points confirme une tendance de certains bassins à infiltrer alors que d'autres sont plus favorables au ruissellement.

Les stations situées sur les ravines Colimaçons et Grande Ravine se positionnent sous la courbe de tendance et révèlent une tendance plus marquée pour le ruissellement. En effet les densités de drainage maximale supérieures à 7 sur ces bassins font partie des plus fortes valeurs calculées sur la planète (voir l'ANNEXE 4). Les densités de drainage maximale plus élevées des ravines Colimaçons et Grande Ravine favorisent le ruissellement de ces deux bassins versants.

Hormis la station Tête Dure amont relativement bien alignée à la courbe de tendance linéaire, les autres stations situées nettement au-dessus de la courbe révéleraient une tendance plus favorable à l'infiltration entre avril 2018 et avril 2021.

3.2 Résultats à l'échelle des saisons humide et sèche

Rappelons que l'île de La Réunion est soumise à un climat tropical comportant une saison chaude et humide de novembre d'une année X à avril de l'année X+1 et d'une saison sèche et fraîche de mai à octobre. Des bilans hydrologiques ont été réalisés à l'échelle de la saison afin de prendre en considération l'hétérogénéité temporelle des précipitations.

3.2.1 Analyse en saison sèche

L'analyse a été réalisée sur la saison sèche 2020, soit du mois de mai 2020 à octobre 2020.

La saison sèche 2020 est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir l'ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 30% à 50% dans les bas de Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu et de 60% à 80% aux Avirons, L'Etang-Salé, Saint-Louis et dans les hauts de l'ensemble de la planète.

Hormis les stations Saint-Gilles et Dussac, les autres stations installées sur des cours d'eau intermittents n'enregistrent pas de ruissellement pendant la saison sèche 2020.

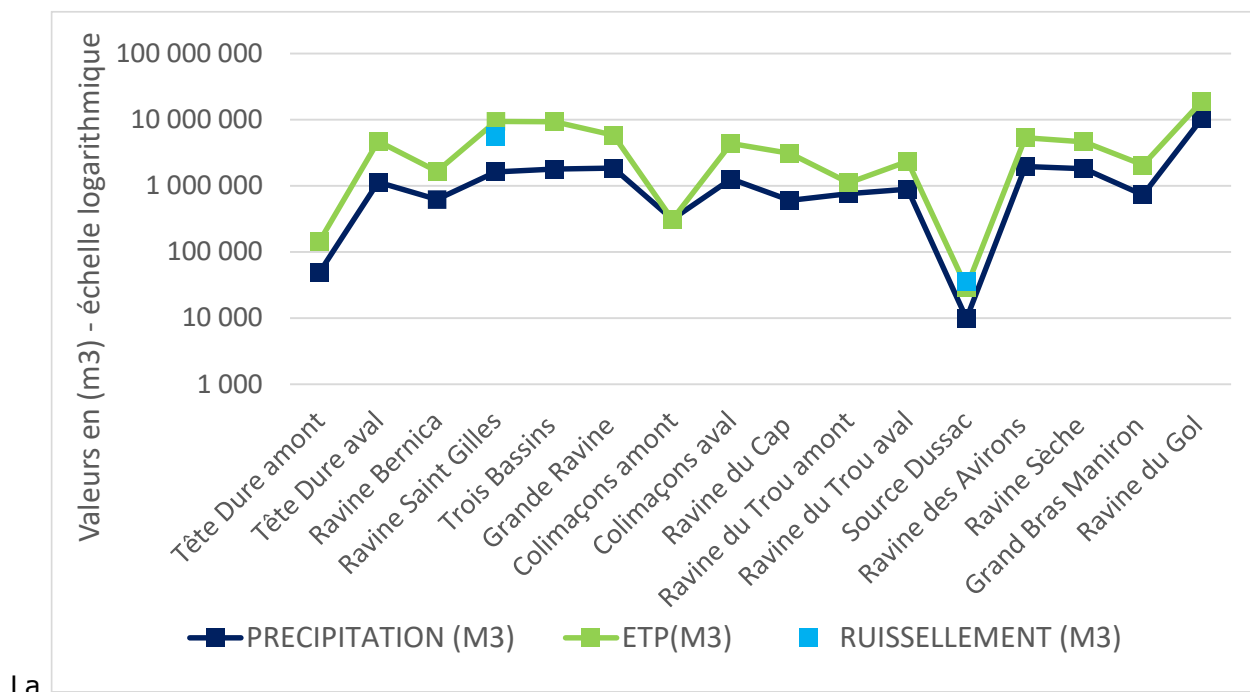


Figure 23 ci-dessous représente les bilans hydrologiques de la saison sèche 2020 des 16 bassins versants suivis.

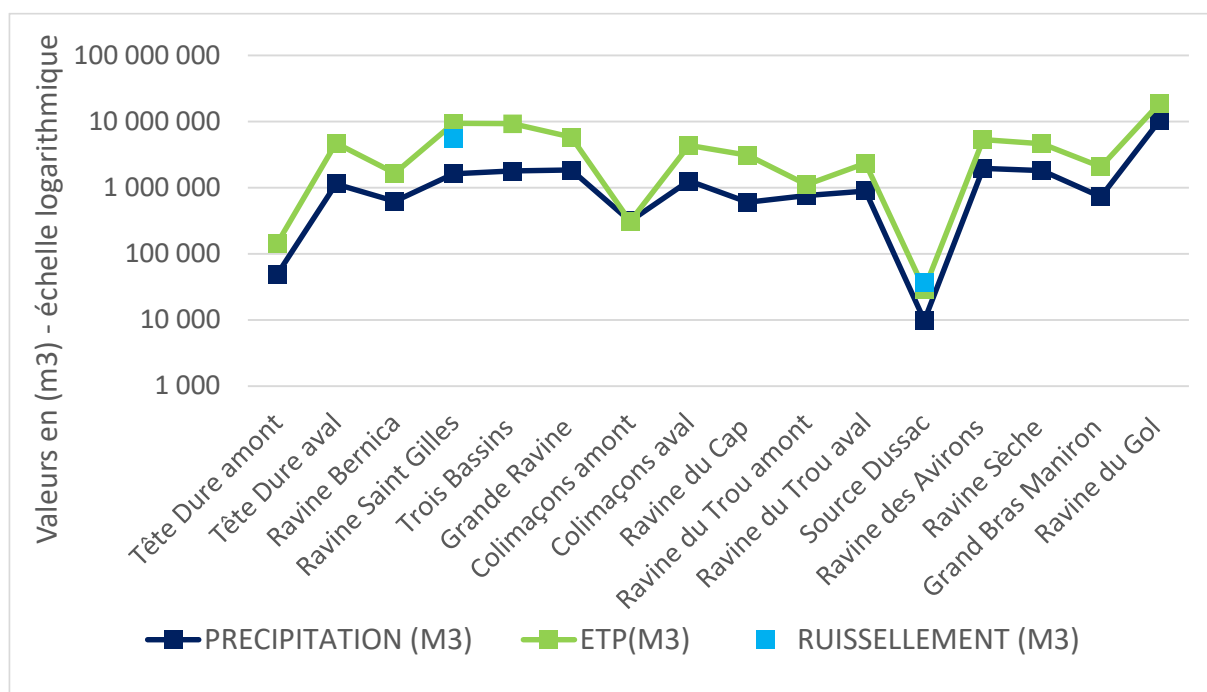


Figure 23 : Bilans hydrologiques de la saison sèche 2020 des bassins versants suivis

Les bilans hydrologiques de la saison sèche 2020 des bassins versants suivis sont marqués par une évapotranspiration supérieure aux précipitations. Ainsi, l'apport d'eau par les précipitations ne suffit pas aux besoins des cultures développées sur le secteur. L'irrigation des champs pallie au déficit naturel. Cependant les volumes irrigués n'ont pas été quantifiés dans cette étude et n'entrent pas dans le calcul des bilans hydrologiques. Les volumes d'évapotranspiration supérieurs aux précipitations, traduisent un stress hydrique des cultures en l'absence d'irrigation.

Les volumes ruisselés sur la Ravine Saint-Gilles et la Source Dussac durant la saison sèche 2020 sont respectivement de l'ordre de 5.5Mm³ et 0.04Mm³. Ces ruissellements sont supérieurs aux précipitations sur leurs bassins versants topographiques. Rappelons que ces bassins versants drainent des résurgences d'eau souterraine et que leurs aires d'alimentation sont très probablement supérieures à la surface de leurs bassins topographiques. Les ruissellements mesurés sur la Ravine Saint-Gilles et la Source Dussac ne peuvent être considérés comme étant le ruissellement stricto sensu du bassin versant topographique produit par les événements pluvieux mesurés pendant la période du suivi.

L'infiltration est nulle durant la saison sèche 2020 sur l'ensemble des bassins versants suivis. Les précipitations ne suffisent pas à saturer suffisamment la réserve utile du sol pour permettre un ruissellement et une infiltration des eaux vers les aquifères sous-jacents.

La **Figure 24** ci-dessous représente les coefficients de ruissellement calculés sur la saison sèche 2020.

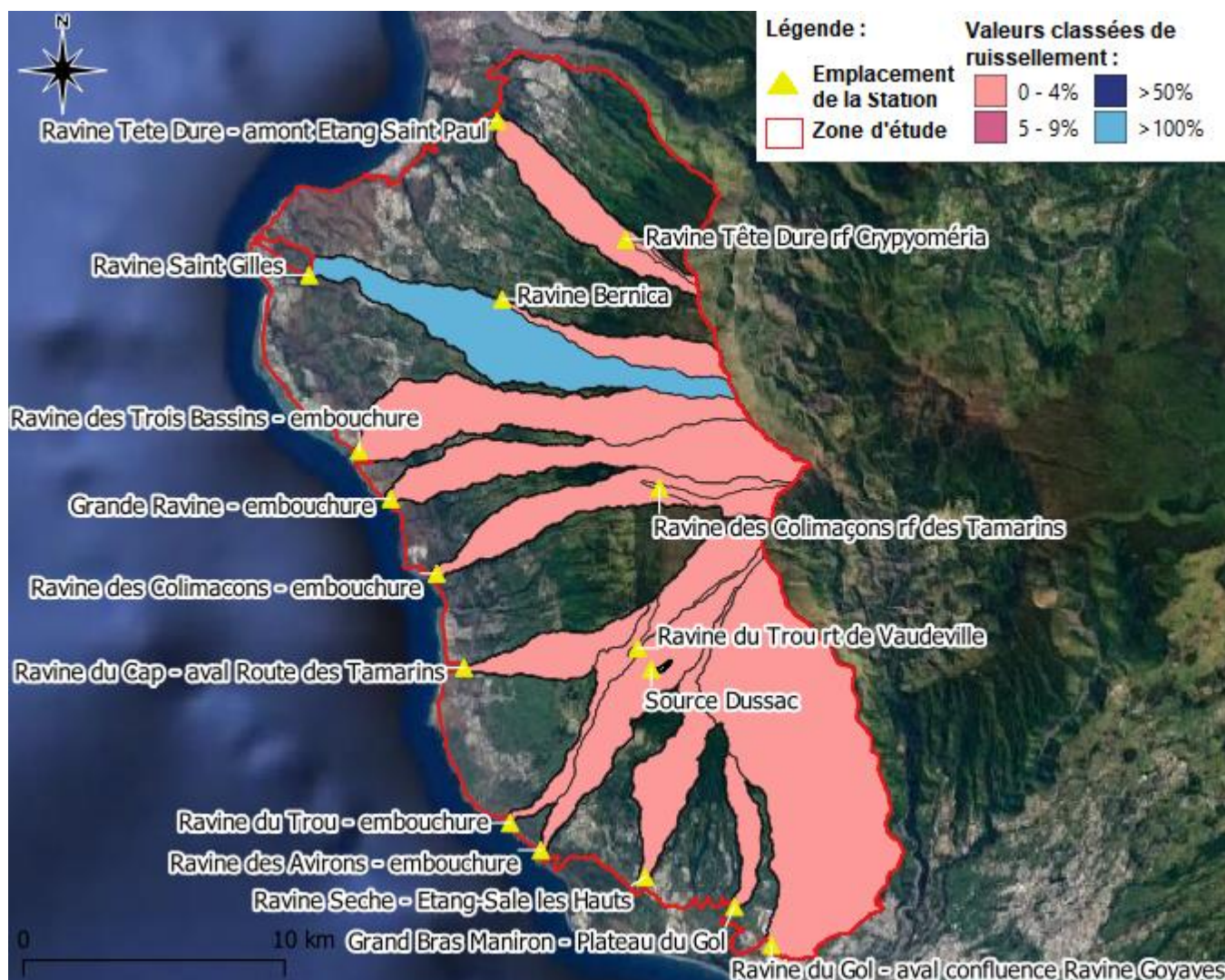


Figure 24 : Coefficients de ruissellement observés pour la saison sèche 2020

3.2.2 Analyse en saison humide

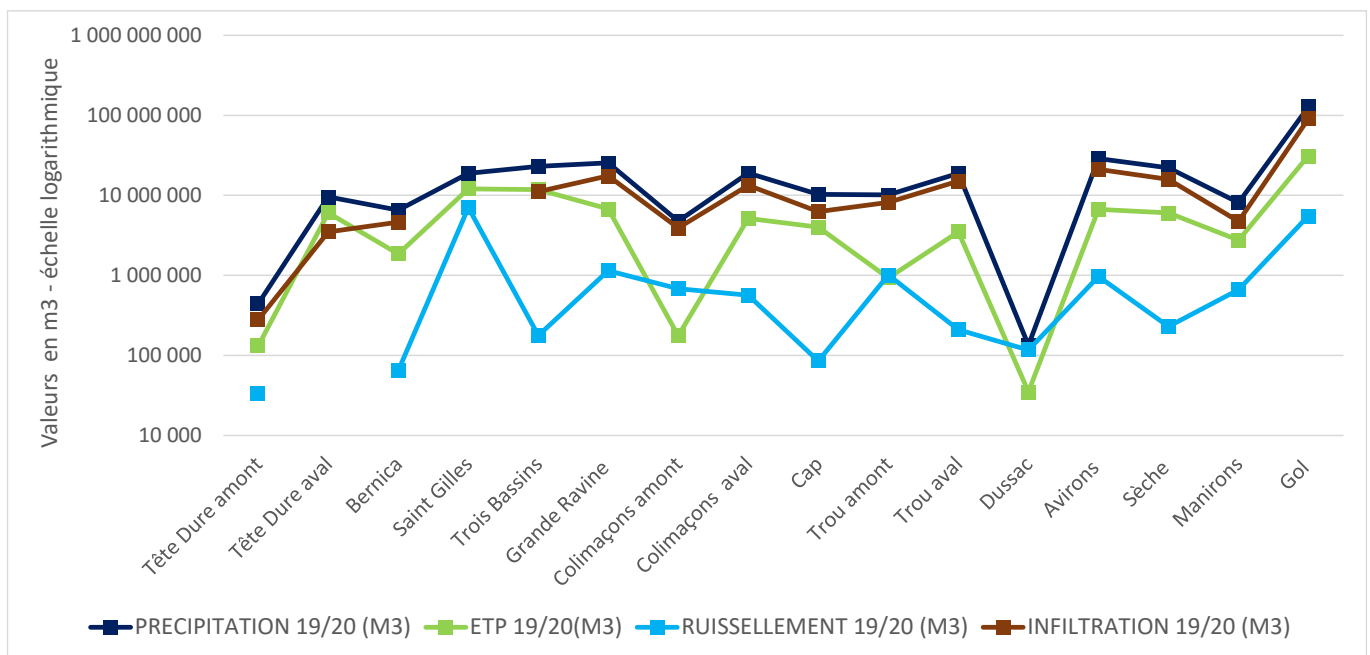
Afin de disposer d'un maximum de données par station, l'analyse a été réalisée sur les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Cependant la saison humide 2020/2021 comporte des lacunes de données sur les stations Trois Bassins, Trou aval et Avirons.

La saison humide 2019/2020 est déficitaire dans le nord de la planète et excédentaire dans la partie sud (voir l'ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 60% à 90% de Saint-Paul à Saint-Leu et de 120% à 180% de Saint-Leu à Saint-Louis.

La saison humide 2020/2021 est globalement déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir l'ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 60% à 90%. Seul le poste situé dans les hauts de Saint-Paul proche de la Rivière des Galets est supérieur à la normale avec 120%.

Du ruissellement est enregistré sur les ravines intermittentes pendant les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 hormis sur la station Tête Dure aval durant la saison humide 2019/2020 et sur les stations Sèche et Manirons durant la saison 2020/2021.

Les



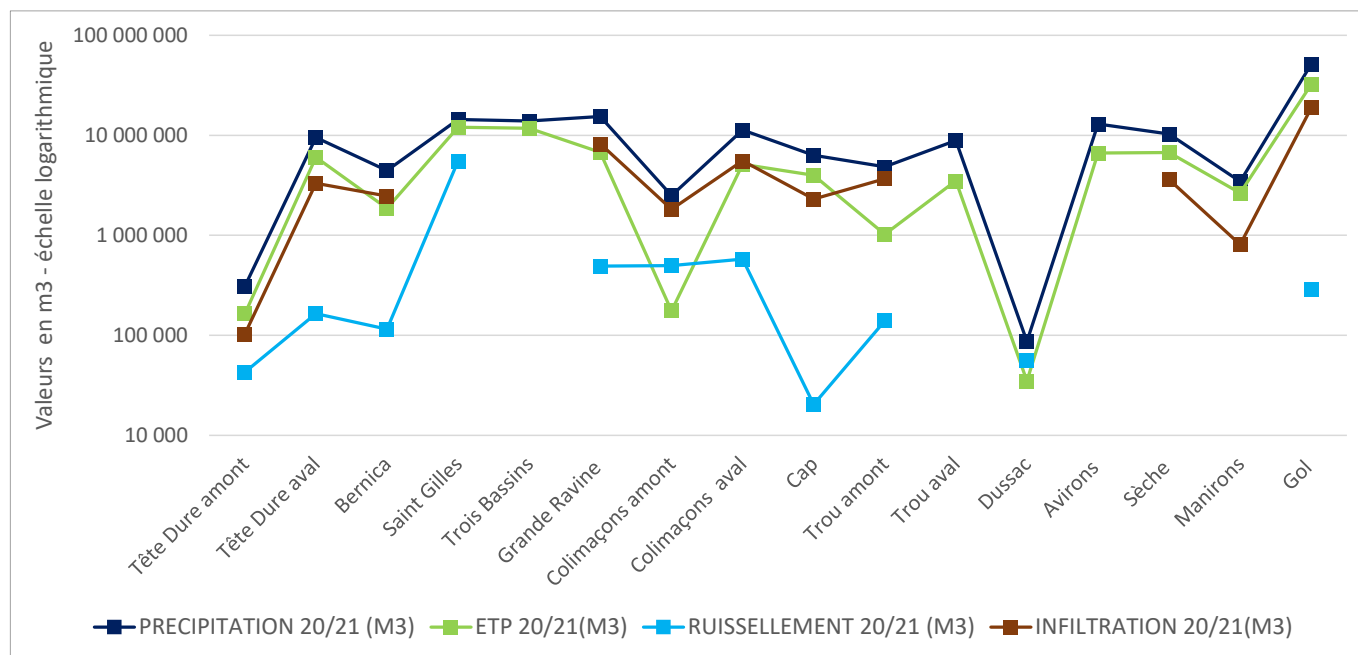


Figure 26 ci-dessous représentent les bilans hydrologiques des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 des bassins versants suivis.

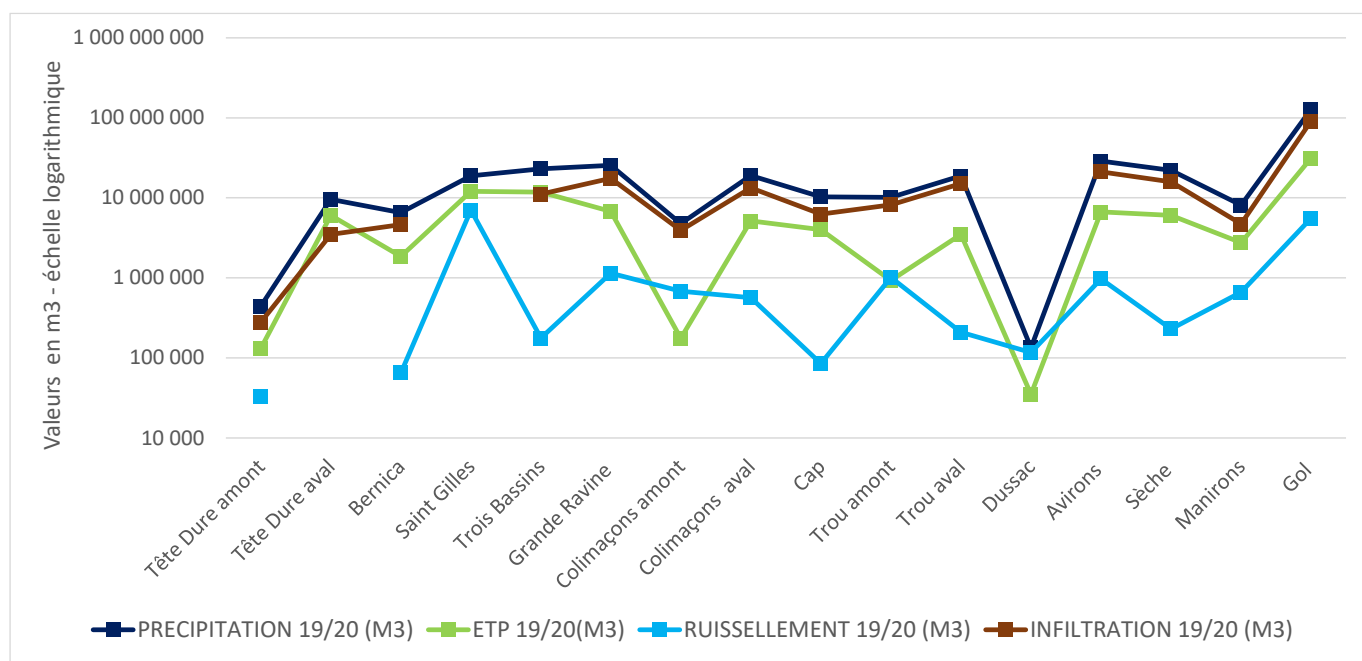


Figure 25 : Bilans hydrologiques de la saison humide 2019/2020 des bassins versants suivis

Contrairement aux résultats de la saison sèche 2020, les volumes précipités sont supérieurs aux volumes évapotranspirés en saison humide.

