

ETAT DES LIEUX 2019

DESCRIPTION ET ETAT DES EAUX SOUTERRAINES



Crédit photo : Office de l'eau Réunion ©

Réalisé avec le soutien de l'AFB

AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

TABLE DES MATIERES

1	Définition et typologies des masses d'eau souterraine	5
2	L'état quantitatif des masses d'eau souterraine	6
2.1	Le Test « Balance »	6
2.1.1	Objectifs du test.....	6
2.1.2	Schéma de réalisation du test.....	6
2.1.3	Aspects méthodologiques	6
2.1.4	L'analyse des tendances piézométriques	8
2.1.5	Quantification des ressources disponibles	11
2.1.6	Rappel de la méthodologie mise en œuvre	12
2.1.7	Répartition spatiale du taux d'infiltration	14
2.1.8	Estimation des volumes infiltrés	16
2.1.9	Ajustement de la recharge des nappes à l'aide d'études complémentaires ..	19
2.1.10	Estimation des volumes prélevés.....	20
2.1.11	Calcul du ratio prélèvements / Recharge	22
2.1.12	Niveau de confiance du test.....	25
2.1.13	Références bibliographiques	26
2.2	Test « Intrusion saline ».....	27
2.2.1	Objectifs du test.....	27
2.2.2	Aspects méthodologiques	27
2.2.3	Les étapes de réalisation du test	28
2.2.4	Données utilisées	29
2.2.5	Evaluation de l'intrusion saline.....	29
2.2.6	Résultats du test « Intrusion saline »	30
2.2.7	Niveau de confiance du test et discussions	32
2.3	Test « Eaux de surface »	33
2.3.1	Objectifs du test.....	33
2.3.2	Schéma de réalisation.....	34
2.3.3	Données de prélèvements	35
2.3.4	Calculs effectués	35
2.3.5	Résultats du test « Eaux de surface » pour l'état quantitatif	35
2.3.6	Niveau de confiance du test et discussions	37
2.4	Test « Ecosystèmes terrestres associés »	38
2.4.1	Objectifs du test.....	38
2.4.2	Résultats du test	38
2.5	Synthèse de l'évaluation de l'état quantitatif.....	39
2.6	Analyse de l'effet des évolutions des méthodes d'évaluation « effet thermomètre »	40

3	L'état chimique des masses d'eau souterraine	42
3.1	Méthodologie de l'évaluation	42
3.1.1	Calcul des valeurs caractéristiques en chaque point de surveillance de la masse d'eau pour comparaison aux normes de qualité ou valeurs seuils	43
3.1.2	Données utilisées	44
3.1.3	L'enquête appropriée à l'échelle de la masse d'eau souterraine	44
3.2	Test « Qualité générale »	45
3.2.1	Objectifs du test	45
3.2.2	Schéma de réalisation	45
3.2.3	Résultats du test « Qualité générale »	46
3.2.4	Evaluation des incertitudes / niveau de confiance pour le test	48
3.3	Test « Intrusion saline »	49
3.3.1	Objectifs du test	49
3.3.2	Aspects méthodologiques	49
3.3.3	Données utilisées	51
3.3.4	Résultats du test « Intrusion saline »	52
3.3.5	Niveau de confiance du test et discussions	54
3.4	Test – Zones protégées pour l'alimentation en eau potable	55
3.4.1	Objectifs	55
3.4.2	Schéma de réalisation	56
3.4.3	Données utilisées	56
3.4.4	Résultats du test « Zones protégées pour l'AEP »	57
3.4.5	Evaluation des incertitudes	59
3.5	Test « Eaux de surface »	59
3.5.1	Objectifs du test	59
3.5.2	Schéma de réalisation	60
3.5.3	Données utilisées	61
3.5.4	Résultats du test « Eaux de surface » - Etat chimique	62
3.6	Test « Ecosystèmes terrestres associés »	66
3.6.1	Objectifs du test	66
3.6.2	Résultats du test	66
3.7	Synthèse de l'évaluation de l'état chimique	67
3.8	Analyse de l'effet des évolutions des méthodes d'évaluation « effet thermomètre »	69
4	Synthèse de l'état des masses d'eau souterraine	70

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Typologies des masses d'eau souterraine à l'échelle de l'île (BDLISA 2012)	5
Figure 2 : Schéma de réalisation du Test « Balance ».....	6
Figure 3 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12262X0172/P1-2A (P1-2A Stade)..	9
Figure 4 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12288X0089 / Ravine Blanche.....	9
Figure 5 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12264X0218 (S1 Champ Fleuri).....	9
Figure 6 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12272X0095 (P27 Belle Eau).....	10
Figure 7 : Résultats du calcul des tendances piézométriques	10
Figure 8: Evolution de la pluviométrie annuelle de 1961 à 2017 (Météo France).	11
Figure 9 : Représentation schématique de la méthodologie mise en œuvre (source : BRGM/RP-59682-FR).....	13
Figure 10 : Répartition du taux d'infiltration estimé à partir de l'IDPR (BRGM).....	14
Figure 11 : Estimation du taux d'infiltration par masse d'eau (BRGM).....	15
Figure 12 : Estimation de l'infiltration annuelle moyenne par masse d'eau	16
Figure 13 : Extension des zones urbanisées au droit des masses d'eau souterraine.....	17
Figure 14 : Volumes infiltrés à l'échelle des masses d'eau souterraine	18
Figure 15 : Estimation de la recharge à l'échelle des masses d'eau souterraine	19
Figure 16 : Evolution des prélèvements depuis 2005 (source : Office de l'eau Réunion).20	
Figure 17 : Volumes d'eau souterraine prélevés en 2014 (Données BNPE)	20
Figure 18 : Répartition des prélèvements en eau souterraine	21
Figure 19 : Répartition du ratio prélèvements/recharge.....	23
Figure 20 : Types d'intrusions salines d'origine marine ou autre (UKTAK paper 11b(i))..	27
Figure 21 : Schéma de réalisation du Test « Intrusion saline »	28
Figure 22 : Résultats du test « Intrusion saline » pour les masses d'eau souterraine	32
Figure 23 : Logigramme du Test « Eaux de surface » - Etat quantitatif.....	34
Figure 24 : Résultats du Test « Eaux de surface » - Etat quantitatif	36
Figure 25 : Logigramme du test « Ecosystèmes terrestres associés » - Etat quantitatif..	38
Figure 26 : Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine.....	39
Figure 27: Les étapes de l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine..	43
Figure 28 : Schéma de réalisation du test « Qualité générale »	45
Figure 29 : Résultats du test « Qualité générale »	47
Figure 30 : Types d'intrusions salines d'origine marine ou autre (UKTAK paper 11b(i))..	49
Figure 31 : Schéma de réalisation du Test « Intrusion saline »	50
Figure 32 : Résultats du test « Intrusion saline » pour les masses d'eau souterraine	54
Figure 33: Schéma de réalisation du Test « Zones protégées pour l'AEP »	56
Figure 34 : Résultats du Test « Zones protégées pour l'AEP »	57
Figure 35 : Test AEP: état chimique et niveau de confiance	59
Figure 36 : Logigramme du Test « Eaux de surface » - Etat chimique.....	60
Figure 37 : Liste indicative de paramètres à considérer pour le test « Eaux de surface ».	61

Figure 38 : Masses d'eau de surface à RNAOE en 2013.....	62
Figure 39 : Etat écologique des masses d'eau « cours d'eau ».....	63
Figure 40 : Logigramme du test « Ecosystèmes terrestres associés » - Etat chimique ...	66
Figure 41 : Evaluation de l'état qualitatif des masses d'eau souterraine.....	67
Figure 42 : Evaluation de l'état global des masses d'eau souterraine.....	70

1 Définition et typologies des masses d'eau souterraine

L'article 2 de la Directive Cadre définit une masse d'eau souterraine comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères ». Un aquifère est défini comme « une ou plusieurs couches souterraines ou autres couches géologiques d'une porosité et perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine ».

Aussi, la Réunion compte 27 masses d'eau souterraine.

Cinq typologies hydrogéologiques peuvent être distinguées :

- Les formations volcaniques d'altitude (12 masses d'eau)
- Les formations volcaniques littorales (5 masses d'eau)
- Les formations volcaniques et sédimentaires (2 masses d'eau)
- Les formations volcaniques et volcano-sédimentaires (4 masses d'eau)
- Les formations volcano-détritiques (3 masses d'eau)
- Les formations aquitardes (1 masse d'eau)

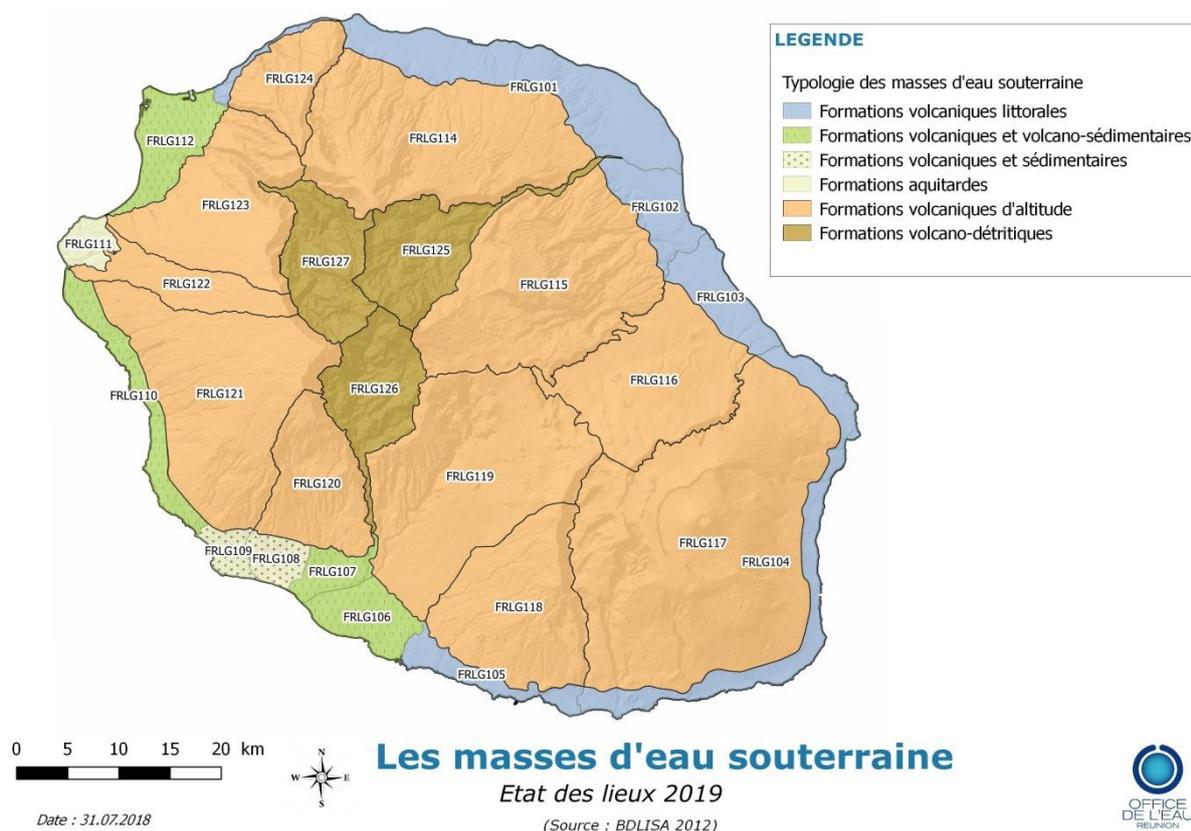


Figure 1 : Typologies des masses d'eau souterraine à l'échelle de l'île (BDLISA 2012)

L'évaluation de l'état de ces masses d'eau s'établit au regard de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives, ainsi que les circulaires et guide d'application correspondants. Ces documents définissent les valeurs seuils réglementaires et méthodologie à appliquer pour caractériser les eaux souterraines.

2 L'état quantitatif des masses d'eau souterraine

L'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine se fait à l'aide de 4 tests décrits dans la circulaire du 23 octobre 2012 relative à la détermination de l'état des eaux souterraines :

- le test « Balance »,
- le test « Intrusion saline »,
- le test « Eau de surface »,
- le test « Ecosystèmes terrestres associés ».

2.1 Le Test « Balance »

2.1.1 Objectifs du test

Le test permet d'évaluer l'équilibre entre la ressource disponible et les prélèvements à l'échelle globale de la masse d'eau. L'analyse comprend deux calculs indépendants et un organigramme qui permet la caractérisation de l'état de la masse d'eau pour ce test.

2.1.2 Schéma de réalisation du test

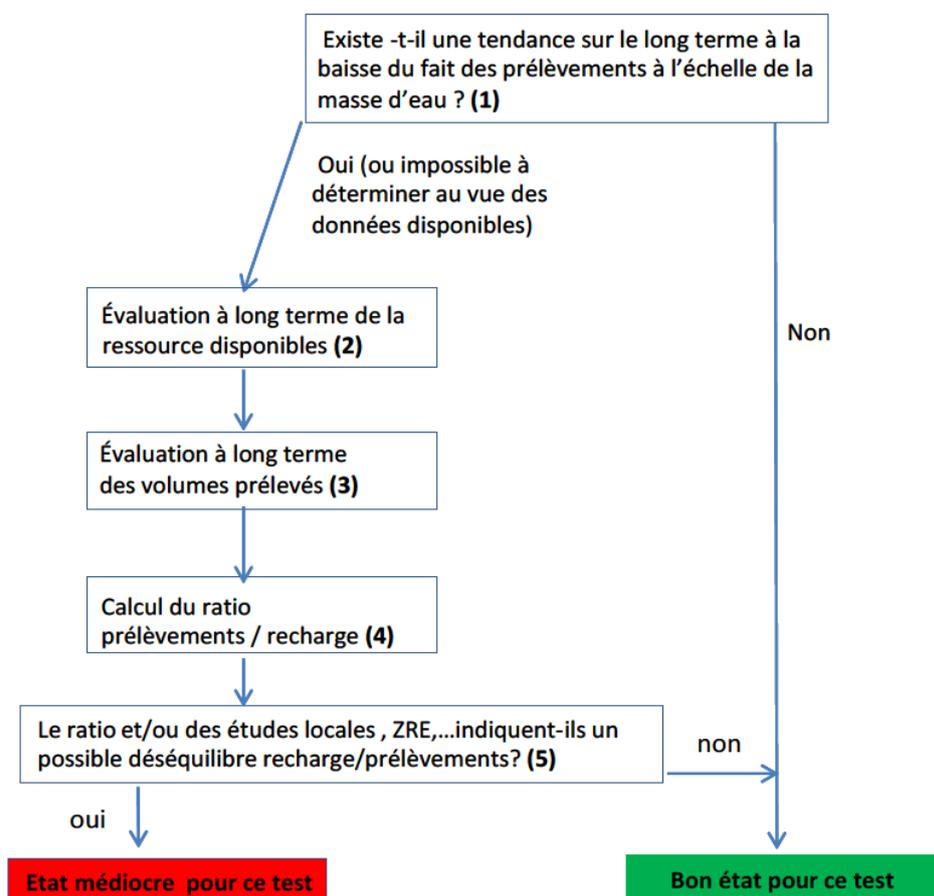


Figure 2 : Schéma de réalisation du Test « Balance »

2.1.3 Aspects méthodologiques

a) La période de référence :

- l'estimation des tendances d'évolution à long terme s'est faite sur une durée de 12 ans (2 cycles DCE) et au minimum 10 ans pour les nappes sans évolution cyclique.
- Les chroniques affichant des lacunes sur quelques mois ont été intégrées à l'analyse lorsque le suivi s'étend sur plus de 10 ans. C'est notamment le cas des piézomètres P2-1A Stade (Le Port), P6 Hermitage (Ouest) et le Piézomètre de la Ravine Blanche (Saint-Pierre).
- L'estimation de la recharge utilise les données de pluie efficace annuelle moyenne sur la période 1992-2017. Pour les aquifères côtiers stratégiques, la recharge a été calculée à l'aide de modèles hydrogéologiques réalisés par l'Office de l'eau Réunion. L'estimation des volumes prélevés se fait par addition des volumes annuels exploités à chaque captage situé au sein de la masse d'eau souterraine. L'année moyenne la plus récente choisie est 2014.

b) Les réseaux et points d'observation :

Tous les points d'eau du réseau DCE disposant de données piézométriques et autres réseaux de l'Office de l'eau Réunion jugés pertinents de par la longueur de la chronique et la représentativité des points ont été analysés.

Tous les points d'eau souterraine disposant d'information sur les volumes prélevés disponibles auprès de l'Office de l'eau et de la BNPE (Banque nationale des prélèvements d'eau) ont été pris en compte.

NB : Les prélèvements de sources, dès lors qu'ils ne font appel qu'à des dispositifs de captage gravitaire, seront affectés aux eaux de surface et ne seront donc pas pris en compte dans l'établissement du bilan hydrogéologique à l'échelle de la masse d'eau souterraine.

c) Eléments/paramètres utilisés :

Niveaux d'eau – réseau piézométrique de l'Office de l'eau Réunion

Volumes annuels exploités (BNPE)

Pluie efficace (ou recharge) : les valeurs moyennes annuelles sur la période 1992-2017 calculées à partir des données téléchargées de la Publiothèque de Météo France.

d) Calculs effectués

Etape 1 : Estimation des tendances d'évolution des niveaux piézométriques à l'échelle de la masse d'eau (pour les masses d'eau libres ou majoritairement libres)

- Il s'agit :
 - d'identifier les points du réseau DCE (et si nécessaire les autres réseaux jugés pertinents) et la longueur des chroniques associées,
 - d'effectuer les calculs de tendances d'évolution au point d'eau et à la masse d'eau et à toute échelle jugée pertinente (secteur de masse d'eau) en se basant sur les recommandations du guide « tendances » et en tenant compte des conditions climatiques.

D'après le guide méthodologique, une baisse de la piézométrie est représentative lorsque le rabattement concerne au moins 20% de la masse d'eau. Compte tenu des fortes transmissivités des aquifères volcaniques, la représentativité de 20% de la surface de la masse d'eau est évaluable qu'à l'aide de suivis piézométriques multiples.

Si une tendance n'est détectée que sur un seul point de la masse d'eau (limite de représentativité vue ci-dessus) ou si le calcul de la tendance n'est pas possible, l'état quantitatif est évalué à partir du bilan hydrogéologique.

Etape 2 : Etablissement du bilan hydrogéologique (nappes libres ou majoritairement libres)

$$\text{Ratio}_{[\text{MESO}]} = \frac{\text{Volume annuel prélevé sur l'année moyenne la plus récente}}{\text{Recharge annuelle moyenne par infiltrations}}$$

2.1.4 L'analyse des tendances piézométriques

L'analyse des tendances piézométriques pour La Réunion a été réalisée par le BRGM (Bessière 2018).

La méthodologie nationale de calcul des tendances est tirée d'une note réalisée par le BRGM en septembre 2017 intitulée : « Calculs des tendances piézométriques dans le cadre de l'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine ».

Pour un grand nombre de piézomètres, notamment ceux de l'Ouest de l'île, le calcul des tendances n'a pas été réalisé par le BRGM car leur chronique comporte moins de 10 années avec au moins une donnée par mois.

Sur le piézomètre S1 Champ Fleuri (Saint-Denis), la tendance à la baisse semble être accentuée par une plus faible intensité des épisodes cycloniques ces dernières années dans la zone concernée marquée par des pics piézométriques moins prononcés. Les mêmes observations se présentent sur le piézomètre P27 Belle Eau (Sainte-Suzanne).

Une tendance à la baisse a été observée également sur le piézomètre de la Ravine des Chèvres (Sainte-Marie) et P14 Champ Borne (Saint-André).

Par ailleurs, deux ouvrages comportant plus de 10 années de données avec des lacunes pour certains mois ont été intégrés à l'analyse et permettent de mettre en évidence une tendance à la baisse dans les masses d'eau suivies. Ainsi, dans les secteurs Ouest (FRLG112 Plaine des Galets) et Sud (FRLG106 Saint-Pierre), une tendance à la baisse de la piézométrie est observée sur deux ouvrages : le piézomètre P1-2A Stade (Le Port) et le piézomètre de la Ravine Blanche (Saint-Pierre). Cette évolution traduit un effet de l'augmentation des prélèvements en eau souterraine, accentué par la période déficitaire de 2010 à 2017.

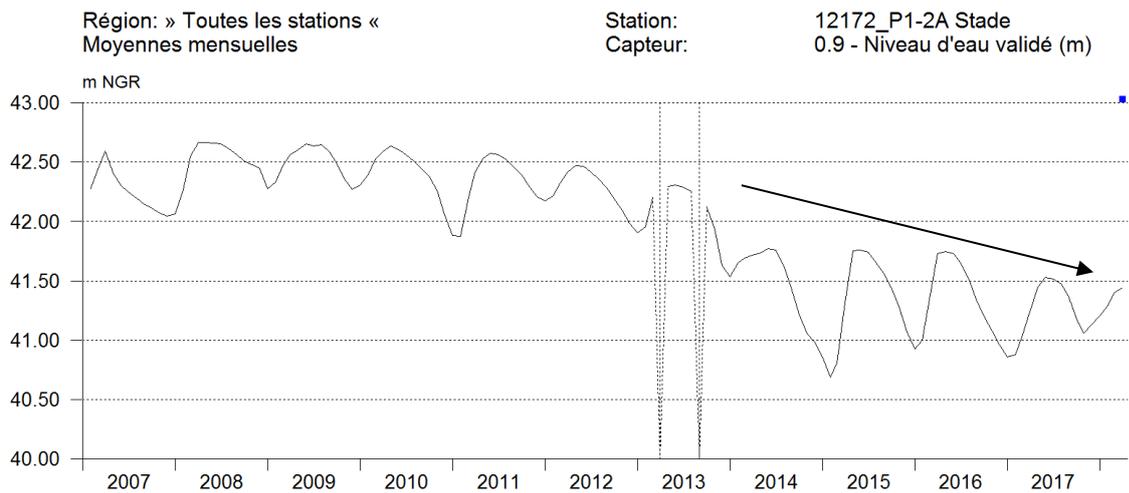


Figure 3 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12262X0172/P1-2A (P1-2A Stade).

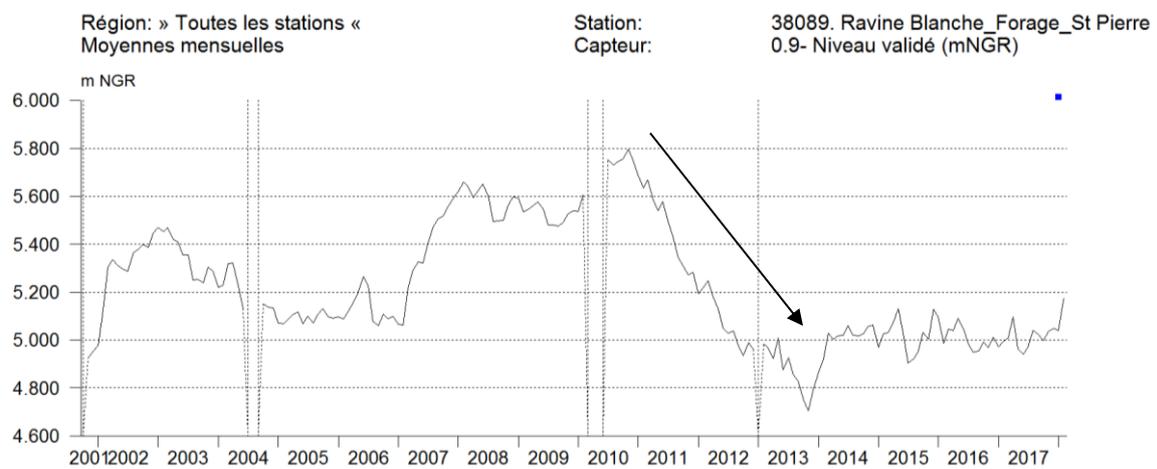


Figure 4 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12288X0089 / Ravine Blanche.

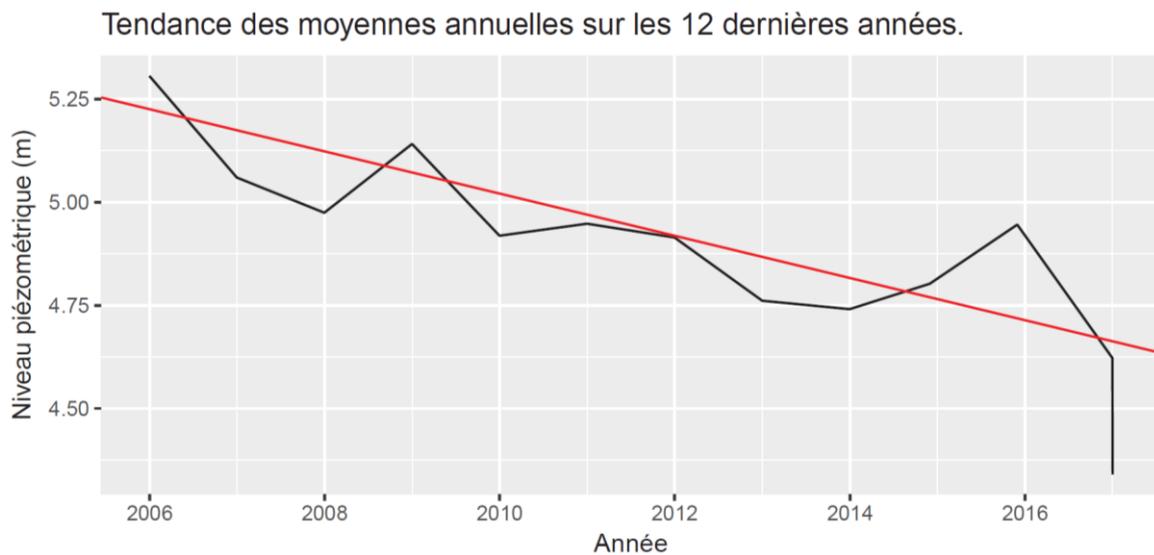


Figure 5 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12264X0218 (S1 Champ Fleuri)

Tendance des moyennes annuelles sur les 12 dernières années.