Les volumes précipités de la saison humide 2019/2020 varient entre 133 500m³ sur le bassin versant de la Source Dussac à 127 120 000m³ sur le bassin versant de la Ravine du Gol.

Les volumes évapotranspirés de la saison humide 2019/2020 varient entre 35 000m³ sur le bassin versant de la Source Dussac et 32 000 000m³ sur le bassin versant de la Ravine du Gol.

Les volumes ruisselés de la saison humide 2019/2020 varient entre 0m³ sur la station Tête Dure aval et 7 000 000m³ sur la station Saint Gilles. Parmi les stations en ravine intermittente, le volume ruisselé le plus élevé est enregistré sur la station Gol avec 5 520 000m³.

Les volumes infiltrés de la saison humide 2019/2020 varient entre 0m³ sur les stations Saint-Gilles et Dussac et 90 000 000m³ sur la Ravine du Gol. Rappelons que l'infiltration totale estimée correspond à la réserve utile du sol + l'infiltration vers la nappe profonde sans distinction.

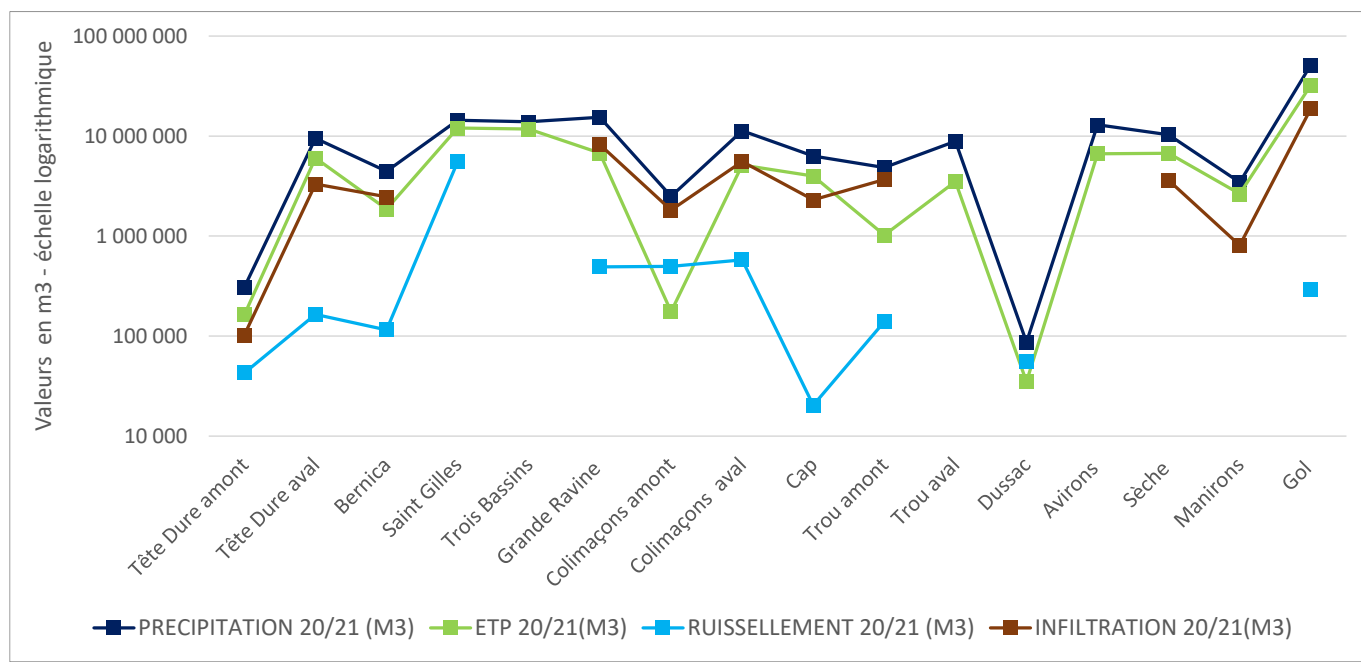


Figure 26 : : Bilans hydrologiques de la saison humide 2020/2021 des bassins versants suivis

Les volumes précipités de la saison humide 2020/2021 varient entre 87 000m³ sur le bassin versant de la Source Dussac à 51 430 000m³ sur le bassin versant de la Ravine du Gol. Ces valeurs sont deux fois plus faibles que les précipitations de la saison humide précédente.

Les volumes évapotranspirés en saison humide sont stables dans le temps. Nous retrouvons les mêmes variations en saison humide 2020/2021 qu'en saison humide 2019/2020.

Les volumes ruisselés de la saison humide 2020/2021 varient entre 0m³ sur les stations Sèche et Manirons et 5 500 000m³ sur la station Saint Gilles. Parmi les stations en cours d'eau intermittent, le volume ruisselé le plus élevé est enregistré sur la station Colimaçons aval avec 580 000m³.

Les volumes infiltrés de la saison humide 2020/2021 varient entre 0m³ sur les stations Saint-Gilles et Dussac et 18 800 000m³ sur la Ravine du Gol. Rappelons que l'infiltration estimée correspond à la réserve utile du sol + la percolation vers la nappe sans distinction.

Les **Figure 27** et **Figure 28** ci-dessous représentent les coefficients de ruissellement calculés sur les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

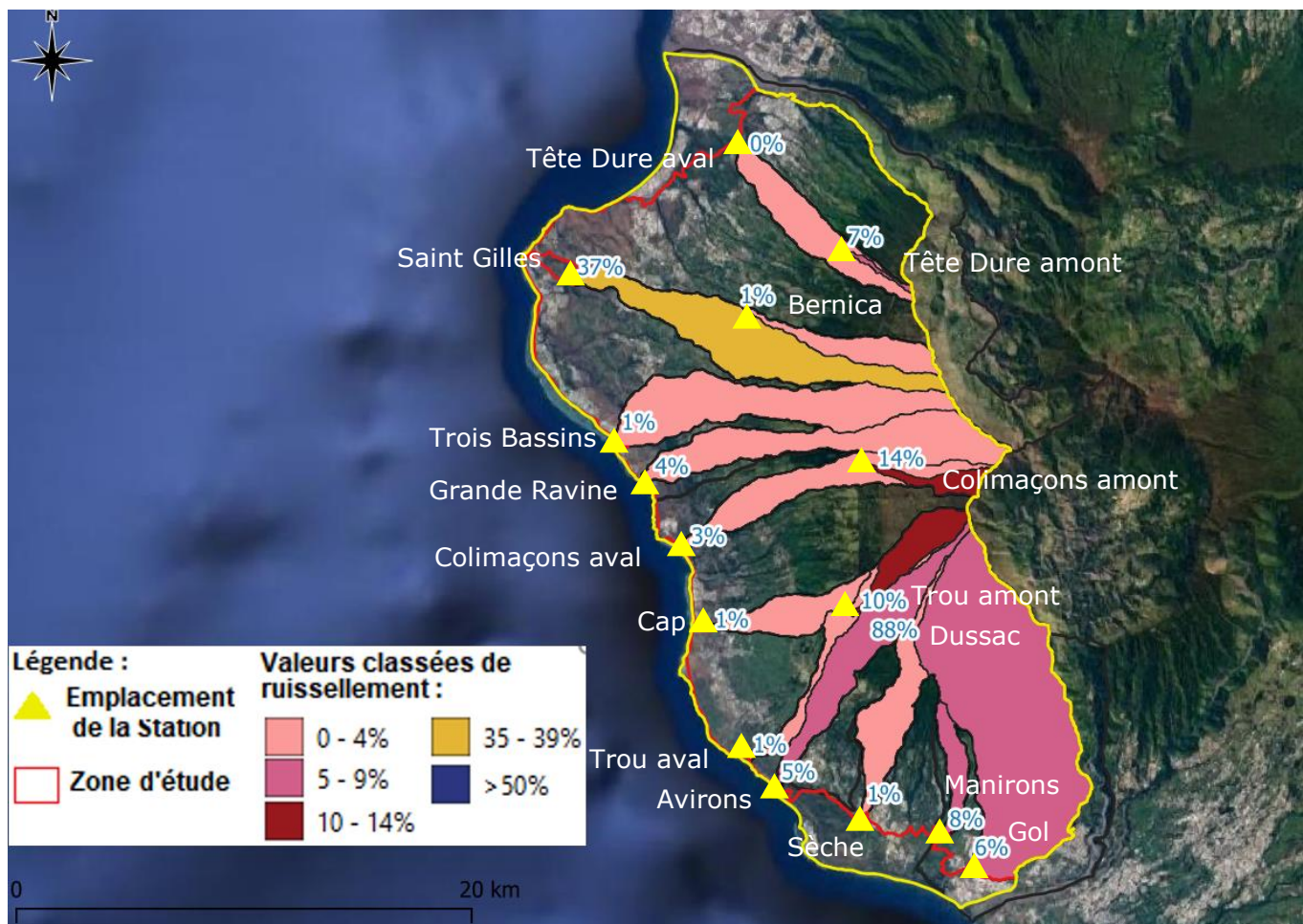


Figure 27 : Coefficient de ruissellement des bassins suivis pour la saison humide 2019/2020

Les coefficients de ruissellement de la saison humide 2019/2020 sont globalement compris entre 0% et 4%.

Ils sont supérieurs à 4% sur les stations amont et les stations situées dans le sud de la planète. Les valeurs des stations amont varient entre 7% sur la station Tête Dure amont et 14% sur la station Colimaçons amont. Dans le sud, les coefficients de ruissellement sont de 5% à la station Avirons, 8% à la station Manirons et 6% à la station Gol. Rappelons le contexte pluviométrique excédentaire dans le sud de la planète durant la saison humide 2019/2020. Seule la station Sèche avec un coefficient de ruissellement de 1% reste dans la classe inférieure entre 0% et 4%.

Les coefficients de ruissellement sont évidemment supérieurs sur les stations Saint-Gilles et Dussac puisque ces ravines drainent des sources alimentées par des infiltrations souterraines. Le coefficient de ruissellement de la station Saint-Gilles est de 37% et celui de la Source Dussac est de 88% durant la saison humide 2019/2020.

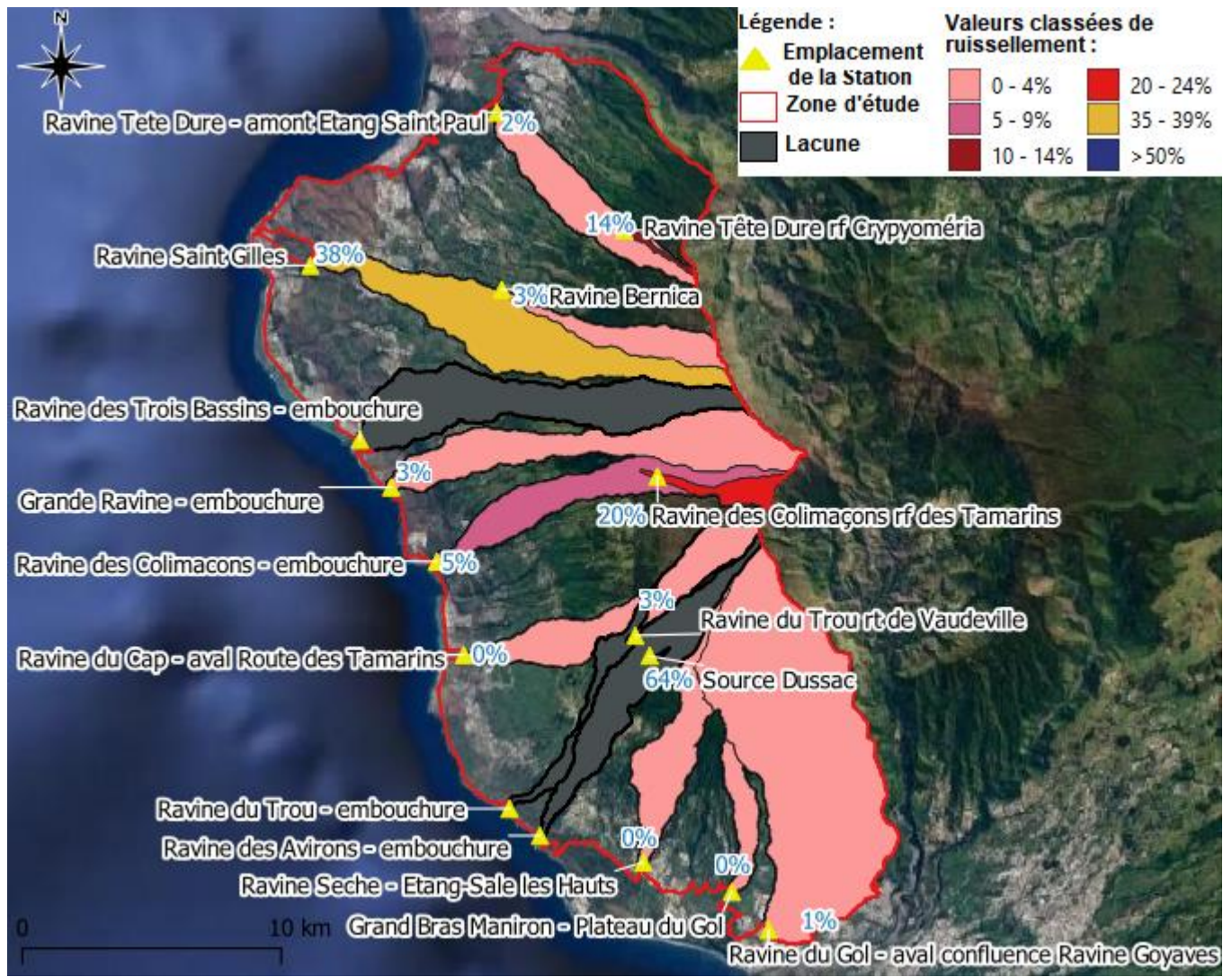


Figure 28 : Coefficient de ruissellement des bassins suivis pour la saison humide 2020/2021

Les lacunes de données ne permettent pas de calculer un coefficient de ruissellement sur la saison humide 2020/2021 sur les stations Trois Bassins, Trou aval et Avirons.

Les coefficients de ruissellement de la saison humide 2020/2021 sont globalement compris entre 0% et 3%. Ils sont supérieurs à 4% sur les stations Tête Dure amont (14%), Colimaçons amont (20%) et Colimaçons aval (5%).

Le coefficient de ruissellement de la station Saint-Gilles est relativement stable par rapport à la saison humide précédente, il augmente très légèrement et passe à 38%. En revanche le coefficient de la Source Dussac baisse considérablement en passant de 88% durant la saison humide 2019/2020 à 64% sur la saison humide 2020/2021. Rappelons que la pluviométrie de la saison humide 2020/2021 a été déficitaire sur l'ensemble de la planète malgré les pluies apportées par les tempêtes Danilo et Iman qui ont surtout impactées la partie nord de la planète.

3.3 Résultats à l'échelle annuelle

L'année 2020 étant la plus complète en termes de quantité de données, l'analyse du ruissellement à l'échelle annuelle porte sur l'année 2020.

L'année 2020 est déficitaire dans le nord de la planète et légèrement excédentaire dans la partie sud (voir l'ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 40% à 70% de Saint-Paul à Saint-Leu et de 100% à 110% des Avirons à Saint-Louis.

La **Figure 29** ci-dessous représente les bilans hydrologiques de l'année 2020 des 16 bassins versants suivis.

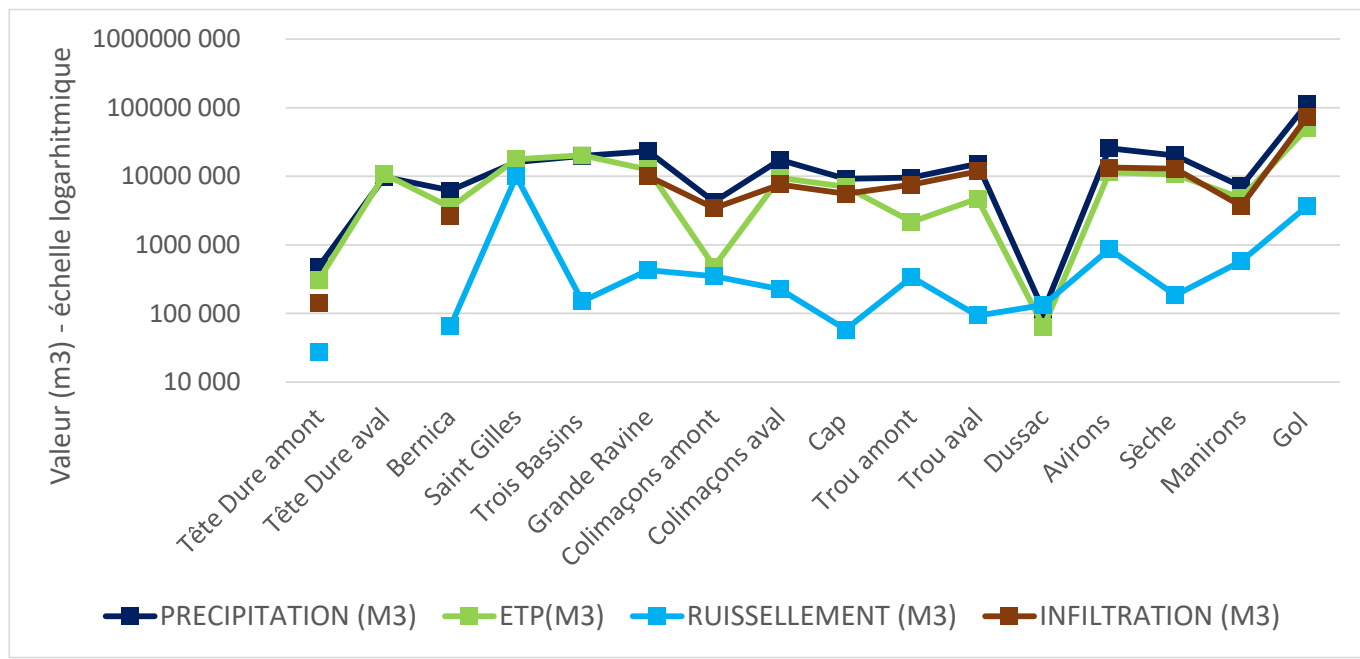


Figure 29 : Bilans hydrologiques de l'année 2020 des bassins versants suivis

Les volumes précipités de l'année 2020 varient entre 109 000m³ sur le plus petit bassin versant suivi « station Dussac » et 113 500 000m³ sur le plus grand bassin versant suivi « station Gol ».

Les volumes annuels évapotranspirés varient entre 54 000m³ sur le bassin versant de la Source Dussac et 50 200 000m³ sur le bassin versant de la Ravine du Gol.

Les volumes ruisselés de l'année 2020 varient entre 0m³ sur la station Tête Dure aval et 10 000 000m³ sur la station Saint-Gilles. Parmi les stations en ravine intermittente, le volume ruisselé le plus élevé est enregistré sur la station Gol avec 3 650 000m³.

Les volumes infiltrés de l'année 2020 varient entre 0m³ sur les stations Saint-Gilles, Dussac, Tête Dure aval, Trois Bassins et 73 200 000m³ sur la Ravine du Gol.

La situation pluviométrique déficitaire en 2020 dans le nord de la planète entraine un bilan hydrologique déséquilibré sur les stations Tête Dure aval et Trois Bassins car le volume évapotranspiré est légèrement supérieur au volume précipité.

La somme des volumes évapotranspirés et ruisselés des stations Saint-Gilles et Dussac est supérieure aux précipitations compte tenu des résurgences d'eau souterraine drainées par ces ravines.

La **Figure 30** ci-dessous représente les coefficients de ruissellement calculés pour l'année 2020.

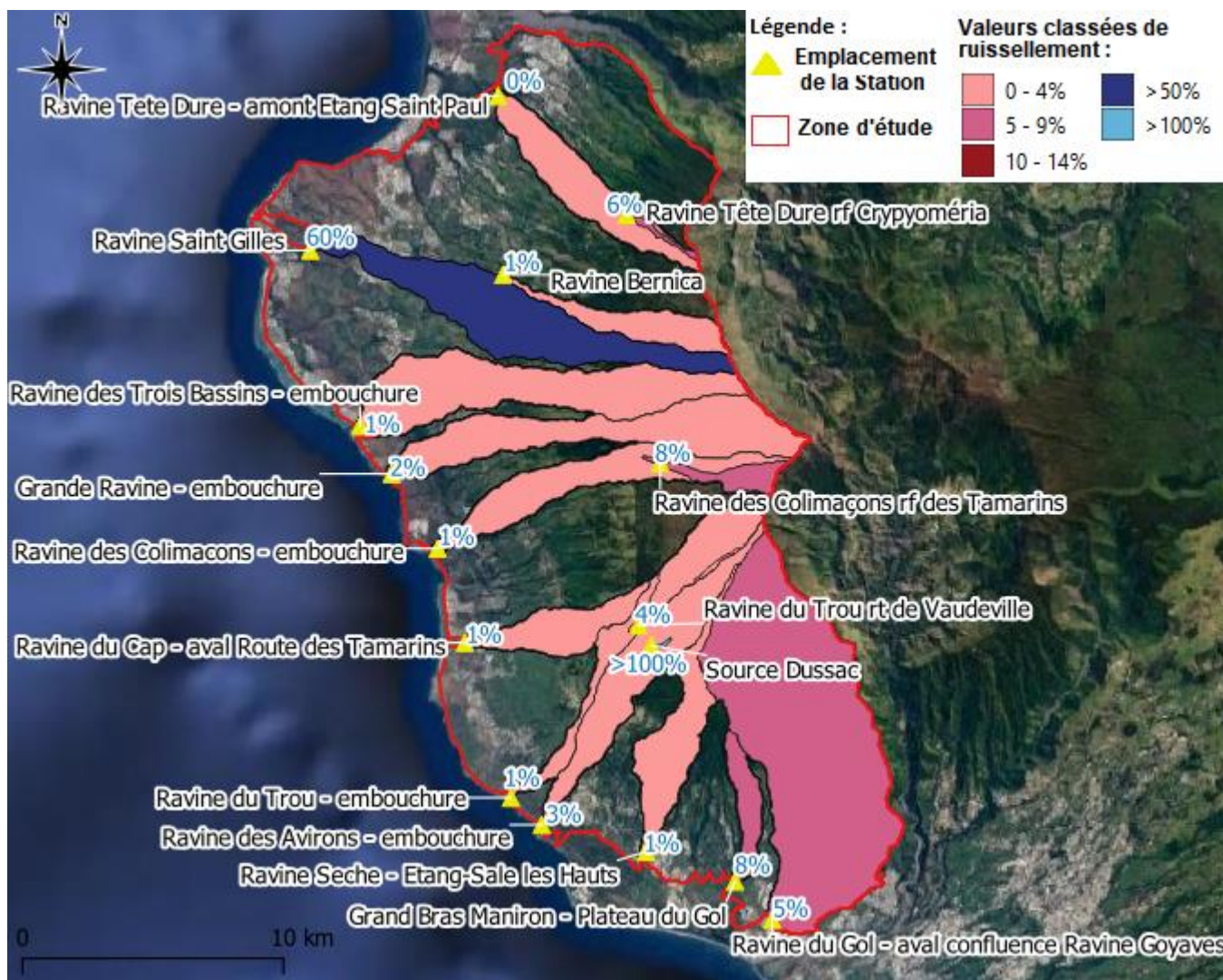


Figure 30 : Coefficients de ruissellement des bassins versants suivis en 2020

Les coefficients de ruissellement de l'année 2020 sont globalement compris entre 0% et 4%. Ils sont supérieurs à 4% sur les stations amont et les stations du sud bénéficiant d'une situation pluviométrique légèrement excédentaire en 2020. Les coefficients de ruissellement sont 6% à la station Tête Dure amont, 8% aux stations Colimaçons amont et Manirons et 5% à la station du Gol.

Les coefficients de ruissellement des stations à écoulement pérenne sont nettement supérieurs. La station Saint-Gilles enregistre une valeur de 60% alors que la Source Dussac a un coefficient de ruissellement supérieur à 100% car le ruissellement mesuré est supérieur aux précipitations sur le bassin topographique. Les ruissellements mesurés sur la Ravine Saint-Gilles et la Source Dussac ne peuvent être considérés comme étant le ruissellement stricto sensu du bassin versant topographique pour les raisons expliquées précédemment (résurgence d'eau souterraine).

4 Extrapolation des résultats à l'échelle de la planète

4.1 Descriptions de la méthode d'extrapolation

Pour calculer les résultats des bilans hydrologiques à l'échelle de la planète Ouest, les coefficients de ruissellement déterminés sur les bassins versants suivis ont été extrapolés sur les bassins versants non suivis.

En tenant compte des lacunes de données, le calcul du bilan hydrologique de la planète Ouest a été effectué sur les échelles temporelles suivantes : année 2020, saison sèche 2020 et saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

L'extrapolation consiste à affecter aux bassins versants non suivis soit, le coefficient de ruissellement du bassin suivis avoisinants, soit la moyenne des coefficients de ruissellement des deux bassins limitrophes. Les caractéristiques géologiques et pluviométriques des bassins ont été pris en compte dans l'extrapolation pour attribuer les coefficients.

Les volumes ruisselés et les infiltrations profondes ont ainsi été extrapolés à l'ensemble de la planète à partir des précipitations fournies par Météo France et de l'évapotranspiration calculée à partir des formules du CIRAD. La somme des termes des bilans hydrologiques de chaque bassin versant a permis d'établir celui de l'ensemble de la planète.

La **Figure 31** illustre l'extrapolation réalisée sur les bassins versants non suivis à partir des bassins suivis.

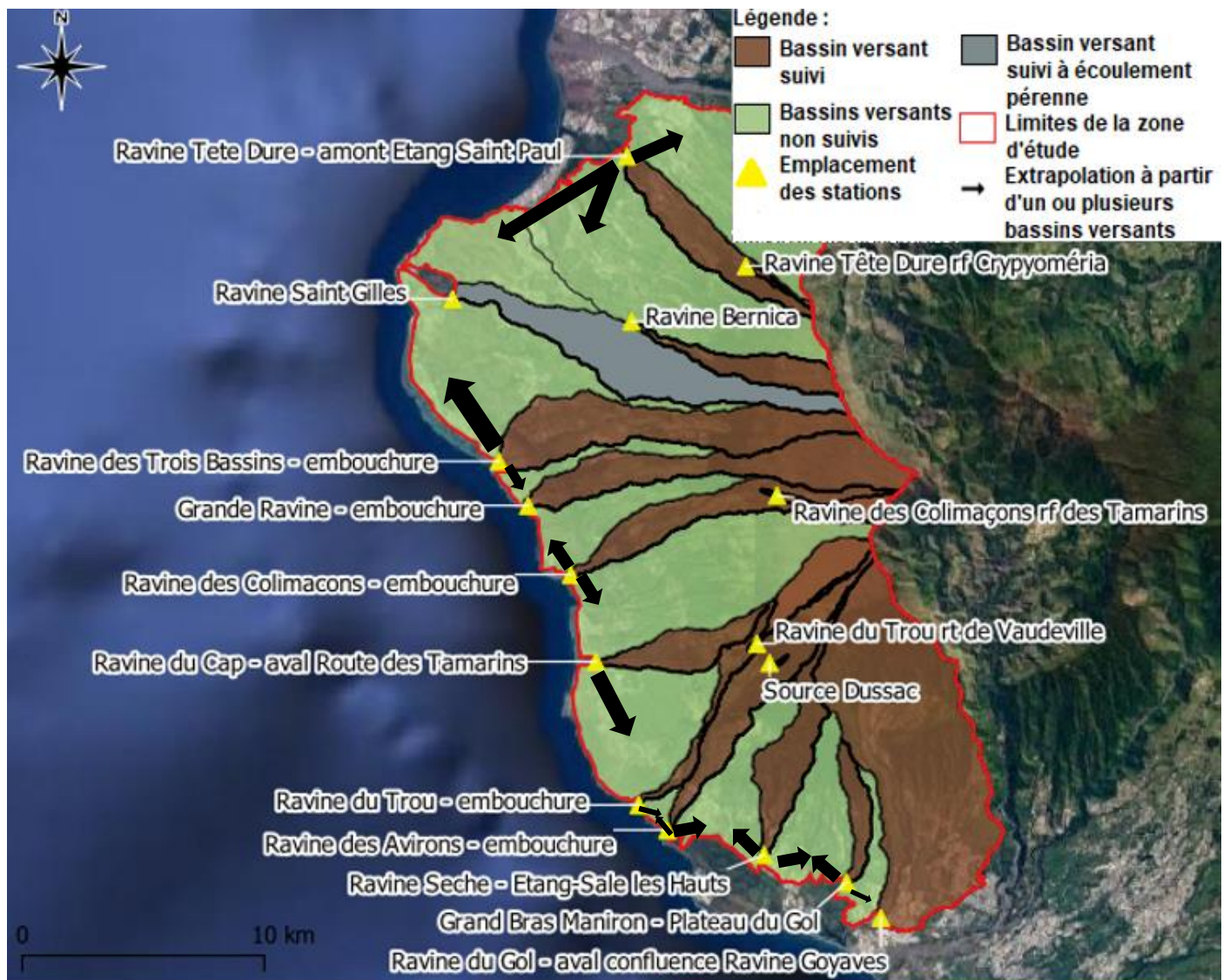


Figure 31 : Extrapolation sur les espaces inter bassins suivis

Les coefficients de la Ravine Tête Dure aval ont été utilisés au nord sur les bassins versants non suivis entre la Rivière des Galets et la Ravine Tête Dure et au sud de la Ravine Tête Dure jusqu'au Bassin versant de la Ravine Saint Gilles exclu. Ces bassins versants ont le même contexte climatique et sont de formations géologiques proches.

Les coefficients de la Ravine des Trois Bassins ont été utilisés au nord, sur les bassins versants non suivis entre les ravines Saint-Gilles et Trois Bassins, et au sud sur les bassins entre la Ravine des Trois Bassins et la Grande Ravine. Le coefficient de ruissellement de la Grande Ravine n'a pas été retenu car cette ravine a des spécificités géomorphologiques marquées par une paroi verticale de 400 m de haut et des affleurements de coulées basaltiques anciennes.

Les coefficients de la Ravine des Colimaçons ont été utilisés au nord, sur les bassins versants non suivis entre la Grande Ravine et la Ravine des Colimaçons, et au sud sur les bassins entre les ravines Colimaçons et du Cap. Sa géologie et son contexte climatique sont proches des bassins avoisinants.

Les coefficients de la Ravine du Cap ont été utilisés sur les bassins versants non suivis situés au sud de la Ravine du Cap jusqu'à la Ravine du Trou. Sa géologie et son contexte climatique sont proches des bassins avoisinants.

Les coefficients des petits bassins versants situés entre (i) les ravines du Trou et des Avirons et (ii) les ravines des Avirons et Sèches sont les moyennes des coefficients de ces ravines. Afin d'approcher l'ordre de grandeur du bilan hydrologique de la planèze, le choix a été de considérer cette valeur malgré ces incertitudes plutôt que de l'exclure de l'analyse et diminuer la surface d'étude.

Le coefficient de ruissellement du bassin versant du Grand Bras Manirons a été retenu pour le bassin versant entre la Ravine des Manirons et la Ravine du Gol. Les caractéristiques naturelles du bassin versant non suivi correspond davantage aux caractéristiques du bassin à la station Manirons que celui de la station Gol.

4.2 Présentation des résultats à l'échelle de la planèze

Le calcul des bilans hydrologiques de la planèze Ouest a été effectué sur les échelles temporelles suivantes : année 2020, saison sèche 2020 et saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau infiltré vers les aquifères, une réserve utile moyenne de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la planèze sous-entend le ruissellement jusqu'aux exutoires, mer ou étangs, des bassins versants de la planèze. La partie aval de la Ravine Saint-Gilles est le seul cours d'eau pérenne de la zone d'étude. Elle apparaît spécifiquement dans les bilans hydrologiques afin de pouvoir la distinguer du ruissellement issu des événements pluvieux ponctuels mesurés dans les ravines intermittentes. Le ruissellement mesuré sur la Source Dussac ou d'éventuelles autres sources n'est pas comptabilisé dans le ruissellement global car ces eaux s'infiltrent avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant.

La **Figure 32** ci-dessous illustre les bilans hydrologiques réalisés à l'échelle de la planèze. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

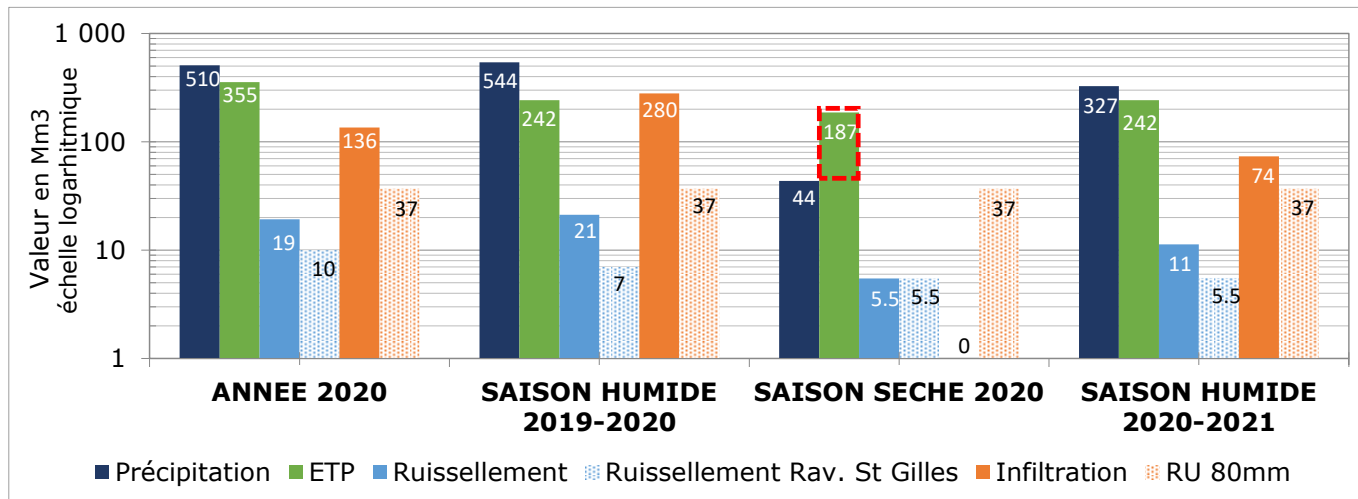


Figure 32 : Bilans hydrologiques à l'échelle de la planèze

4.2.1 A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique globalement déficitaire hormis une situation excédentaire dans le sud-ouest durant le 1^{er} trimestre 2020 (ANNEXE 3).

Le volume précipité sur la planèze ouest en 2020 est de 510 000 000 m³ environ. Une forte disparité saisonnière est observée. 91% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 9% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

Une grande partie des précipitations de l'année 2020 est renvoyée vers l'atmosphère. L'évapotranspiration calculée représente 355 000 000 m³, soit 70% des précipitations en 2020.

Le ruissellement est de 19 000 000 m³, soit 4% des précipitations en 2020, dont 52% provient du ruissellement de la Ravine Saint-Gilles.

L'infiltration totale, soit 27% des précipitations, est supérieure au ruissellement. Sur 136 000 000 m³ d'eau infiltré, environ 100 000 000 m³ atteindraient les nappes souterraines en estimant une réserve utile approximative de 80mm.

4.2.2 A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planèze (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 30% à 50% dans les bas de Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu et de 60% à 80% aux Avirons, L'Etang-Salé, Saint-Louis et dans les hauts de l'ensemble de la planèze.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 44 000 000 m³ soit 9% des précipitations de l'année 2020.

L'évapotranspiration caractérise cette saison. Le volume est quatre fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 187 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la

planète. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eaux de la végétation sur la planète en période sèche.

Le ruissellement est de 5 500 000 m³, soit 13% des précipitations. La totalité du volume ruisselé correspond au ruissellement observé sur la Ravine Saint-Gilles. Hormis sur cette dernière, aucun ruissellement n'est observé à l'exutoire des bassins versant de la planète entre mai et octobre 2020.

L'infiltration totale de la saison sèche 2020 est nulle. L'évapotranspiration est largement supérieure aux précipitations ce qui ne permet pas de saturer la réserve utile et donc d'alimenter les nappes de la planète.

4.2.3 A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

La saison humide 2019/2020 est déficitaire dans le nord de la planète et excédentaire dans la partie sud alors que la saison humide 2020/2021 est globalement déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 544 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 contre 327 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Au-delà d'une hétérogénéité saisonnière des précipitations, une hétérogénéité annuelle est également observée.

Cependant la stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 242 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 45% des précipitations de la saison humide 2019/2020 contre 74% des précipitations de la saison humide suivante.

L'essentiel des écoulements des cours d'eau intermittents ayant lieu pendant la saison humide, cette période favorise le ruissellement. Deux fois plus de ruissellement sont estimés sur la planète Ouest pendant la saison humide 2019/2020 (21 000 000 m³) que sur la saison 2020/2021 (11 000 000 m³). La part du ruissellement sur les précipitations est faible, soit 4% sur la saison 2019/2020 contre 3% sur la saison suivante. Le ruissellement de la Ravine Saint-Gilles représente un tiers du ruissellement de la planète en saison humide 2019/2020 contre la moitié la saison suivante.

L'infiltration totale varie considérablement entre les saisons humides. 280 000 000m³ infiltrés en 2019/2020 contre 74 000 000m³ en 2020/2021, soit respectivement 52% et 23% des précipitations. En déduisant de ces valeurs une réserve utile de 80mm, soit 37 000 000m³, il est estimé une recharge globale de la planète d'environ 240 000 000m³ en 2019/2020 contre 40 000 000m³ en 2020/2021. Cependant cette recharge n'est pas homogène sur la planète, l'excédent pluviométrique du secteur sud en 2019/2020 induit une recharge plus favorable des aquifères dans ce secteur.

4.3 Présentation des résultats à l'échelle des communes

Le territoire de la planète Ouest est partagé entre six communes : Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu, Les Avirons, L'Etang-Salé et Saint-Louis. Les bilans hydrologiques ont été réalisés par commune sur les mêmes échelles de temps utilisées pour la planète, soit l'année 2020, les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 et la saison sèche 2020.

Rappelons que les huit coefficients de ruissellement utilisés dans l'extrapolation sont issus de station ne disposant pas de seuil déversoir. Comme évoqué à la partie **2.3.3**, le ruissellement aux stations non équipés de seuil déversoir est globalement sous-estimé donc le ruissellement à l'échelle de la planète et des communes est globalement sous-estimé.

Le calcul de l'infiltration est directement impacté par la tendance à la sous-estimation du ruissellement et tend globalement à surestimer l'infiltration à l'échelle de la planète et des communes.

4.3.1 Saint Paul

La commune de Saint-Paul correspond à la commune la plus au nord de la planète Ouest. C'est la plus grande commune de la planète, d'une superficie de 241 km², pour une population de 103 000 habitants.

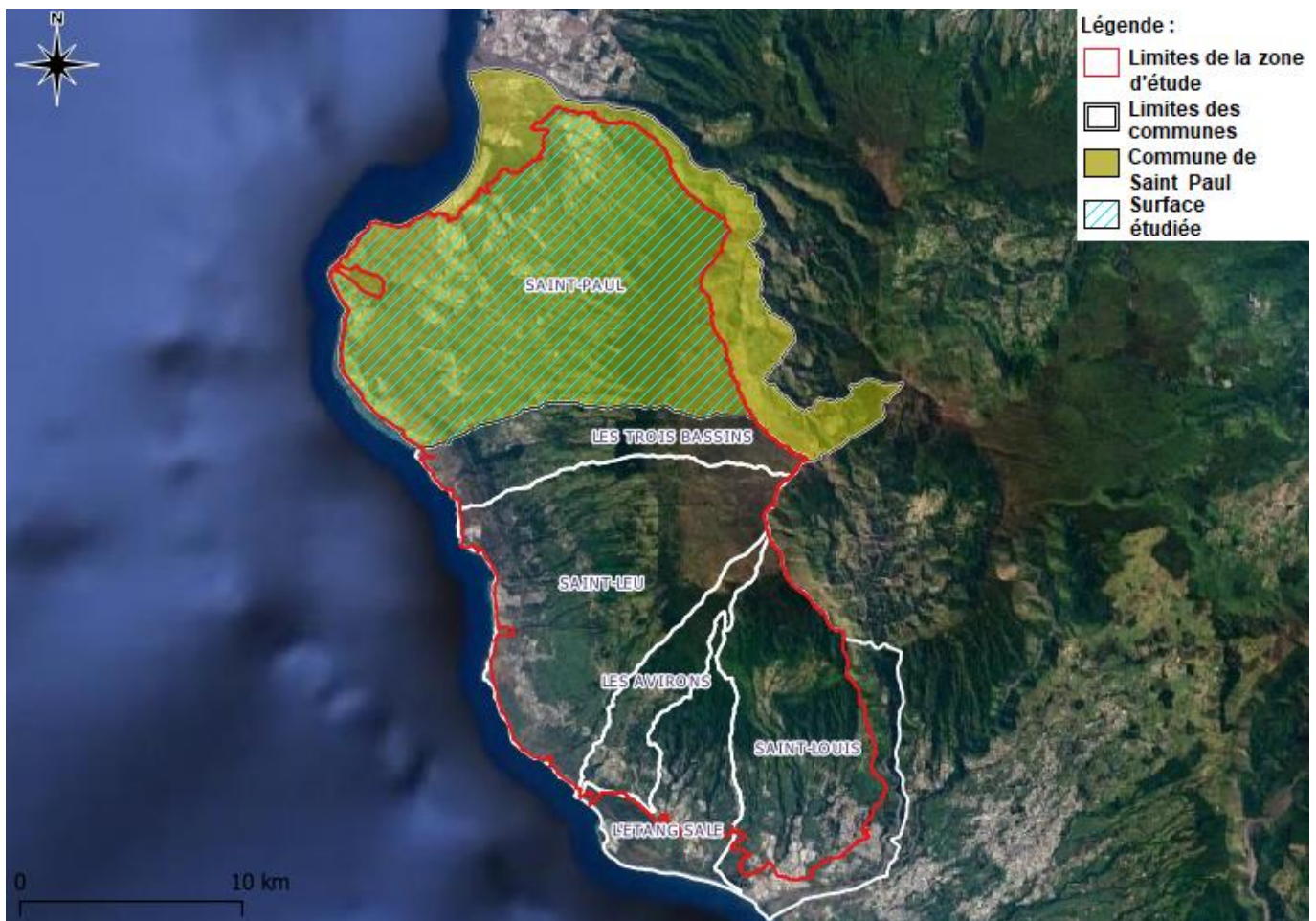


Figure 33 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint Paul

La surface de bassin versant suivie sur cette commune est 182 km², cf. **Figure 33**, soit 76 % de la superficie totale de la commune. La zone étudiée ne comprend pas l'Étang Saint Paul, les remparts longeant la Rivière des Galets jusqu'au Maïdo et Mafate.

La **Figure 34** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune de Saint-Paul. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Comme précédemment, les calculs ont été réalisés avec une réserve utile approximative de 80mm et en faisant apparaître le détail pour la Ravine Saint-Gilles.

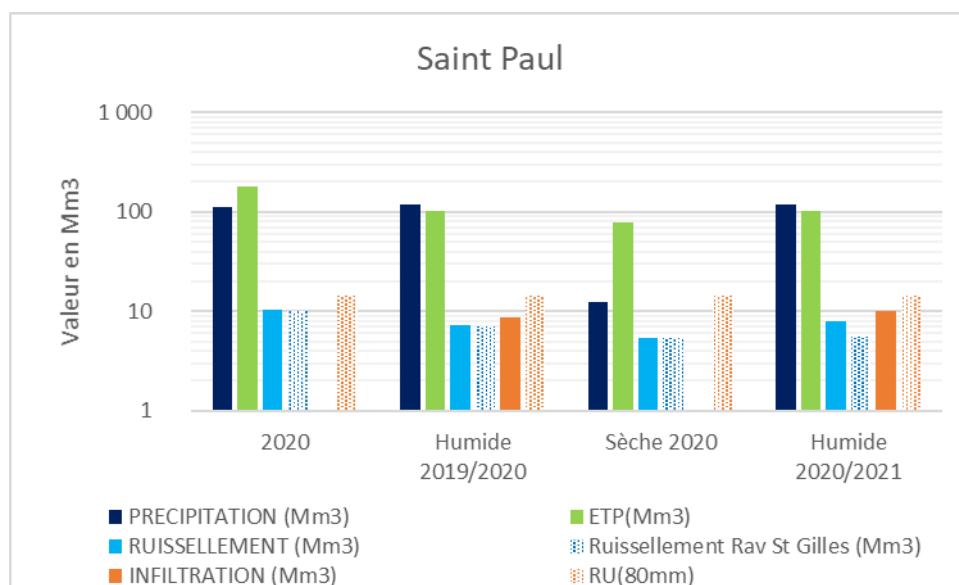


Figure 34: Bilans hydrologiques sur la commune de Saint-Paul

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique déficitaire sur la commune de Saint-Paul (ANNEXE 3).