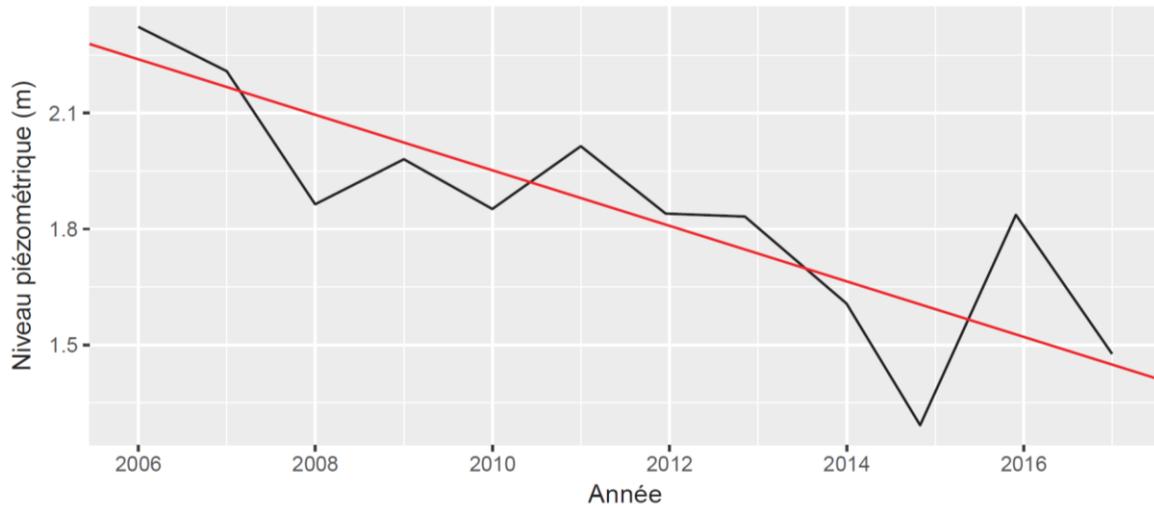


Figure 6 : Evolution de la piézométrie sur l'ouvrage 12272X0095 (P27 Belle Eau)

En somme, une tendance à la baisse est observée pour des piézomètres appartenant aux masses d'eau souterraine ;

- FRLG101 « Formations volcaniques du Littoral Nord » (S1 Champ Fleuri, P27 Belle Eau, P14 Champ Borne, Piézomètre de la Ravine des Chèvres),
- FRLG106 « Formations volcaniques et sédimentaires du Littoral de Saint-Pierre » (Piézomètre de la Ravine Blanche) et
- FRLG112 « Formations volcaniques et sédimentaires de la Plaine des Galets » (Piézomètre P1-2A Stade).

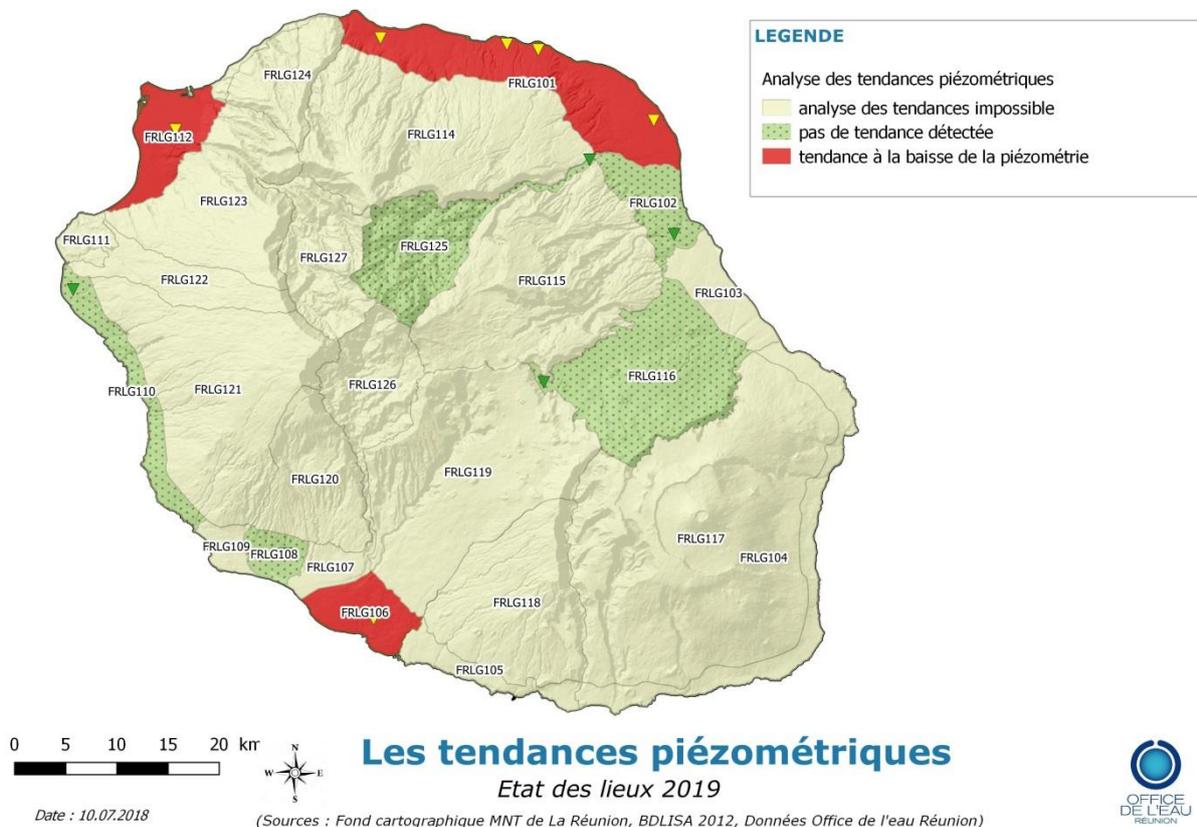


Figure 7 : Résultats du calcul des tendances piézométriques

2.1.5 Quantification des ressources disponibles

La quantification spatiale des ressources en eau souterraine de La Réunion a été réalisée en 2011 par le BRGM dans le cadre d'un partenariat avec l'ONEMA (Bessière et Allier, 2011 - BRGM/RP-59682-FR). Ce travail a permis d'obtenir une évaluation de la recharge moyenne sur l'ensemble des masses d'eau souterraine de l'île sur la base de données climatiques représentatives de près de 40 années d'observation (1970-2010).

Compte tenu de la quantité des données analysées et de la diversité des outils déployés, l'estimation réalisée par l'étude précédente est jugée représentative. Il a donc été proposé d'exploiter les résultats obtenus pour l'étude de la recharge des masses d'eau souterraine dans le cadre du présent état des lieux.

Cependant, l'estimation de la pluie efficace moyenne par les auteurs cités précédemment a été réalisée en partant d'une pluviométrie annuelle moyenne calculée sur une chronique de 10 ans (2001-2010). Or, les sept dernières années sont caractérisées par l'entrée dans un cycle hydrologique déficitaire, à l'exception de l'année 2015 (Figure 8). Aussi, il a été jugé pertinent de recalculer les bilans à l'échelle des masses d'eau en modifiant le signal pluviométrique d'entrée afin d'intégrer les données pluviométriques de la période récente 2011-2017.

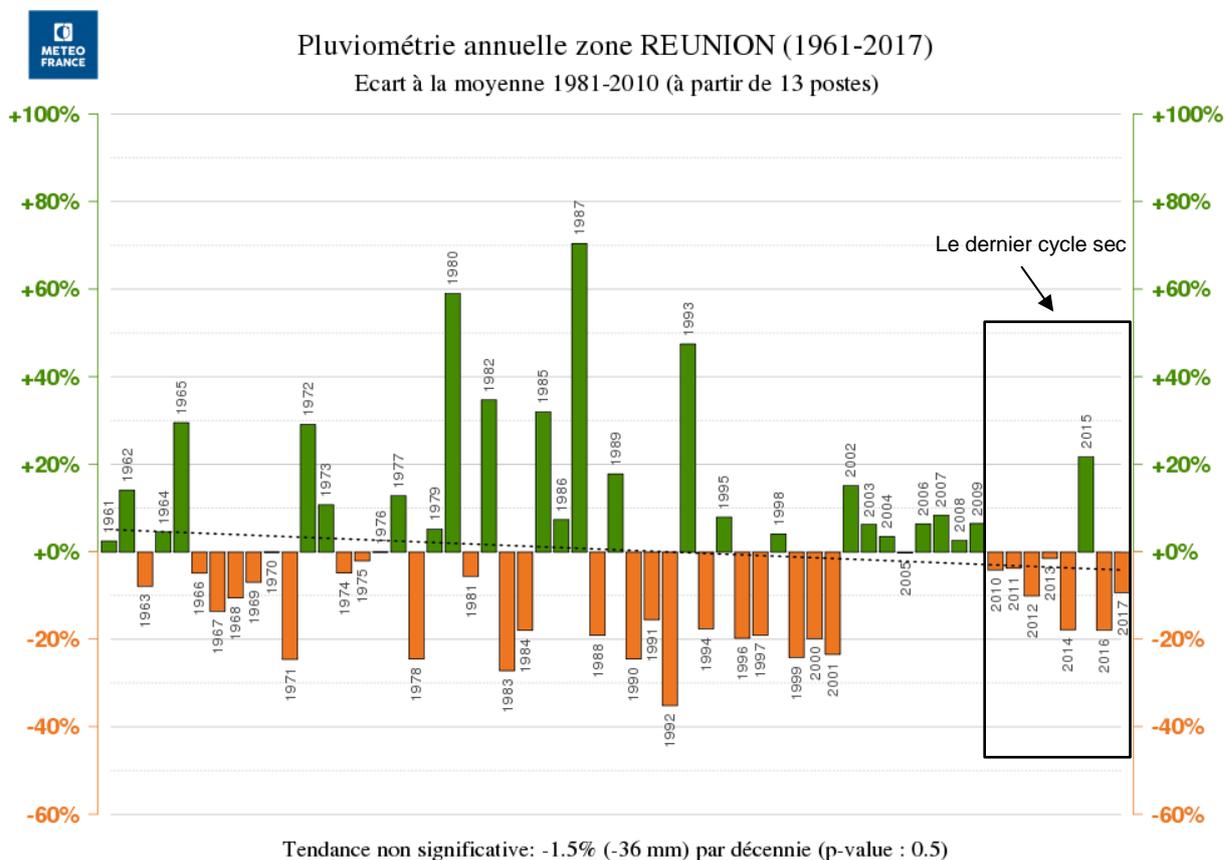


Figure 8: Evolution de la pluviométrie annuelle de 1961 à 2017 (Météo France).

2.1.6 Rappel de la méthodologie mise en œuvre

Le travail réalisé ici exploite en partie les données et résultats issus des études antérieures menées par le BRGM (Aunay et al. 2010; Bessière et Allier, 2011).

a) Analyses réalisées par le BRGM

Pour évaluer la distribution spatiale de la pluie efficace sur l'ensemble de l'île, La Réunion a été découpée en 2052 mailles de 1 km². Pour chacune de ces mailles, des chroniques de pluie et d'évapotranspiration au pas de temps journalier sur la période 2001-2010, et une valeur de la réserve utile (RU) y ont été affectées. Les moyennes mensuelles, annuelles et interannuelles de la pluie sur 2001-2010 sont assez proches de celles calculées sur 30 ans (1970-2000). Cette période de 10 ans a donc été prise en compte pour le calcul de la pluie efficace (différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle). Le calcul a été effectué au pas de temps journalier, ce qui permet de rendre compte du fonctionnement hydrologique dans un contexte hydro-climatique extrêmement contrasté de l'île se manifestant par des microclimats et des épisodes pluvieux de l'ordre horaire à journalier. Les résultats sont ensuite sommés au pas de temps mensuel, puis annuel afin d'obtenir des bilans globaux. A partir des données affectées sur chaque maille, une valeur de la pluie efficace annuelle moyenne a ensuite été calculée à l'échelle de chaque masse d'eau souterraine.

D'autre part, les valeurs de l'IDPR sont déterminées sur chaque maille de 1 km², afin de tenter d'évaluer à partir de la pluie efficace, la part du ruissellement et de l'infiltration. L'IDPR désigne l'indice de développement et de persistance des réseaux. Il s'agit d'un indicateur de zones plus ou moins ruisselantes et infiltrantes. Le croisement de la pluie efficace et de l'IDPR a permis le calcul des infiltrations moyennes à l'échelle de chaque masse d'eau souterraine. Les résultats obtenus ont été comparés avec les bilans hydrologiques tirés d'une synthèse des ressources en eau souterraine effectuée en 2006 par le BRGM (Frissant et al, 2006).

Il est important de préciser que cette démarche reste limitée par le nombre restreint d'informations disponibles (rivières non pérennes sur la majeure partie de l'île, chroniques de débits relativement courtes et données piézométriques uniquement sur le littoral influencées par le niveau de la mer) et du peu de modélisations longues durée effectuées. Par ailleurs, la répartition entre ruissellement et infiltration pourrait être améliorée par la prise en compte de la rugosité en plus de l'IDPR.

b) Compléments d'analyse réalisés par l'Office de l'eau Réunion

A partir de la méthodologie proposée par le BRGM, les chroniques de pluie efficace ont été complétées afin d'intégrer la période 2011-2017 qui n'a pas pu être prise en compte par l'étude de 2011. L'ensemble des données pluviométriques utilisées s'étale sur la période 1992-2017 (2004-2017 pour les stations les plus récentes). Les données pluviométriques des stations ont été interpolées sur chaque masse d'eau à l'aide de la méthode des polygones de Voronoi. Une nouvelle valeur de pluie efficace annuelle moyenne est ensuite calculée après soustraction de l'ETR moyenne et la Réserve Utile moyenne à l'échelle des 27 masses d'eau souterraine (BDLisa 2012).

Ces valeurs de pluie efficace ont été croisées aux taux d'infiltration moyen établis à l'échelle des masses d'eau souterraine sur la base de l'IDPR. Le produit de la surface totale de la masse d'eau souterraine, de la pluie efficace moyenne et du taux d'infiltration a permis une réévaluation des volumes d'infiltrés sur chaque masse d'eau souterraine.

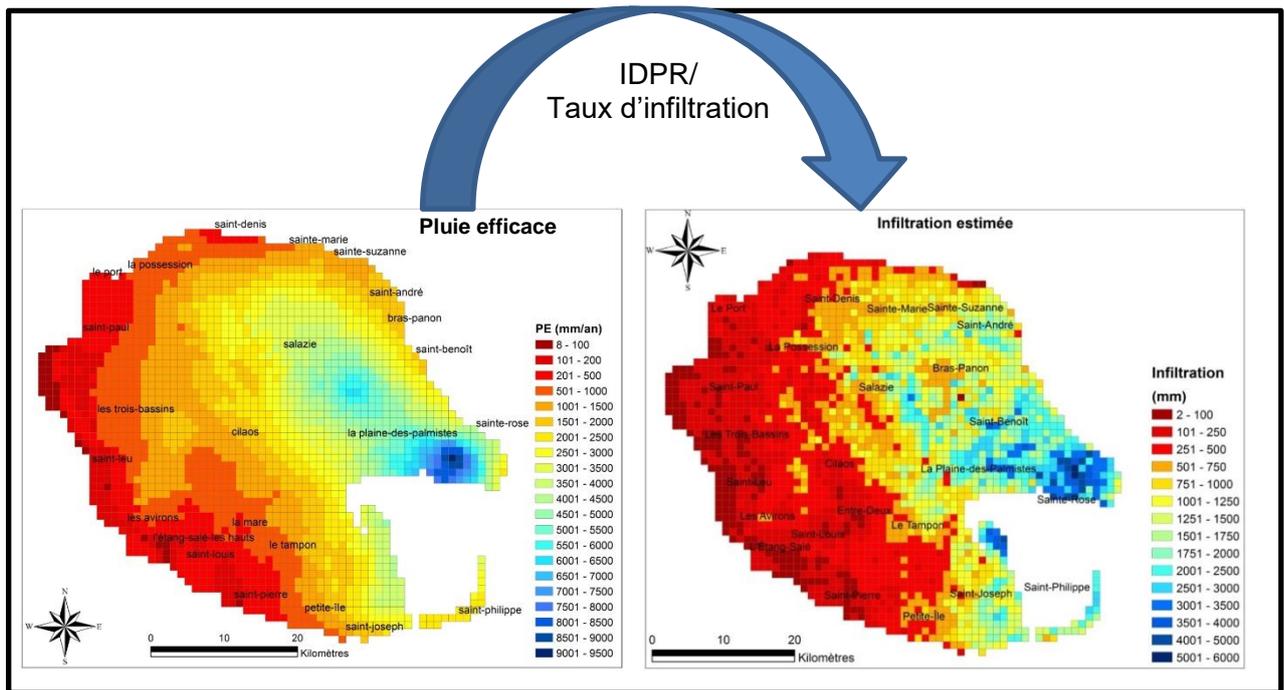


Figure 9 : Représentation schématique de la méthodologie mise en œuvre (source : BRGM/RP-59682-FR)

2.1.7 Répartition spatiale du taux d'infiltration

Grâce à l'IDPR, les valeurs du taux d'infiltration sont estimées à l'échelle des unités fonctionnelles délimitées en fonction des caractéristiques géologiques et pédologiques.

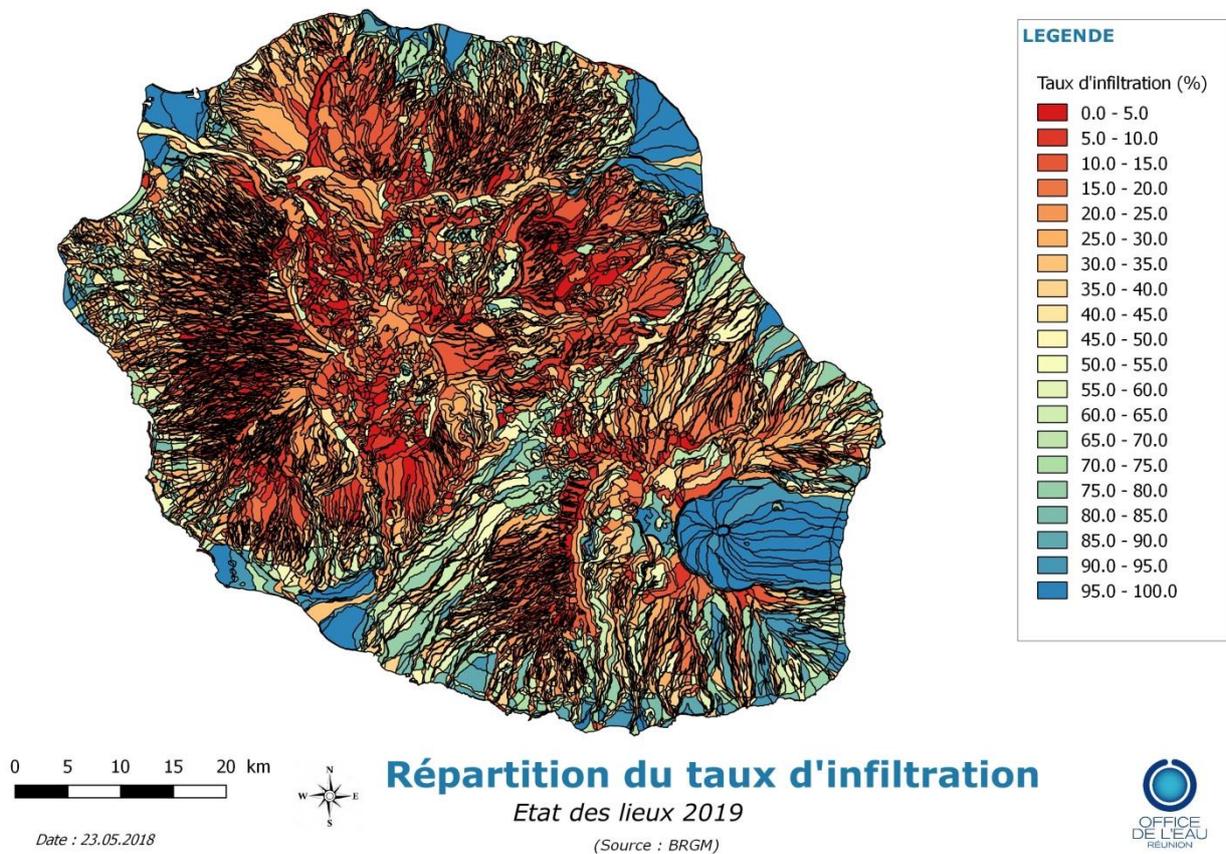


Figure 10 : Répartition du taux d'infiltration estimé à partir de l'IDPR (BRGM)

Une valeur moyenne du taux d'infiltration est ensuite calculée et affectée à chaque masse d'eau souterraine.

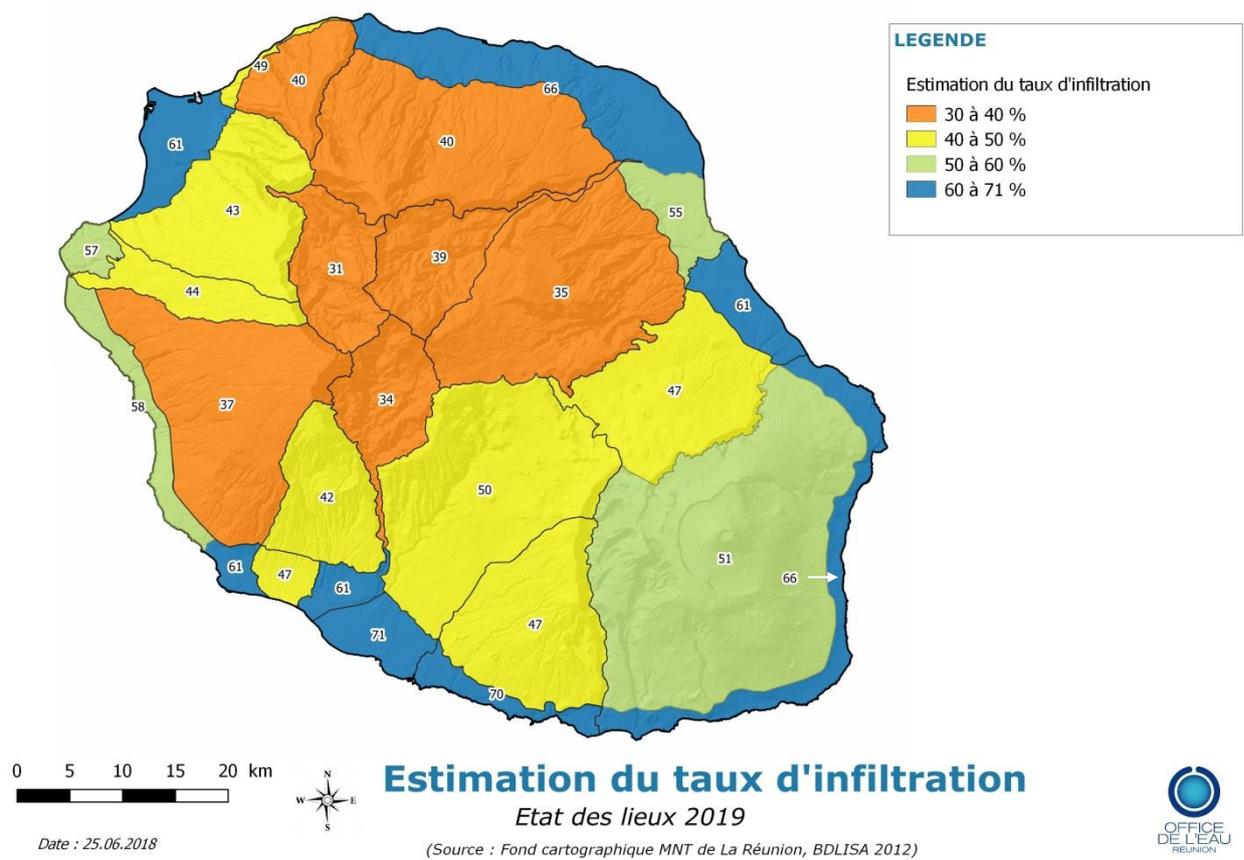


Figure 11 : Estimation du taux d'infiltration par masse d'eau (BRGM)

2.1.8 Estimation des volumes infiltrés

Les lames d'eau infiltrées sont moyennées à l'échelle des masses d'eau souterraine.

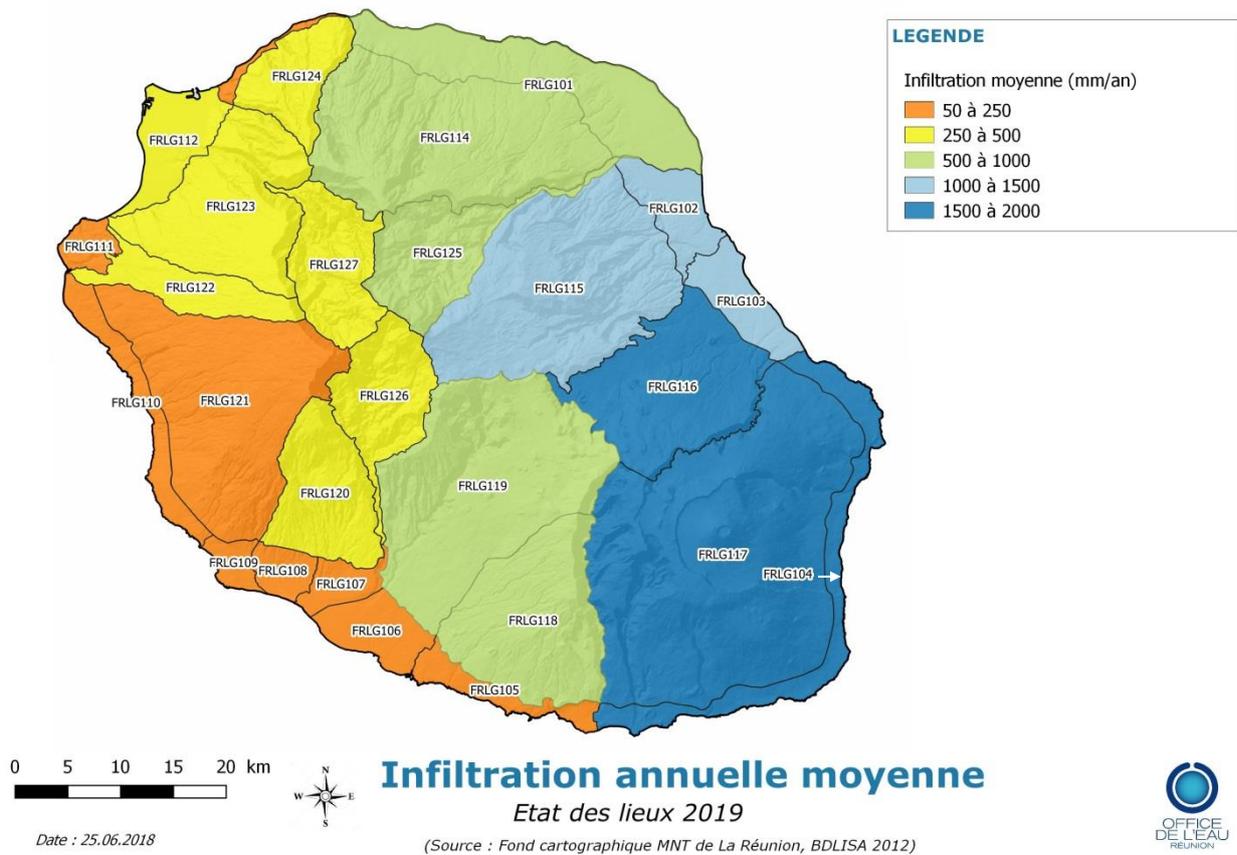


Figure 12 : Estimation de l'infiltration annuelle moyenne par masse d'eau

Le produit des valeurs obtenues et des surfaces respectives des masses d'eau souterraine ont permis l'évaluation d'un volume annuel moyen d'infiltration au droit de chaque masse d'eau.