Le volume précipité sur le territoire analysé en 2020 est de 113 000 000 m³ environ, soit environ 22% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 89% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 11% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration calculée est supérieure aux précipitations pour l'année 2020 et représente 42% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 10 300 000 m³, soit 9% des précipitations en 2020, provient uniquement du ruissellement de la Ravine Saint-Gilles. Il représente 53% du ruissellement total de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée nulle en 2020 du fait du déséquilibre du bilan hydrologique et du contexte pluviométrique déficitaire dans le secteur.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 30% à 50% dans les bas de Saint-Paul et de 50% à 70% dans les hauts.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 12 000 000 m³ soit 11% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur de Saint-Paul en saison sèche 2020 représente 28% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est six fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 78 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eau de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 42%.

Le ruissellement est de 5 500 000 m³, soit 46% des précipitations. La totalité du volume ruisselé correspond au ruissellement observé sur la Ravine Saint Gilles. Rappelons qu'à l'échelle de la planète, hormis la Ravine Saint Gilles aucun ruissellement n'est observé à l'exutoire des bassins versants entre mai et octobre 2020.

L'infiltration totale de la saison sèche 2020 est estimée nulle. L'évapotranspiration largement supérieure aux précipitations ne permet pas de saturer la réserve utile donc d'alimenter les nappes de la planète.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

Les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 sont déficitaires sur la commune de Saint-Paul (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 118 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 120 000 000 m³ en saison humide 2020/2021. Les pluies associées aux tempêtes Danilo en janvier 2021 et Iman en mars 2021 ont légèrement favorisée la situation pluviométrique de la commune. Les précipitations du secteur de Saint-Paul en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent respectivement 22% et 37% des précipitations de la planète.

Cependant la stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 102 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 86% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 85% des précipitations de la saison humide suivante.

La saison humide 2019/2020 enregistre 300 000 m³ de ruissellement dans les ravines intermittentes et environ 7 000 000 m³ ruisselé sur la Ravine Saint-Gilles. Ce ruissellement représente 34% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020. Durant la saison humide 2020/2021, environ 2 000 000 m³ auraient ruisselés dans les ravines intermittentes contre 6 000 000 m³ dans la

Ravine Saint Gilles. Les 8 000 000m³ ruisselés sur la partie analysée de la commune de Saint-Paul représente 70% du ruissellement totale de la planèze Ouest sur la saison humide 2020/2021.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 9 000 000m³ et 10 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile approximative de 80mm, soit 15 000 000m³ sur la zone étudiée, les volumes infiltrés ne permettraient pas une recharge des nappes souterraines du secteur de Saint-Paul durant ces deux saisons humides successives.

4.3.2 Trois-Bassins

La commune de Trois-Bassins est située entre Saint-Paul et Saint-Leu. Sa superficie est de 42 km² pour 7000 habitants.



Figure 35 : Carte de la surface analysée sur la commune de Trois-Bassins

Les bassins versants analysés comprennent la totalité de la surface de la commune.

La **Figure 36** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune de Trois-Bassins. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau percolé vers les nappes sous-jacentes, une réserve utile approximative de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle

considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la commune sous-entend le ruissellement jusqu'à l'exutoire qui est la mer. Le ruissellement d'éventuelles sources s'infiltrant avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant n'est pas comptabilisé dans le ruissellement à l'échelle de la commune.

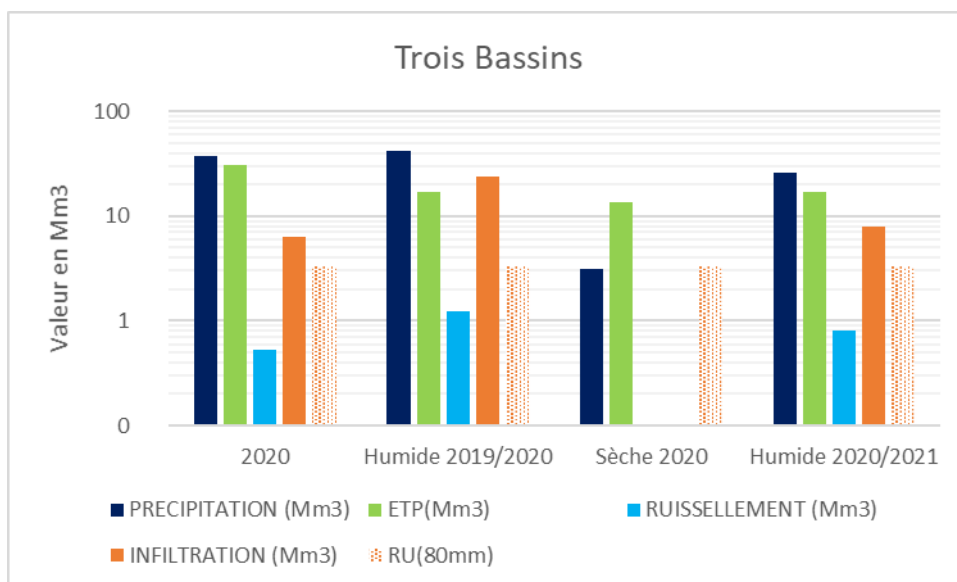


Figure 36 : Bilan hydrologique de la commune des Trois-Bassins

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique déficitaire sur la commune de Trois-Bassins (ANNEXE 3).

Le volume précipité sur la commune en 2020 est de 37 000 000 m³ environ, soit environ 7% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 92% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 8% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration est estimée à 31 000 000m³, soit 82% des précipitations. La part de l'évapotranspiration de la commune de Trois-Bassins représente 7% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 500 000 m³, soit 1% des précipitations sur la commune en 2020, représente 3% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée à 6 000 000m³, soit 17% des précipitations sur la commune en 2020. Elle représente 5% de l'infiltration totale de la planète Ouest en 2020. Pour une réserve utile approximative de 80mm, soit environ 3 000 000m³ sur la commune de Trois-Bassins, le volume infiltré permettant une recharge des nappes souterraines est estimé à 3 000 000m³.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période, la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 40% à 70% sur la commune de Trois-Bassins.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 3 000 000 m³ soit 8% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur de Trois-Bassins en saison sèche 2020 représente 7% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est quatre fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 14 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eau de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 7%.

Le ruissellement et l'infiltration sont nulle sur la commune de Trois-Bassins durant la saison sèche 2020.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

Les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 sont déficitaires sur la commune de Trois-Bassins (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 42 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 26 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Les précipitations du secteur de Trois-Bassins en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent 8% des précipitations de la planète sur les deux saisons humides.

La stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 17 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 40% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 66% des précipitations de la saison humide suivante.

Le ruissellement d'environ 1 000 000 m³, soit 3% des précipitations sur la commune en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021, représente respectivement 6% et 7% du ruissellement totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 24 000 000m³ et 8 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Elle représente respectivement 8% et 11% de l'infiltration totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile approximative de 80mm, soit 3 000 000m³ sur la commune de Trois-Bassins, les volumes infiltrés permettant une recharge des nappes souterraines sont estimés à 21 000 000m³ sur la saison 2019/2020 et 5 000 000m³ sur la saison 2020/2021.

4.3.3 Saint-Leu

La commune de Saint-Leu est la deuxième plus grande commune de la planète avec une superficie de 118 km² et une population de 34 000 habitants.



Figure 37 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint-Leu

Les bassins versants analysés comprennent la totalité de la surface de la commune.

La **Figure 38** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune de Saint-Leu. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau percolé vers les nappes sous-jacentes, une réserve utile (RU) approximative de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant, cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or, la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la commune sous-entend le ruissellement jusqu'à l'exutoire qui est la mer. Le ruissellement d'éventuelles sources s'infiltrant avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant n'est pas comptabilisé dans le ruissellement à l'échelle de la commune.

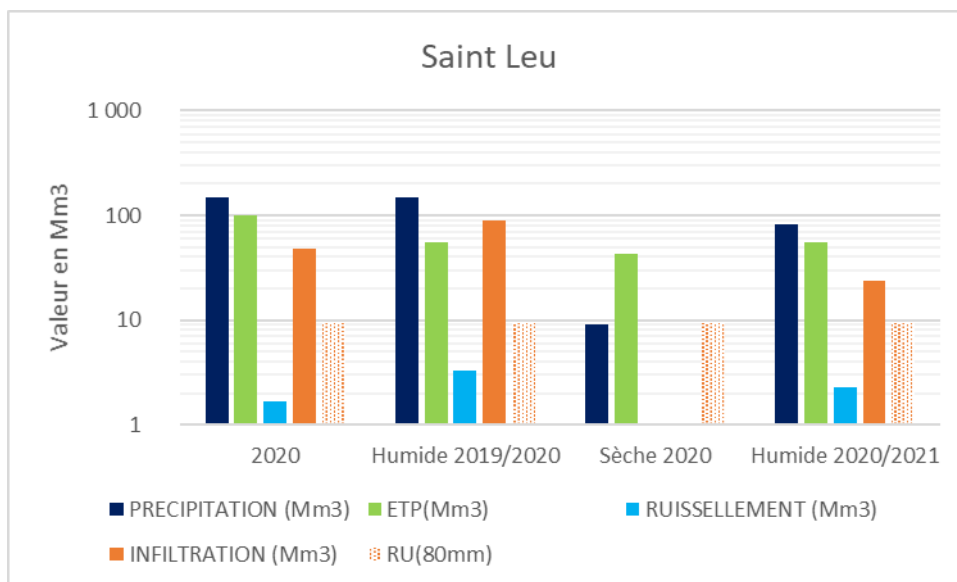


Figure 38 : Bilan hydrologique de la commune de Saint-Leu

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique déficitaire sur la commune de Saint-Leu (ANNEXE 3).

Le volume précipité sur la commune en 2020 est de 149 000 000 m³ environ, soit environ 29% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 94% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 6% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration est estimée à 99 000 000m³, soit 66% des précipitations. La part de l'évapotranspiration de la commune de Saint-Leu représente 23% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 2 000 000 m³, soit 1% des précipitations sur la commune en 2020, représente 9% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée à 48 000 000m³, soit 32% des précipitations sur la commune en 2020. Elle représente 35% de l'infiltration totale de la planète Ouest en 2020. Pour une réserve utile approximative de 80mm, soit environ 9 000 000m³ sur la commune de Saint-Leu, le volume infiltré permettant une recharge des nappes souterraines est estimé à 39 000 000m³.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période, la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 30% à 70% sur la commune de Saint-Leu.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 9 000 000 m³ soit 6% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur de Saint-Leu en saison sèche 2020 représente 21% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est cinq fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 43 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eaux de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 23%.

Le ruissellement et l'infiltration sont nulles sur la commune de Saint-Leu durant la saison sèche 2020.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

La saison humide 2019/2020 est excédentaire alors que la saison humide 2020/2021 est déficitaire sur la commune de Saint-Leu (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 149 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 82 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Les précipitations du secteur de Saint-Leu en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent respectivement 27% et 25% des précipitations de la planète Ouest.

La stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 55 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 37% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 68% des précipitations de la saison humide suivante. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 23%.

Le ruissellement en saison humide est d'environ 3 000 000 m³ en 2019/2020 et 2 000 000m³ en 2020/2021, soit respectivement 3% et 2% des précipitations sur la commune. Ce ruissellement représente respectivement 15% et 20% du ruissellement totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 90 000 000m³ et 24 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Elle représente respectivement 32% et 33% de l'infiltration totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile estimée de 80mm, soit 9 000 000m³ sur la commune de Saint-Leu, les volumes infiltrés permettant une recharge des nappes souterraines sont estimés à 81 000 000m³ sur la saison 2019/2020 et 15 000 000m³ sur la saison 2020/2021.

4.3.4 Les Aviron

La commune des Aviron a la plus petite superficie de la planète avec 26 km². Sa population est estimée à 11 000 habitants.



Figure 39 : Carte de la surface analysée sur la commune des Aviron

Les bassins versants analysés comprennent la totalité de la surface de la commune.

La **Figure 40** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune des Aviron. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau percolé vers les nappes sous-jacentes, une réserve utile (RU) approximative de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la commune sous-entend le ruissellement jusqu'à l'exutoire qui est la mer. Le ruissellement de la Source Dussac ou d'autres éventuelles sources s'infiltrant avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant n'est pas comptabilisé dans le ruissellement à l'échelle de la commune.

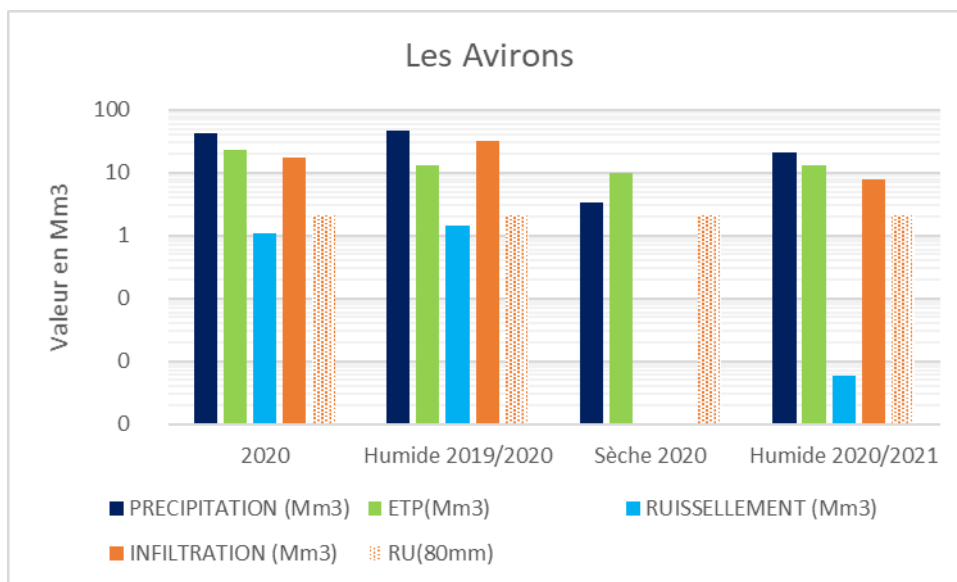


Figure 40 : Bilans hydrologiques sur la commune des Aviron

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique légèrement excédentaire sur la commune des Aviron (ANNEXE 3).

Le volume précipité sur la commune en 2020 est de 42 000 000 m³ environ, soit environ 8% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 92% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 8% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration est estimée à 23 000 000m³, soit 55% des précipitations. La part de l'évapotranspiration de la commune des Aviron représente 5% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 1 000 000 m³, soit 3% des précipitations sur la commune en 2020, représente 6% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée à 18 000 000m³, soit 42% des précipitations sur la commune en 2020. Elle représente 13% de l'infiltration totale de la planète Ouest en 2020. Pour une réserve utile approximative de 80mm, soit environ 2 000 000m³ sur la commune des Aviron, le volume infiltré permettant une recharge des nappes souterraines est estimé à 16 000 000m³.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période, la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 60% à 70% sur la commune des Aviron.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 3 000 000 m³ soit 8% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur des Avirons en saison sèche 2020 représente 8% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est trois fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 10 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eau de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 5%.

Le ruissellement et l'infiltration sont nulles sur la commune des Avirons durant la saison sèche 2020.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

La saison humide 2019/2020 est excédentaire alors que la saison humide 2020/2021 est déficitaire sur la commune des Avirons (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 46 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 21 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Les précipitations du secteur des Avirons en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent respectivement 8% et 6% des précipitations de la planète Ouest.

La stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 13 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 28% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 62% des précipitations de la saison humide suivante. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 5%.

Le ruissellement en saison humide est d'environ 1 000 000 m³ en 2019/2020 et nul en 2020/2021. Aucun ruissellement jusqu'à la mer n'a été enregistré en saison humide 2020/2021. Le ruissellement de la saison humide 2019/2020 représente 3% des précipitations sur la commune et 7% du ruissellement totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 32 000 000m³ et 8 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Elle représente 11% de l'infiltration totale sur la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile estimée approximativement de 80mm, soit 2 000 000m³ sur la commune des Avirons, les volumes infiltrés permettant une recharge des nappes souterraines sont estimés à 30 000 000m³ sur la saison 2019/2020 et 6 000 000m³ sur la saison 2020/2021.

4.3.5 L'Etang-Salé

La commune de L'Etang-Salé a une superficie de 39 km² et une population de 14 000 habitants.



Figure 41 : Carte de la surface analysée sur la commune de l'Etang-Salé

La surface étudiée sur la commune représente 24km², soit 61 % de la superficie totale de la commune. La partie basse de l'Etang-Salé, formée de dunes de sable basaltique, n'est pas prise en compte dans les bilans hydrologiques car ces formations géologiques superficielles sont contraignantes au suivi hydrométrique. La station de la Ravine Sèche a été installée à L'Etang-Salé les hauts dans un lit de cours d'eau plus stable qu'en aval dans les formations sableuses.

La **Figure 42** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune de L'Etang-Salé. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau percolé vers les nappes sous-jacente, une réserve utile (RU) approximative de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la commune sous-entend un ruissellement jusqu'à l'exutoire qui est la mer. Le ruissellement d'éventuelles sources s'infiltrant avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant n'est pas comptabilisé dans le ruissellement à l'échelle de la commune.

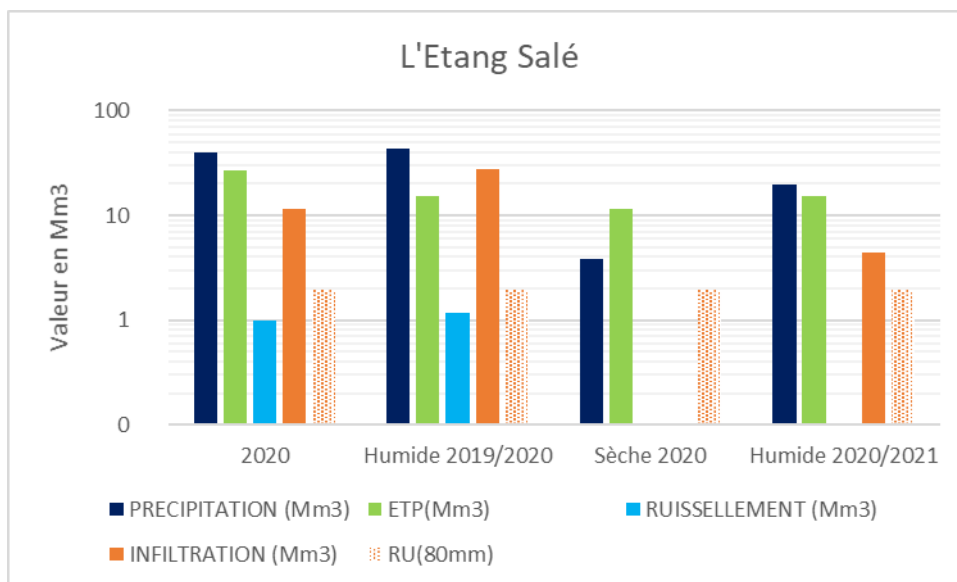


Figure 42 : Bilans hydrologiques de la commune de L'Etang -Salé

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique légèrement excédentaire sur la commune de L'Etang-Salé (**ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale**).

Le volume précipité sur la commune en 2020 est de 39 000 000 m³ environ, soit environ 8% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 90% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 10% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration est estimée à 27 000 000m³, soit 68% des précipitations. La part de l'évapotranspiration de la commune de L'Etang-Salé représente 6% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 1 000 000 m³, soit 2% des précipitations sur la commune en 2020, représente 5% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée à 12 000 000m³, soit 29% des précipitations sur la commune en 2020. Elle représente 9% de l'infiltration totale de la planète Ouest en 2020. Pour une réserve utile estimée approximativement de 80mm, soit environ 2 000 000m³ sur la commune de L'Etang-Salé, le volume infiltré permettant une recharge des nappes souterraines est estimé à 10 000 000m³ pour l'année 2020.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période, la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir **ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale**). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 60% à 70% sur la commune de L'Etang-Salé.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 4 000 000 m³ soit 10% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur de L'Etang-Salé en saison sèche 2020 représente 9% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est trois fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 11 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eau de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 6%.

Le ruissellement et l'infiltration sont estimés nulles sur la commune de L'Etang-Salé durant la saison sèche 2020.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

La saison humide 2019/2020 est excédentaire alors que la saison humide 2020/2021 est déficitaire sur la commune de L'Etang-Salé (voir l'**ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale**).

Les volumes précipités sont d'environ 44 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 20 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Les précipitations du secteur de L'Etang-Salé en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent respectivement 8% et 6% des précipitations de la planète Ouest.

La stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 15 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 35% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 78% des précipitations de la saison humide suivante. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 6%.

Le ruissellement en saison humide est d'environ 1 000 000 m³ en 2019/2020 et nul en 2020/2021. Aucun ruissellement jusqu'à la mer n'a été enregistré en saison humide 2020/2021. Le ruissellement de la saison humide 2019/2020 représente 3% des précipitations sur la commune et 5% du ruissellement totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 27 000 000m³ et 4 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Elle représente respectivement 10% et 6% de l'infiltration totale sur la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile estimée approximativement de 80mm, soit 2 000 000m³ sur la commune de L'Etang-Salé, les volumes infiltrés permettant une recharge des nappes souterraines sont estimés à 25 000 000m³ sur la saison 2019/2020 et 2 000 000m³ sur la saison 2020/2021.

4.3.6 Saint-Louis

La commune de Saint-Louis est la troisième commune, après Saint-Paul et Saint-Leu, ayant la plus grande superficie de la planète Ouest, soit 99 km². Sa population est de 40 000 habitants.

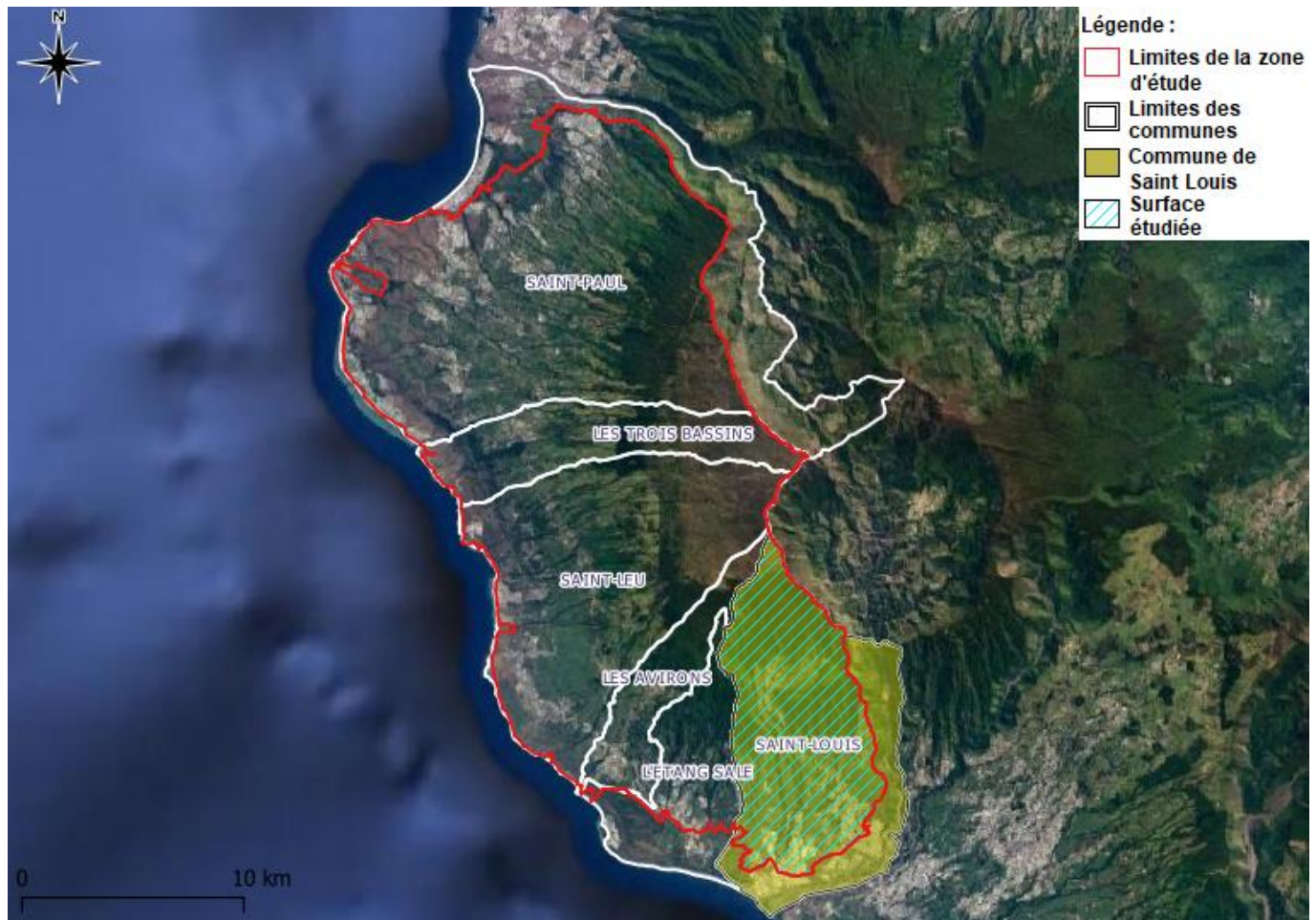


Figure 43 : Carte de la surface analysée sur la commune de Saint-Louis

La surface étudiée sur la commune représente 72 km², soit 73 % de la superficie totale de Saint-Louis. L'Étang du Gol et les berges longeant la Rivière Saint Etienne et le Bras de Cilaos n'ont pas été pris en compte dans l'élaboration des bilans hydrologiques.

La **Figure 44** ci-dessous présente les bilans hydrologiques sur les bassins versants analysés de la commune de Saint-Louis. Les valeurs sont représentées en millions de mètre cube (Mm³).

Afin d'avoir un ordre de grandeur du volume d'eau percolé vers les nappes sous-jacentes, une réserve utile (RU) approximative de 80mm est représentée dans les bilans hydrologiques. Cependant cette approche sous-estime probablement la quantité d'eau consommée par la réserve utile car elle considère une réserve utile saturée sur la période d'analyse. Or la réserve utile du sol évolue de façon dynamique selon le besoin en eau des plantes et les précipitations.

Le ruissellement à l'échelle de la commune sous-entend un ruissellement jusqu'à l'exutoire, la mer ou l'Étang du Gol. Le ruissellement d'éventuelles sources s'infiltrant avant d'atteindre l'exutoire du bassin versant n'est pas comptabilisé dans le ruissellement à l'échelle de la commune.

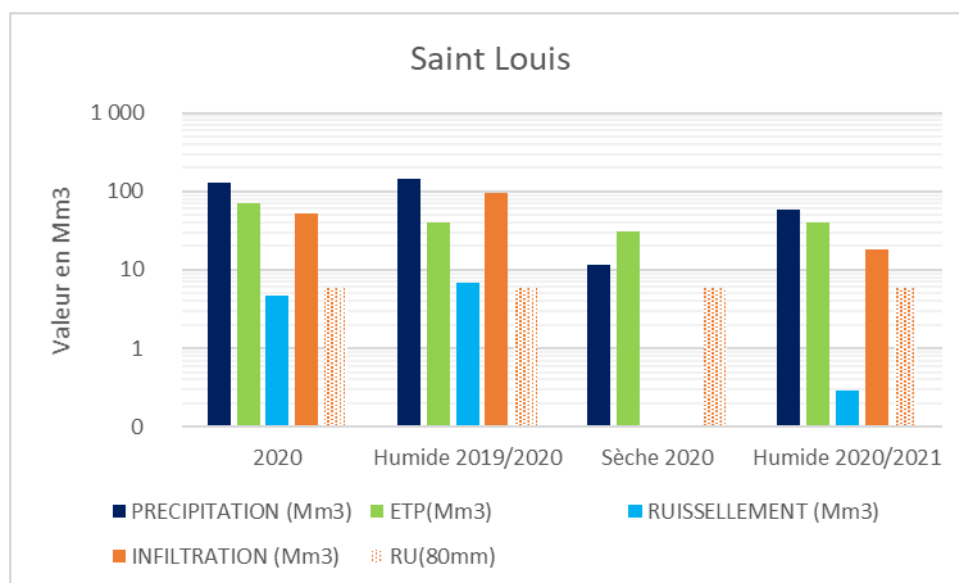


Figure 44 : Bilans hydrologiques de la commune de Saint-Louis

A l'échelle de l'année 2020

L'année 2020 est marquée par un contexte pluviométrique légèrement excédentaire sur la commune de Saint-Louis (**ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale**).

Le volume précipité sur la commune en 2020 est de 127 000 000 m³ environ, soit environ 25% des précipitations de la planète en 2020. Une forte disparité saisonnière est observée. 91% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 9% des précipitations de l'année 2020 en saison sèche.

L'évapotranspiration est estimée à 70 000 000m³, soit 65% des précipitations. La part de l'évapotranspiration de la commune de Saint-Louis représente 16% de l'évapotranspiration totale de la planète Ouest.

Le ruissellement d'environ 4 700 000 m³, soit 4% des précipitations sur la commune en 2020, représente 24% du ruissellement totale de la planète Ouest en 2020.

L'infiltration totale est estimée à 52 000 000m³, soit 41% des précipitations sur la commune en 2020. Elle représente 38% de l'infiltration totale de la planète Ouest en 2020. Pour une réserve utile estimée approximativement de 80mm, soit environ 6 000 000m³ sur la commune de Saint-Louis, le volume infiltré permettant une recharge des nappes souterraines est estimé à 46 000 000m³ pour l'année 2020.

A l'échelle de la saison sèche 2020

La saison sèche 2020 correspond à la période allant du mois de mai 2020 à octobre 2020. Durant cette période, la situation pluviométrique est déficitaire sur l'ensemble de la planète (voir ANNEXE 3). Le rapport à la normale des précipitations varie globalement de 60% à 80% sur la commune de Saint-Louis.

Le volume précipité sur la saison sèche 2020 est d'environ 12 000 000 m³ soit 9% des précipitations de l'année 2020. Les précipitations du secteur de Saint-Louis en saison sèche 2020 représente 27% des précipitations de la planète.

L'évapotranspiration caractérise cette saison sèche. Le volume évapotranspiré est presque trois fois supérieur au volume des précipitations, soit un volume de 30 000 000 m³. Cette valeur traduit un stress hydrique sur la commune. L'irrigation des cultures est nécessaire pour répondre aux besoins en eaux de la végétation en saison sèche. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 16%.

Le ruissellement et l'infiltration sont estimés nuls sur la commune de Saint-Louis durant la saison sèche 2020.

A l'échelle des saisons humides 2019/2020 et 2020/2021

La saison humide 2019/2020 est excédentaire alors que la saison humide 2020/2021 est déficitaire sur la commune de Saint-Louis (voir l'ANNEXE 3).

Les volumes précipités sont d'environ 142 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 et 58 000 000m³ en saison humide 2020/2021. Les précipitations du secteur de Saint-Louis en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 représentent respectivement 26% et 18% des précipitations de la planète Ouest.

La stabilité du couvert végétal entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 induit une stabilité de l'évapotranspiration environ égale à 40 000 000 m³. Le volume évapotranspiré correspond à 28% des précipitations de la saison humide 2019/2020 et 68% des précipitations de la saison humide suivante. La part d'évapotranspiration de la commune sur l'ensemble de la planète est stable dans le temps et correspond à 16%.

Le ruissellement en saison humide est d'environ 6 700 000 m³ en 2019/2020 et 3 000 000m³ en 2020/2021, soit respectivement 5% et 0.5% des précipitations sur la commune. Ce ruissellement représente respectivement 32% et 3% du ruissellement totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

L'infiltration totale estimée est de l'ordre de 96 000 000m³ et 18 000 000m³ sur les saisons humides respectives 2019/2020 et 2020/2021. Elle représente respectivement 34% et 25% de l'infiltration totale de la planète Ouest en saisons humides 2019/2020 et 2020/2021. Pour une réserve utile estimée approximativement de 80mm, soit 6 000 000m³ sur la commune de Saint-Louis, les volumes infiltrés permettant une recharge des nappes souterraines sont estimés à 90 000 000m³ sur la saison 2019/2020 et 12 000 000m³ sur la saison 2020/2021.

4.4 Présentation des résultats par paramètre hydrologique

Les résultats évoqués dans la partie précédente ont été représentés sous la forme de diagramme par paramètre hydrologique pour chaque échelle de temps étudiée soit l'année 2020, la saison sèche 2020 et les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021.

4.4.1 Les précipitations

La **Figure 46** ci-dessous représente les diagrammes des précipitations par communes aux différentes échelles temporelles. Les valeurs sont en mètre cube par kilomètre carré (m^3/km^2) afin de visualiser l'hétérogénéité spatiale des précipitations.

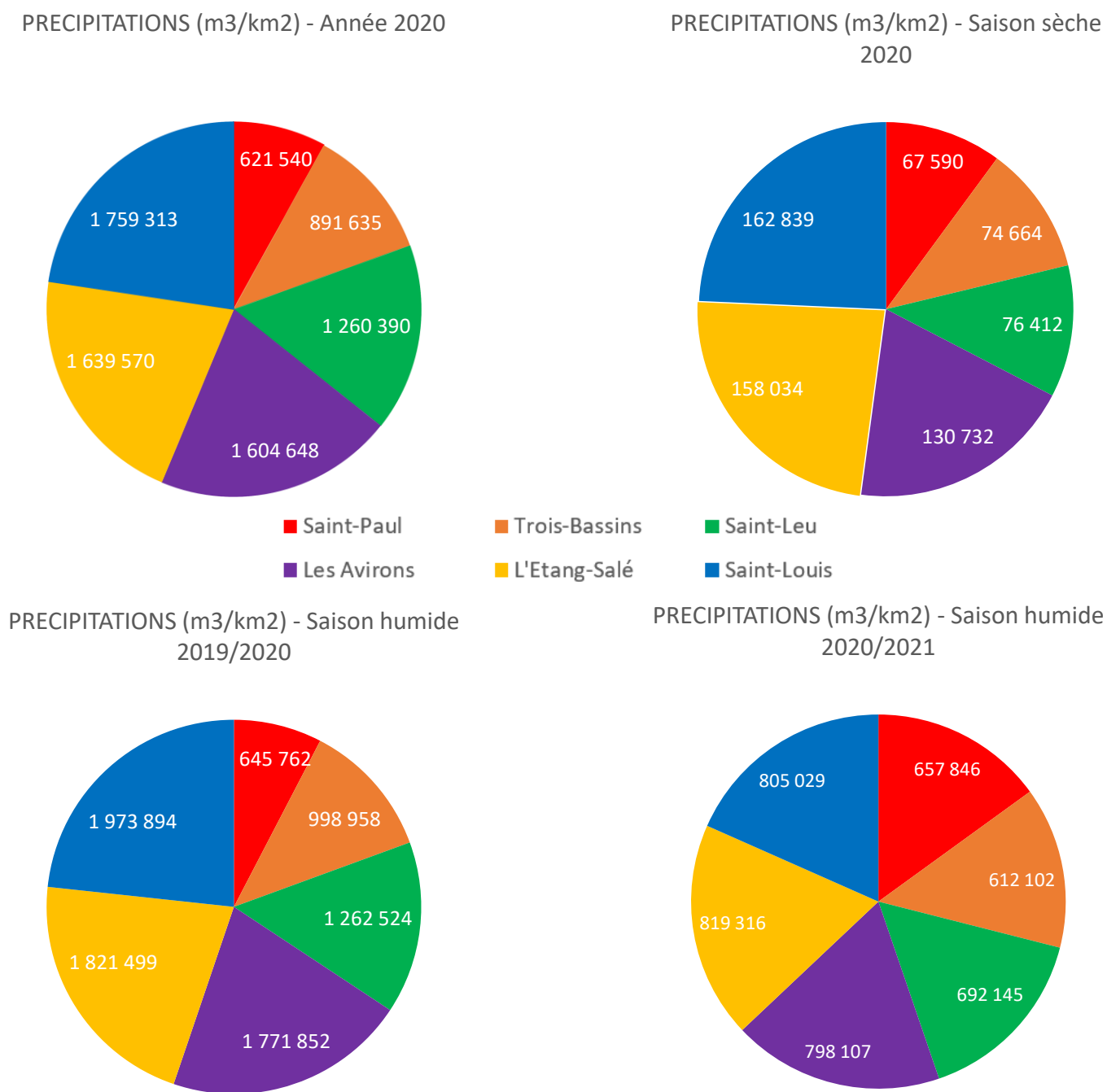


Figure 45 : Diagrammes des précipitations par commune

La commune de Saint-Paul a la plus grande superficie de la planète mais les volumes précipités y sont les plus faibles des six communes représentées entre novembre 2019 et avril 2021.

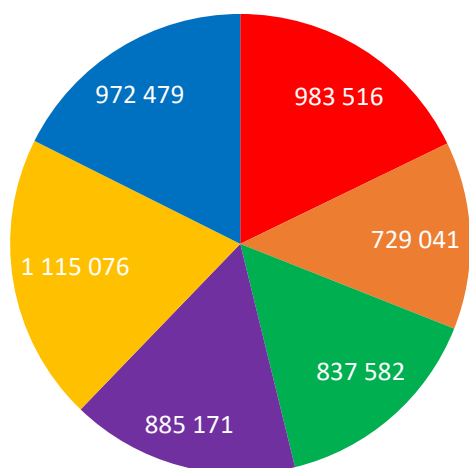
Le volume précipité sur les communes du Sud, Saint-Louis, L'Etang-Salé et les Aviron est largement supérieur à l'échelle année 2020, saison sèche 2020 et saison humide 2019/2020.

Hormis la commune de Saint-Paul où les précipitations de la saison humide 2020/2021 sont légèrement supérieures (+10 000m³/km² environ) à celles de la saison humide précédente, les cinq autres communes enregistrent une diminution des précipitations en saison humide 2020/2021 par rapport à la saison humide 2019/2020. L'écart de précipitations entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 est important dans les communes du Sud, Saint-Louis, L'Etang-Salé et Les Aviron, soit environ 1 000 000m³/km² en moins en 2020/2021.

4.4.2 L'évapotranspiration

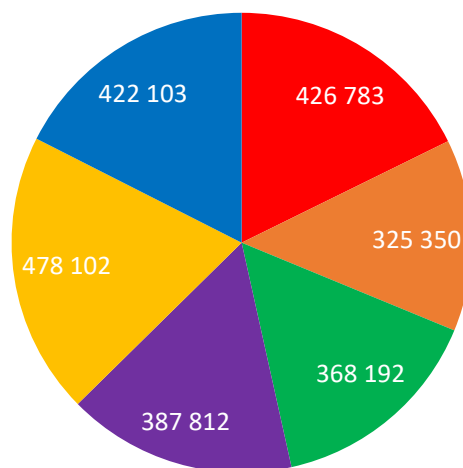
La **Figure 47** ci-dessous représente les diagrammes de l'évapotranspiration par commune aux différentes échelles temporelles. Les valeurs sont en mètre cube par kilomètre carré (m³/km²). La stabilité du couvert végétal homogénéise les parts d'évapotranspiration par commune.

EVAPOTRANSPIRATION (m³/km²) - Année 2020

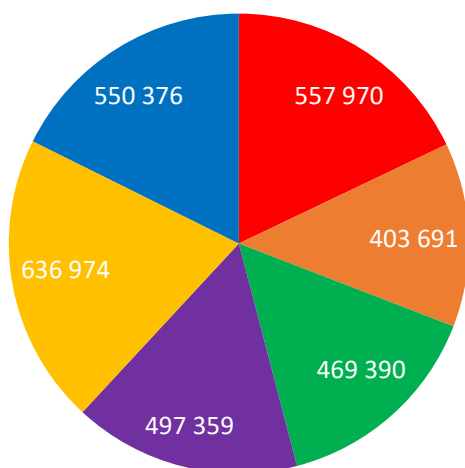


■ Saint-Paul ■ Trois-Bassins ■ Saint-Leu
 ■ Les Avoirs ■ L'Etang-Salé ■ Saint-Louis

EVAPOTRANSPIRATION (m³/km²) - Saison sèche 2020



EVAPOTRANSPIRATION (m³/km²) - Saison humide 2019/2020



EVAPOTRANSPIRATION (m³/km²) - Saison humide 2020/2021

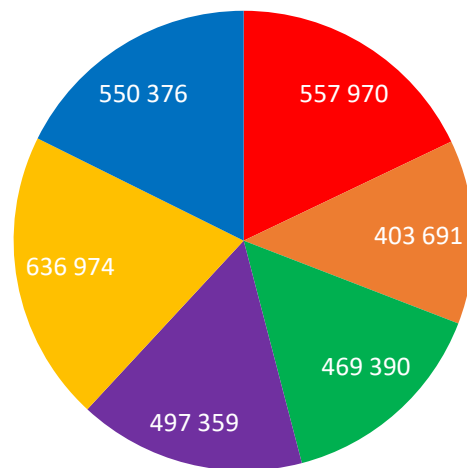


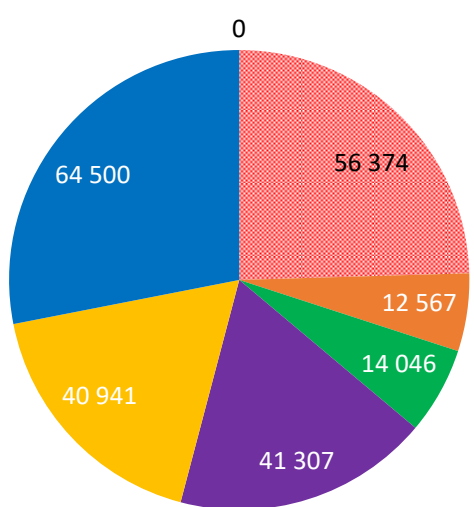
Figure 46 : Diagrammes de l'évapotranspiration par commune

4.4.3 Le ruissellement

La **Figure 48** ci-dessous représente les diagrammes du ruissellement par commune aux différentes échelles temporelles. La saison sèche 2020 n'est pas représentée car hormis la Ravine Saint-Gilles aux écoulements pérennes dans sa partie aval, aucun ruissellement en ravine intermittente n'a été mesuré entre mai 2020 et octobre 2020.

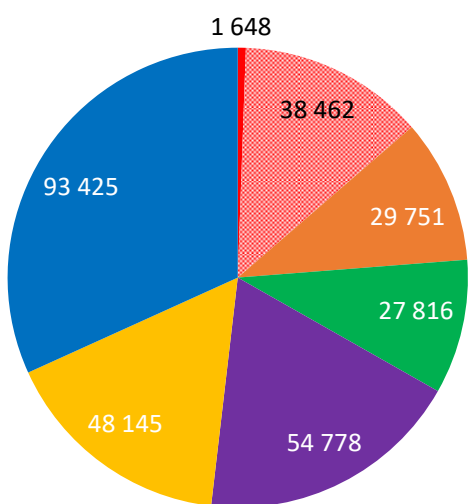
Les valeurs sont en mètre cube par kilomètre carré (m³/km²). Pour la commune de Saint-Paul, le ruissellement de la Ravine Saint Gilles a été distingué dans les diagrammes car elle est la seule ravine à écoulement pérenne dans sa partie aval.