La surface des zones urbanisées et susceptibles d'être imperméabilisées (zones U et AU du Plan d'occupation du sol et du Plan Local d'Urbanisme) a été soustraite de la surface totale de la masse d'eau souterraine.

Cette démarche a pour conséquence une réduction des volumes infiltrés sur les secteurs les plus urbanisés, notamment le Littoral Nord, la Plaine des Galets, Saint-Pierre et Le Tampon.

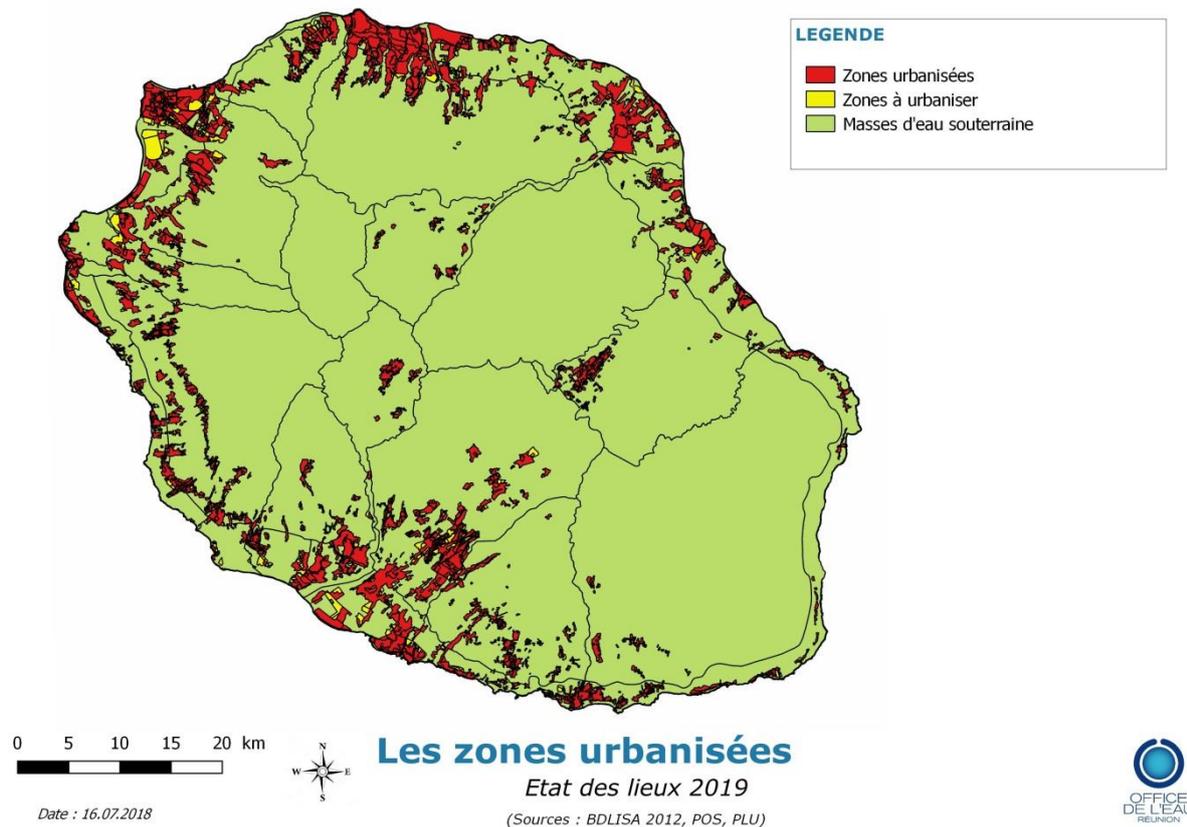


Figure 13 : Extension des zones urbanisées au droit des masses d'eau souterraine

La carte de la recharge (ci-dessous) donne une estimation des quantités d'eau disponibles pour l'infiltration et leur distribution spatiale à l'échelle de l'île. Cette démarche permet une première approche pour quantifier les volumes moyens disponibles au sein des aquifères.

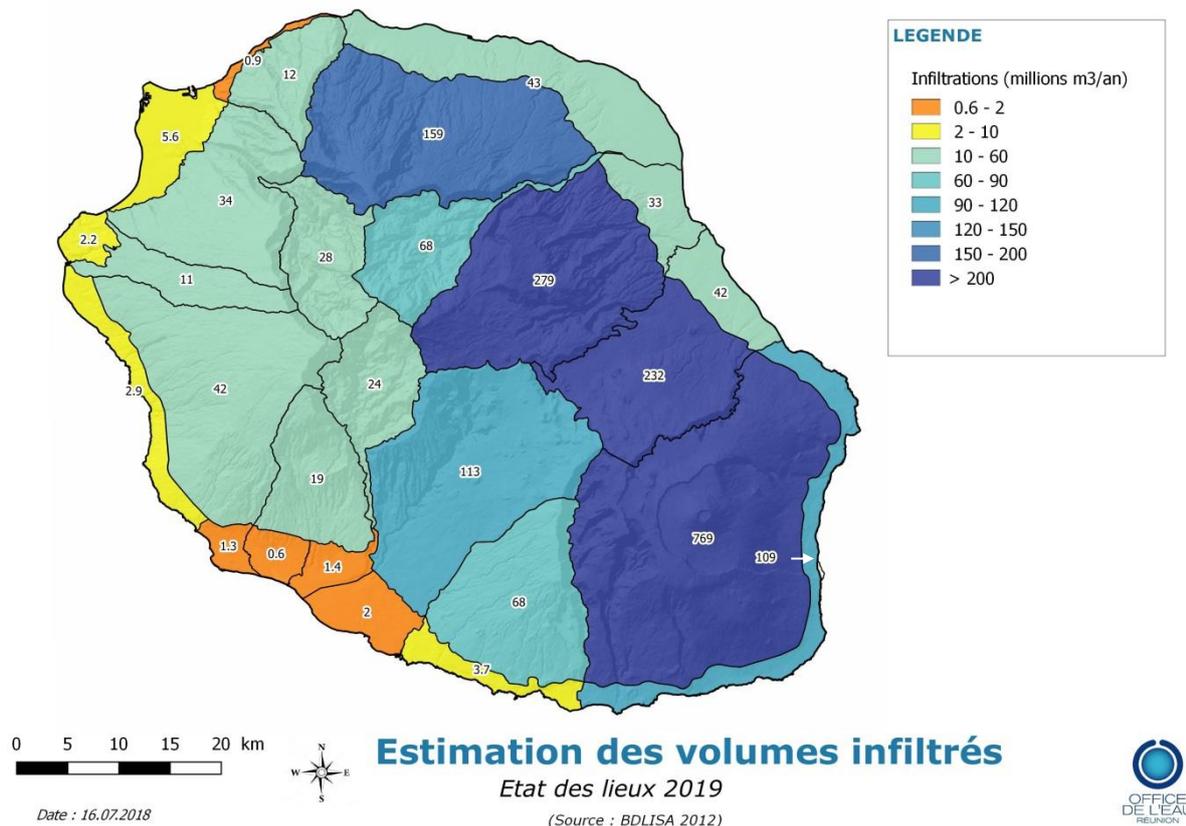


Figure 14 : Volumes infiltrés à l'échelle des masses d'eau souterraine

Les volumes infiltrés au droit du massif sommital de La Fournaise (FRLG117) n'ont pas été évalués par le BRGM (Bessière 2018). L'infiltration sur le volcan a été évaluée à 4.2 m/an par Barcelo dans le cadre de ses travaux de thèse (Barcelo 1996). Cette infiltration correspond à un volume moyen de 1.5 milliard de m³ pour une surface totale de 390 km². Cependant, ce calcul a été réalisé en admettant un taux d'infiltration de 81%.

La réitération du bilan en tenant compte d'une chronique pluviométrique plus longue (comportant plusieurs cycles secs) et du taux d'infiltration moyen obtenu grâce à l'IDPR (51%) a permis un réajustement du résultat précédent (769 Mm³/an).

Compte tenu des vitesses de vidange variables d'un aquifère à l'autre, il convient de noter que le volume d'eau infiltré ne sera pas forcément disponible tout au long de l'année. Dans le contexte réunionnais, la méthode des bilans hydrologiques annuels n'est donc pas systématiquement fiable pour estimer les volumes d'eau disponibles.

2.1.9 Ajustement de la recharge des nappes à l'aide d'études complémentaires

Pour les aquifères littoraux, les recharges calculées à l'aide de la méthode précédente ne tiennent pas compte des écoulements souterrains en provenance des planèzes, or il s'agit de la majeure partie de la recharge de ces aquifères. Pour d'autres, elles ont été ajustées en fonction de la connaissance de leur fonctionnement.

Une réévaluation de la recharge de ces secteurs a été proposée en intégrant les analyses issues des études hydrogéologiques antérieures disponibles en bibliographie :

- Daesslé et Join, 1988 sur le Littoral Ouest,
- Join et Coudray, 1992 sur l'aquifère de Saint-Gilles,
- Barcelo, 1996 sur le Massif de la Fournaise (thèse de doctorat),
- Les études menées par l'Office de l'eau sur les aquifères côtiers stratégiques.

Les résultats des modèles hydrogéologiques implémentés par l'Office de l'eau ont également été pris en compte pour évaluer la recharge sur les secteurs suivants :

- le Littoral Nord,
- la Plaine du Mât,
- la Plaine des Galets,
- la Plaine du Gol,
- la Plaine des Cocos,
- la Plaine de Pierrefonds et
- le Massif de la Fournaise (Projet Hydro-fournaise 2001, en partenariat avec l'Université de La Réunion).

Cette démarche a permis l'obtention de la carte de recharges ci-dessous :

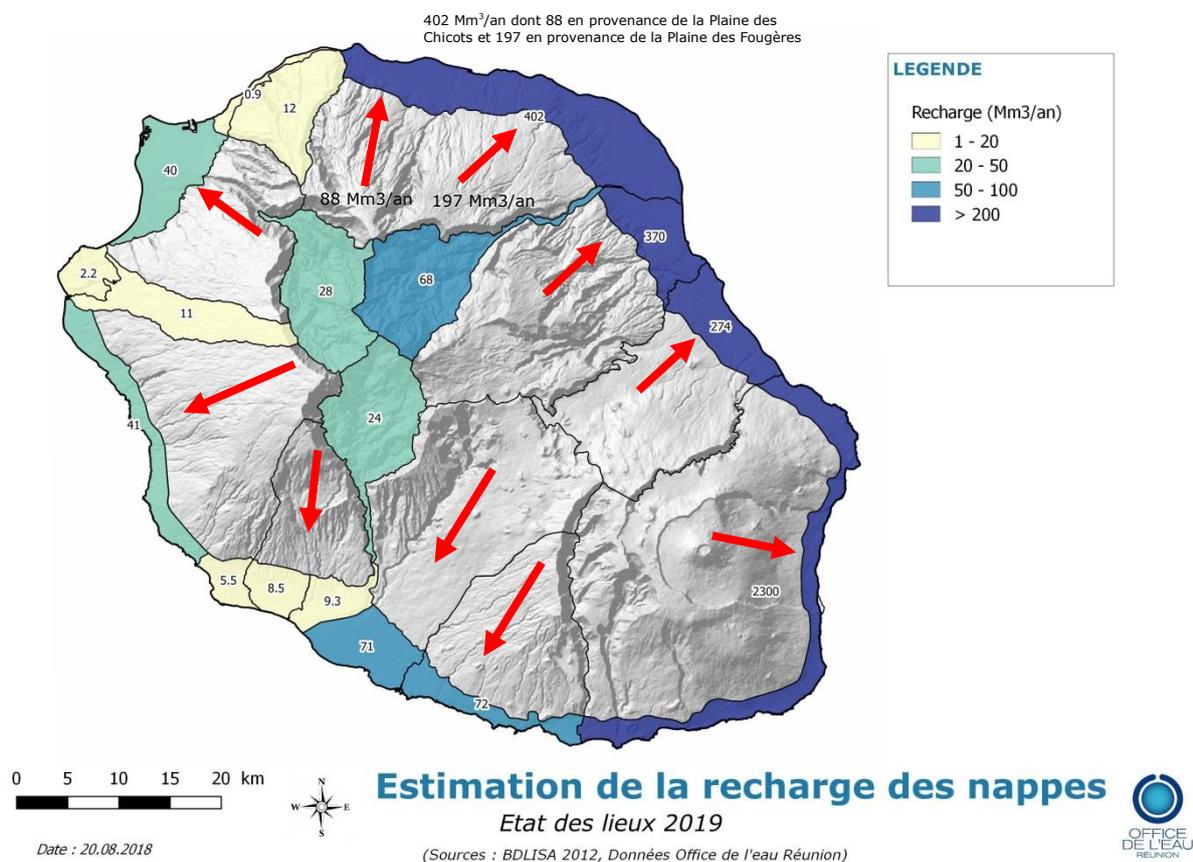


Figure 15 : Estimation de la recharge à l'échelle des masses d'eau souterraine

2.1.10 Estimation des volumes prélevés

Dans le cadre de cette étude, l'année 2014 a été choisie comme année moyenne sur le cycle 2012-2017 en termes de prélèvements sur les ressources en eau souterraine et superficielle (218 Mm³).

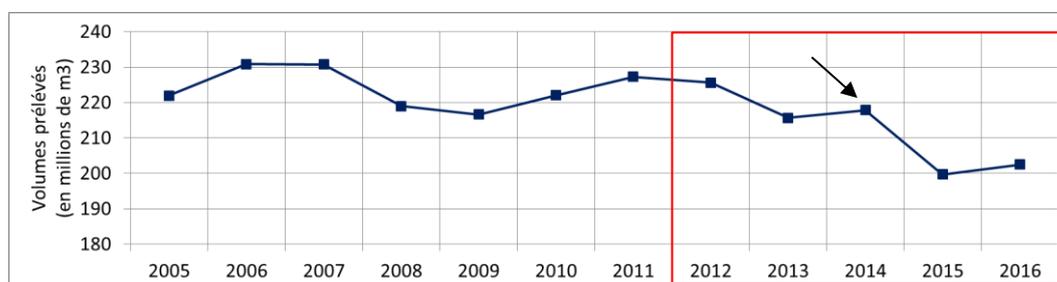


Figure 16 : Evolution des prélèvements depuis 2005 (source : Office de l'eau Réunion)

D'après la BNPE¹, 102.9 Mm³ ont été prélevés sur les ressources en eau souterraine.

La Réunion

2014

Volume total : 102 877 348 m³

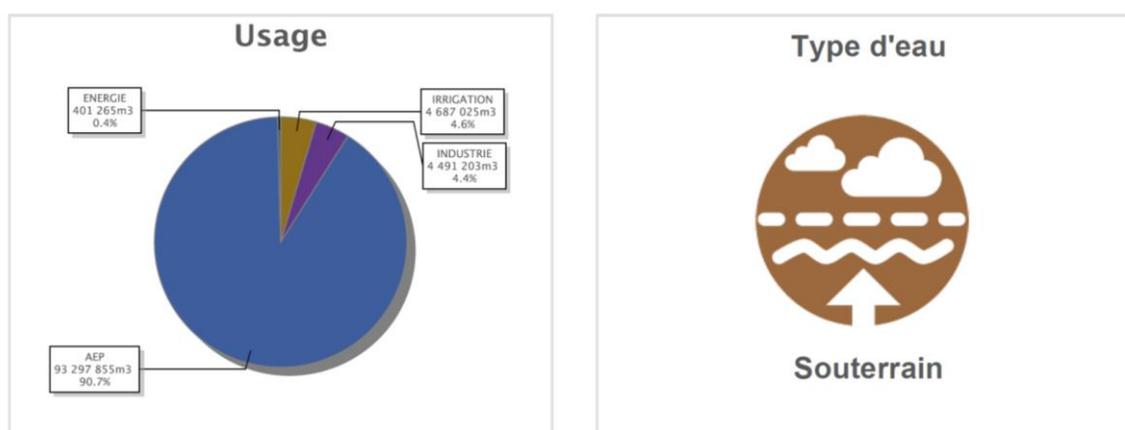


Figure 17 : Volumes d'eau souterraine prélevés en 2014 (Données BNPE)

A l'échelle des 27 masses d'eau souterraine, ces prélèvements sont repartis de manière hétérogène dans l'espace.

Remarque : La carte ci-dessous présente les prélèvements en eau souterraine selon la BNPE. Les points de prélèvements correspondent à des forages, galeries et sources, sans tenir compte des systèmes de captage associés.

¹ La BNPE est la Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau, banque qui collecte les volumes d'eau prélevés pour l'intégralité des usages.

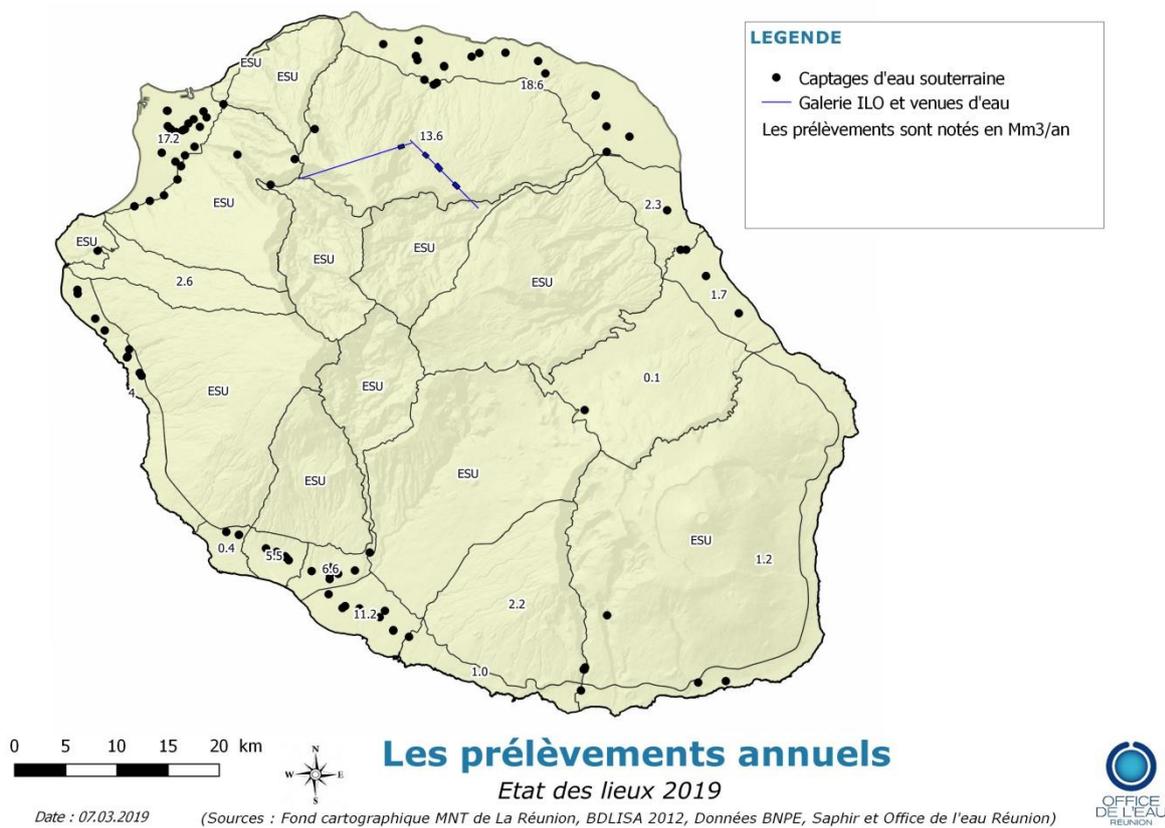


Figure 18 : Répartition des prélèvements en eau souterraine

2.1.11 Calcul du ratio prélèvements / Recharge

Le ratio Prélèvements / Recharge a été calculé pour les masses d'eau souterraine de La Réunion à partir des données de prélèvements géo-référencés de l'année 2014 (année moyenne sur la période 2012-2017).

Sur la base des résultats obtenus et compte tenu des valeurs guides proposées pour les aquifères volcaniques, la classification suivante a été envisagée :

- Ratio < 0.05 : pas de déséquilibre quantitatif
- Ratio > 0.05 : déséquilibre quantitatif

Il a été jugé pertinent de retenir cette valeur seuil de 0.05 pour l'indicateur « ratio », proposée par le guide (Arnaud, 2017 ; BRGM/RP-67212-FR) compte tenu de la nature géologique principalement volcanique des aquifères de La Réunion et de la pression s'exerçant sur les masses d'eau souterraine soumises au risque d'intrusion saline.

- Ce seuil permet effectivement de constater rapidement un risque de surexploitation et de mettre en œuvre les mesures de prévention idoines.

Il convient de noter que les prélèvements de sources, dès lors qu'ils ne font appel qu'à des dispositifs de captage gravitaire, seront affectés aux eaux de surface (ESU) et ne sont donc pas pris en compte dans l'établissement du bilan hydrogéologique à l'échelle de la masse d'eau souterraine. De cette façon, ils ne sont pas intégrés au calcul du ratio prélèvements / infiltrations. Par ailleurs, les volumes prélevés au niveau des sources sont relativement faibles comparés aux infiltrations, si bien que le ratio prélèvements / infiltrations sur les masses d'eau concernées reste toujours inférieur à 5%, sauf pour les masses d'eau FRLG126 Formations volcano-détritiques de Cilaos (6%) et FRLG119 Formations volcaniques du Tampon et Dimitile (7%).

Les venues d'eau interceptées dans la galerie Salazie (amont et aval) sont comptabilisées dans les prélèvements en eau souterraine. Un débit de captage global de 387 L/s, issu des essais hydrauliques de juillet 2018 réalisés par le bureau d'études BRL a été retenu. Compte tenu des observations effectuées durant l'étude ECSHY² et des résultats obtenus suite à la campagne de jaugeages réalisée en avril 2019 par le Département et la Saphir, la répartition suivante de ce débit a été proposée :

- 287 L/s provenant de la galerie Salazie Amont,
- 100 L/s provenant de la galerie Salazie Aval.

² Etude des circulations d'eau des systèmes hydriques du secteur Saint-Denis/Sainte-Marie.
https://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_00264.PDF

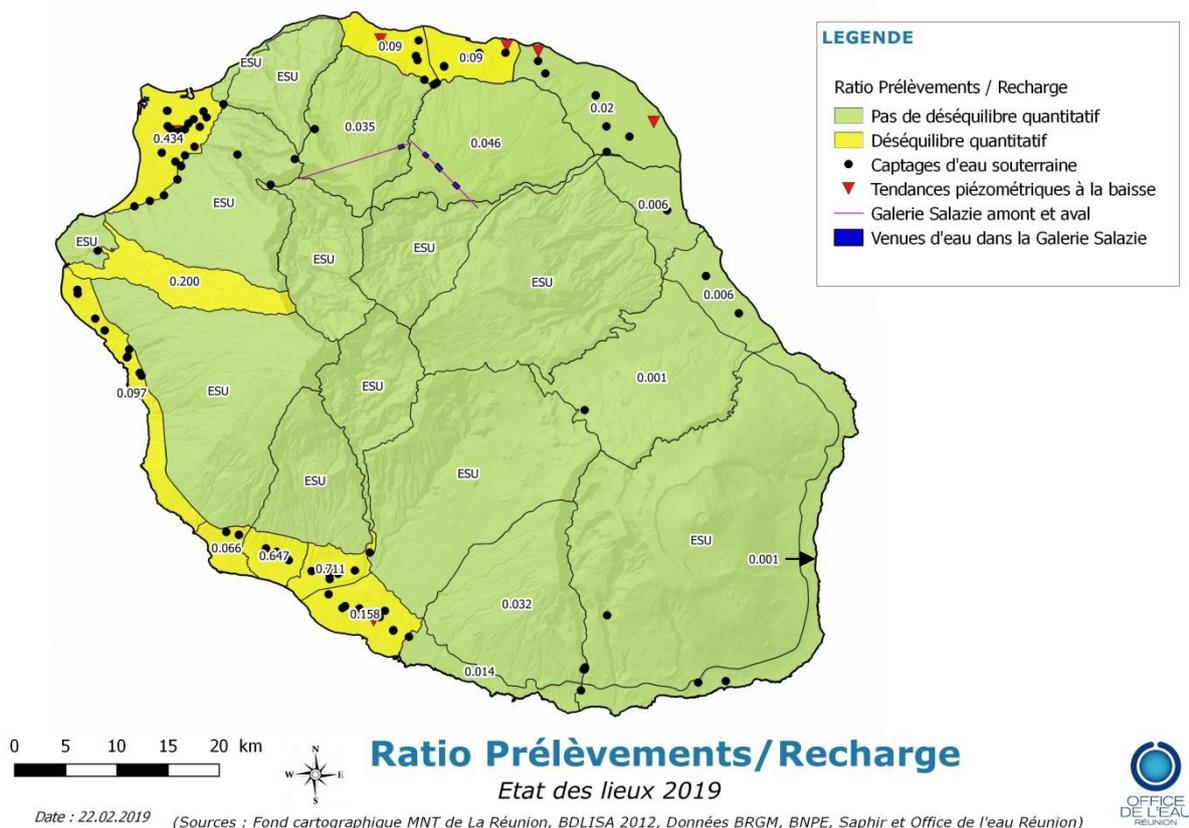


Figure 19 : Répartition du ratio prélèvements/recharge

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des résultats du Test « Balance »

CODE UE	NOM	ETAT
FRLG101	Formations volcaniques du littoral Nord – Secteur Saint-Denis	MEDIOCRE
	Formations volcaniques du littoral Nord – Secteur Sainte-Marie	MEDIOCRE
	Formations volcaniques du littoral Nord – Secteur Sainte-Suzanne/Saint-André	BON
FRLG102	Formations volcaniques du littoral de Bras Panon - Saint Benoit	BON
FRLG103	Formations volcaniques du littoral Sainte Anne - Sainte Rose	BON
FRLG104	Formations volcaniques du littoral de La Fournaise	BON
FRLG105	Formations volcaniques du littoral de Petite Ile à Saint Pierre	BON
FRLG106	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de Pierrefonds à Saint Pierre	MEDIOCRE
FRLG107	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales des Cocos	MEDIOCRE
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol	MEDIOCRE
FRLG109	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé	MEDIOCRE
FRLG110	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest	MEDIOCRE
FRLG111	Formations aquitardes des brèches de Saint Gilles	BON
FRLG112	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de la Plaine des Galets	MEDIOCRE
FRLG113	Formations volcaniques du littoral de La Montagne	BON
FRLG114	Formations volcaniques de la Roche Ecrite à la Plaine des Chicots	BON
	Formations volcaniques de la Roche Ecrite à la Plaine des Fougères	BON
FRLG115	Formations volcaniques de Bébour-Bélouve - Plaine des Lianes	BON
FRLG116	Formations volcaniques de la Plaine des Palmistes	BON
FRLG117	Formations volcaniques du Massif sommital de La Fournaise	BON
FRLG118	Formations volcaniques de la Plaine des Grègues à Le Tampon	BON
FRLG119	Formations volcaniques de la Plaine des Cafres - Le Dimitille	BON
FRLG120	Formations volcaniques des Makes	BON
FRLG121	Formations volcaniques de la Planèze du Maido à Grand Bénare	BON
FRLG122	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de la Ravine Saint-Gilles	MEDIOCRE
FRLG123	Formations volcaniques de Bois de Nèfles à Dos d'Ane	BON
FRLG124	Formations volcaniques sommitales de La Montagne	BON
FRLG125	Formations volcano-détritiques du Cirque de Salazie	BON
FRLG126	Formations volcano-détritiques du Cirque de Cilaos	BON
FRLG127	Formations volcano-détritiques du Cirque de Mafate	BON

2.1.12 Niveau de confiance du test

Le niveau de confiance est élevé :

- pour les masses d'eau sur lesquelles un calcul de tendance est possible (chronique incluant plus de 3 cycles dans le cas des chroniques à cyclicité). C'est le cas des masses d'eau souterraine ;
 - ⇒ FRLG101 - Formations volcaniques du Littoral Nord (S1 Champ Fleuri, P27 Belle Eau, P14 Champ Borne, Piézomètre de la Ravine des Chèvres),
 - ⇒ FRLG106 - Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales de Saint-Pierre (Piézomètre de la Ravine Blanche) et
 - ⇒ FRLG112 - Formations volcaniques et sédimentaires de la Plaine des Galets (Piézomètre P1-2A Stade).
- Pour les masses d'eau souterraine sur lesquelles un calcul de tendance n'a pas été possible et qui ne sont pas concernées par des prélèvements en eau souterraine.