RUISSÈLEMENT (m³/km²) - Année 2020



- Saint-Paul - ravines intermittentes
- Saint-Paul - Ravine Saint Gilles
- Trois-Bassins
- Saint-Leu
- Les Aviron
- L'Etang-Salé
- Saint-Louis

RUISSÈLEMENT (m³/km²) - Saison humide 2019/2020



RUISSÈLEMENT (m³/km²) - Saison humide 2020/2021

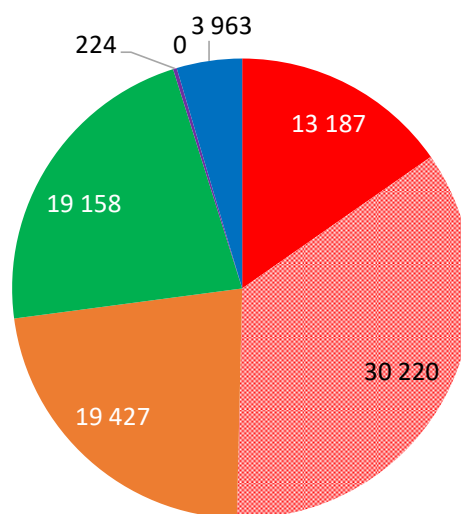


Figure 47 : Diagrammes du ruissellement par commune

Pour la saison humide 2019/2020, malgré le caractère pérenne de la Ravine Saint Gilles, le volume ruisselé rapporté à la surface étudiée (182km²) classe la commune de Saint-Paul après les communes du Sud, Saint-Louis, L'Etang-Salé et Les Aviron. Rappelons que la situation pluviométrique de la saison humide 2019/2020 a été excédentaire dans le Sud de la planèze alors qu'elle a été déficitaire dans le Nord.

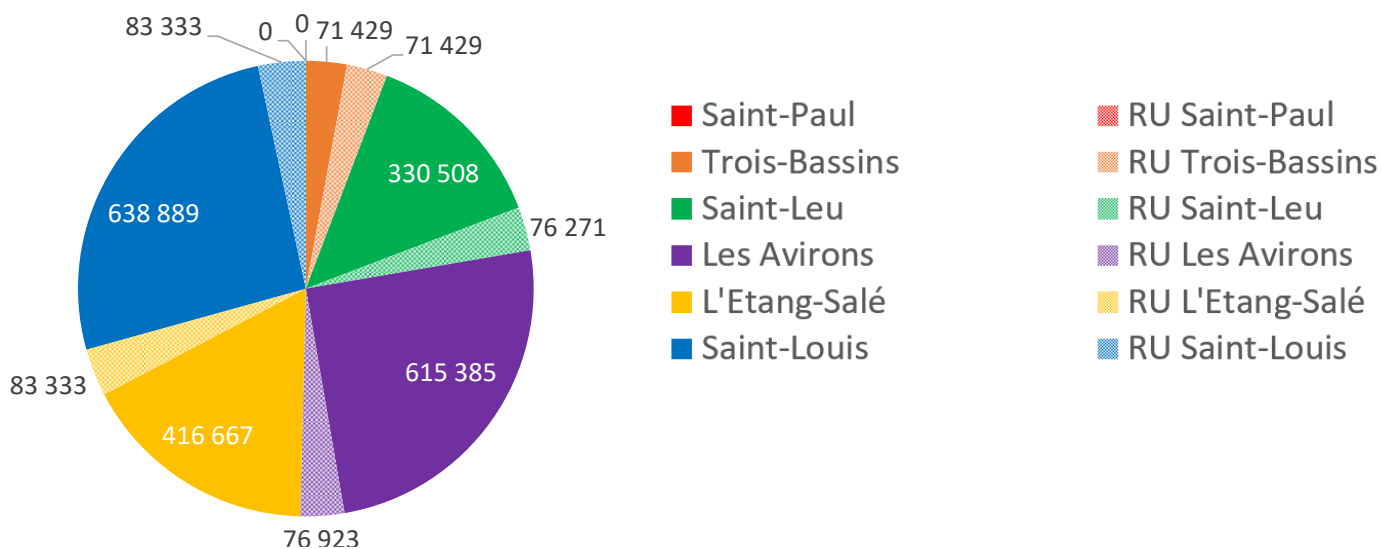
Cependant l'importante baisse des précipitations entre les saisons humides 2019/2020 et 2020/2021 sur les communes du Sud (-1 000 000m³/km²) inverse la tendance du ruissellement en saison humide 2020/2021. Les communes du Nord de la planèze sont plus largement représentées alors que le ruissellement est faible dans le Sud. Rappelons que les tempêtes Danilo (janvier 2021) et Iman (mars 2021) ont principalement impacté le nord de la planèze Ouest.

4.4.4 L'infiltration

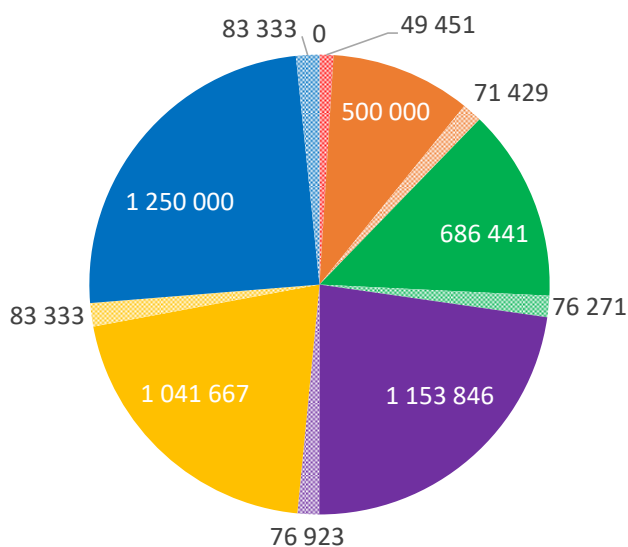
La **Figure 49** ci-dessous représente les diagrammes de l'infiltration par commune aux différentes échelles temporelles. L'infiltration de la saison sèche 2020 n'est pas représentée car les conditions d'utilisation de la formule ne sont pas valides à cause du déséquilibre provoqué par la supériorité de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations. L'infiltration est supposée nulle en saison sèche 2020.

Les valeurs sont en mètre cube par kilomètre carré (m³/km²). Une approximation de la réserve utile (RU) est représentée afin d'obtenir un ordre de grandeur des volumes percolés vers les nappes souterraines. La réserve utile a été estimée approximativement à 80mm pour chaque commune.

INFILTRATION (m3/km2) - Année 2020



INFILTRATION (m3/km2) - Saison humide 2019/2020



INFILTRATION (m3/km2) - Saison humide 2020/2021

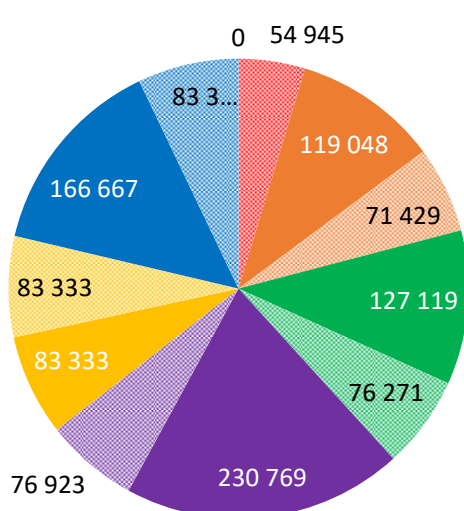


Figure 48 : Diagrammes de l'infiltration par commune

Parmi les trois échelles de temps analysées, la saison humide 2019/2020 est la plus favorable à la recharge des nappes de la planète Ouest. Notamment concernant les nappes souterraines situées au sud de la planète. L'infiltration profonde vers les nappes est estimée supérieure à 1 000 000m³/km² dans les communes de Saint-Louis, L'Etang-Salé et Les Aviron.

En revanche l'infiltration calculée sur la commune de Saint-Paul n'est pas suffisante pour remplir la réserve utile et recharger la nappe en profondeur en saison 2019/2020. Malgré la hausse de l'infiltration en saison 2020/2021 dans le secteur de Saint-Paul, les volumes infiltrés ne semblent pas suffisants à une recharge efficace des nappes souterraines de Saint-Paul.

Les volumes infiltrés des communes du Sud de la planète en 2020/2021 diminue drastiquement par rapport à la saison humide précédente. L'écart d'infiltration entre les deux saisons humides est légèrement inférieur à 1 000 000m³/km² dans les nappes des communes de L'Etang-Salé et des Aviron alors qu'il est légèrement supérieur à 1 000 000m³/km² dans les nappes de la commune de Saint-Louis.

4.5 Cohérence entre les calculs des bilans hydrologiques et les mesures piézométriques

Une analyse des signaux piézométriques a été réalisées afin de vérifier la tendance des calculs des bilans hydrométriques. La **Figure 50** ci-dessous représente le signal du piézomètre « Chemin Carosse » situé à Saint-Paul.

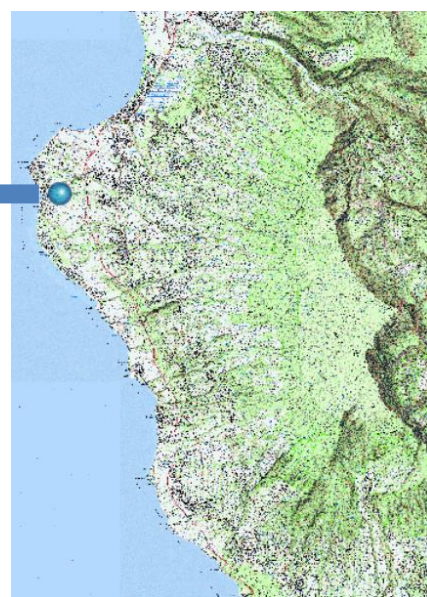
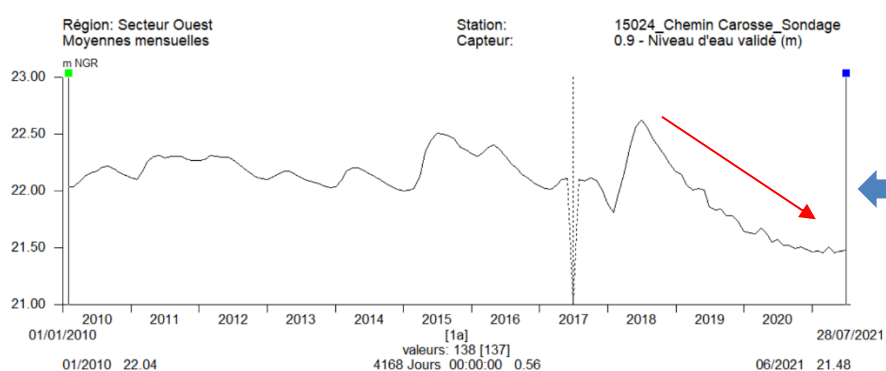
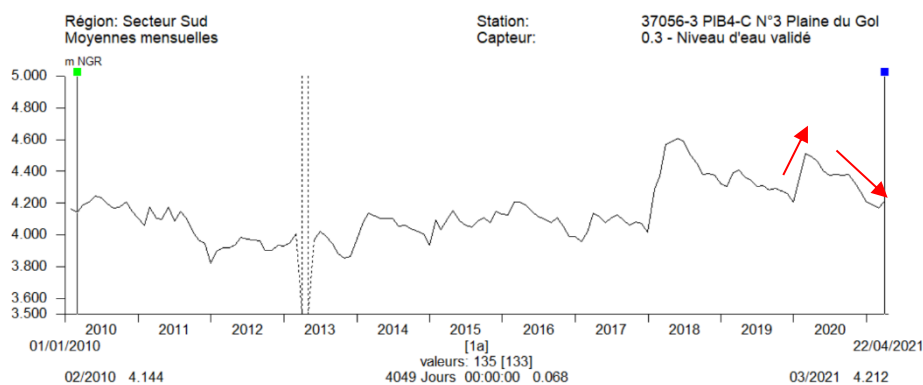


Figure 49 : Niveau piézométrique à la station 15024-Chemin Carosse à Saint-Paul

Le niveau piézométrique du piézomètre « Chemin Carosse » à Saint-Paul illustre une baisse générale du niveau de la nappe depuis 2018 jusqu'en juillet 2021. Cette observation est cohérente avec l'absence de recharge efficace proposée par le calcul des bilans hydrologiques.

La **Figure 51** ci-dessous représente le signal du piézomètre « PIB4-C N°3 Plaine du Gol » situé à Saint-Louis.

Figure 50 : Niveau piézométrique à la station 37056-3-PIB4-C N°3 Plaine du Gol à Saint-Louis



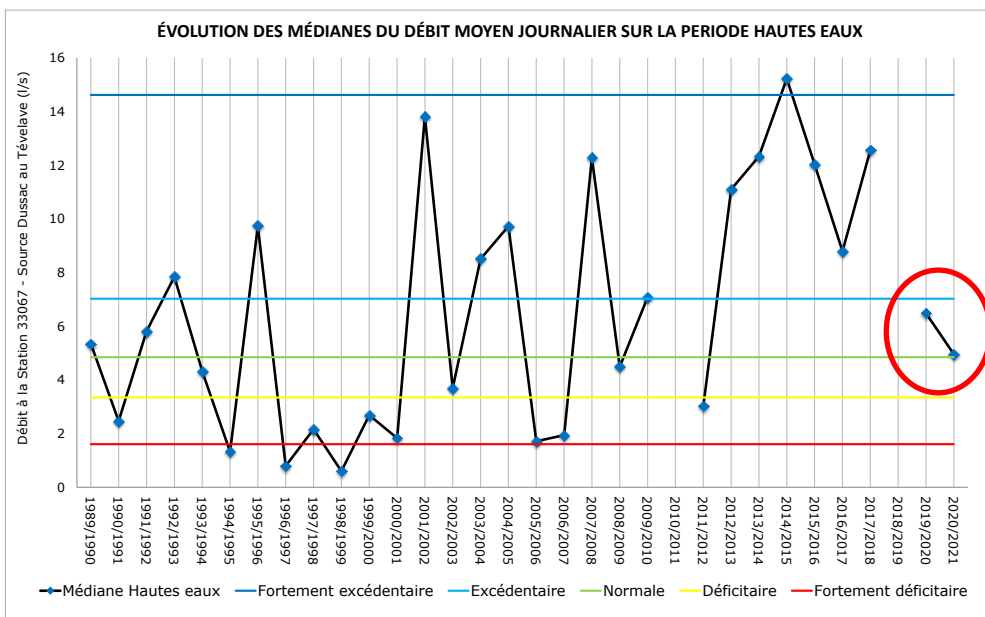
Le niveau piézométrique du piézomètre « PIB4 » à Saint-Louis enregistre une hausse du niveau de la nappe durant la saison humide 2019/2020 suivi d'une baisse du niveau à la saison humide 2020/2021 traduisant une infiltration plus importante en saison 2019/2020 qu'en saison 2020/2021. Cependant le niveau moyen mensuel observé depuis 2018 est globalement supérieur aux niveaux entre 2010 et 2017.

4.6 Cohérence entre les calculs des bilans hydrologiques et les mesures hydrométriques

Les stations hydrométriques préexistantes 33067 – Source Dussac au Télélave et 16076 – Ravine Bernica disposent d'une chronique de données suffisamment longue pour procéder à une analyse statistique permettant d'évaluer l'état quantitatif de la ressource.

La **Figure 52** ci-dessous représente le débit médian en période de hautes eaux (entre le 01/12 de l'année X au 15/04 de l'année X+1) à la station de la Source Dussac située au Télélave dans les hauts des Avirons.

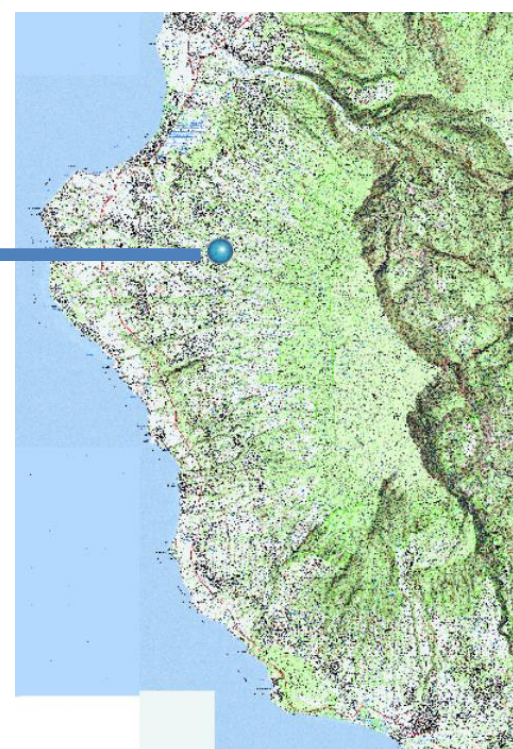
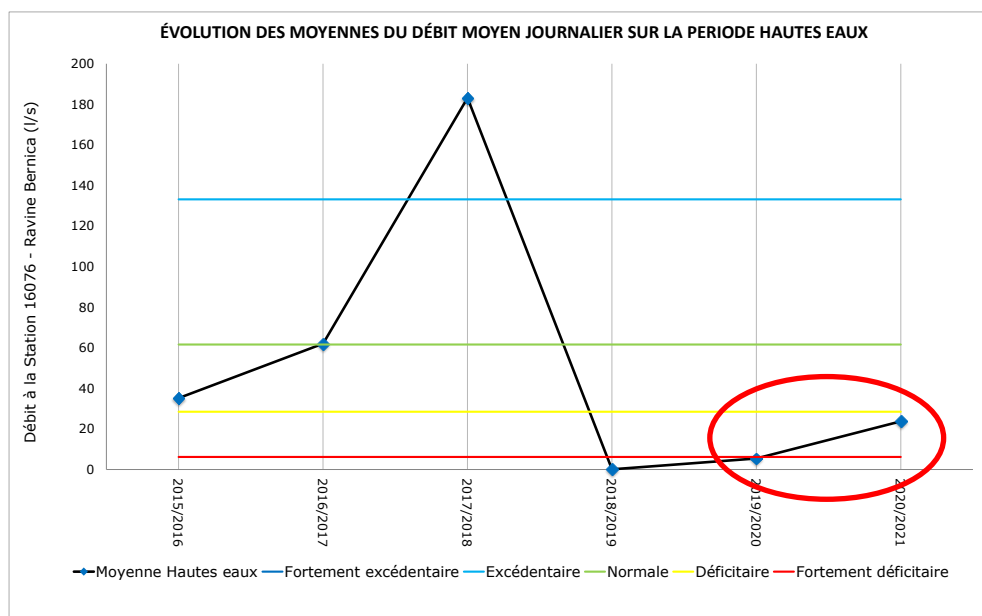
Figure 51 : Débit médian en période hautes eaux à la station 33067 - Source Dussac au Tévelave



Les valeurs des débits médians des périodes hautes eaux 2019/2020 et 2020/2021 sont représentés dans le cercle rouge de la **Figure 52** ci-dessus. Dans les hauts des Avirons le débit médian de la période hautes eaux 2019/2020 de la Source Dussac est proche de l'état excédentaire. Une baisse du débit médian est observée en 2020/2021 où l'état quantitatif de la source se rapproche de la normale de saison.

La **Figure 53** ci-dessous représente le débit moyen en période hautes eaux (entre le 01/12 de l'année X au 15/04 de l'année X+1) à la station de la Ravine Bernica situé à une altitude de 850m à Saint-Paul.

Figure 52 : Débit moyen en période hautes eaux à la station 16076 - Ravine Bernica



Les valeurs des débits moyens des périodes hautes eaux 2019/2020 et 2020/2021 sont représentées dans le cercle rouge de la **Figure 53** ci-dessus. Dans les hauts de Saint-Paul le débit moyen de la période hautes eaux 2019/2020 de la Ravine Bernica est fortement déficitaire. Une légère hausse du débit médian est observée en 2020/2021 où l'état quantitatif de la source se rapproche de l'état déficitaire.

L'analyse des signaux piézométriques et hydrométriques permettent de confirmer les tendances calculées par les bilans hydrologiques. Les valeurs de ruissellement et d'infiltration proposées par cette étude permettent d'estimer l'ordre de grandeur de ces paramètres hydrologiques sans prétendre approcher les valeurs précises.

L'évaluation du ruissellement étant élémentaire dans cette approche de calcul de bilan hydrologique, la partie suivante est dédiée à la présentation des mesures à mettre en œuvre afin d'optimiser la connaissance du ruissellement sur la planèze Ouest.

5 Perspective d'évolution du réseau d'observation

Le présent rapport a permis de montrer la faisabilité technique de la mise en place d'un réseau de suivi des écoulements dans les ravines intermittentes. Ces ravines jouent un rôle fondamental dans le cycle de l'eau, notamment dans le secteur Ouest peu arrosé.

En fonction des enjeux de gestion des ressources en eau et des besoins d'études du cycle de l'eau dans ce secteur, un réseau pérenne de suivi pourrait être mis en place.

Afin De préciser l'estimation des volumes infiltrés, il conviendrait de travailler à l'amélioration des points suivants :

- Déterminer plus finement les valeurs de réserve utile ;
- Mesurer plus précisément le ruissellement afin d'optimiser le calcul de l'infiltration ;
- Intégrer les volumes irrigués dans le calcul de la réserve utile ;
- Intégrer les volumes d'eau issus de l'assainissement non collectif dans le calcul des volumes infiltrés.

Le **Tableau 5** ci-dessous récapitule les stations hydrométriques à suivre selon l'objectif souhaité.

Tableau 5 : Correspondance entre les stations et les objectifs du suivi hydrométrique

Stations		Objectif 1	Objectif 2	Objectif 3	Objectif 4
Codes	Intitulés	Evaluer l'état quantitatif de la planèze ouest	Estimer les volumes ruisselés et infiltrés à l'échelle de la planèze ouest	Analyser les transferts amont/aval de la planèze ouest	Estimer les volumes ruisselés des secteurs stratégiques identifiés par le Département
17800	Tête Dure amont	x		X	X
12801	Tête Dure aval	x	X	X	
16076	Bernica	X	X		
15057	St Gilles	X	X		
16802	Trois Bassins	x	X		
16801	Grande Ravine	x	X		
17801	Colimaçons amont	x		X	X
32800	Colimaçons aval	x	X	X	
33800	Trou amont	x		X	X
32801	Trou aval	x	X	X	
32802	Cap	x	X		
33067	Dussac	X			
32803	Avirons	x	X		
33801	Sèche	x	X		
37801	Manirons	x	X		
37802	Gol	x	X		

X : station répondant à l'objectif associé

x : station susceptible de répondre à l'objectif associé après acquisition d'une chronique de données suffisante

Hormis les 3 stations préexistantes composées d'un système de mesure complet et performant, il serait nécessaire d'équiper de futures stations pérennes pour améliorer la précision des mesures et notamment celle des contrôles hydrauliques.