Le niveau de confiance est faible pour les masses d'eau concernées par des prélèvements en eau souterraine et sur lesquelles un calcul de tendance n'a pas été possible.

Au regard du logigramme de réalisation du test Balance, les masses d'eau souterraine prélevées sont en état médiocre si:

- il existe une tendance piézométrique statistiquement significative à la baisse du fait des prélèvements anthropiques,
- et que le rapport prélèvements / recharge est supérieur aux valeurs guides (une valeur seuil égale à 5% a été proposée pour les aquifères volcaniques) et/ou est trop élevé au vu des enjeux (classement en ZRE, intrusions salines, masses d'eau stratégiques...). C'est le cas des masses d'eau FRLG104 à 106 et FRLG108 à 112 classées en ZRE.

Les limites méthodologiques sont essentiellement liées à la disponibilité des données (piézométrie en continu sur plus de 10 ans...) et au manque de connaissances sur le fonctionnement hydrogéologique des systèmes volcaniques de La Réunion.

Il est primordial de poursuivre l'amélioration des connaissances par l'acquisition de données complémentaires :

- de piézométrie (amélioration du suivi en continu),
- de prélèvements (suivi des volumes prélevés au pas de temps mensuels),
- de conductivité (développement des réseaux de suivi des intrusions salines).

Par ailleurs, l'évaluation des ressources disponibles ne considère que la recharge par les infiltrations directes. Ce choix reste discutable notamment pour les cas suivants ;

- les nappes pouvant recevoir une alimentation provenant des pertes des cours d'eau ou d'autres aquifères par circulations radiales et latérales,
- les nappes littorales pouvant bénéficier d'une alimentation par drainance.

Dans les cas où les prélèvements sont concentrés d'un point de vue géographique, la pression peut être « diluée » à l'échelle de la masse d'eau. Cela peut alors se traduire par un faible ratio « Prélèvements / Infiltrations » malgré une exploitation localement très intense.

2.1.13 Références bibliographiques

Aunay B, Brugeron A, Vaudour K, Wuilleumier A (2010) Détermination de la vulnérabilité, des pressions et des risques de pollution sur cinq bassins d'alimentation de captage prioritaires à l'île de La Réunion. Rapport BRGM/RP-59057-FR. BRGM, La Réunion

Barcelo A (1996) Analyse des mécanismes hydrologiques en domaine volcanique insulaire tropical à relief jeune. Apports à la connaissance du bilan hydrique. Massif du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc

Bessière H (2018) Pistes méthodologiques pour la caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements quantitatifs sur la ressource en eau dans les départements d'Outre-Mer - Rapport final - BRGM/RP-67572-FR. BRGM, France

2.2 Test « Intrusion saline »

2.2.1 Objectifs du test

Le test « Intrusion saline » vise à mettre en évidence l'impact d'un phénomène d'invasion d'eau salée (minéralisée) d'origine marine ou autre. Le guide européen sur l'évaluation de l'état des eaux souterraines et des tendances (CIS, Guidance document N°18) propose une définition, ou plus précisément, une liste des différents types d'« invasions salines d'origine marine ou autre ».

Quatre situations différentes sont distinguées :

- l'intrusion saline d'origine marine,
- la remontée d'eau connée,
- la drainance ascendante des niveaux profonds riches en sels ou drainance depuis une masse d'eau adjacente contaminée et
- l'intrusion ou l'infiltration d'eau de surface en état moins que bon ou salée (cf. schéma ci-dessous).

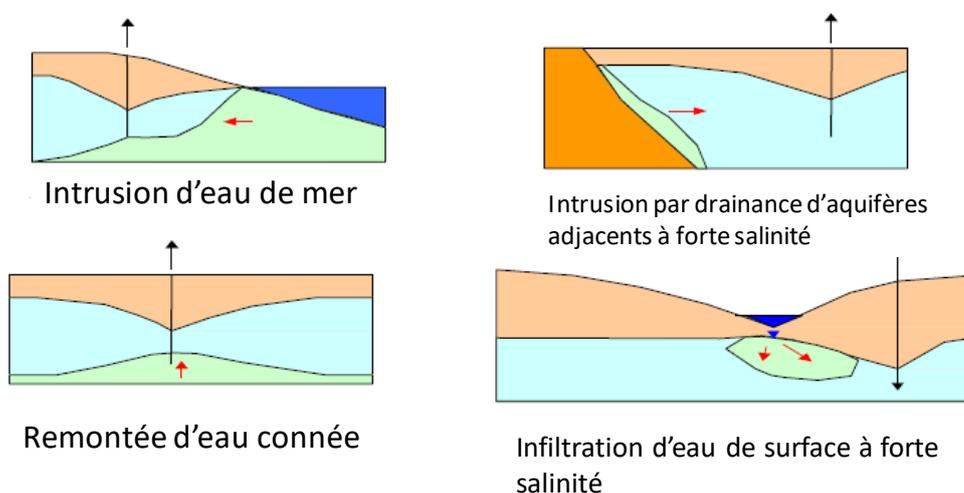


Figure 20 : Types d'intrusions salines d'origine marine ou autre (UKTAK paper 11b(i))

2.2.2 Aspects méthodologiques

Il s'agit de calculer la moyenne des moyennes annuelles (mma) pour les paramètres physico-chimiques caractérisant la salinité sur chaque point d'observation et de déterminer des masses d'eau pour lesquelles un dépassement de la valeur seuil est observé pour un des éléments d'intérêt sur au moins un point « représentatif ».

Le schéma ci-dessous récapitule la démarche mise en œuvre.

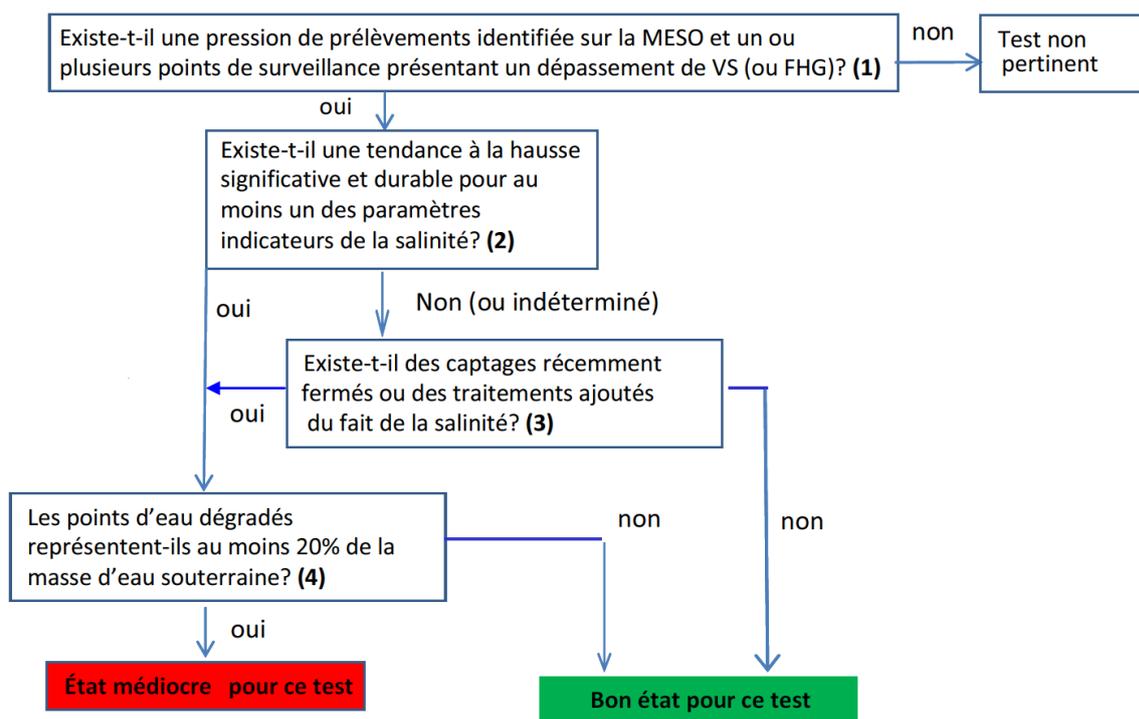


Figure 21 : Schéma de réalisation du Test « Intrusion saline »

2.2.3 Les étapes de réalisation du test

Une analyse préliminaire permet d'identifier les masses d'eau souterraine sur lesquelles s'exercent certaines pressions. Les pressions peuvent être représentées par :

- des pompages sur le secteur/MESO considérée ou
- une tendance à la baisse des niveaux piézométriques ou
- le test balance (ou l'analyse de la pression de prélèvement)

La mise en œuvre du test « Intrusion saline » permet ensuite d'évaluer les tendances d'évolution des paramètres clés (conductivité, chlorures, sulfates et autres paramètres caractérisant la salinité) sur les points d'eau dits « représentatifs » et voir si ces tendances sont « significatives et durables » grâce à :

a – un calcul des tendances pour les paramètres indicateurs de salinité pour l'ensemble des points « représentatifs »

Il conviendra de vérifier si le nombre de points de surveillance ainsi que le nombre de données et la durée des chroniques sont suffisantes pour évaluer une tendance « durable ».

Il s'agira notamment de distinguer les variations saisonnières des variations interannuelles. Si les seules tendances observées sont saisonnières alors la masse d'eau ne doit pas être considérée en médiocre état pour ce test. Si au contraire l'augmentation de la salinité est constante d'une année à l'autre alors cela justifie de classer la masse d'eau en médiocre état pour ce test.

Il est également possible d'évaluer les tendances d'évolution, croisées avec l'évolution des pompages et des changements climatiques (de la recharge). On prend alors dans un premier temps l'ensemble des données disponibles. Ensuite, on évalue une rupture/inversion de tendances.

b – un inventaire des captages fermés ou changements de traitements

Les captages fermés récemment et dont le motif d'abandon est lié à une forte salinité ou concernés par une modification des traitements (dilution par mélange d'eau ou autre) ont été identifiés après consultation de la DEAL, l'ARS et la Créole.

2.2.4 Données utilisées

Période de référence :

- Pour l'estimation des dépassements de la *mma* au point : Période commune 2012-2017 (cf. procédure générale de l'évaluation du bon état chimique) – le fond hydrogéochimique doit être pris en compte.
- Pour l'estimation des tendances : au minimum 10 données et une donnée par an (d'après le guide d'évaluation des tendances).
- Pour les changements de traitement et abandons de captage AEP : le cycle de gestion en cours.

Réseaux / points :

- Les points suivis en physico-chimie par l'Office de l'eau Réunion présentant une *mma* (ou fréquence de dépassement) des valeurs seuils pour un des éléments indicateurs de la salinité,
- Les points suivis en physico-chimie par l'Agence régionale de Santé (ARS) présentant une *mma* (ou fréquence de dépassement) des valeurs seuils pour un des éléments indicateurs de la salinité,

Éléments/paramètres à utiliser :

- Conductivité, Cl, Na, SO₄, B, Br pour la salinité liée à l'eau de mer actuelle ou ancienne (eau connée) auxquels s'ajoutent l'As, Ba, Sb, Cd, Fe, Mn, Cu, Pb, Se, U et Zn dans le cas de drainage d'eau provenant d'aquifères profonds fortement minéralisés (cas non observé à La Réunion) ou infiltration d'eau de surface fortement minéralisée (dans ce cas les paramètres se limitent à ceux suivi pour les eaux de surface).

Valeurs seuils utilisées pour ce test :

Paramètres	Valeurs seuils	Unités	Observations
Conductivité	500	µS/cm	Seuil local
Chlorures	100	mg/L	Seuil local
Sulfates	60	mg/L	Seuil local
Sodium	200	mg/L	Seuil national
Bore	1000	µg/L	Seuil national

2.2.5 Evaluation de l'intrusion saline

Une masse d'eau est en état médiocre pour ce test si:

- un dépassement de la valeur seuil (ou FHG) pour au moins un paramètre indicateur de salinité et un point de surveillance est constaté,

ET

- une tendance à la hausse significative et durable de l'un des paramètres indicateurs de salinité liée à l'exploitation de la ressource est établie ou si des captages ont été abandonnés du fait de leur salinité ou si des études locales ont permis d'identifier une dégradation des eaux souterraines du fait de pompages,

ET

- les points de surveillance identifiés comme dégradés représentent au moins 20% de la surface de la masse d'eau souterraine.

Pour ce test, le niveau de confiance se base essentiellement sur la qualité / quantité de données permettant l'estimation des tendances et des dépassements des valeurs seuils.

Lorsque l'on dispose d'au moins 6 points représentatifs sur la masse d'eau et d'une chronique d'au moins 10 ans avec 1 donnée par an pour une estimation statistiquement significative des tendances et que les liens avec l'évolution des pressions sont clairs alors le niveau de confiance est élevé.

Si on dispose de peu de points de surveillance ou si l'évaluation est faite à partir d'un modèle conceptuel alors le niveau de confiance est considéré comme faible.

2.2.6 Résultats du test « Intrusion saline »

18 forages sont concernés par des dépassements des valeurs seuils pour au moins un paramètre indicateur de salinité sur la chronique de suivi de 2012 à 2017.

Ces forages interceptent 6 masses d'eau souterraine dont 5 situées en zone côtière.

Tableau 2 : Masses d'eau concernées par des dépassements de seuils salinités en 2018

CODE UE	NOM	Nombre de captages pour lesquels les MMA>VS
FRLG104	Formations volcaniques du littoral de La Fournaise	1
FRLG106	Formations volcaniques du littoral de Pierrefonds à Saint-Pierre	1
FRLG107	Formations volcaniques de la Plaine des Cocos	1
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol	2
FRLG109	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé	2
FRLG110	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest	5
FRLG112	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'étang de Saint Paul à la Plaine des Galets	2
FRLG126	Formations volcano-détritiques du Cirque de Cilaos	2

Tableau 3 : Captages concernés par des dépassements de seuils en 2018

Code masse d'eau	Nom du captage	Paramètres dépassant un seuil	Existe-t-il une tendance pluriannuelle significative ?	Captages récemment fermés ou traitement ajouté du fait de la salinité	Les points dégradés représentent plus de 20% de la masse d'eau	Etat Masse d'eau associée
FRLG104	Puits du Baril	Conductivité, Chlorures	Baisse conductivité depuis 1999	OUI	NON	BON*
FRLG106	Forage Chane Hive	Conductivité, Chlorures	Baisse conductivité, aucune tendance pour les chlorures	NON	NON	BON*
FRLG107	PIB6 Les Cocos	Conductivité, nitrates	Hausse conductivité, hausse nitrates	NON	OUI	BON**
FRLG108	Puits C du Gol	Conductivité	Pas de tendance significative	NON	OUI	MÉDIOCRE
	Forage Marengo	Conductivité, Chlorures	Hausse Cl depuis 2010			
FRLG109	Forage F5 Le Brûlé	Conductivité, Chlorures	Hausse des sulfates depuis 2010 Hausse des chlorures depuis 2007	NON	OUI	MÉDIOCRE
	Forage Pacifique 2	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2005			
FRLG110	Puits de la Grande Ravine N°2	Conductivité, Chlorures	Hausse de la conductivité Hausse des chlorures Hausse des sulfates	OUI (FRH5)	OUI	MÉDIOCRE
	Forage de Fond Petit Louis	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
	Forage de la Petite Ravine	Conductivité, Chlorures	Baisse CE depuis 2003			
	F1-Bis Montée Panon	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 1999			
	Forage FRH5	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
FRLG112	F5-Bis Plaine Saint-Paul	Conductivité	Hausse CE et Cl depuis 2008	OUI (FRH15)	OUI	MÉDIOCRE
	Forage FRH15	Conductivité, Chlorures	Hausse Chlorures depuis 2010			
	Forage F2	Conductivité	Baisse conductivité			
	Forage F4	Conductivité	Pas de tendance significative			
FRLG126	Source Irénée	Conductivité, Sulfates	Baisse des sulfates depuis 2011	NON	NON	BON**
	Source Véronique	Conductivité	Pas de tendance significative			

* Les points d'eau dégradés représentent moins de 20% de la surface de la masse d'eau.

** Les conductivités et concentrations sont en lien avec une source de contamination autre que l'intrusion saline de type eau de mer (ex : sources hydrothermales ou enrichissement en nutriments d'origine anthropique).

Au terme de l'analyse des tendances pluriannuelles en 2018, cinq captages indiquent une tendance à la hausse pour au moins un des paramètres indicateurs de salinité :

- Le forage F10 Marengo (Masse d'eau FRLG108),
- Le forage F5 Le Brûlé (Masse d'eau FRLG109),
- Le Puits N°2 de la Grande Ravine (Masse d'eau FRLG110),
- Les forages F5 Bis et FRH15 de la Plaine Saint-Paul (Masse d'eau FRLG112),

Les masses d'eau FRLG108, FRLG109 et FRLG112 restent classées en état médiocre pour le test 'Intrusion saline' (Tableau 4).

La dégradation constatée sur le Puits N°2 de la Grande Ravine d'une part et sur le forage FRH5 de La Saline d'autre part représente moins de 20% de la surface totale de la masse d'eau FRLG110. Cependant, les cinq points d'eau dégradés représentent plus de 20% de cette masse d'eau. Cette masse d'eau sera donc classée en état médiocre.

Tableau 4 : Masses d'eau classées en état médiocre au regard du Test 'Intrusion saline'.

Masse d'eau	Points d'eau	Observations
FRLG108 Plaine du Gol	F10 Marengo	Hausse des chlorures depuis 2010
FRLG109 Littoral de l'Etang-Salé	Forage F5 Le Brûlé	Hausse des sulfates depuis 2010
FRLG112 Littoral de Saint-Paul et Plaine des Galets	Forage FRH15	Hausse des chlorures depuis 2010 Arrêts du pompage du fait de la salinité
	F5 Bis Plaine Saint-Paul	Hausse de la conductivité et des chlorures depuis 2008
FRLG110 Littoral de la planèze Ouest	Puits N°2 de la Grande Ravine	Hausse de la conductivité, des chlorures et des sulfates
	Forage FRH5 de La Saline	Arrêts du pompage du fait de la salinité

Une représentation cartographique de ces résultats est proposée ci-dessous :

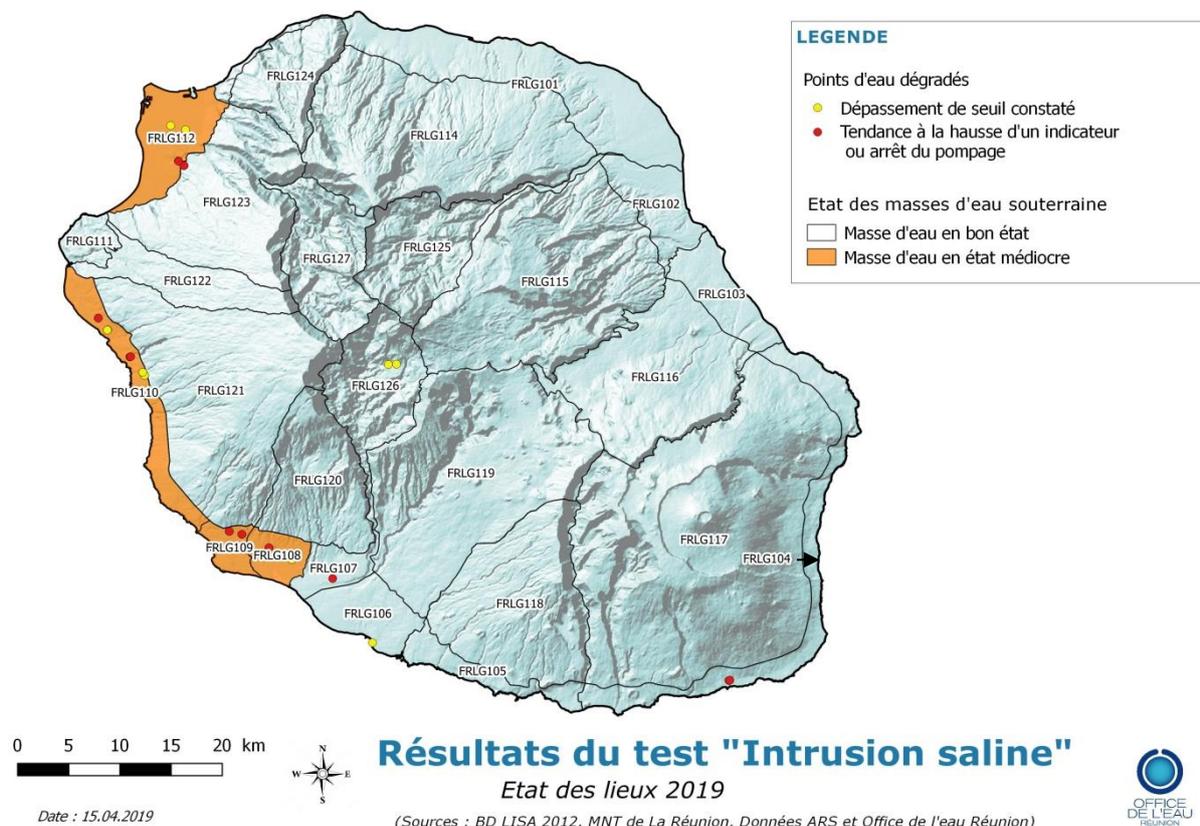


Figure 22 : Résultats du test « Intrusion saline » pour les masses d'eau souterraine

2.2.7 Niveau de confiance du test et discussions

Pour ce test, le niveau de confiance est jugé élevé compte tenu du nombre de points représentatifs pour chaque masse d'eau, de la qualité et de la quantité des données permettant l'estimation des tendances et des dépassements des valeurs seuils (chroniques souvent supérieures à 10 ans et 4 analyses par an).

Pour les masses d'eau FRLG108, FRLG109, FRLG110 et FRLG112, l'ensemble des points d'eau dégradés représente plus de 20% de la masse d'eau souterraine.

Dans ces quatre masses d'eau en état médiocre, les captages indiquant une dégradation sont relativement éloignés de la côte (1800 m pour FRLG109 et 3000 m pour FRLG112). Cette situation laisse penser que la partie située en aval des ouvrages est déjà largement impactée par l'intrusion marine.

Concernant, les masses d'eau classées en bon état, 3 cas de figures sont observés :

- Aucun captage n'indique un dépassement des valeurs seuils pour les paramètres indicateurs de salinité, ce qui correspond à la majeure partie des masses d'eau (21 masses d'eau/27),
- Les forages indiquant une dégradation ne sont pas représentatifs de plus de 20% de la masse d'eau (Puits du Baril dans la masse d'eau FRLG104),
- Les captages concernés par un dépassement de seuil sont en lien avec une source de contamination autre que l'intrusion saline (de type eau de mer). C'est le cas des sources hydrothermales Irénée et Véronique dans la masse d'eau de Cilaos ou du forage PIB6 Les Cocos fortement impacté par les nitrates.

2.3 Test « Eaux de surface »

2.3.1 Objectifs du test

Ce test a pour objectif d'identifier les masses d'eau souterraine pour lesquelles les prélèvements sont jugés responsables d'une dégradation de l'état quantitatif et/ou écologique des eaux de surface.