Rappelons ici les avantages d'un dispositif de mesure complet :

- Le seuil déversoir améliore la fiabilité de la relation hauteur débit et de la durée d'écoulement ;
- L'échelle limnimétrique optimise la vérification et la validation du signal enregistré par la sonde. Pour cela la sonde doit être immergée dans un bassin en eau ;
- La télétransmission des données améliore la maintenance préventive des stations et apporte une information hydrométrique journalière.

La fréquence de passage sur le terrain est également la garantie de données continues, sans lacune. Chaque passage terrain consiste à :

- Relever l'échelle limnimétrique afin de vérifier que le signal enregistré par la sonde est correct. Dans le cas contraire un recalage de l'appareil est nécessaire ;
- Réaliser un jaugeage en cas d'écoulement ;
- Vérifier les paramètres d'horodatage de l'appareil et les régler en cas de besoin ;
- Vérifier l'état général du dispositif de mesure (batterie, panneau solaire, centrale d'acquisition, sonde d'enregistrement...) et réaliser une maintenance si nécessaire.

Cette présente étude n'a pas fait l'objet d'une analyse des quantités d'eau douce se déchargeant dans le lagon lors des intenses évènements pluvieux. Cependant, un suivi pérenne aux exutoires des bassins se déversants dans le lagon permettrait d'évaluer les quantités d'eau douce apportées au lagon durant les intenses évènements.

6 Conclusion

La planèze Ouest a une superficie d'environ 500 km², soit 20% de la surface totale du département de La Réunion. Elle est délimitée au nord par la Rivière des Galets et au sud, par la Rivière Saint-Etienne et le Bras de Cilaos. Elle comprend une population d'environ 220 000 habitants en 2018, soit un quart de la population réunionnaise.

Parmi les caractéristiques naturelles de la planèze, sa géographie dite « sous le vent » induit un contexte pluviométrique moins abondant dans l'ouest que dans l'est de l'île. La pluie efficace précipitée sur la planèze Ouest est favorable à l'infiltration plutôt que le ruissellement de surface. Hormis, la Ravine Saint-Gilles dont l'écoulement est pérenne dans sa partie aval, les autres ravines de l'ouest présente un écoulement ponctuel se produisant uniquement lors d'évènements pluvieux significatifs.

La faible connaissance du ruissellement dans les ravines de la planèze Ouest a amené l'Office de l'eau à déployer un réseau de mesure expérimental en 2018. Ce réseau composé de 16 stations a permis de répondre aux objectifs suivants sur la période d'étude d'avril 2018 à avril 2021 :

1. Estimer les volumes ruisselés et infiltrés à l'échelle des bassins versants équipés et à l'échelle de la planèze ;
2. Analyser le transfert amont/aval sur trois bassins versants de la planèze Ouest ;
3. Estimer les volumes ruisselés dans les secteurs stratégiques des hauts identifiés par le Département.

Le nombre d'écoulement est plus élevé sur les stations situées à plus de 1000m d'altitude avec entre 35 et 50 événements sur la période d'étude.

En ce qui concerne les stations de basses altitudes, celles situées dans le sud de la planèze bénéficiant d'une situation pluviométrique plus favorable, enregistrent un nombre d'écoulement plus élevés de 10 à 20 événements contre 4 à 6 pour les communes de Saint-Paul et Saint-Leu.

Les durées moyennes d'écoulement sont estimées entre 2H et 10H. 3 évènements pluvieux distincts marquent les durées maximales des écoulements entre avril 2018 et avril 2021 : le cyclone Fakir le 24/04/2018, l'épisode pluvieux du 30/12/2019 et l'épisode pluvieux de la fin janvier 2020.

Les volumes ruisselés varient à l'échelle de l'évènement pluvieux selon la taille du bassin versant et l'intensité de l'évènement. L'évènement Fakir (24/04/2018) a provoqué des crues dans toutes les ravines de la planèze Ouest. Sur les 16 stations de mesure, les volumes ruisselés varient entre 44 000m³ sur la station Tête Dure amont à 1 870 000m³ sur la station Gol. Les coefficients de ruissellement les plus élevés dépassent 50% sur les stations amont et la station Bernica à mi-pente. Les coefficients de ruissellement des stations de basses altitudes varient entre 7% et 25% sur l'évènement Fakir. Les tempêtes Danilo (12/01/2021) et Iman (07/03/2021) ont impacté essentiellement le nord de la planèze et ont provoqué des crues d'intensité inférieure à celles de Fakir.

Le temps de transfert des crues est plus rapide sur les ravines Colimaçons et du Trou à Saint-Leu que sur la Ravine Tête Dure à Saint-Paul. Les caractéristiques naturelles (coefficient de compacité et densité de drainage maximale) des bassins versants pourraient expliquer ces différences.

Les suivis montrent que la recharge des nappes a lieu principalement lors d'évènements pluvieux significatifs capables de saturer la réserve utile du sol.

Les calculs des bilans hydrologiques de l'année 2020 ont été réalisés à plusieurs échelles spatiales. Les échelles analysées ont été les bassins versants équipés, la planèze et les communes. La situation pluviométrique de l'année 2020 est déficitaire dans le nord de la planèze et légèrement excédentaire dans la partie sud.

Les volumes précipités de l'année 2020 varient entre 109 000 m³ sur le plus petit bassin versant suivi « station Dussac » et 113 500 000 m³ sur le plus grand bassin versant suivi « station Gol ». Le volume précipité à l'échelle de la planèze Ouest est de 510 000 000 m³ environ avec une forte disparité spatiale observée entre les communes. Les communes du nord de la planèze, Saint-Paul et Trois Bassins, concentrent 30% des précipitations de la planèze sur 48% de la surface totale de la planèze alors que les communes du sud, Saint-Leu, Les Avirons, L'Etang-Salé et Saint-Louis, concentrent 70% des précipitations sur 52% de la surface.

L'évapotranspiration varie avec l'altitude et les saisons. Elle est homogène du nord au sud de la planèze. Le volume évapotranspiré annuel calculé pour l'ensemble de la planèze Ouest est environ 355 000 000 m³ soit 70% des précipitations en 2020.

Le ruissellement sur la planèze Ouest en 2020 est de 19 000 000 m³, soit 4% des précipitations, dont 52% provient du ruissellement de la Ravine Saint-Gilles. A l'échelle des stations, les volumes ruisselés de l'année 2020 varient entre 0 m³ sur la station Tête Dure aval et 10 000 000 m³ sur la station Saint Gilles. Parmi les stations en ravine intermittente, le volume ruisselé le plus élevé est enregistré sur la station Gol avec 3 650 000 m³. Hormis les écoulements pérennes de la Ravine Saint Gilles à Saint-Paul, les écoulements en ravines intermittentes des communes de Saint-Paul et Trois Bassins représentent 6% du ruissellement total de la planèze en 2020 contre 94% sur les communes du sud, de Saint-Leu à Saint-Louis. Rappelons que les valeurs de ruissellement aux échelles spatiales, planèze, communes et bassins non équipés de seuil déversoir sont globalement sous-estimées.

L'infiltration totale sur la planèze en 2020 correspond à 27% des précipitations. Sur 136 000 000 m³ d'eau infiltrée, environ 100 000 000 m³ atteindraient les nappes souterraines en estimant une réserve utile approximative de 80mm. Rappelons que l'estimation des volumes infiltrés de cette étude comporte plusieurs limites : une approximation de la réserve utile, une surestimation globale des valeurs aux échelles spatiales, planèze, communes et bassins non équipés de seuil déversoir, une non intégration des volumes irrigués et des volumes issus de l'assainissement non collectif.

Les bilans hydrologiques ont également été calculés aux échelles saison sèche et saison humide. En plus de la disparité spatiale des précipitations en 2020, une forte disparité saisonnière est observée. Sur la planèze Ouest, 91% des précipitations de l'année 2020 ont lieu pendant les mois de la saison humide contre 9% des précipitations en saison sèche.

La saison sèche 2020 est marquée par une évapotranspiration supérieure aux précipitations traduisant un stress hydrique des cultures. Cela confirme l'importance de l'irrigation des champs dans ce secteur pour pallier au déficit naturel. Hormis sur la Ravine Saint-Gilles aucun ruissellement naturel n'est observé à l'exutoire des bassins versants des ravines de l'ouest. L'infiltration est estimée nulle.

Au-delà d'une hétérogénéité saisonnière des précipitations, une hétérogénéité annuelle est également observée. Les volumes précipités sont d'environ 544 000 000 m³ en saison humide 2019/2020 contre 327 000 000m³ en saison humide 2020/2021. La saison humide 2019/2020 est déficitaire dans le nord de la planète et excédentaire dans la partie sud alors que la saison humide 2020/2021 est globalement déficitaire sur l'ensemble de la planète.

Les saisons humides favorisent le ruissellement et l'infiltration mais leurs valeurs sont variables selon les précipitations. Deux fois plus de ruissellement sont estimés sur la planète Ouest pendant la saison humide 2019/2020 (21 000 000 m³) que sur la saison 2020/2021 (11 000 000 m³) et 280 000 000m³ infiltrés en 2019/2020 contre 74 000 000m³ en 2020/2021. En déduisant de ces valeurs une réserve utile approximative de 80mm, soit 37 000 000m³, il est estimé une recharge globale de la planète d'environ 240 000 000m³ (soit environ 500 litres par m²) en 2019/2020 contre 40 000 000m³ (soit environ 90 litres par m²) en 2020/2021. Cependant cette recharge n'est pas homogène sur la planète, l'excédent pluviométrique du sud induit une recharge favorable des nappes de ce secteur en 2019/2020.

Bibliographie

(s.d.).

Bessière, H., & Allier, D. (2011). *Méthode de quantification de la ressource en eau souterraine de l'île de la Réunion*. Récupéré sur Infoterre: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59682-FR.pdf>

Chopart, J.-L., Mézino, M., & Nativel, R. (2003). *Fluctuation saisonnière de l'évapotranspiration (ETo Penman-Monteith) en fonction de l'altitude dans l'Ouest et le Sud de l'île de la Réunion. Application à une modélisation empirique de l'ETo*. Récupéré sur CIRAD: <https://agritrop.cirad.fr/515111/>

Cirad aware. (s.d.). Récupéré sur aware.cirad.fr: https://aware.cirad.fr/maps/new?layer=geonode:classif_gabir_2016_2017&view=True

DAAF. (2012). *Présentation générale de l'agriculture à la Réunion*. Récupéré sur daaf.reunion.agriculture.gouv.fr: https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GAR-2012-LaReunion-MaquetteInternet_cle0ae949.pdf

Densité de drainage. (2018, 07 26). Récupéré sur glossaire-eau.fr: <http://www.glossaire-eau.fr/concept/densit%C3%A9-de-drainage>

H. BENDJOURI, P. H. (2002, 12). *Le coefficient de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versant*. Récupéré sur Hydrologie.org: http://www.hydrologie.org/hsj/470/hysj_47_06_0921.pdf

Insee. (2021, 06 30). *Dossier complet commune de l'Etang Salé*. Récupéré sur INSEE: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-97404>

Insee. (2021, 06 30). *Dossier complet commune de Saint Louis*. Récupéré sur Insee: https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-97414#graphique-POP_G2

Insee. (2021, 06 30). *Dossier complet commune des Avirons*. Récupéré sur Insee: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-97401>

Insee. (2021, 06 30). *Dossier Complet commune des Trois Bassins*. Récupéré sur INSEE: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=COM-97423>

Insee. (2021, 06 30). *Dossier complet de la commune de Saint Leu*. Récupéré sur INSEE: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-97413>

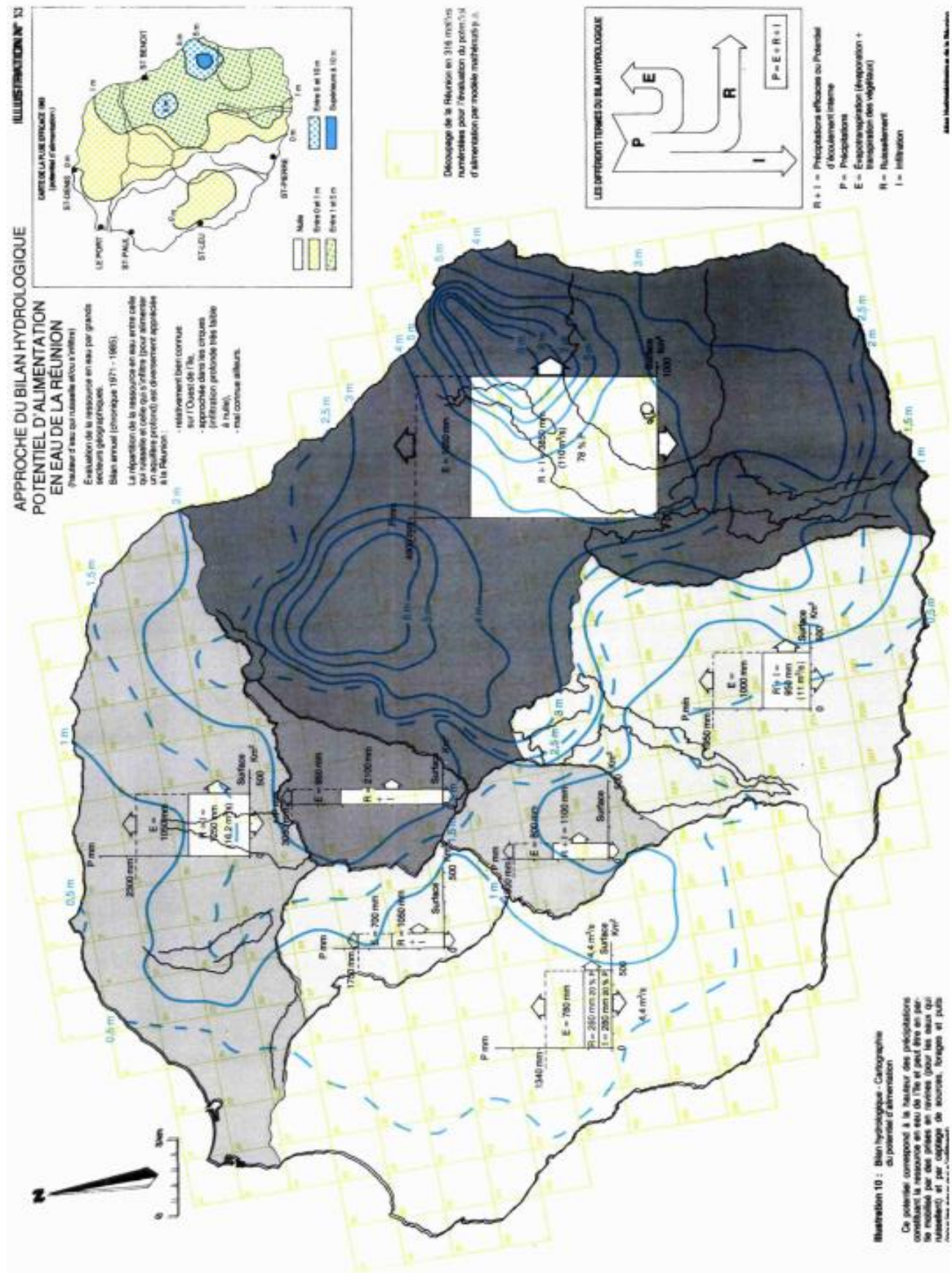
Insee. (2021, 06 30). *Dossier complet de la commune de Saint Paul*. Récupéré sur INSEE: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-97415>

L. STIELTJES, M. S. (1986, 10). *Atlas Hydrogéologique de la Réunion*. Saint Denis: BRGM. Récupéré sur BRGM.

Lacquement, F., & Nehlig, P. (2014). *Carte géologique des cirques du Massif*. Récupéré sur BRGM: http://geolfrance.brgm.fr/sites/default/files/upload/documents/revues_articles_gf4-1-2014.pdf

- l'eau, O. d. (2019). *Présentation du BV 33067*. Récupéré sur données.eaureunion.fr:
https://donnees.eaureunion.fr/uploads/media/bv_presentation_33067-5cc69337b4ea9.pdf
- l'eau, O. d. (2021, 02). Note interne sur la définition des courbes de tarages des 14 stations du réseau d'étude des ravines de l'ouest.
- l'eau, O. d. (2021). *Présentation du BV 15057*. Récupéré sur donnees-eaureunion.fr:
https://donnees.eaureunion.fr/uploads/media/bv_presentation_15057-5d48f2de37719.pdf
- MétéoFrance. (s.d.). *Carte annuelle de pluviométrie*. Récupéré sur Météo France:
<http://www.meteofrance.re/climat/pluies-annuelles>
- MétéoFrance. (s.d.). *Climat de la Réunion*. Récupéré sur Météo France:
<http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat>
- MétéoFrance. (s.d.). *Précipitation Cumul avril 2018*. Récupéré sur www.meteofrance.re:
http://www.meteofrance.re/documents/3714872/59433156/CumulRR_201804.gif
- MétéoFrance. (s.d.). *Précipitation Cumul janvier 2021*. Récupéré sur www.meteofrance.re:
http://www.meteofrance.re/documents/3714872/86929425/CumulRR_202101.gif
- MétéoFrance. (s.d.). *Précipitation sur la Réunion rapport à la normale avril 2018*. Récupéré sur
www.meteofrance.re:
http://www.meteofrance.re/documents/3714872/59433156/RapportRR_201804.gif
- MétéoFrance. (s.d.). *Précipitation sur la Réunion rapport à la normale janvier 2021*. Récupéré sur
www.meteofrance.re:
http://www.meteofrance.re/documents/3714872/86929425/RapportRR_202101.gif
- MétéoFrance. (s.d.). *Précipitation sur la Réunion rapport à la normale mars 2021*. Récupéré sur
www.meteofrance.re:
http://www.meteofrance.re/documents/3714872/86929425/RapportRR_202103.gif
- Patrick BACHELERY, P. M. (2006). *Carte géologique de la Réunion*. Récupéré sur BRGM:
https://edutheque.brgm.fr/sites/default/files/edutheque/kits_pedagogiques/reunion/fichier/carte/Reunion_KIT.pdf

ANNEXE 1 Bilan Hydrologique du BRGM 1986⁵

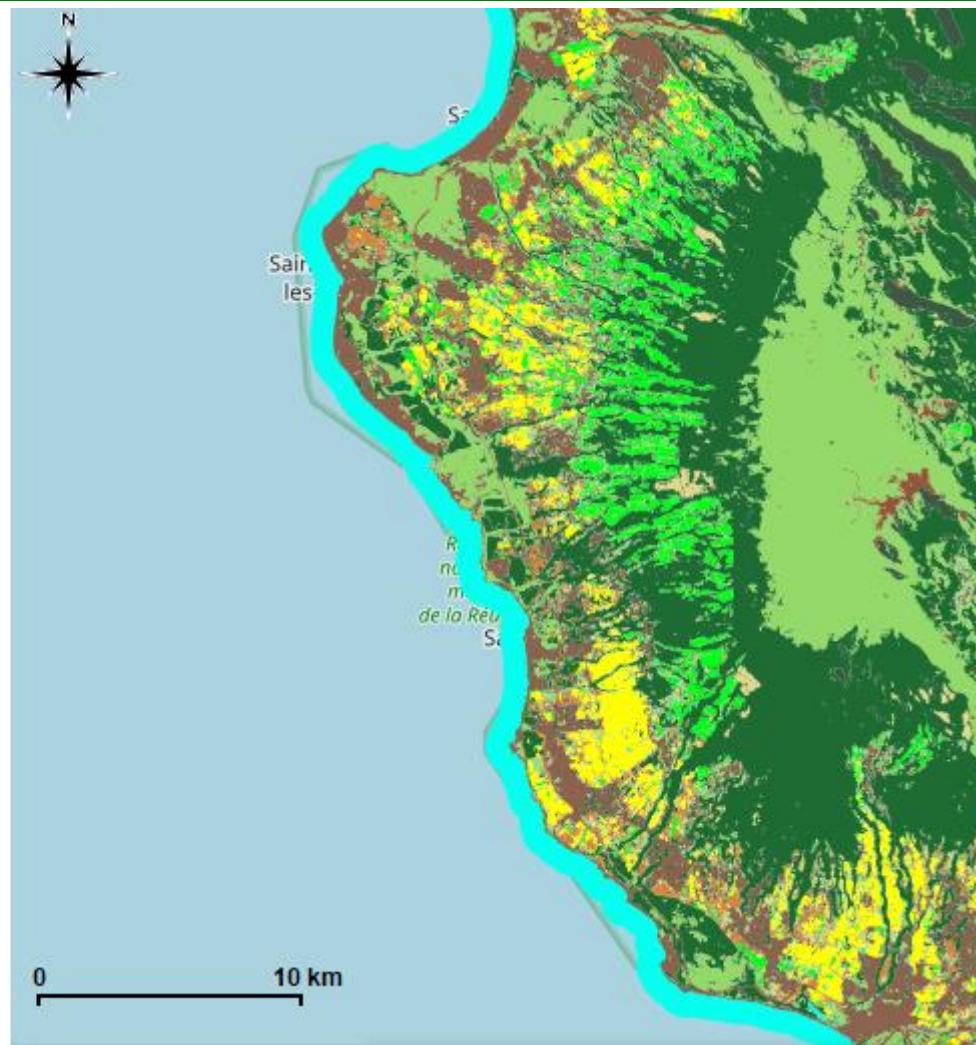


⁵ (L. STIELTJES, 1986)

ANNEXE 2 Carte d'occupation des sols⁶

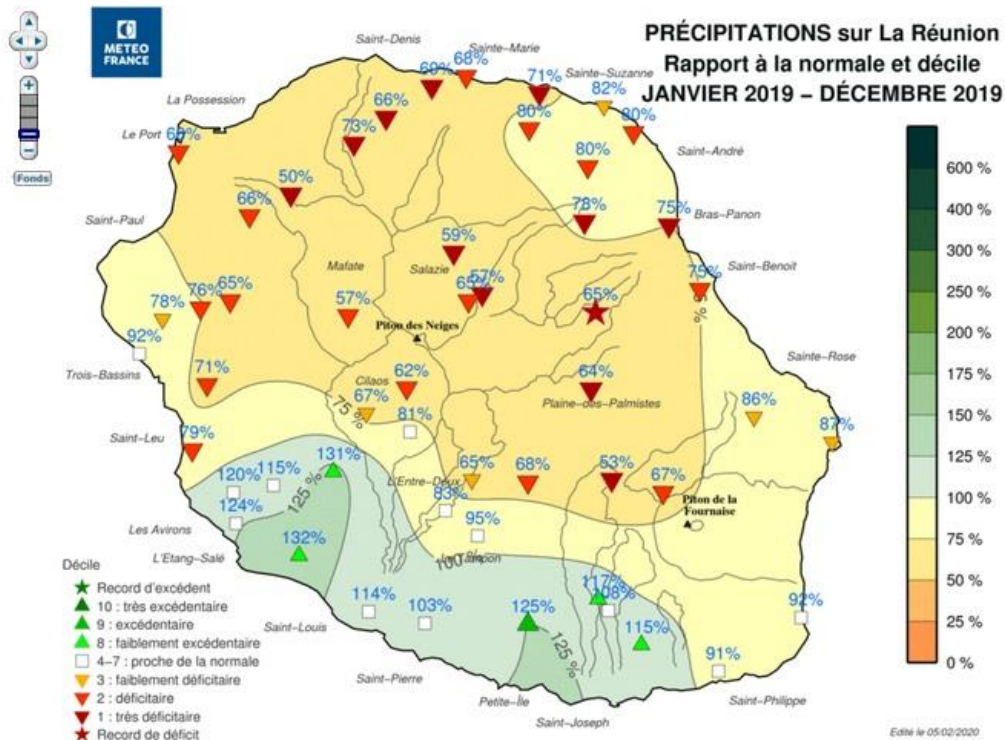
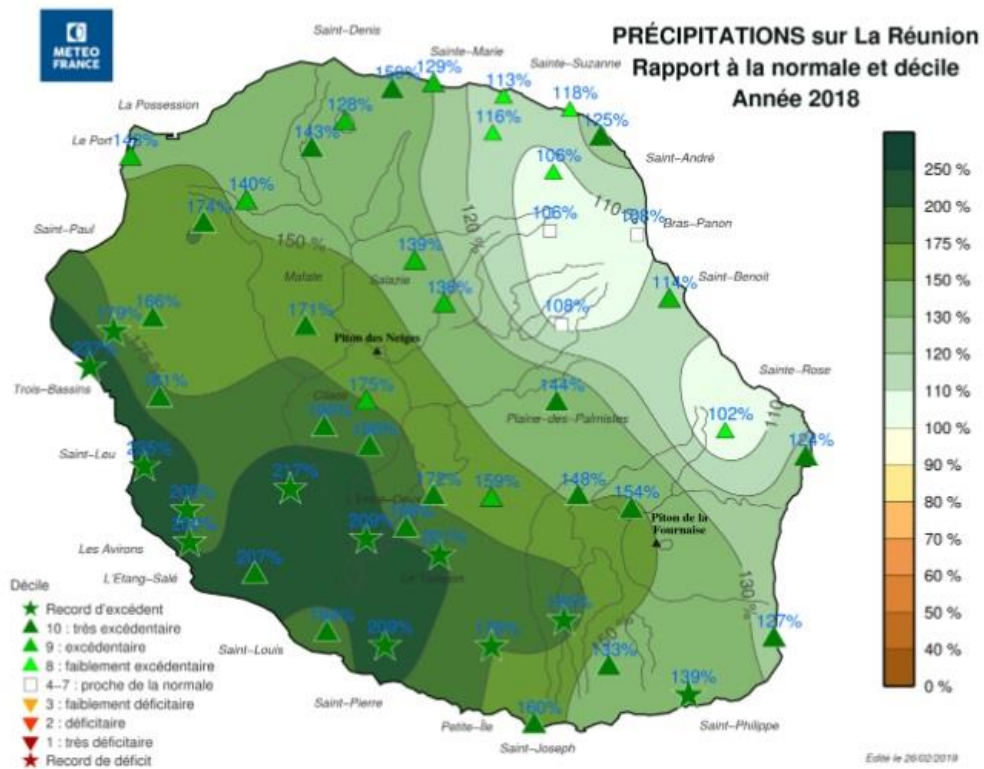
Légende

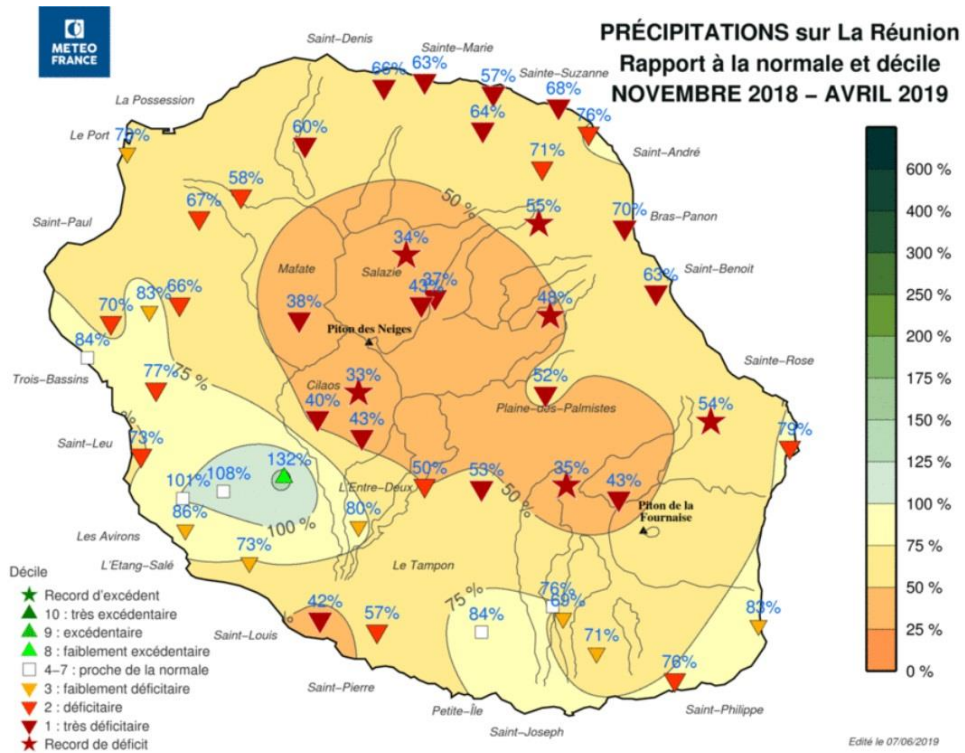
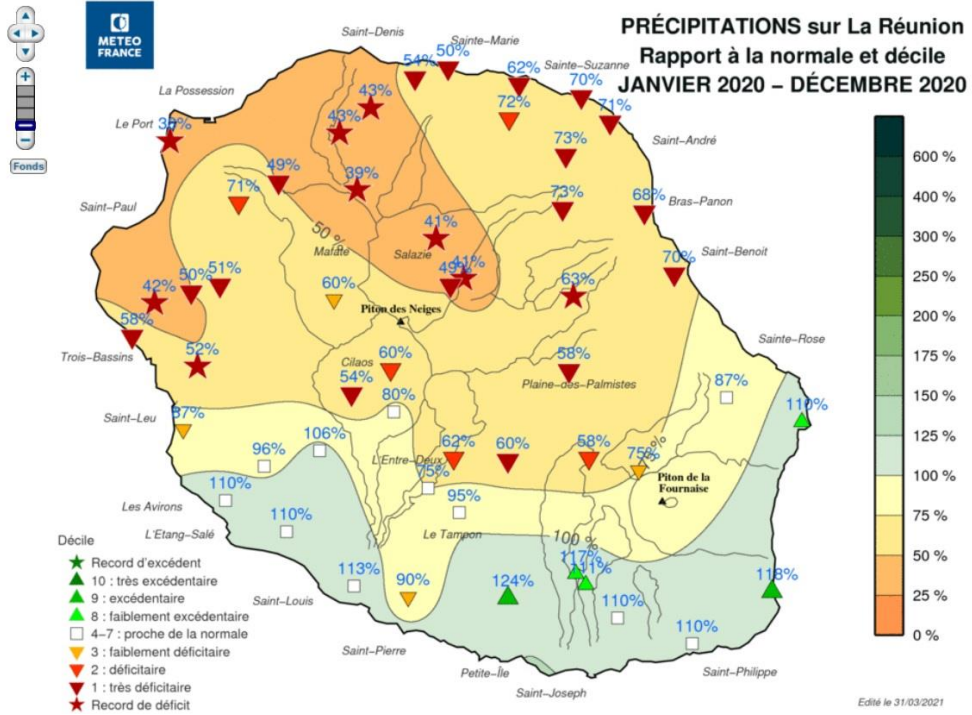
- Canne a sucre
- Culture maraichere
- Foret
- Ombre due au relief
- Plantation forestiere
- Prairie
- Roche nue
- Savane
- Surface en eau
- Verger
- Zone urbanisee



⁶ (Cirad aware, s.d.)

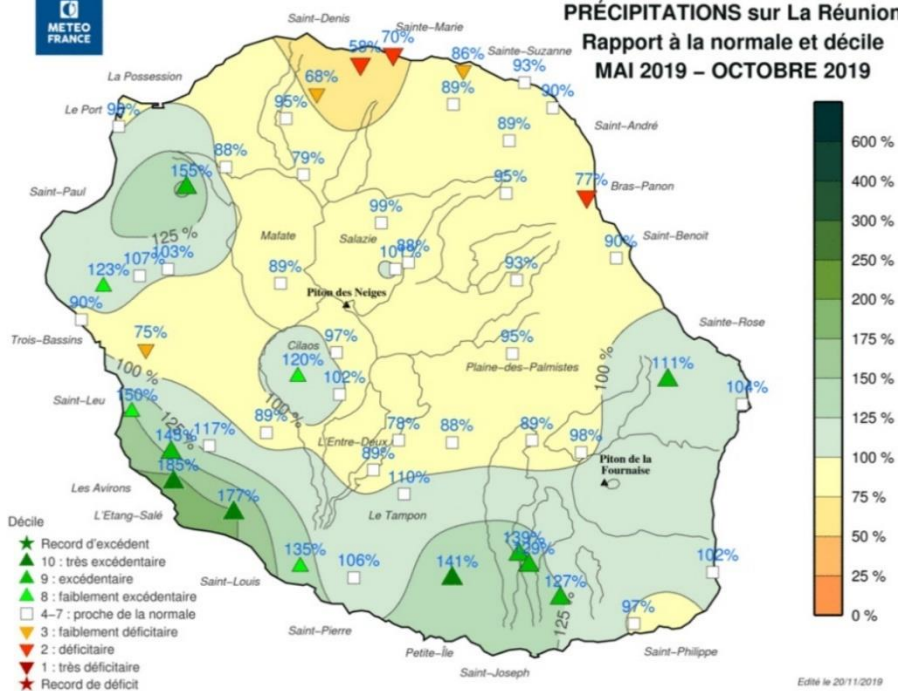
ANNEXE 3 Rapport de précipitation à la normale



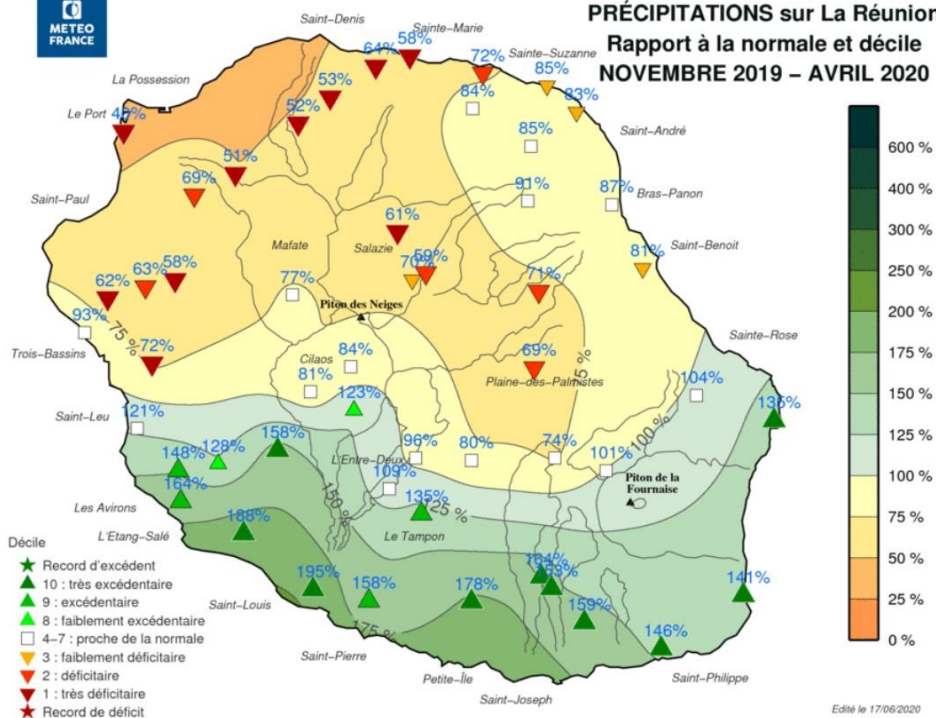




PRÉCIPITATIONS sur La Réunion Rapport à la normale et décile MAI 2019 – OCTOBRE 2019

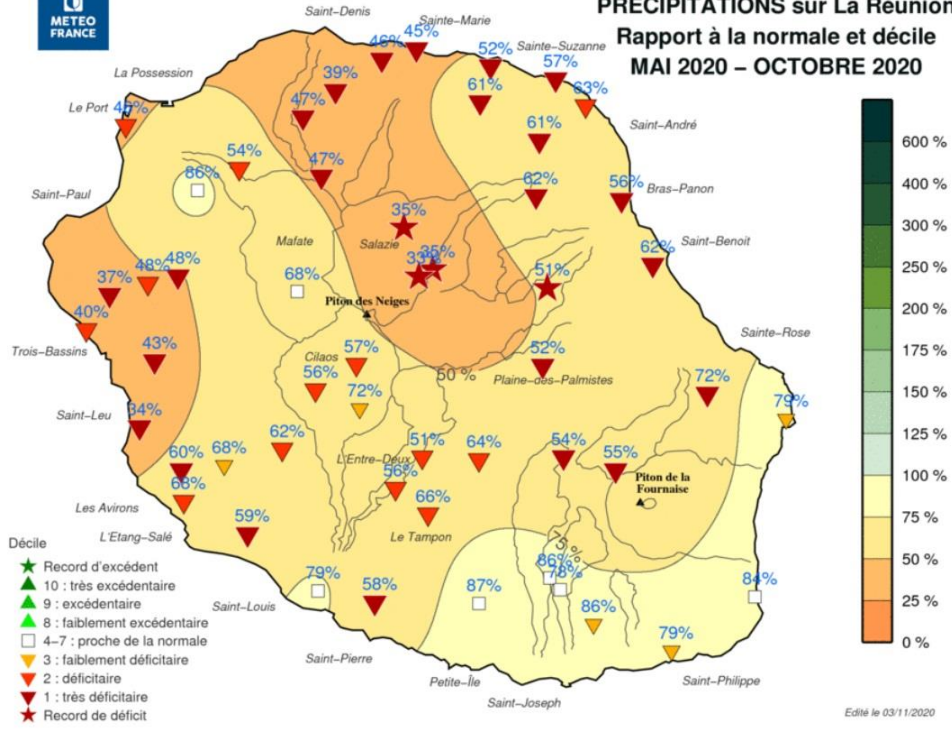


PRÉCIPITATIONS sur La Réunion Rapport à la normale et décile NOVEMBRE 2019 – AVRIL 2020

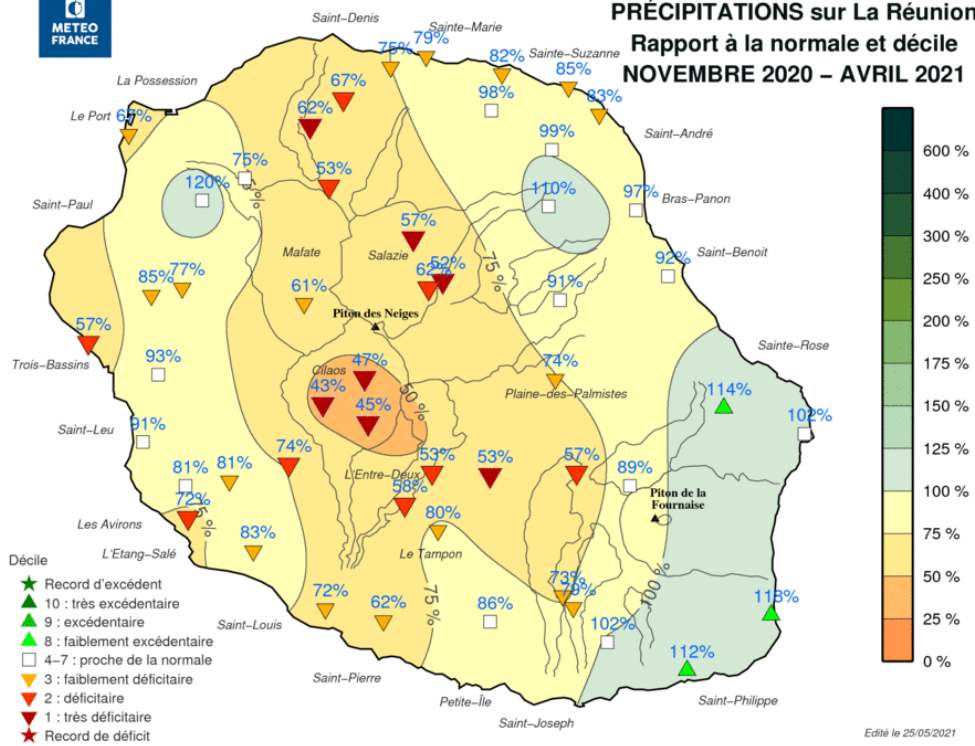




PRÉCIPITATIONS sur La Réunion Rapport à la normale et décile MAI 2020 – OCTOBRE 2020



PRÉCIPITATIONS sur La Réunion Rapport à la normale et décile NOVEMBRE 2020 – AVRIL 2021



ANNEXE 4 Caractéristiques des 38 bassins versants principaux de la planète Ouest

Ravines	Surface (km ²)	Coefficient de Gravelius	Densité de drainage maximale (km / km ²)	dénivellation maximale (m)
Ravine du Gol	69.43	1.96	4.14	2500
Ravine St Gilles	31.5	2.56	3.90	2300
Ravine des Manirons	28.52	1.67	4.17	1200
Ravine des Trois Bassins	25.5	2.45	5.80	2500
Ravine Bernica	23.4	2.60	5.05	2300
La Grande Ravine	22	2.69	7.09	2800
Ravine Sèche	18.5	3.11	5.51	2200
Ravine La Plaine	16.7	2.66	4.46	1700
ravine des Colimaçons	16.2	2.85	7.65	2800
Ravine des Avirons	16	2.93	6.46	2500
Ravine Divon	14.8	2.87	4.97	2200
Ravine du Trou	13.4	3.43	5.58	2500
Ravine Tête Dure	12.4	2.46	5.59	2000
Ravine de la Fontaine	12.3	2.80	7.32	2600
Ravine du Grand Etang	11.4	2.33	8.35	2100
Ravine de la Chaloupe	9.4	2.96	7.34	2400
Ravine de l'Ermitage	8.2	2.37	2.72	700
Petite Ravine	7.9	2.47	5.86	1700
Ravine Lolotte	7.8	2.23	3.33	1400
Ravine Du Cap	7.7	2.31	6.31	1700
Ravine du Ruisseau	7.6	2.60	6.25	1400
Ravine Bassin	7.3	3.01	4.96	1900
Fond Madiel	5.7	1.90	2.82	1000
Ravine Boucan Canot	5.4	2.05	1.85	400
Ravine Renaud	5.25	2.97	4.61	1300
Ravine de La Saline	5.1	4.41	3.67	1600
Ravine petite anse	4.9	2.42	2.33	700
Ravine Athanase	4.8	2.98	3.72	1200
Ravine des Poux	4.1	3.06	7.15	1800
Ravine de la Souris Chaude	3.9	3.39	1.03	1400
Ravine des sables	3.4	2.00	3.00	700
Ravine la Veuve	3.1	3.28	4.32	1200
Ravine Jardin	2.6	4.51	4.73	1700
Fond Bagatelle	1.9	2.76	3.74	1000
Ravine du portail	1.7	2.99	2.53	800
Ravine Grand Fond	1.4	1.99	1.79	100
Ravine Mila	1.4	1.82	3.14	400
Ravine Patent Slip	0.5	1.47	4.00	100
Légende	>50km ²	> 3 : BV fortement allongé	> ou = 5 très forte	>2000m
	entre 15 et 50 km ²	entre 1.8 et 3 : BV allongé	entre 3 et 6 forte	entre 500m et 2000m
	<15km ²	<1.8 : BV moyennement allongé	entre 1 et 3 moyenne	<500m

ANNEXE 5 Calcul de l'évapotranspiration

Extrait du tableau en annexe n°1 du rapport « Fluctuation saisonnière de l'évapotranspiration (ET₀ Penman-Monteith) en fonction de l'altitude dans l'Ouest et le Sud de l'île de la Réunion. Application à une modélisation empirique de l'ET₀ » par Chopart Jean-Louis, Mézino Mickaël et Nativel Raymond du CIRAD Réunion en juin 2003.

Mois	Décade	Gradient Et ₀ (mm m ⁻¹)	Et ₀ (mm j ⁻¹)
janvier	1	-0.0020	4.76
	2	-0.0018	4.76
	3	-0.0017	4.60
février	4	-0.0017	4.52
	5	-0.0019	4.70
	6	-0.0017	4.44
mars	7	-0.0017	4.23
	8	-0.0015	4.23
	9	-0.0017	4.18
avril	10	-0.0014	3.93
	11	-0.0011	3.57
	12	-0.0011	3.33
mai	13	-0.0010	3.10
	14	-0.0010	2.96
	15	-0.0009	2.76
juin	16	-0.0008	2.66
	17	-0.0008	2.56
	18	-0.0008	2.58
juillet	19	-0.0008	2.53
	20	-0.0008	2.59
	21	-0.0009	2.78
août	22	-0.0009	2.83
	23	-0.0010	3.05
	24	-0.0011	3.20
septembre	25	-0.0013	3.44
	26	-0.0012	3.53
	27	-0.0014	3.78
octobre	28	-0.0015	3.95
	29	-0.0016	4.00
	30	-0.0017	4.19
novembre	31	-0.0017	4.23
	32	-0.0019	4.48
	33	-0.0020	4.74
décembre	34	-0.0018	4.46
	35	-0.0019	4.76
	36	-0.0019	4.69