2.3.2 Schéma de réalisation

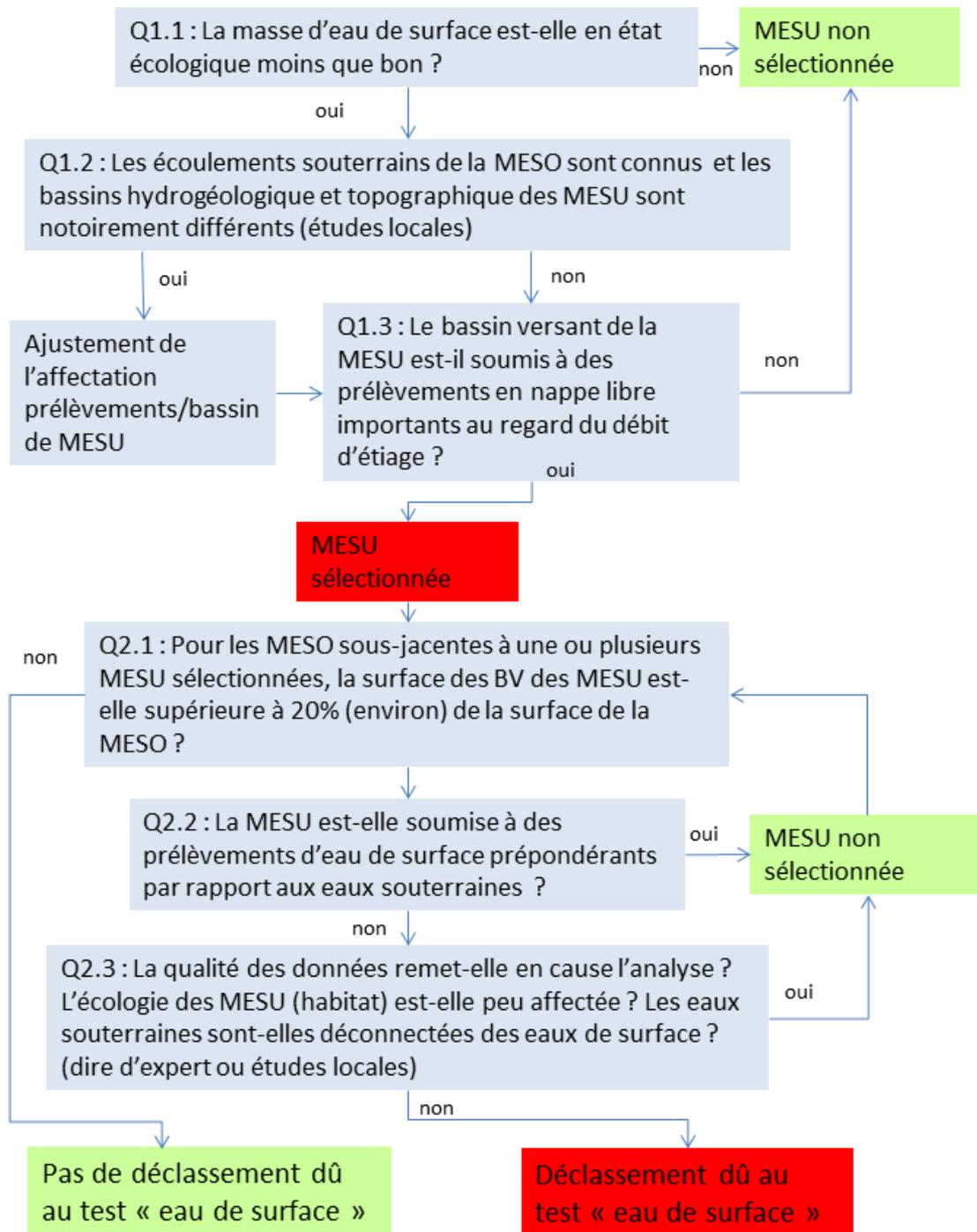


Figure 23 : Logigramme du Test « Eaux de surface » - Etat quantitatif

2.3.3 Données de prélèvements

Les données des prélèvements sont issues de la banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) (<http://www.bnpe.eaufrance.fr/acces-donnees>) – il s'agit des volumes prélevés dans les masses d'eau superficielle pour l'année moyenne la plus récente disponible (2014).

2.3.4 Calculs effectués

Le test se décline en deux grandes étapes qui elles-mêmes s'échelonnent suivant plusieurs questions :

Etape 1 : Sélection des MESU susceptibles d'être concernées par une contribution des eaux souterraines à la dégradation de leur état écologique (Cf. questions 1.1, 1.2 et 1.3 de l'arbre de décision) ;

Etape 2 : évaluation de l'état des MESO sous-jacentes aux MESU sélectionnées selon trois critères : superficie des BV des MESU / superficie de la MESO, prépondérance des prélèvements en eau souterraine et connexion des eaux souterraines et superficielles (Cf. questions 2.1, 2.2 et 2.3 de l'arbre de décision).

Au sein de ces deux étapes, les méthodes de travail suivantes sont proposées afin de répondre à chacune des questions du test:

- Question 1.1 : toutes les MESU en état écologique moins que bon sont concernées, même si d'autres pressions sont connues (hydromorphologie, pollution,...) ;
- Question 1.2 : évaluation de la connexion entre les bassins hydrogéologique et topographique à partir de référentiels connus et/ou d'études locales et/ou dires d'expert.
- Question 1.3 : calcul du ratio entre les volumes moyens consommés en nappe libre (connexion potentielle avec les ESU) pendant la période estivale (Cf. les ratios du test pression impact prélèvements indiqués ci-dessous qui peuvent être adaptés) et le QMNA5 à l'aval des MESU.

Le seuil de sélection des MESU dépendra du choix fait sur le type de QMNA5 considéré. Les valeurs guides proposées pour ce seuil sont de : 25% pour des QMNA5 calculés à partir des chroniques de débits observés et de 20% pour des QMNA5 dits naturels, calculés à partir de chroniques de débits reconstituées.

- Question 2.1 : calcul du ratio entre la superficie des BV des MESU (sus-jacentes) sélectionnées et la superficie de la MESO. Si le ratio est inférieur à 20%, alors le test est interrompu (la MESO est considérée en bon état) ;
- Question 2.2 : calcul du ratio entre les prélèvements en eau superficielle et les prélèvements totaux exercés sur l'emprise des BV de la MESU ;
- Question 2.3 : évaluation de la qualité des données utilisées et de leurs impacts sur les résultats de l'analyse effectuée. Evaluation de l'impact sur l'écologie des MESU, en prenant en compte un Débit Minimum Biologique s'il a été estimé.
- Il est préconisé de s'appuyer sur les modélisations et études locales. La connexion entre eaux superficielles et eaux souterraines a été évaluée à dire d'experts en l'absence d'études.

2.3.5 Résultats du test « Eaux de surface » pour l'état quantitatif

Une masse d'eau souterraine est classée en état médiocre si ;

- La superficie des bassins versants des MESU en état moins que bon est > 20% de la surface de la MESO

ET

- Les prélèvements en eau souterraine sont prépondérants (supérieurs à 20% de la ressource disponible en étiage dans la MESU sus-jacente)

ET

- Les eaux souterraines sont connectées aux eaux de surface

Il convient de noter que dans le contexte réunionnais, les transferts d'eau se font plutôt de la rivière vers les nappes.

Toutefois, la masse d'eau FRLG122 « Formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles » présente un fonctionnement particulier. Bien que la masse d'eau ne soit pas entièrement sous-jacente à la Ravine Saint-Gilles, les études antérieures démontrent que l'alimentation de la Ravine Saint-Gilles provient essentiellement du drainage des formations volcaniques d'altitude de la ravine Saint-Gilles (Join and Coudray 1992). Une relation peut donc être établie entre les prélèvements d'eau souterraine au Puits Bassin Malheur et le fonctionnement hydraulique et écologique de la Ravine Saint-Gilles. Les prélèvements en eau souterraine au niveau du Bassin Malheur correspondent à 20% de la recharge et sont susceptibles d'impacter l'état quantitatif du cours d'eau FRLR21 Ravine Saint-Gilles.

Cependant, calcul du ratio entre les prélèvements en eau superficielle (Ravine Saint-Gilles) et les prélèvements totaux exercés sur l'emprise du bassin versant montre que les prélèvements sur les eaux de surface sont prépondérants (70%).

Par conséquent, la masse d'eau est classée en bon état pour ce test.

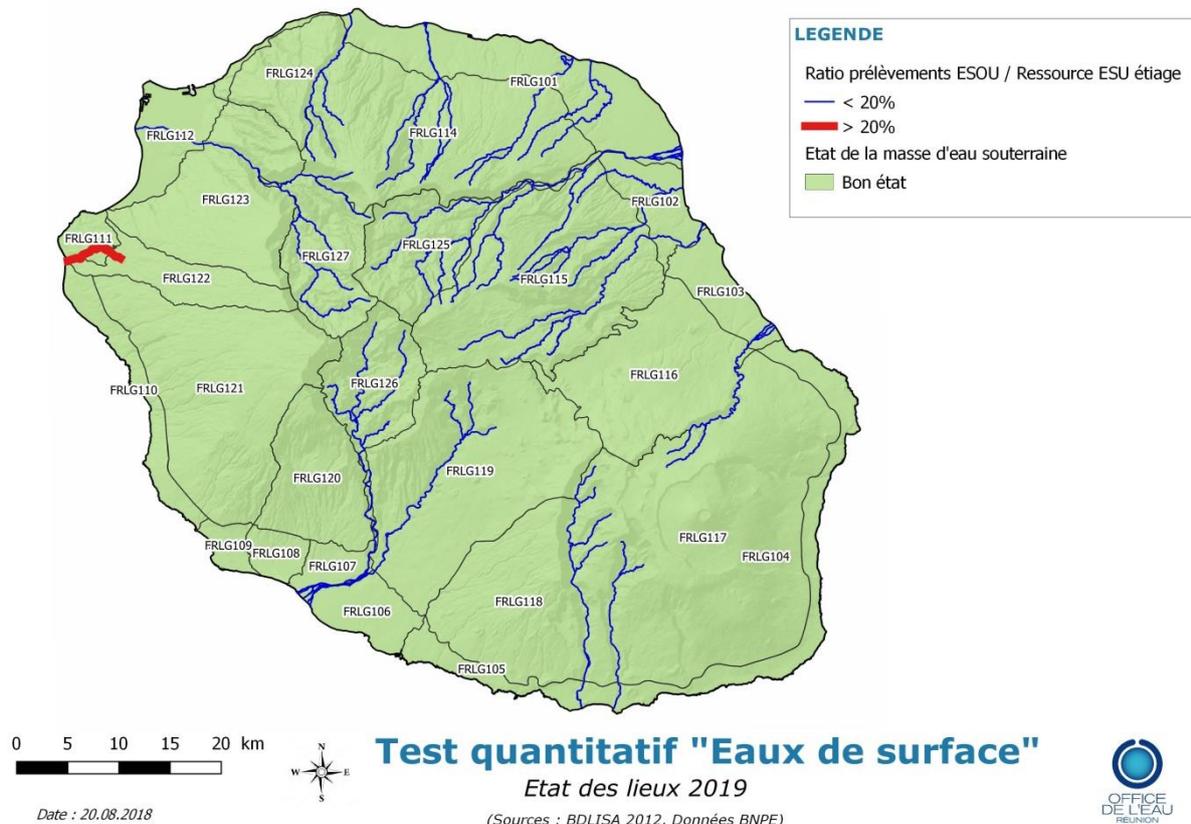


Figure 24 : Résultats du Test « Eaux de surface » - Etat quantitatif

2.3.6 Niveau de confiance du test et discussions

Compte tenu de l'épaisseur de la zone non saturée dans le contexte réunionnais, les transferts d'eau se font plutôt de la rivière vers la nappe. Cette situation explique le fait que toutes les masses d'eau souterraine sont en bon état pour ce test.

Toutefois, les études antérieures démontrent que l'alimentation de la Ravine Saint-Gilles provient essentiellement du drainage des formations volcaniques d'altitude de la ravine Saint-Gilles (Join and Coudray 1992). Une relation peut donc être établie entre les prélèvements d'eau souterraine au Puits Bassin Malheur et le fonctionnement hydraulique et écologique de la Ravine Saint-Gilles. Le niveau de confiance est élevé pour ce test.

2.4 Test « Ecosystèmes terrestres associés »

2.4.1 Objectifs du test

Ce test vise à identifier les masses d'eau souterraine pour lesquelles les prélèvements sont à l'origine d'une dégradation des écosystèmes terrestres associés (ETA).

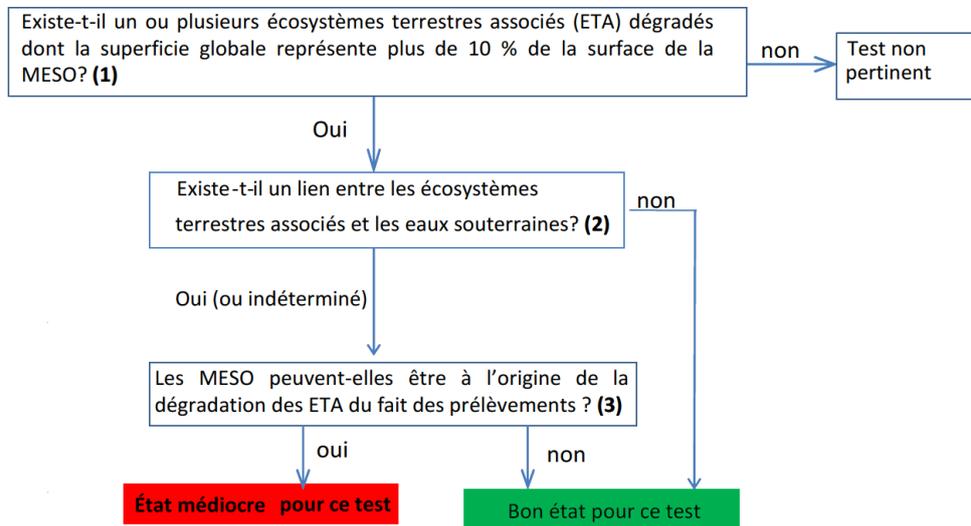


Figure 25 : Logigramme du test « Ecosystèmes terrestres associés » - Etat quantitatif

2.4.2 Résultats du test

Seul l'écosystème de l'étang de Saint-Paul présente une superficie supérieure à 10 % de la masse d'eau souterraine associée. Cependant, aucun impact des prélèvements dans la masse d'eau souterraine n'a été démontré sur l'état quantitatif de l'étang de Saint-Paul. Les 27 masses d'eau souterraine de La Réunion semblent en bon état pour ce test.

2.5 Synthèse de l'évaluation de l'état quantitatif

L'agrégation des résultats issus des 4 tests précédents permet une évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine. Toutes les masses d'eau sont en bon état au regard des tests « Eaux de surface » et « Ecosystèmes terrestres associés ». Les masses d'eau en état médiocre sont déclassées par les tests « Balance » et « Intrusion saline ».

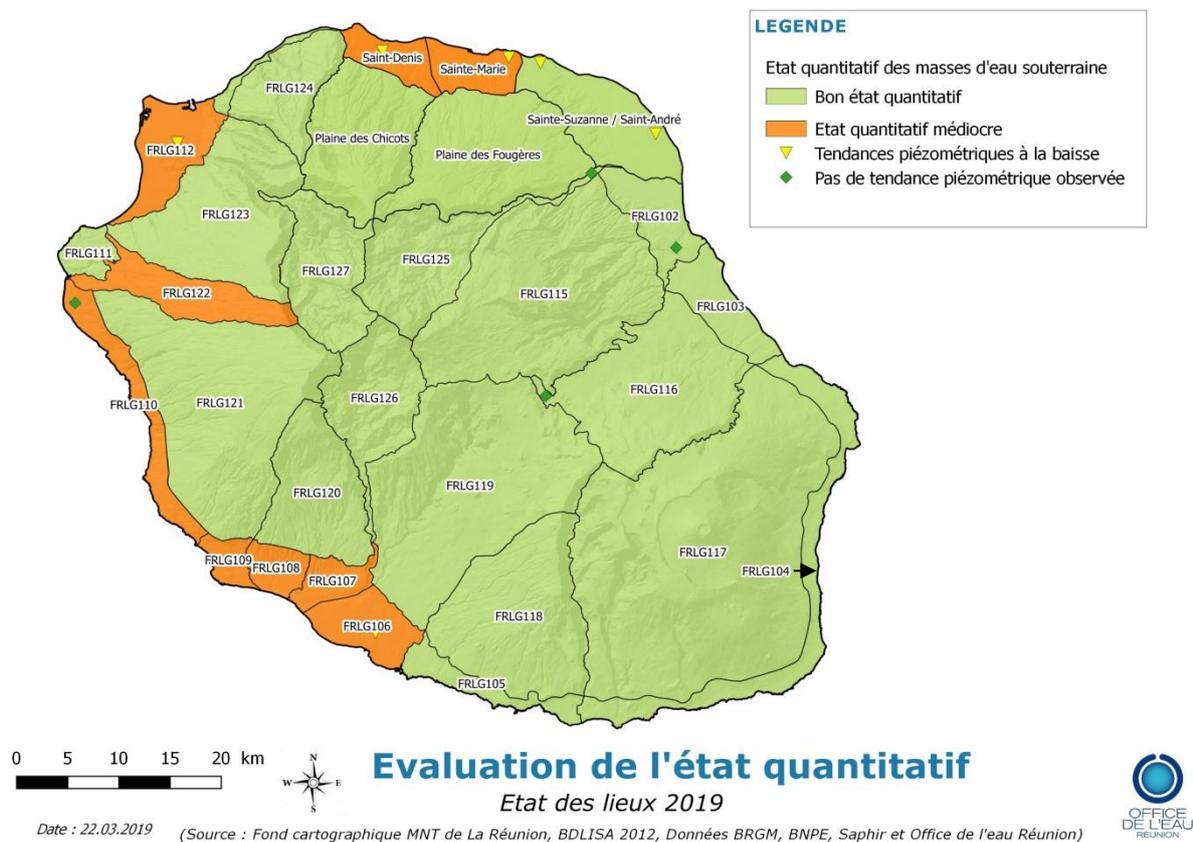


Figure 26 : Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine

Tableau 5 : récapitulatif des résultats de l'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine.

Code masse d'eau	Nom ou secteur masse d'eau	Test Balance	Test ETA	Test Eaux de Surface	Test Intrusion Saline	Etat quantitatif 2019
FRLG101	Littoral Nord / St-Denis	MEDIOCRE	BON	BON	BON	MEDIOCRE
	Littoral Nord / Ste-Marie	MEDIOCRE	BON	BON	BON	MEDIOCRE
	Littoral Nord / Ste-Suzanne/St-André	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG102	Bras Panon/St-Benoît	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG103	Ste-Anne/Ste-Rose	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG104	Littoral Fournaise	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG105	Littoral Petite Ile	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG106	Littoral Saint-Pierre	MEDIOCRE	BON	BON	BON	MEDIOCRE
FRLG107	Plaine des Cocos	MEDIOCRE	BON	BON	BON	MEDIOCRE
FRLG108	Plaine du Gol	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG109	Littoral Etang Salé	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG110	Littoral Ouest	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG111	Brèches de St-Gilles	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG112	Plaine des Galets	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG113	Littoral La Montagne	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG114	Plaine des Chicots	BON	BON	BON	BON	BON
	Plaine des Fougères	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG115	Plaine des Lianes	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG116	Plaine des Palmistes	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG117	Piton de La Fournaise	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG118	Plaine des Grègues	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG119	Dimitile/Tampon	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG120	Plaine des Makes	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG121	Planèze Ouest	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG122	Ravine Saint-Gilles	MEDIOCRE	BON	BON	BON	MEDIOCRE
FRLG123	B. de Nèfles/Dos d'âne	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG124	La Montagne	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG125	Salazie	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG126	Cilaos	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG127	Mafate	BON	BON	BON	BON	BON

Considérant la masse d'eau FRLG101 en bon état, 26% des masses d'eau sont en état quantitatif médiocre.

2.6 Analyse de l'effet des évolutions des méthodes d'évaluation « effet thermomètre »

Les critères d'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine ont évolué entre 2015 et 2018 afin d'être plus pertinent sur les points suivants :

- Le ratio appliqué en 2015 pour déclarer un point d'eau dégradé pour le test « Balance » était de 1 pour l'ensemble des masses d'eau quel que soit leurs typologies, il est de 0,05 pour les édifices volcanique en 2019 suite à des précisions dans le guide méthodologique.
- Le forage « Puit bassin Malheur » était rattaché à la masse d'eau FRLG111, or il est représentatif de la masse d'eau FRLG122.

Considérant ces hypothèses, les incidences concernent uniquement le test balance, pour lequel l'ensemble des masses d'eau de serait en bon état.

L'analyse de l'état des masses d'eau aurait été la suivante :

Code masse d'eau	Nom ou secteur masse d'eau	Etat quantitatif méthodologie 2015	Etat quantitatif méthodologie 2019
FRLG101	St-Denis	BON	BON
	Ste-Marie		
	Ste-Suzanne/St-André		
FRLG102	Bras Panon/St-Benoît	BON	BON
FRLG103	Ste-Anne/Ste-Rose	BON	BON
FRLG104	Littoral Fournaise	BON	BON
FRLG105	Littoral Petite Ile	BON	BON
FRLG106	Littoral Saint-Pierre	BON	MEDIOCRE
FRLG107	Plaine des Cocos	BON	MEDIOCRE
FRLG108	Plaine du Gol	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG109	Littoral Etang Salé	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG110	Littoral Ouest	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG111	Brèches de St-Gilles	BON	BON
FRLG112	Plaine des Galets	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG113	Littoral La Montagne	BON	BON
FRLG114	Plaine des Chicots	BON	BON
	Plaine des Fougères	BON	BON
FRLG115	Plaine des Lianes	BON	BON
FRLG116	Plaine des Palmistes	BON	BON
FRLG117	Piton de La Fournaise	BON	BON
FRLG118	Plaine des Grègues	BON	BON
FRLG119	Dimitile/Tampon	BON	BON
FRLG120	Plaine des Makes	BON	BON
FRLG121	Planèze Ouest	BON	BON
FRLG122	Ravine Saint-Gilles	BON	MEDIOCRE
FRLG123	B. de Nèfles/Dos d'âne	BON	BON
FRLG124	La Montagne	BON	BON
FRLG125	Salazie	BON	BON
FRLG126	Cilaos	BON	BON
FRLG127	Mafate	BON	BON

Tableau 6 : comparaison de l'état quantitatif suivant la méthode de 2015 et 2019

3 L'état chimique des masses d'eau souterraine

L'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine se fait à l'aide de 5 tests décrits dans la circulaire du 23 octobre 2012 relative à la détermination de l'état des eaux souterraines :

- le test « Qualité générale »,
- le test « Intrusion saline »,
- le test « zones protégées pour l'AEP »
- le test « Eau de surface »,
- le test « Ecosystèmes terrestres associés ».

3.1 Méthodologie de l'évaluation

Pour chaque masse d'eau et chaque paramètre (ou somme de paramètres), l'évaluation de l'état chimique comporte deux étapes :

- Etape 1 : vérifier en chaque point de surveillance de la masse d'eau (réseaux de surveillance DCE RCS/RCO et autres réseaux dits pertinents) et pour chaque paramètre, si des dépassements de la valeur seuil ou de la norme de qualité sont constatés.

- Etape 2 : mener une enquête appropriée pour étudier en détail si les conditions qui définissent le bon état chimique d'une masse d'eau souterraine sont remplies.

Elle consiste à mettre en œuvre une série de tests indépendants, correspondant chacun à une condition du bon état. Seuls les tests « pertinents » c'est-à-dire correspondant à un risque identifié pour la masse d'eau doivent être menés. Si, par exemple, une masse d'eau ne présente aucun risque d'intrusion salée ou autre, il est inutile d'appliquer ce test. Ainsi cinq tests peuvent être mis en œuvre pour réaliser l'enquête appropriée, dont deux spécifiques à l'état chimique « Qualité générale » et « Zones protégées AEP » et trois communs avec l'état quantitatif « Ecosystèmes terrestres », « Intrusion salée ou autre » et « Eaux de surface ».

A l'issue de chacun de ces tests, l'état de la masse d'eau sera considéré comme « bon » ou « médiocre » pour ce test. Si pour au moins un test la masse d'eau est en état médiocre, alors l'ensemble de la masse d'eau est classé en état médiocre.

Les étapes et tests à réaliser pour l'évaluation de l'état chimique sont détaillés dans les parties suivantes selon les rubriques suivantes: objectifs, schéma de réalisation, données à utiliser, calculs à effectuer, niveau de confiance pour le test.

Étape 1

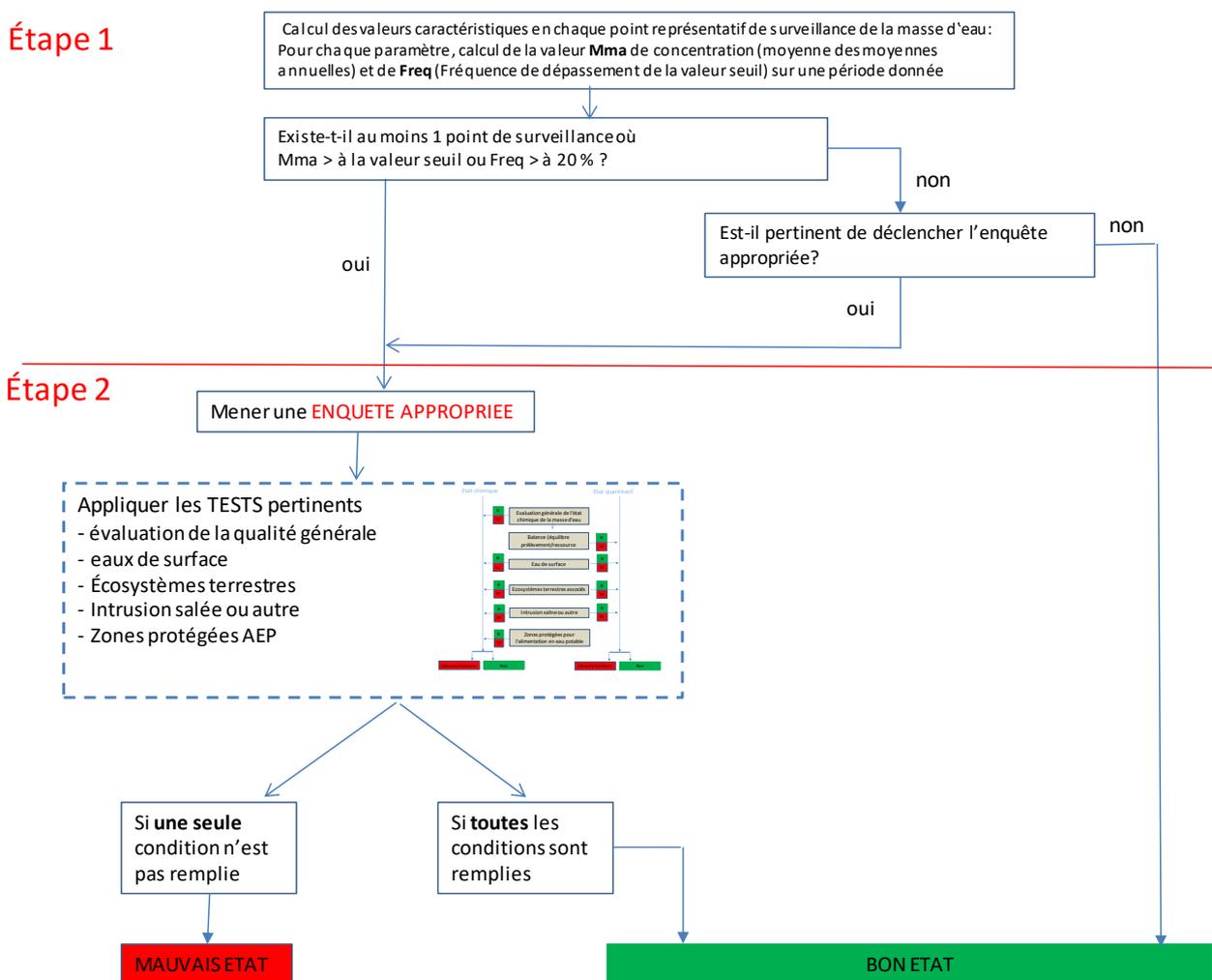


Figure 27: Les étapes de l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine

3.1.1 Calcul des valeurs caractéristiques en chaque point de surveillance de la masse d'eau pour comparaison aux normes de qualité ou valeurs seuils

a) Objectifs

Les objectifs de cette étape préliminaire consistent à qualifier indépendamment la qualité chimique de chaque point de surveillance pour chaque masse d'eau souterraine.

En chaque point des réseaux de surveillance la moyenne des moyennes annuelles (MMA) et fréquence de dépassement des concentrations (Freq) sont calculées, puis comparées aux valeurs seuils ou normes de qualité de chacun des paramètres afin de conclure à d'éventuels dépassements.

3.1.2 Données utilisées

Période de référence : l'évaluation porte sur une période de 6 ans commune à tous les bassins : 2012-2017

Réseaux de surveillance / points: sont pris en considération tous les résultats issus des réseaux de surveillance dont l'implantation, la fréquence et la qualité de suivi sont jugés pertinents :

- les réseaux de suivi de l'ARS et de l'Office de l'eau Réunion ont été utilisés.
- les données issues de certains sites et sols pollués ont été utilisées (notamment pour le tétrachloroéthylène).

Paramètres, normes de qualité et valeurs seuils à utiliser : les paramètres et valeurs seuils correspondantes sont définis dans la circulaire précisant l'arrêté établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines. Par ailleurs, la fréquence de dépassement de la valeur seuil ne doit pas excéder 20%. Conformément à cet arrêté, des seuils spécifiques sont adoptés pour La Réunion pour les paramètres conductivité (500 μ S/cm), chlorures (100 mg/l) et sulfates (60 mg/l).

Un point d'eau est en bon état chimique si :

- la MMA ne dépasse pas la valeur seuil du paramètre étudié ; et
- la fréquence de dépassement (*Freq*) de la valeur seuil n'excède pas 20%.

Si l'une de ces deux conditions n'est pas respectée, alors **le point** est déclaré en état chimique médiocre.

3.1.3 L'enquête appropriée à l'échelle de la masse d'eau souterraine

Les calculs de MMA et fréquence de dépassement étant réalisés à partir de résultats issus des réseaux de suivi de l'office de l'eau et de l'ARS, un niveau de confiance élevé est attribué pour l'ensemble de l'étape préliminaire.

Si aucun dépassement n'est constaté en étape préliminaire, l'ensemble de la masse d'eau est classée en bon état chimique.

En cas de dépassements constatés lors de l'étape préliminaire en un ou plusieurs points, l'enquête appropriée est réalisée à l'échelle de la masse d'eau.

3.2 Test « Qualité générale »

3.2.1 Objectifs du test

Ce test vise à déterminer si les dépassements de valeurs seuils ou normes de qualité observés lors de l'étape 1 ne sont pas considérés comme présentant un risque significatif pour l'environnement et pour les usages, compte tenu de l'étendue de la masse d'eau souterraine concernée.

3.2.2 Schéma de réalisation

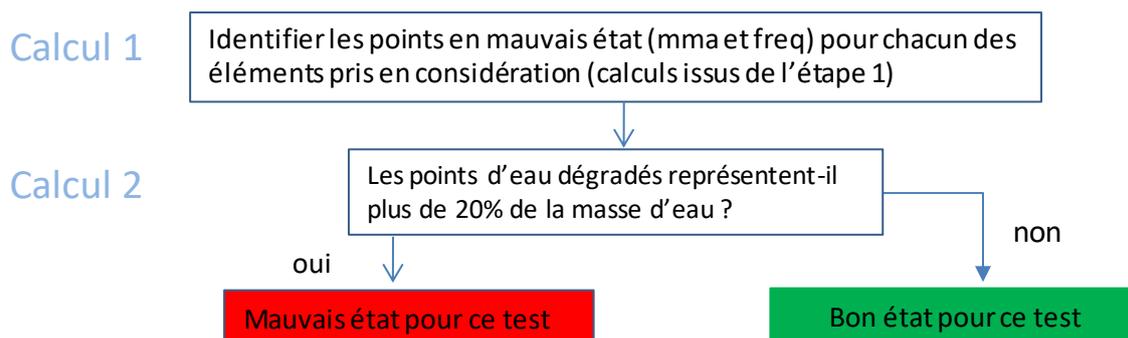


Figure 28 : Schéma de réalisation du test « Qualité générale »

3.2.3 Résultats du test « Qualité générale »

La réalisation du test donne les résultats suivants :

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats du Test « Qualité générale »

Code UE	Nom	Paramètres impliqués (Points d'eau dégradés)	Représentativité des points d'eau dégradés	Etat de la masse d'eau
FRLG101	Formations volcaniques du Littoral Nord	Orthophosphates (Ravine Creuse)	< 20%	Bon
		Atrazine desethyl (Forage Les Cafés)	< 20%	
FRLG104	Formations volcaniques littorales de la Fournaise	Métolachlore (Puits du Baril)	< 20%	Bon
		Conductivité et chlorures (Puits du Baril)	< 20%	
FRLG106	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de Saint-Pierre	Conductivité (Forage Chane Hive)	< 20%	Bon
FRLG107	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires des Cocos	Conductivité (Forage PIB6 Les Cocos)	> 20%	Médiocre
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du Gol	Conductivité, chlorures (Puits B du Gol, Puits C du Gol, Forage Marengo)	> 20%	Médiocre
FRLG109	Formations volcaniques et sédimentaires de l'Étang Salé,	Conductivité, chlorures (Forage Le Brûlé, F4 Pacifique 2)	> 20%	Médiocre
FRLG110	Formations volcaniques du Littoral Ouest,	Conductivité, chlorures (Fonds Petit Louis, Forage Petite Ravine Forage Grande Ravine (RG) Forage Montée Panon Forage FRH5)	> 20%	Médiocre
FRLG112	Formations volcaniques et sédimentaires de la	Conductivité (Forage F5 Bis, Forage FRH15)	> 20%	Médiocre

	Plaine des Galets			
		Chlorures (Forage FRH15)	> 20%	
		Atrazine desethyl (Forage Oméga)	< 20%	
		PZ2 EDF Port Ouest (Tri et tétra chloroéthylène)	< 20%	

Les masses d'eau souterraine n'étant pas concernées par des dépassements de seuils ne sont pas représentées sur ce tableau.

A l'issue de l'analyse, 5 masses d'eau souterraine apparaissent en état médiocre pour ce test (carte ci-dessous). Il s'agit des masses d'eau souterraine suivantes :

- FRLG107 Formations volcaniques et volcano-sédimentaires des Cocos,
- FRLG108 Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du Gol,
- FRLG109 Formations volcaniques et sédimentaires de l'Étang Salé,
- FRLG110 Formations volcaniques du Littoral Ouest,
- FRLG112 Formations volcaniques et sédimentaires de la Plaine des Galets

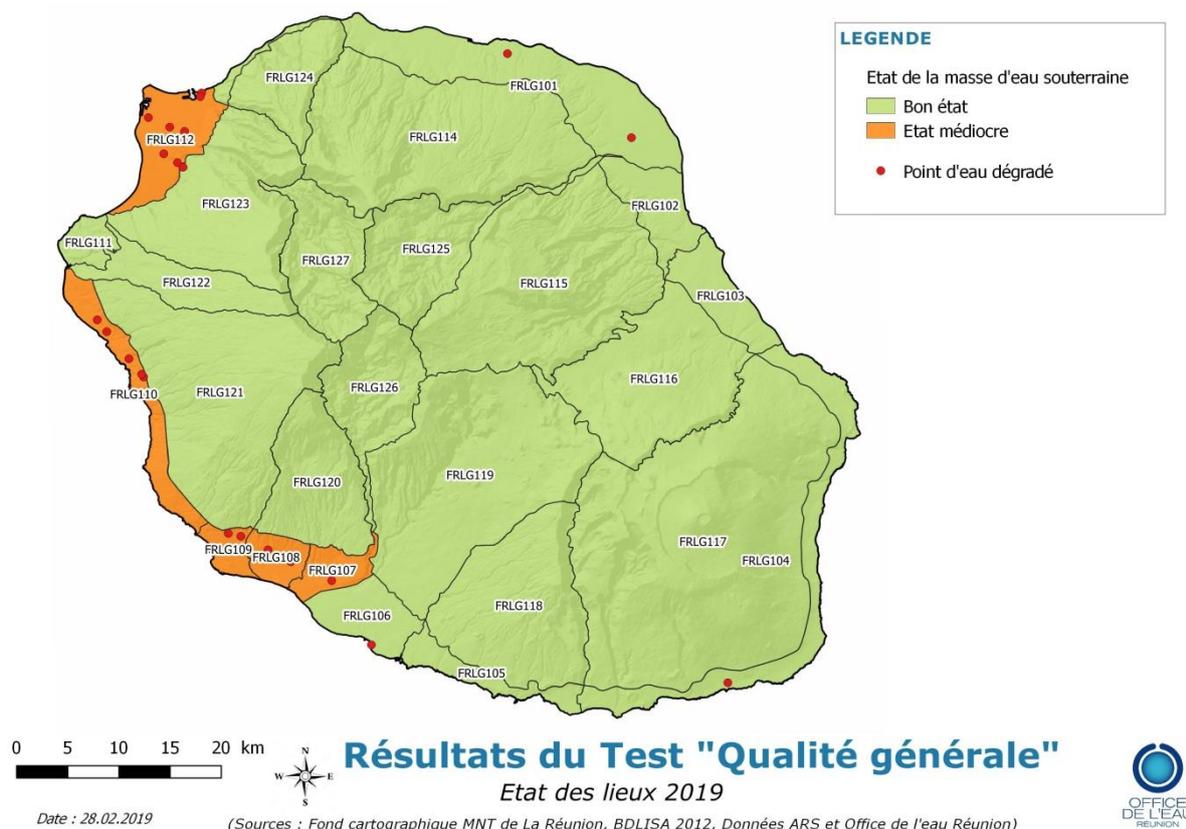


Figure 29 : Résultats du test « Qualité générale »

3.2.4 Evaluation des incertitudes / niveau de confiance pour le test

Le niveau de confiance de ce test est basé sur la représentativité des points à la masse d'eau. Une étude de représentativité des points d'eau est réalisée sur les 5 masses d'eau classées en état médiocre. Le niveau de confiance pour ce test est jugé moyen.

N.B. : Dans le cas des masses d'eau d'altitude, certains points d'eau correspondent à des sources sur lesquelles des valeurs de turbidités élevées sont fréquemment observées notamment suite aux événements pluvieux. Ces dégradations locales de la qualité de l'eau sont d'une part d'origine naturelle et d'autre part peu représentatives de l'état global des aquifères associés. Elles ne peuvent donc pas servir à déclasser les masses d'eau concernées.

3.3 Test « Intrusion saline »

3.3.1 Objectifs du test

Le test « Intrusion saline » vise à mettre en évidence l'impact d'un phénomène d'invasion d'eau salée (minéralisée) d'origine marine ou autre. Quatre situations différentes sont distinguées :

- l'intrusion saline d'origine marine,
- la remontée d'eau connée,
- la drainance ascendante des niveaux profonds riches en sels ou drainance depuis une masse d'eau adjacente contaminée et
- l'intrusion ou l'infiltration d'eau de surface en état moins que bon ou salée (cf. schéma ci-dessous).

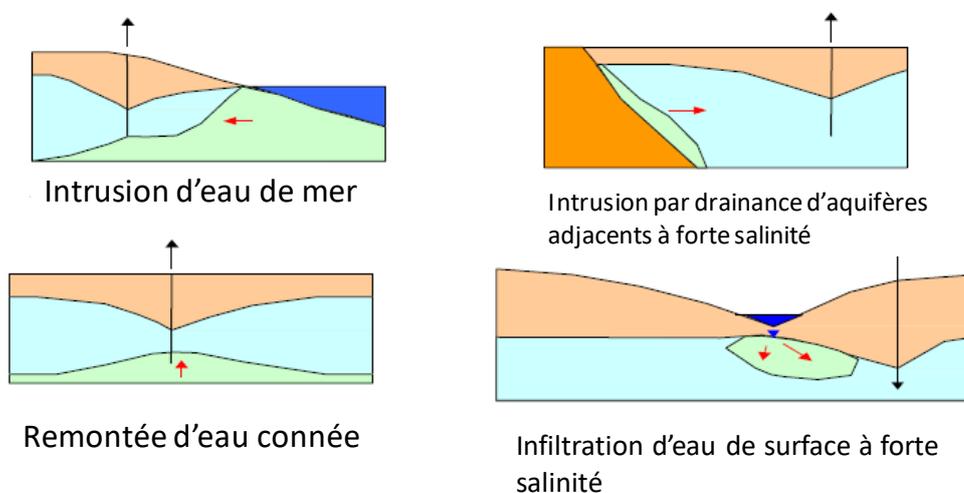


Figure 30 : Types d'intrusions salines d'origine marine ou autre (UKTAK paper 11b(i))

3.3.2 Aspects méthodologiques

Il s'agit de calculer la moyenne des moyennes annuelles (mma) pour les paramètres physico-chimiques caractérisant la salinité sur chaque point d'observation et de déterminer des masses d'eau pour lesquelles un dépassement de la valeur seuil est observé pour un des éléments d'intérêt.

Le schéma ci-dessous récapitule la démarche mise en œuvre.

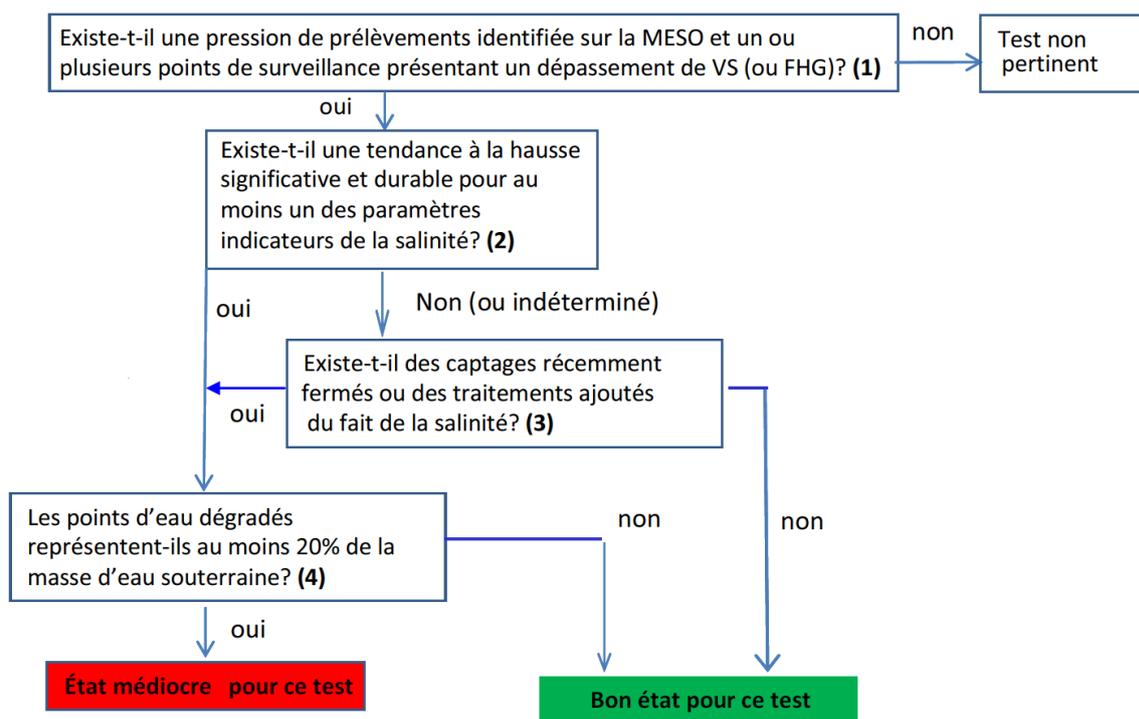


Figure 31 : Schéma de réalisation du Test « Intrusion saline »

Une analyse préliminaire permet d'identifier les masses d'eau souterraine sur lesquelles s'exercent certaines pressions. Les pressions peuvent être représentées par :

- des pompages sur le secteur/MESO considérée ou
- une tendance à la baisse des niveaux piézométriques ou
- le test balance (ou l'analyse de la pression de prélèvement)

La mise en œuvre du test « Intrusion saline » permet ensuite d'évaluer les tendances d'évolution des paramètres clés (conductivité, chlorures, sulfates et autres paramètres caractérisant la salinité) sur les points d'eau dits « représentatifs » et voir si ces tendances sont « significatives et durables » grâce à :

a – un calcul des tendances pour les paramètres indicateurs de salinité pour l'ensemble des points « représentatifs »

Il s'agira notamment de distinguer les variations saisonnières des variations interannuelles. Si les seules tendances observées sont saisonnières alors la masse d'eau ne doit pas être considérée en médiocre état pour ce test. Si au contraire l'augmentation de la salinité est constante d'une année à l'autre alors cela justifie de classer la masse d'eau en médiocre état pour ce test.

Il est également possible d'évaluer les tendances d'évolution, croisées avec l'évolution des pompages et des changements climatiques (de la recharge). On prend alors dans un premier temps l'ensemble des données disponibles. Ensuite, on évalue une rupture/inversion de tendances.

b – un inventaire des captages fermés ou changements de traitements

Les captages fermés récemment et dont le motif d'abandon est lié à une forte salinité ou concernés par une modification des traitements (dilution par mélange d'eau ou autre) ont été identifiés après consultation de la DEAL, l'ARS et la Créole.

3.3.3 Données utilisées

Période de référence :

- Pour l'estimation des dépassements de la *mma* au point : Période commune 2012-2017 (cf. procédure générale de l'évaluation du bon état chimique). Pour l'estimation des tendances : au minimum 10 données et une donnée par an.
- Pour les changements de traitement et abandons de captage AEP : le cycle de gestion en cours.

Réseaux / points :

- Les points suivis en physico-chimie par l'Office de l'eau Réunion et par l'Agence régionale de Santé (ARS) présentant une *mma* (ou fréquence de dépassement) des valeurs seuils pour un des éléments indicateurs de la salinité,

Éléments/paramètres utiliser :

- Conductivité, Cl, Na, SO₄, B, Br pour la salinité liée à l'eau de mer actuelle ou ancienne (eau connée).

Valeurs seuils utilisées pour ce test :

Paramètres	Valeurs seuils	Unités	Observations
Conductivité	500	µS/cm	Seuil local
Chlorures	100	mg/L	Seuil local
Sulfates	60	mg/L	Seuil local
Sodium	200	mg/L	Seuil national
Bore	1000	µg/L	Seuil national

3.3.4 Résultats du test « Intrusion saline »

18 forages sont concernés par des dépassements des valeurs seuils pour au moins un paramètre indicateur de salinité sur la chronique de suivi de 2012 à 2017.

Ces forages interceptent 6 masses d'eau souterraine dont 5 situées en zone côtière.

Tableau 8 : Masses d'eau concernées par des dépassements de seuils salinités en 2018

CODE UE	NOM	Nombre de captages pour lesquels les MMA>VS
FRLG104	Formations volcaniques du littoral de La Fournaise	1
FRLG106	Formations volcaniques du littoral de Pierrefonds à Saint-Pierre	1
FRLG107	Formations volcaniques de la Plaine des Cocos	1
FRLG108	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol	2
FRLG109	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de l'Etang Salé	2
FRLG110	Formations volcaniques et sédimentaires du littoral de la Planèze Ouest	5
FRLG112	Formations volcaniques et volcano-sédimentaires du littoral de l'étang de Saint Paul à la Plaine des Galets	4
FRLG126	Formations volcano-détritiques du Cirque de Cilaos	2

Tableau 9 : Captages concernés par des dépassements de seuils en 2018

Code masse d'eau	Nom du captage	Paramètres dépassant un seuil	Existe-t-il une tendance pluriannuelle significative ?	Captages récemment fermés ou traitement ajouté du fait de la salinité	Les points dégradés représentent plus de 20% de la masse d'eau	Etat Masse d'eau associée
FRLG104	Puits du Baril	Conductivité, Chlorures	Baisse conductivité depuis 1999	OUI	NON	BON*
FRLG106	Forage Chane Hive	Conductivité, Chlorures	Baisse conductivité, aucune tendance pour les chlorures	NON	NON	BON*
FRLG107	PIB6 Les Cocos	Conductivité, nitrates	Hausse conductivité, hausse nitrates	NON	OUI	BON**
FRLG108	Puits C du Gol	Conductivité	Pas de tendance significative	NON	OUI	MÉDIOCRE
	Forage Marengo	Conductivité, Chlorures	Hausse Cl depuis 2010			
FRLG109	Forage F5 Le Brûlé	Conductivité, Chlorures	Hausse des sulfates depuis 2010 Hausse des chlorures depuis 2007	NON	OUI	MÉDIOCRE
	Forage Pacifique 2	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2005			
FRLG110	Puits de la Grande Ravine N°2	Conductivité, Chlorures	Hausse de la conductivité Hausse des chlorures Hausse des sulfates	OUI (FRH5)	OUI	MÉDIOCRE
	Forage de Fond Petit Louis	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
	Forage de la Petite Ravine	Conductivité, Chlorures	Baisse CE depuis 2003			
	F1-Bis Montée Panon	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 1999			
	Forage FRH5	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
FRLG112	F5-Bis Plaine Saint-Paul	Conductivité	Hausse CE et Cl depuis 2008	OUI (FRH15)	OUI	MÉDIOCRE
	Forage FRH15	Conductivité, Chlorures	Hausse chlorures depuis 2010			
	Forage F2	Conductivité	Baisse conductivité			
	Forage F4	Conductivité	Pas de tendance significative			
FRLG126	Source Irénée	Conductivité, Sulfates	Baisse des sulfates depuis 2011	NON	NON	BON**
	Source Véronique	Conductivité	Pas de tendance significative			

* les points d'eau dégradés représentent moins de 20% de la surface de la masse d'eau.

** les conductivités et concentrations sont en lien avec une source de contamination autre que l'intrusion saline de type eau de mer (ex : sources hydrothermales ou enrichissement nutritif d'origine anthropique).

Au terme de l'analyse des tendances pluriannuelles en 2018, cinq captages indiquent une tendance à la hausse pour au moins un des paramètres indicateurs de salinité :

- Le forage F10 Marengo (Masse d'eau FRLG108),
- Le forage F5 Le Brûlé (Masse d'eau FRLG109),
- Le Puits N°2 de la Grande Ravine (Masse d'eau FRLG110),
- Les forages F5 Bis et FRH15 de la Plaine Saint-Paul (Masse d'eau FRLG112),

Les masses d'eau FRLG108, FRLG109 et FRLG112 restent classées en état médiocre pour le test 'Intrusion saline' (Tableau 4).

La dégradation constatée sur le Puits N°2 de la Grande Ravine d'une part et sur le forage FRH5 de La Saline d'autre part représente moins de 20% de la surface totale de la masse d'eau FRLG110. Cependant, les cinq points d'eau dégradés représentent plus de 20% de cette masse d'eau. Cette masse d'eau sera donc classée en état médiocre.

Tableau 10 : Masses d'eau classées en état médiocre au regard du Test 'Intrusion saline'.

Masse d'eau	Points d'eau	Observations
FRLG108 Plaine du Gol	F10 Marengo	Hausse des chlorures depuis 2010
FRLG109 Littoral de l'Etang-Salé	Forage F5 Le Brûlé	Hausse des sulfates depuis 2010
FRLG112 Littoral de Saint-Paul et Plaine des Galets	Forage FRH15	Hausse des chlorures depuis 2010 Arrêts du pompage du fait de la salinité
	F5 Bis Plaine Saint-Paul	Hausse de la conductivité et des chlorures depuis 2008
FRLG110 Littoral de la planèze Ouest	Puits N°2 de la Grande Ravine	Hausse de la conductivité, des chlorures et des sulfates
	Forage FRH5 de La Saline	Arrêts du pompage du fait de la salinité

Une représentation cartographique de ces résultats est proposée ci-dessous :

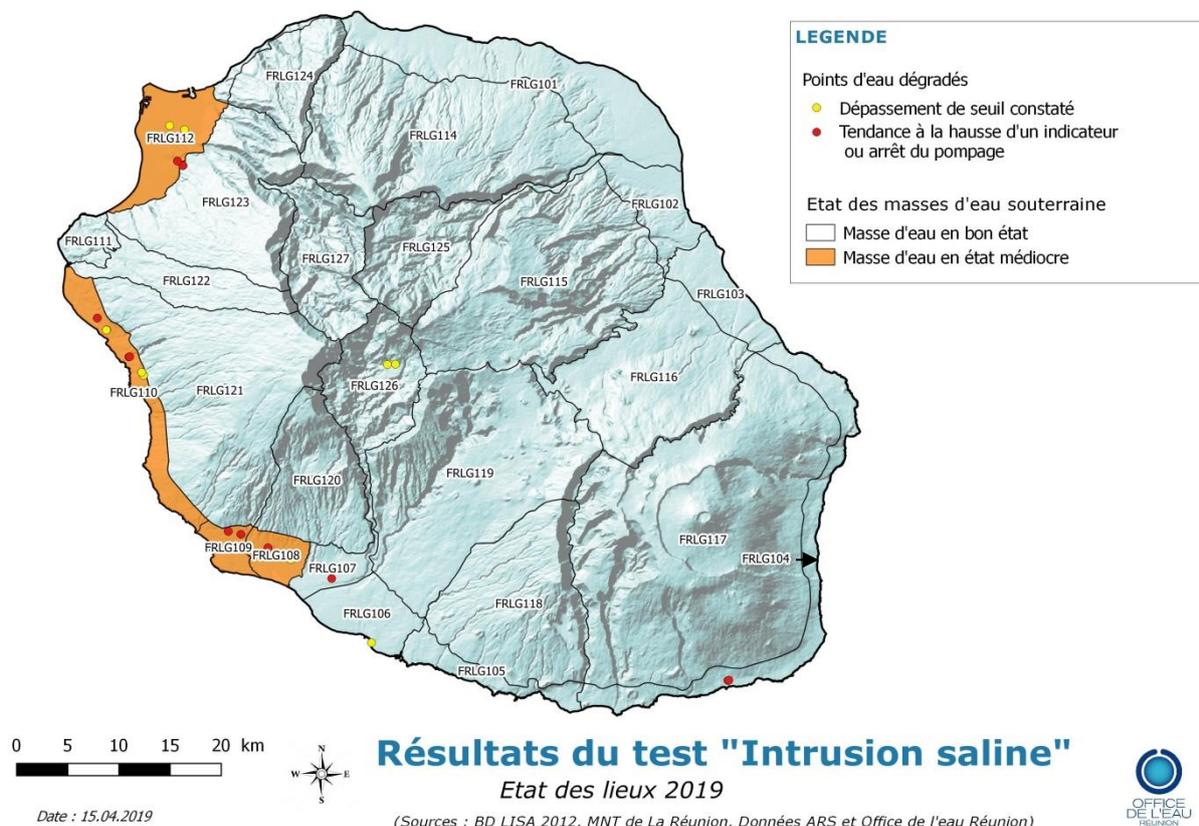


Figure 32 : Résultats du test « Intrusion saline » pour les masses d'eau souterraine

3.3.5 Niveau de confiance du test et discussions

Pour ce test, le niveau de confiance est jugé élevé compte tenu du nombre de points représentatifs pour chaque masse d'eau, de la qualité et de la quantité des données permettant l'estimation des tendances et des dépassements des valeurs seuils (chroniques souvent supérieures à 10 ans et 4 analyses par an).

Pour les masses d'eau FRLG108, FRLG109, FRLG110 et FRLG112, l'ensemble des points d'eau dégradés représente plus de 20% de la masse d'eau souterraine.

Dans ces quatre masses d'eau en état médiocre, les captages indiquant une dégradation sont relativement éloignés de la côte (1800 m pour FRLG109 et 3000 m pour FRLG112). Cette situation laisse penser que la partie située en aval des ouvrages est déjà largement impactée par l'intrusion marine.

Concernant, les masses d'eau classées en bon état, 3 cas de figures sont observés :

- Aucun captage n'indique un dépassement des valeurs seuils pour les paramètres indicateurs de salinité, ce qui correspond à la majeure partie des masses d'eau (21 masses d'eau/27),
- Les forages indiquant une dégradation ne sont pas représentatifs de plus de 20% de la masse d'eau (Puits du Baril dans la masse d'eau FRLG104),
- Les captages concernés par un dépassement de seuil sont en lien avec une source de contamination autre que l'intrusion saline (de type eau de mer). C'est le cas des sources hydrothermales Irénée et Véronique dans la masse d'eau de Cilaos ou du forage PIB6 Les Cocos fortement impacté par les nitrates.

3.4 Test – Zones protégées pour l'alimentation en eau potable

3.4.1 Objectifs

Ce test s'intéresse à l'évaluation de la dégradation des eaux souterraines prélevées pour l'AEP en considérant qu'une zone protégée pour l'AEP est représentée par la masse d'eau souterraine dans son ensemble dès lors que les captages d'eau potable qui y sont installés fournissent strictement plus de 10 m³/jour en moyenne ou desservent plus de 50 habitants. Il concerne également les masses d'eau à risque ou en état médiocre lors du rapportage antérieur pour le Test AEP et les masses d'eau ayant au moins un captage prioritaire identifié.

3.4.2 Schéma de réalisation

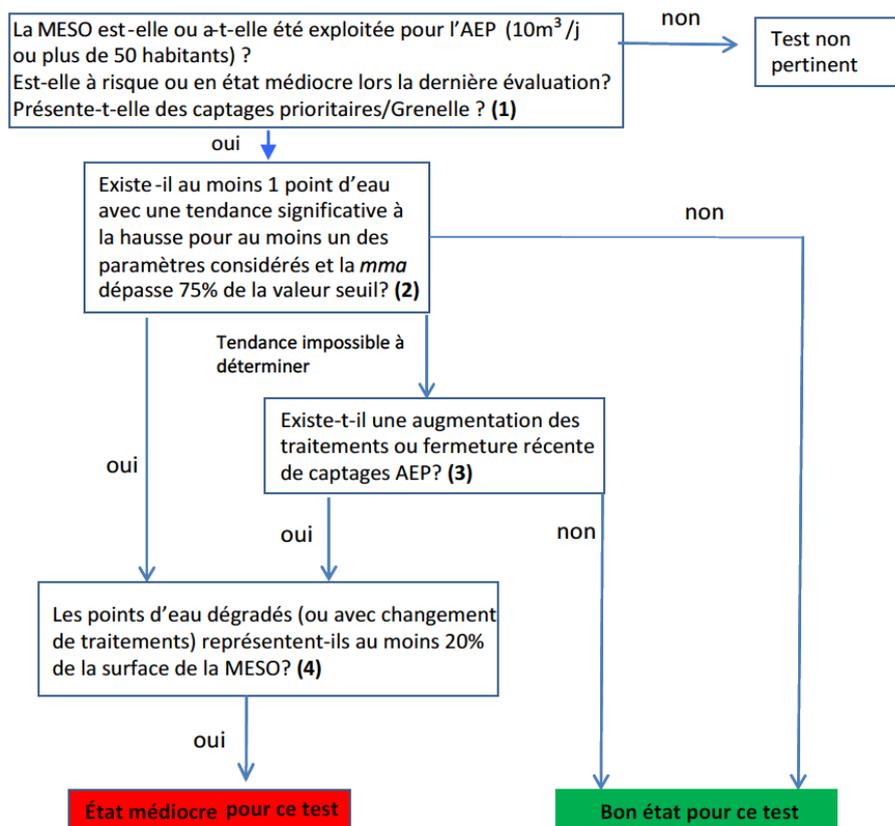


Figure 33: Schéma de réalisation du Test « Zones protégées pour l'AEP »

3.4.3 Données utilisées

Période de référence :

Pour l'estimation des dépassements de 75% de la *mma* au point, la période commune à tous les bassins est de 6 ans (2012-2017).

Pour l'estimation des tendances : Au minimum 10 années avec données sur 2 cycles DCE (cf guide tendance)

Pour les changements de traitement et abandons de captage AEP : cycle de gestion en cours.

Réseaux / points : Les données issues des réseaux de surveillance de l'ARS et de l'Office de l'eau Réunion. Autres données transmises par l'ARS, la Police de l'eau et les exploitants (comme les changements de traitements et fermeture de captages AEP).

3.4.4 Résultats du test « Zones protégées pour l'AEP »

A l'issue de l'analyse, 6 masses d'eau souterraine apparaissent en état médiocre.

Il s'agit des masses d'eau suivantes :

- FRLG112 « Formations volcaniques et sédimentaires de la plaine des Galets »
- FRLG110 « Formations volcaniques du Littoral de l'Ouest »
- FRLG109 « Formations volcaniques et sédimentaires du Littoral de l'Etang Salé »
- FRLG108 « Formations volcaniques et volcano-sédimentaires littorales du Gol »
- FRLG107 « Formations volcaniques et volcano-sédimentaires des Cocos »
- FRLG106 « Formations volcaniques et volcano-sédimentaires de Saint-Pierre »

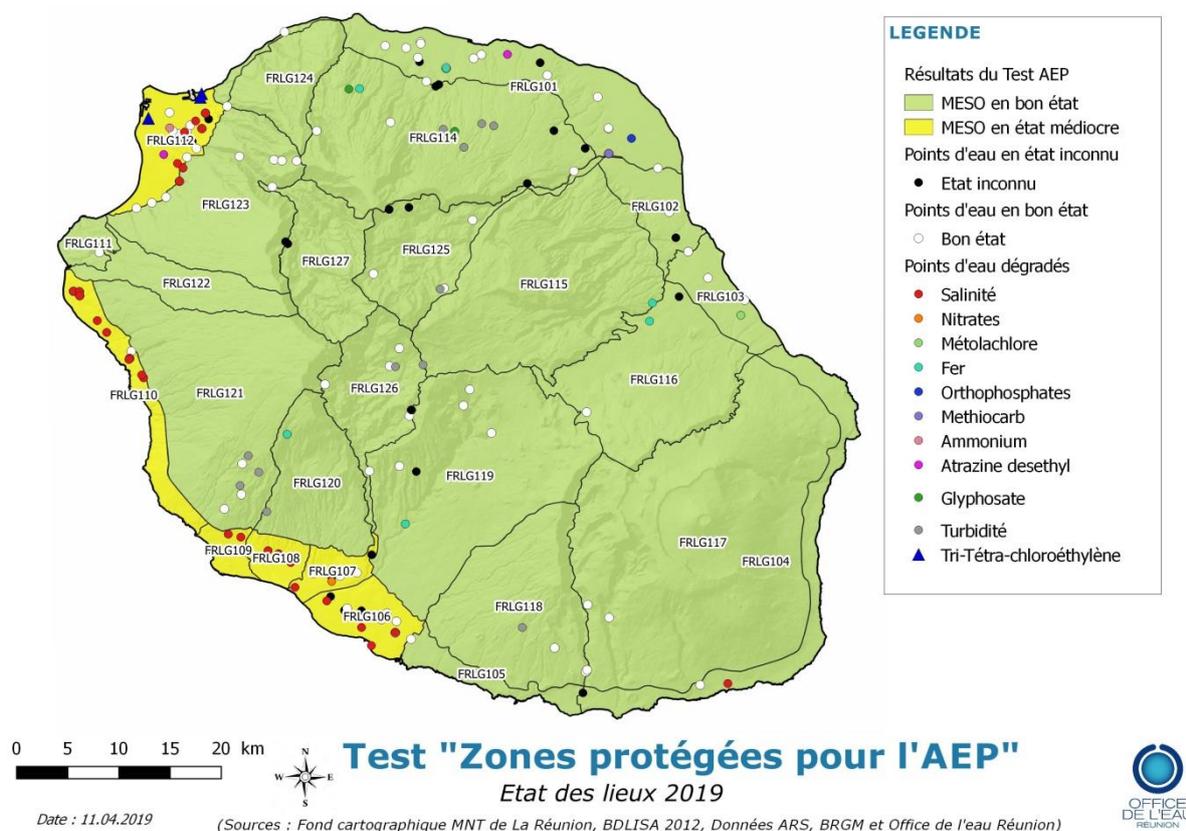


Figure 34 : Résultats du Test « Zones protégées pour l'AEP »

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des résultats du Test « AEP »

Code masse d'eau	Code BSS	Nom du captage	Paramètres dépassant 75% de la valeur seuil	Existe-t-il une tendance pluriannuelle significative ?	Captages récemment fermés ou traitement ajouté	Les points dégradés représentent plus de 20% de la masse d'eau	Etat Masse d'eau associée
FRLG101	12271X0206	Carreau Coton	Fer	Pas de tendance significative	NON	NON	BON*
	12271X0065	Les Cafés	Atrazine désethyl	Baisse atrazine desethyl	OUI		
	12272X0130	Dioré	Methiocarb	Données insuffisantes	NON		
	12273X0011	Ravine Creuse	Orthophosphates	Pas de tendance significative	NON		
FRLG103	12278X0058	Petit Saint-Pierre les Hauts	Metolachlore	Données insuffisantes	Autorisation d'exploitation non accordée (Forage Petit St-Pierre Les Hauts)	NON	BON*
FRLG104	12297X0013	Puits du Baril	Conductivité, Chlorures, métolachlore	Baisse CE et Cl depuis 1999	OUI	NON	BON*
FRLG106	12288X0057	Chane Hive	Conductivité, chlorures	Baisse CE, aucune tendance significative pour Cl	OUI (F5 Bis et Ter La Salette : phytosanitaires)	OUI (Conductivité et chlorures)	MEDIocre
	12288X0091	SICABAT	Conductivité, chlorures, sodium	Données insuffisantes			
	12288X0049	F5 Bis La Salette	Conductivité	Pas de tendance significative			
FRLG107	12288X0076	Forage Cocos 2	Conductivité	Hausse conductivité	NON	OUI (Conductivité et nitrates)	MEDIocre
	12288X0062	Forage PIB6 Cocos 1	Conductivité, nitrates	Hausse conductivité, hausse nitrates			
	12287X0103	Forage Cot Sorebra	Conductivité	Données insuffisantes			
FRLG108	12287X0064	Puits C du Gol	Conductivité	Pas de tendance significative	OUI (Marengo)	OUI (Conductivité et chlorures)	MEDIocre
	12287X0061	Puits A du Gol	Conductivité	Hausse Conductivité			
	12287X0062	Puits B du Gol	Conductivité, chlorures	Pas de tendance significative			
	12287X0034	Canal des Ecumes	Conductivité	Pas de tendance significative			
	12287X0040	Forage Marengo	Conductivité, Chlorures	Hausse Cl depuis 2010			
FRLG109	12283X0060	Forage F5 Le Brûlé	Conductivité, Chlorures	Hausse Cl depuis 2007	NON	OUI (Conductivité et chlorures)	MEDIocre
	12283X0059	Forage Pacifique 2	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2005			
FRLG110	12266X0070	Puits de la Grande Ravine N°2	Conductivité, Chlorures	Hausse de la conductivité Hausse des chlorures	OUI (FRH5)	OUI (Conductivité et chlorures)	MEDIocre
	12266X0036	Puits de la Grande Ravine N°1	Conductivité	Hausse de la conductivité Hausse des chlorures			
	12265X0055	FRH9	Conductivité	Baisse CE			
	12265X0025	F1 Hermitage	Conductivité	Pas de tendance significative			
	12266X0078	Forage de Fond Petit Louis	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
	12266X0053	Forage de la Petite Ravine	Conductivité, Chlorures	Baisse CE depuis 2003			
	12266X0056	F1-Bis Montée Panon	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 1999			
	12266X0124	Forage FRH5	Conductivité, Chlorures	Baisse CE et Cl depuis 2006			
FRLG112	12262X0089	F5-Bis Trois Chemins, Plaine Saint-Paul	Conductivité	Hausse CE et Cl depuis 2008	OUI (FRH15 du fait de la conductivité et des chlorures et Forage Oméga du fait de l'atrazine desethyl)	OUI (Conductivité et chlorures)	MEDIocre
	12262X0272	Forage FRH15	Conductivité, Chlorures	Hausse Chlorures depuis 2010			
	12262X0189	Forage Oméga	Conductivité, atrazine desethyl	Hausse CE, hausse atrazine desethyl			
	12263X0050	Puits Samy	Conductivité	Hausse CE			
	12262X0271	FRH13	conductivité	Hausse CE			
FRLG126	12268X0039	Source Irénée	Conductivité, Sulfates	Baisse des sulfates depuis 2011	NON	NON	BON**
	12268X0064	Source Véronique	Conductivité	Pas de tendance significative			

- * les points d'eau dégradés représentent moins de 20% de la surface de la masse d'eau.
- ** sources hydrothermales, les conductivités et concentrations sont d'ordre naturel
- Les masses d'eau n'étant pas concernées par des dépassements de seuils ne sont pas représentées sur ce tableau.

3.4.5 Evaluation des incertitudes

Pour ce test, le niveau de confiance se base essentiellement sur la qualité et la quantité des données permettant l'estimation des tendances. Le niveau de confiance pour ce test est élevé dans la mesure où les tendances d'évolution des éléments chimiques considérés ont été calculées et l'analyse de représentativité spatiale des captages AEP a été réalisée.

Pour la masse d'eau FRLG103 le niveau de confiance est faible, génère une incertitude sur le bon état. En effet, le forage Petit Saint-Pierre Les Hauts ne peut être exploité par la commune de Saint-Benoît du fait d'une contamination au métolachlore. La présence de phytosanitaires génère déjà des contraintes pour l'alimentation en eau potable du territoire communal. Bien qu'il n'y ait pas d'autre captage en mauvais état sur la masse d'eau, le BRGM indique que le forage Petit Saint-Pierre Les Hauts peut être représentatif de l'état de la masse d'eau.

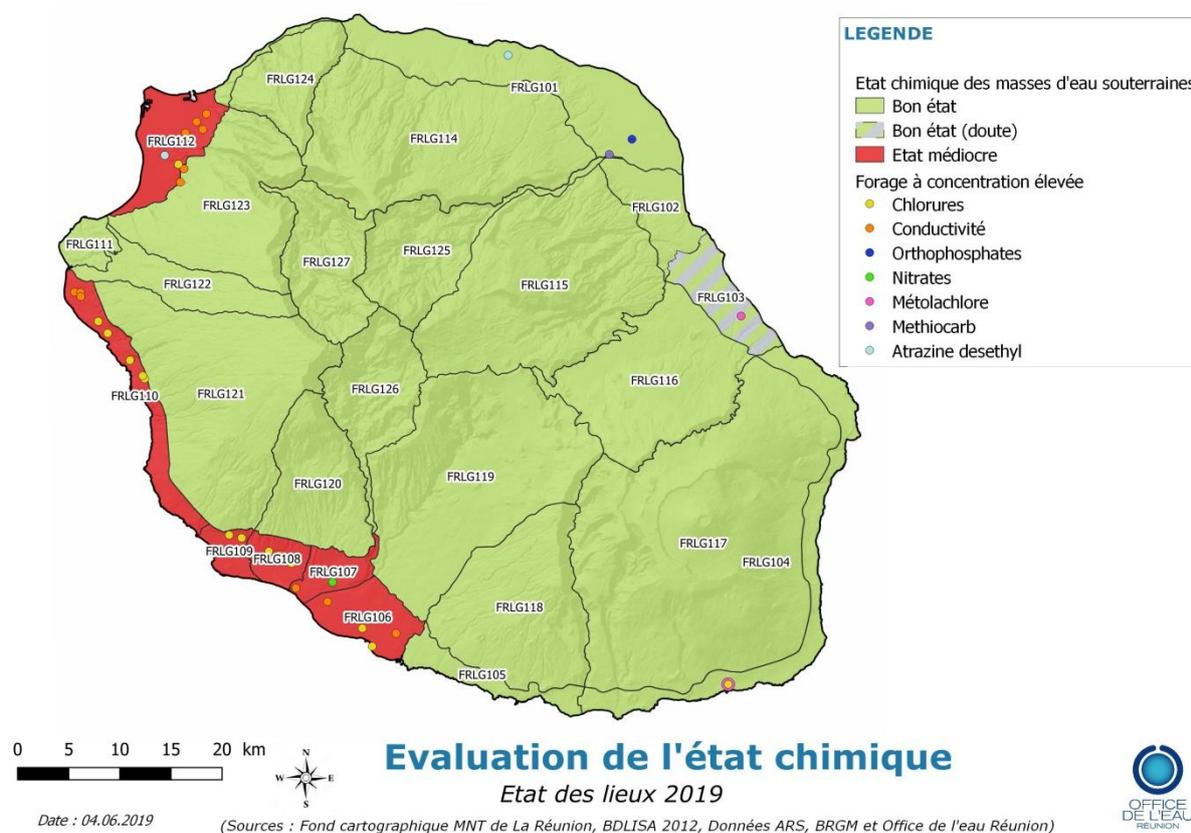


Figure 35 : Test AEP: état chimique et niveau de confiance

3.5 Test « Eaux de surface »

3.5.1 Objectifs du test

Ce test accompagne l'évaluation de l'altération de l'état chimique ou écologique des eaux de surface. Il consiste à évaluer si les eaux souterraines sont responsables de la dégradation de l'état chimique et/ou écologique des masses d'eau de surface du fait d'un transfert de polluants depuis la masse d'eau souterraine.

3.5.2 Schéma de réalisation

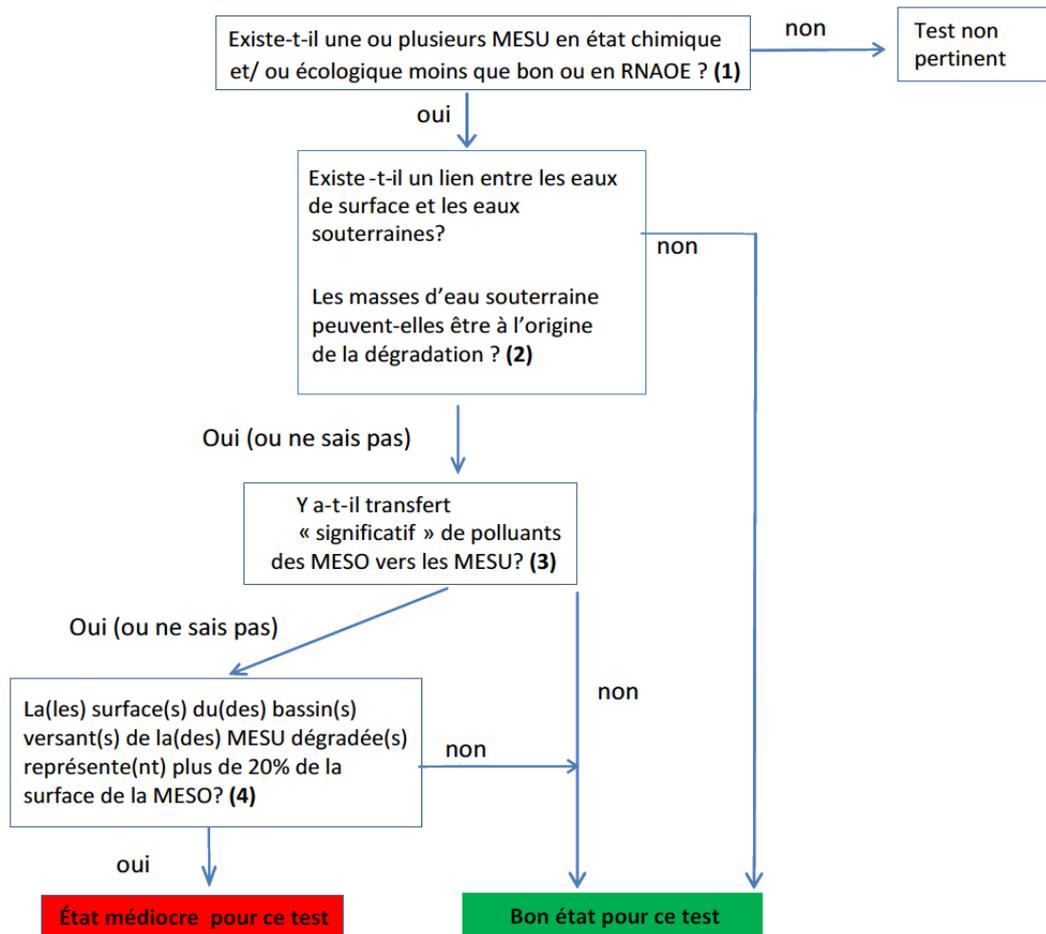


Figure 36 : Logigramme du Test « Eaux de surface » - Etat chimique

3.5.3 Données utilisées

Période de référence : l'évaluation porte sur une période de 6 ans commune à tous les bassins : 2012-2017

Pour les eaux de surface, période de 3 ans la plus récente disponible au moment de l'évaluation de l'état (référence de l'arrêté d'évaluation 2010 modifié)

Réseaux / points :

Tous les points du réseau de suivi des eaux superficielles de l'Office de l'eau Réunion.

Eléments/paramètres utilisés :

Une liste indicative des paramètres à utiliser est fournie dans le tableau ci-dessous.

Famille	Paramètre	Valeur seuil (VS) eaux souterraines ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Norme de qualité environnementale (NQE) eaux de surface ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Rapport VS/ NQE
Métaux / métalloïdes et dérivés (en $\mu\text{g/L}$)	Zinc	5000	7,8	641
	Cuivre	2000	1	2000
	Cadmium	5	0,08-0,25	20-62,5
	Chrome (total)	50	3,4	14,7
	Arsenic	10	0,83	12
	Nickel	20	4	5
	Plomb	10	1,2	8,3
Nutriments / Sels / Composés ioniques / Eléments chimiques autres que métaux (en mg/L)	Nitrite	0,3	0,3	1
	Nitrate	50	50	1
	Ammonium	0,5	0,5	1
	Orthophosphates	0,5	0,5	1
Pesticides et métabolites de pesticides (en $\mu\text{g/L}$)	Aminotriazole	0,1	0,08	1,25
	Métazachlore	0,1	0,019	5,26
	Diflufenicanil	0,1	0,01	10
	Endosulfan	0,1	0,005	20
	Chlordécone	0,1	$5 \cdot 10^{-6}$	20000
	Dieldrine	0,03	$\Sigma 0,01[1]$	3
HAP (en $\mu\text{g/L}$)	Benzo(a)pyrène	0,01	$1,7 \cdot 10^{-4}$	58,8
	Toluène	700	74	9,5
Alkylphénols, nonylphénols et autres phénols (en $\mu\text{g/L}$)	Pentachlorophénol	9	0,4	22,5

Figure 37 : Liste indicative de paramètres à considérer pour le test « Eaux de surface ».

3.5.4 Résultats du test « Eaux de surface » - Etat chimique

Ce test s'applique sur les masses d'eau souterraine en lien avec une masse d'eau de surface 1) en état chimique ou écologique moins que bon lors du présent rapportage ou 2) à risque de non atteinte des objectifs environnementaux (RNAOE) lors du rapportage antérieur ou SDAGE. En raison de l'épaisseur importante de la zone non saturée dans le contexte réunionnais, les transferts d'eau se font généralement des cours d'eau vers les nappes. Par conséquent, les masses d'eau souterraine peuvent rarement être à l'origine d'une contamination des eaux de surface par transfert de polluants.

Toutefois, la masse d'eau FRLG122 « Formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles » présente un fonctionnement particulier. Bien que la masse d'eau ne soit pas entièrement sous-jacente à la Ravine Saint-Gilles, les études antérieures démontrent que l'alimentation de la Ravine Saint-Gilles provient essentiellement du drainage des formations volcaniques d'altitude de la ravine Saint-Gilles (Join and Coudray 1992). Une relation peut donc être établie entre les prélèvements d'eau souterraine au Puits Bassin Malheur et le fonctionnement hydraulique et écologique de la Ravine Saint-Gilles.

A l'issue de l'état des lieux 2013, 13 masses d'eau de surface (54%) étaient à risque de non atteinte des objectifs environnementaux (RNAOE). Ces cours d'eau sont associés à 12 masses d'eau souterraine.

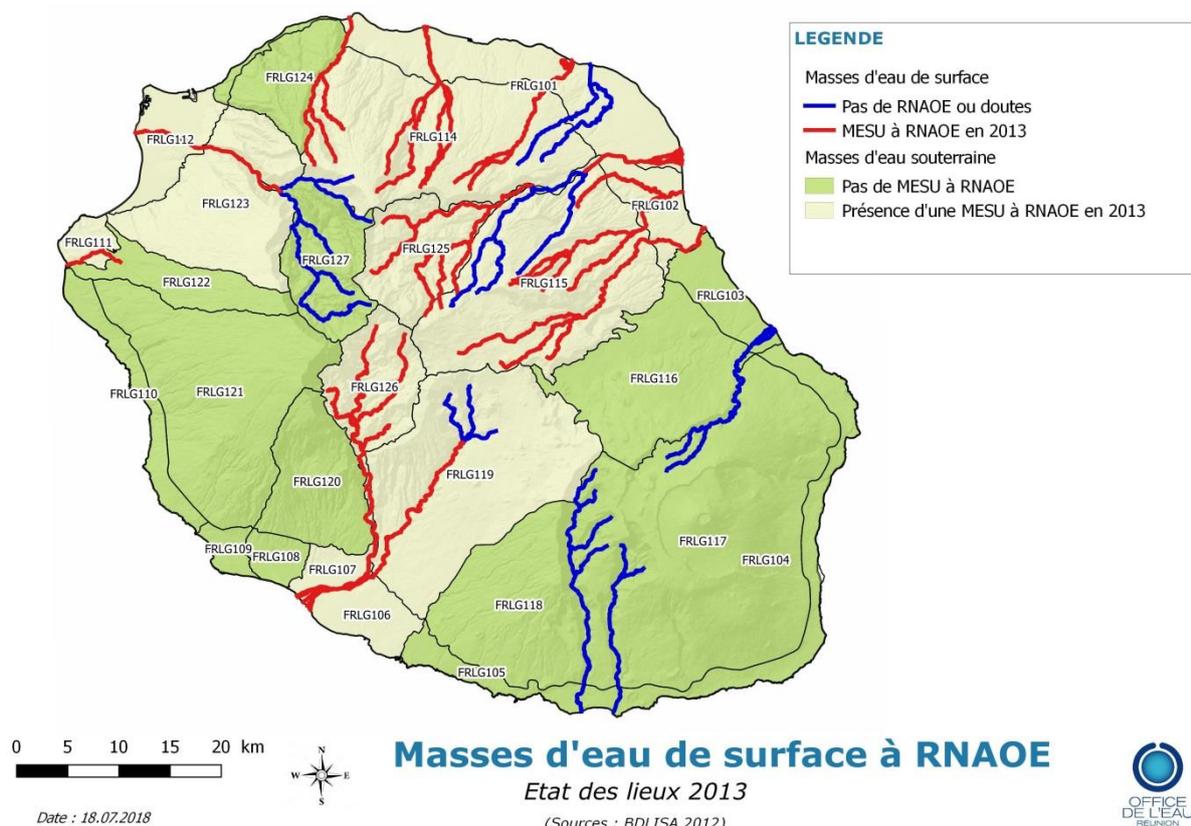


Figure 38 : Masses d'eau de surface à RNAOE en 2013.

Les masses d'eau cours d'eau supposées à RNAOE en 2013 sont notamment des tronçons des principales rivières, qui sont concernés par des obstacles à la franchissabilité des espèces ou par des perturbations du régime hydraulique, notamment en raison de prélèvements d'eau importants (soit pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation

ou pour la production hydroélectrique). Les masses d'eau souterraine ne sont donc pas à l'origine de ces dégradations.

L'évaluation de l'état des cours d'eau (2019) révèle que 21 masses d'eau cours d'eau (/24) sont en état écologique moins que bon. Ces cours d'eau sont associés à 14 masses d'eau souterraine.

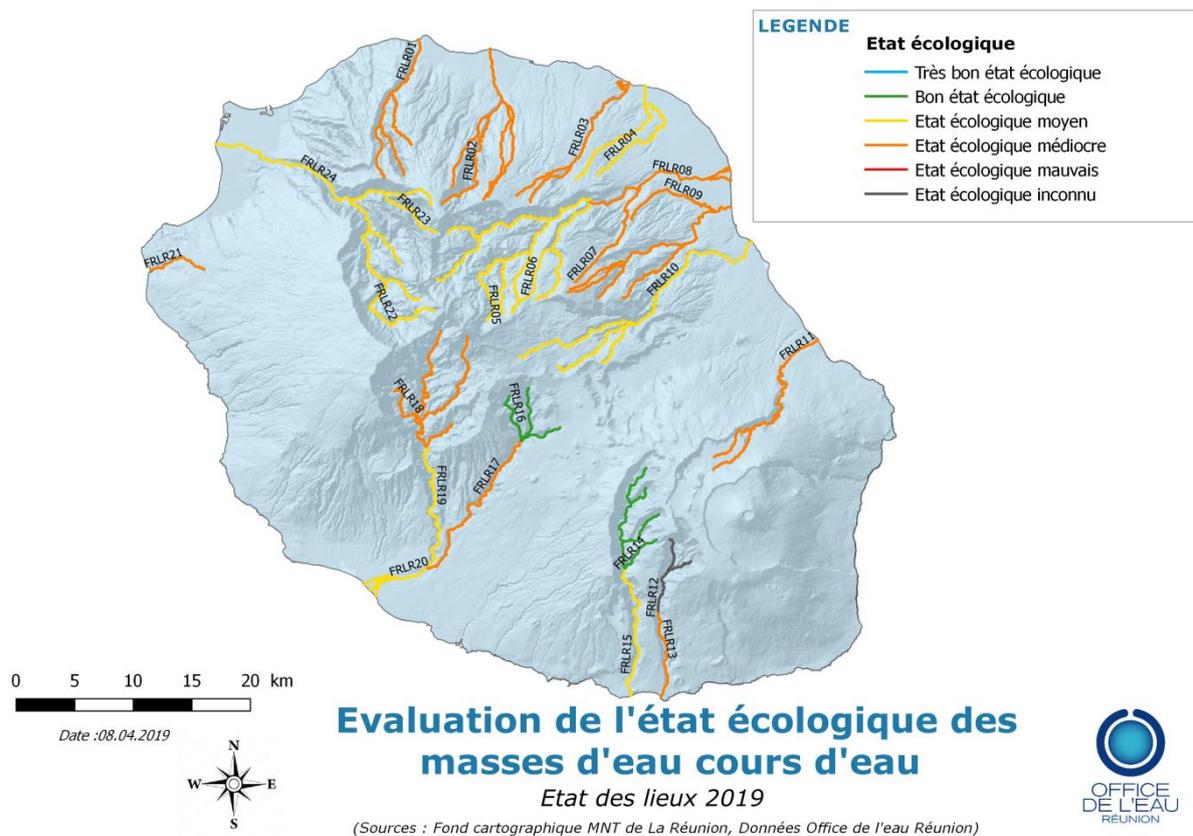


Figure 39 : Etat écologique des masses d'eau « cours d'eau »

L'état écologique est principalement défini à partir de critères biologiques (abondance d'invertébrés, de poissons, de diatomées...).

Les masses d'eau souterraine ne semblent pas à l'origine des dégradations constatées à l'exception de la Ravine Saint-Gilles (dégradée par les Diatomées).

Par ailleurs, l'état chimique des cours d'eau révèle que 2 masses d'eau cours d'eau sont en état chimique moins que bon suite à la détection du polluant Benzo(a)Pyrène (C₂₀H₁₂):

- FRLR09 Rivière des Roches (sur les MESO FRLG115 et FRLG102),
- FRLR13 Rivière Langevin Aval (sur les MESO FRLG117 et FRLG104).

Ces cours d'eau sont associés à 5 masses d'eau souterraine :

- FRLG102 « Formations volcaniques du Littoral de Bras Panon/Saint-Benoît »,
- FRLG115 « Formations volcaniques de Bébour/Bélouve et Plaine des Lianes »,
- FRLG117 « Formations volcaniques sommitales du Piton de la Fournaise »,
- FRLG104 « Formations volcaniques littorales du Piton de la Fournaise »,
- FRLG122 « Formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles ».

a) Cas de la masse d'eau de surface FRLR13 Rivière Langevin Aval

Il convient de noter que le benzo(a)pyrène a été détecté également dans les masses d'eau souterraine FRLG104 (au forage Basse Vallée les Hauts en 2013) et FRLG117 (à la source Cazala en 2015). A l'état actuel des connaissances, un transfert de polluant des masses d'eau souterraine vers la masse d'eau de surface FRLR13 Rivière Langevin Aval n'a pu être mis en évidence. Par ailleurs, la surface du bassin versant de la masse d'eau superficielle dégradée représente moins de 20% de la surface totale de la masse d'eau souterraine FRLG117 « Formations volcaniques sommitales du Piton de la Fournaise ». Compte tenu de ce dernier critère, la masse d'eau de surface FRLR13 Rivière Langevin Aval sera considéré en bon état pour ce test.

b) Cas de la masse d'eau de surface FRLR09 Rivière des Roches

La Rivière des Roches s'est mise en place au droit des masses d'eau souterraine FRLG115 « Les formations volcaniques de Bébour/Bélouve et Plaine des Lianes » et FRLG102 « Les formations volcaniques du Littoral de Bras Panon/Saint-Benoît ».

Le benzo(a)pyrène a été détecté dans cette dernière masse d'eau souterraine au niveau du forage Harmonie en 2016. L'état actuel des connaissances ne permet pas de mettre en évidence un transfert de polluant de la masse d'eau souterraine vers la masse d'eau superficielle dégradée.

Par ailleurs, dans le contexte réunionnais, les transferts d'eau se font généralement des cours d'eau vers les nappes. Un transfert de polluant d'origine souterraine reste donc très peu probable.

c) Cas de la masse d'eau de surface FRLR21 Ravine Saint-Gilles

La ravine Saint-Gilles est dégradée par l'indicateur « diatomées » qui indique un enrichissement nutritif au droit du cours d'eau notamment dans le contexte oligotrophe de l'île. Cependant, le cours d'eau est en bon état au regard des critères physico-chimique (nitrate, phosphore...) et l'élément écologique le plus altéré est l'indicateur Poissons très sensible à la continuité écologique et à la perte d'habitat. Par ailleurs, un enrichissement nutritif (nitrates) du cours d'eau est constaté de l'amont vers l'aval. Par conséquent, il est difficile d'attribuer le mauvais état écologique du cours d'eau Ravine Saint-Gilles exclusivement à un lien avec l'aquifère.

Tableau 12 : Résultats du test « Eaux de surface » - Etat chimique

Code MESU en état moins que bon	Nom	Présence du polluant dans les MESO ?	Le BV de la MESU > 20% de la surface de la MESO	Etat de la MESO pour ce test
FRLR13	Rivière Langevin Aval	Oui - FRLG117 : Source Cazala - FRLG104 : Forage Basse Vallée les Hauts	Non	Bon
FRLR09	Rivière des Roches	Oui - FRLG102 : Forage Harmonie	Non	Bon
FRLR21	Ravine Saint-Gilles	Oui : nutriments pouvant avoir une incidence sur les diatomées, mais pas en tant qu'apport exclusif et qu'élément le plus déclassant de la masse d'eau cours d'eau.	Oui	Bon

Le Test « Eaux de surface » montre, avec un niveau de confiance moyen, que toutes les masses d'eau souterraine sont en bon état chimique (au regard du test).

3.6 Test « Ecosystèmes terrestres associés »

3.6.1 Objectifs du test

Ce test vise à évaluer si les eaux souterraines sont à l'origine de la dégradation des écosystèmes terrestres associés (ETA) par transfert de polluants depuis la masse d'eau souterraine vers les ETA.

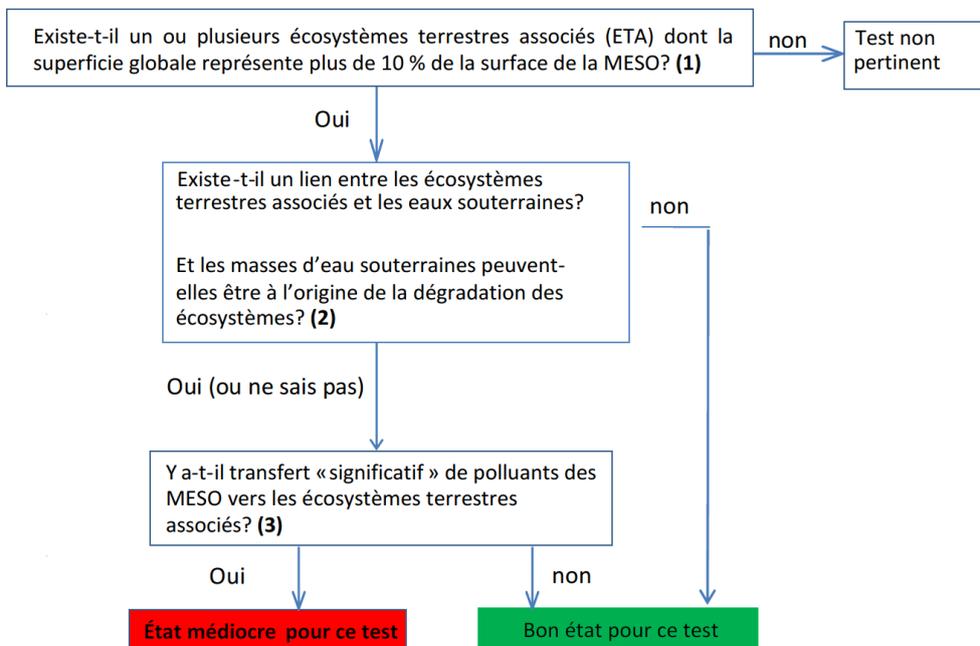


Figure 40 : Logigramme du test « Ecosystèmes terrestres associés » - Etat chimique

3.6.2 Résultats du test

Seul l'écosystème de l'étang de Saint-Paul présente une superficie supérieure à 10 % de la masse d'eau souterraine associée. Cependant, l'étang est en bon état chimique.

Les 27 masses d'eau souterraine de La Réunion semblent en bon état pour ce test.

3.7 Synthèse de l'évaluation de l'état chimique

L'agrégation des résultats issus des 5 tests précédents permet une évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine. Toutes les masses d'eau sont en bon état au regard des tests « Eaux de surface » et « Ecosystèmes terrestres associés ». Les masses d'eau en état médiocre sont déclassées par les tests « Qualité générale », « Intrusion saline » et « Zones protégées pour l'AEP ».

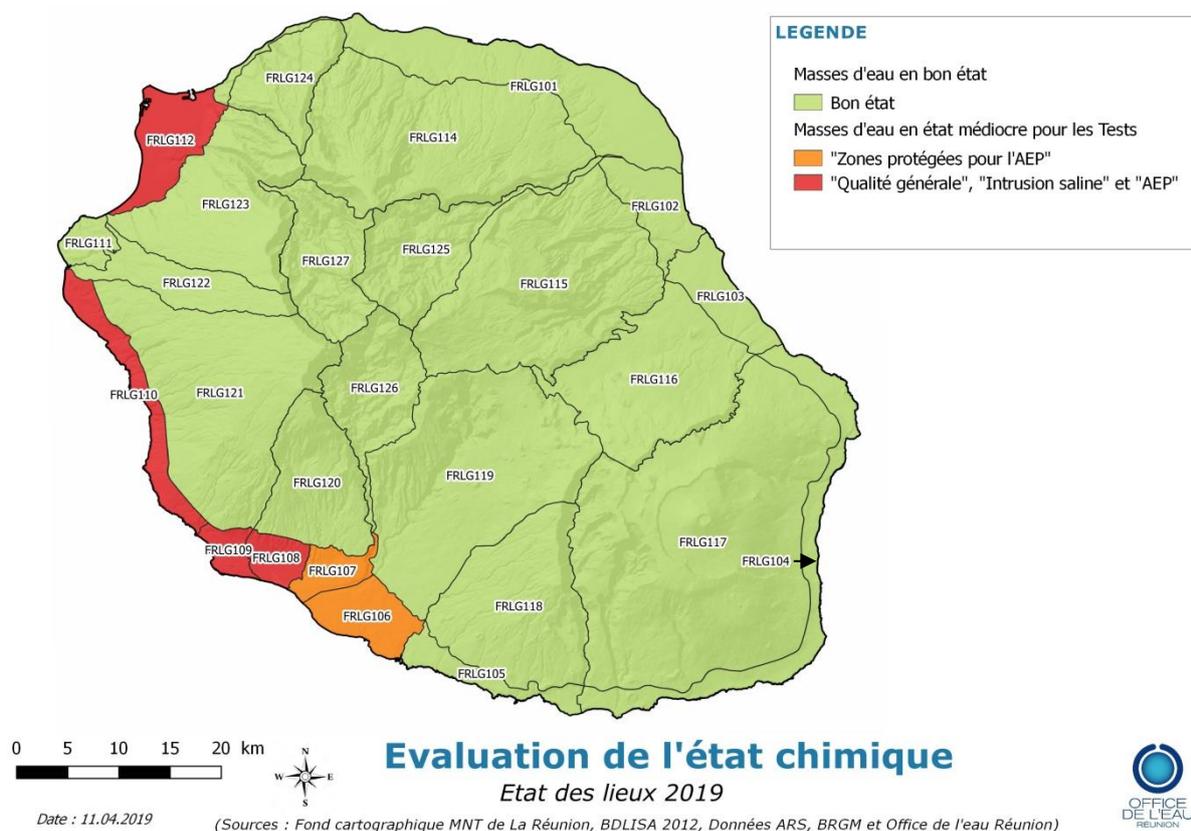


Figure 41 : Evaluation de l'état qualitatif des masses d'eau souterraine

Tableau 13 : Synthèse de l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine

CODE UE	Nom/secteur	Test Qualité Générale	Test ETA	Test Eaux de surface	Test Intrusion saline	Test AEP	ETAT CHIMIQUE
FRLG101	Littoral Nord / Saint-Denis	BON	BON	BON	BON	BON	BON
	Littoral Nord / Sainte-Marie	BON	BON	BON	BON	BON	BON
	Littoral Nord / Ste-Suzanne à St-André	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG102	Littoral de Bras Panon à Saint Benoit	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG103	Littoral de Sainte-Anne à Sainte-Rose	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG104	Littoral de La Fournaise	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG105	Littoral de Petite Ile à Saint Pierre	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG106	Littoral de Pierrefonds à Saint Pierre	BON	BON	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG107	Plaine des Cocos	BON	BON	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG108	Plaine du Gol	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG109	Littoral de l'Etang Salé	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG110	Littoral de la Planèze Ouest	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG111	Brèches de Saint Gilles	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG112	Plaine des Galets	MEDIOCRE	BON	BON	MEDIOCRE	MEDIOCRE	MEDIOCRE
FRLG113	Littoral de La Montagne	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG114	La Roche Ecrite à la Plaine des Chicots	BON	BON	BON	BON	BON	BON
	La Roche Ecrite à la Plaine des Fougères	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG115	Bébour/Bélouve et Plaine des Lianes	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG116	Plaine des Palmistes	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG117	Massif sommital de La Fournaise	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG118	Plaine des Grègues	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG119	Plaine des Cafres - Tampon - Dimitille	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG120	Formations volcaniques des Makes	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG121	Planèze du Maido à Grand Bénare	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG122	La Ravine Saint-Gilles / secteur amont	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG123	Bois de Nèfles - Dos d'Ane	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG124	Formations sommitales de La Montagne	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG125	Cirque de Salazie	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG126	Cirque de Cilaos	BON	BON	BON	BON	BON	BON
FRLG127	Cirque de Mafate	BON	BON	BON	BON	BON	BON

22% des masses d'eau sont en état chimique médiocre.

3.8 Analyse de l'effet des évolutions des méthodes d'évaluation « effet thermomètre »

Les critères d'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine ont évolué pour les Test « AEP » entre 2015 et 2018 sur deux points essentiels :

- Le seuil appliqué en 2015 pour déclarer un point d'eau dégradé correspondait à la valeur seuil du paramètre physico-chimique (75% de cette valeur en 2018).
- En 2015, une masse d'eau était déclarée en état chimique médiocre lorsqu'un point d'eau au moins était considéré dégradé (dépassant la valeur seuil) et faisant l'objet d'une modification de traitement ou arrêt de pompage du fait de cette dégradation. En 2018, ces critères sont complétés par le fait les points d'eau dégradés doivent représenter plus de 20% de la surface ou du volume de la masse d'eau.

La masse d'eau du Littoral Nord serait en état médiocre en raison de la présence de trois points d'eau dégradés. De plus, un forage a également fait l'objet d'une modification des traitements de potabilisation en vue d'abattre les phytosanitaires (Forages Les Cafés).

A l'inverse, selon la méthodologie précédente, la masse d'eau FRLG107 de la Plaine des Cocos ne serait pas en état chimique médiocre car aucun dépassement de la valeur seuil n'a été constaté sur les points d'eau suivis.

Pour mémoire, des dépassements sont observés pour 75% de la valeur seuil sur cette masse d'eau. Par ailleurs, la fréquence de dépassement observée en 2018 sur le forage PIB6 Cocos 1 est supérieure à 20% pour le paramètre conductivité. Compte tenu de d'une concentration relativement faible en chlorures et de l'éloignement de l'ouvrage par rapport à la côte, la minéralisation élevée sur ce point d'eau est associée à l'impact des nitrates, plutôt qu'à une intrusion saline de type eau de mer.

Les 5 autres masses d'eau (FRLG108, 109, 110 et FRLG112) sont déclassées par ce test suivant les critères issus des deux méthodologies (Tableau ci-dessous).

Tableau 14 : Tableau comparatif des résultats du Test « AEP » entre les méthodes d'évaluation utilisées en 2015 et 2018

Masse d'eau	Etat chimique méthodologie 2015	Etat chimique méthodologie 2018
FRLG101 « Formations volcaniques du Littoral Nord »	MEDIOCRE	BON
FRLG107 « Formations volcaniques de la Plaine des Cocos »	BON	MEDIOCRE

4 Synthèse de l'état des masses d'eau souterraine

L'analyse de l'état global des masses d'eau souterraine fournit le résultat suivant :

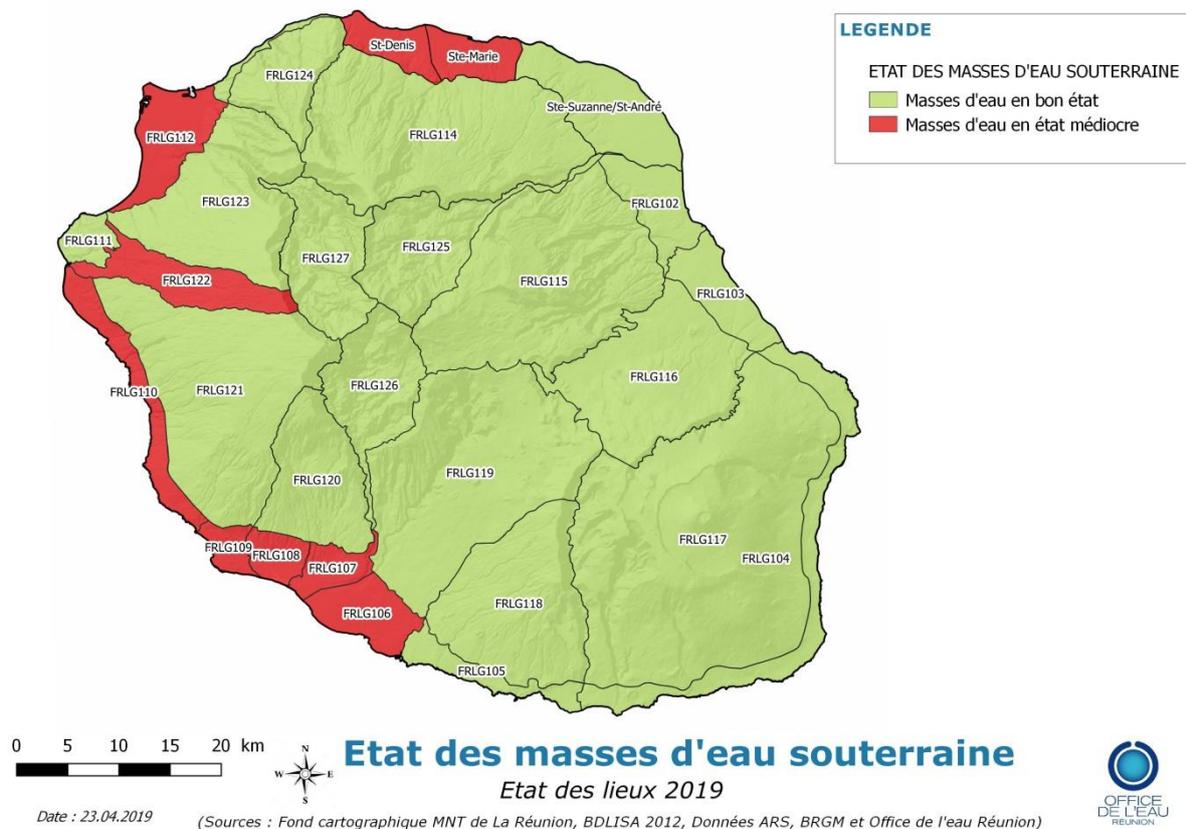


Figure 42 : Evaluation de l'état global des masses d'eau souterraine