



ETAT DES LIEUX 2019

EVALUATION DES PRESSIONS ET DES IMPACTS DES PRELEVEMENTS SUR LES 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	La caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements sur les eaux souterraines.....	4
2	Aspects méthodologiques	5
2.1	Données et outils disponibles.....	5
2.1.1	La période de référence :	6
2.1.2	Les réseaux et points d'observation :.....	6
2.1.3	Eléments/paramètres utilisés :.....	6
2.2	Méthodologie appliquée.....	6
3	Caractérisation de la pression liée aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine	8
3.1	Estimation des volumes prélevés.....	8
3.2	Evaluation de la pression prélèvement (ratio prélèvement/recharge)	8
3.2.1	Estimation des prélèvements annuels par masse d'eau	9
3.2.2	Evaluation de la recharge des nappes	10
3.2.3	Evaluation de la pression liée aux prélèvements (Ratio prélèvements/recharge).....	11
4	Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine .	16
4.1	Méthodologie appliquée.....	16
4.2	Tendances piézométriques.....	17
4.3	Ratio prélèvements / recharge	18
4.4	Les indicateurs de l'intrusion saline.....	20
4.5	Le Classement en zone de répartition des eaux (ZRE)	21
4.6	Les indicateurs de l'impact lié aux prélèvements	22
4.6.1	Les masses d'eau affichant un impact faible	23
4.6.2	Les masses d'eau affichant un impact modéré	23
4.6.3	Les masses d'eau affichant un impact fort	24
4.6.4	Les masses d'eau affichant un impact très fort.....	24
5	Références bibliographiques.....	27

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Données utilisées et outils disponibles pour les méthodes proposées	5
Figure 2 : Evolution des prélèvements depuis 2005 (source : Office de l'eau Réunion) ...	8
Figure 3 : Volumes d'eau souterraine prélevés en 2014 (Données BNPE)	8
Figure 4 : Les prélèvements annuels sur les eaux souterraines	9
Figure 5 : Volumes infiltrés à l'échelle des masses d'eau souterraine.....	10
Figure 6 : Estimation de la recharge à l'échelle des masses d'eau souterraine	11
Figure 7 : Evaluation de la pression liée aux prélèvements sur les eaux souterraines	12
Figure 8 : Répartition de la pression liée aux prélèvements en eau souterraine	15
Figure 9 : Résultats du calcul des tendances piézométriques	17
Figure 10 : Le ratio prélèvements/recharge pour les masses d'eau souterraine.....	19
Figure 11 : Impact des intrusions salines dans les masses d'eau souterraine.....	20
Figure 12 : Les zones de répartition des eaux (Arrêté préfectoral du 21/01/2019)	21
Figure 13 : Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les eaux souterraines ..	22
Figure 14 : Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les eaux souterraines ..	25

1 La caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements sur les eaux souterraines

La méthodologie retenue pour caractériser les pressions et impacts liés aux prélèvements sur les eaux souterraines se base sur les recommandations du guide proposé par le BRGM (Bessière 2018 – Rapport BRGM/RP-67572-FR). Ce document apporte des pistes méthodologiques pour l'analyse des pressions et des impacts quantitatifs engendrés par les prélèvements sur les masses d'eau souterraine.

Les principales préconisations du document sont les suivantes :

- Différents indicateurs doivent être pris en considération pour ce travail en fonction de la disponibilité des données et du développement des connaissances locales.
- La première source d'information est l'estimation des tendances d'évolution des niveaux piézométriques et la détection d'éventuelles ruptures qui pourraient être liées aux prélèvements. Il est important de garder en mémoire qu'il peut exister des problèmes quantitatifs bien que la tendance calculée au niveau du piézomètre ne soit pas à la baisse. En effet, il a été relevé un comportement hydrogéologique hybride sur les piézomètres du territoire réunionnais reflétant l'influence à la fois de la marée journalière, de la recharge saisonnière et de l'impact des activités anthropiques.
- La seconde piste est la confrontation des cartes de distribution spatiale des prélèvements et des cartes de la recharge annuelle moyenne provenant des infiltrations au droit des masses d'eau. Cette confrontation permettra le calcul du ratio Prélèvements/Recharge à l'échelle de la masse d'eau souterraine. Ce calcul est dans un premier temps effectué à l'échelle annuelle bien qu'il faille dans certains cas effectuer une analyse plus fine au pas de temps saisonnier (saison sèche, saison humide) si les données sont disponibles (exemple de la méthode ZRE à La Réunion) pour mettre en évidence les impacts.

Il convient de noter que la superficie importante de certaines masses d'eau souterraine peut conduire à un lissage des pressions et, malgré un faible ratio prélèvements/recharge, de très fortes pressions peuvent s'exercer localement, nécessitant alors la mise en place de mesures à l'échelle locale. Pour les masses d'eau à enjeux où ce problème est identifié, il conviendra de diminuer l'échelle spatiale d'analyse afin qu'elle soit plus pertinente pour le bassin (ex : FRLG101).

Par ailleurs, il est souvent nécessaire de compléter ces deux premières approches avec des indicateurs complémentaires en fonction du contexte hydrogéologique :

- Le premier indicateur est l'existence possible d'une augmentation de l'intrusion saline du fait de pompages excessifs. Ceci s'applique en particulier aux masses d'eau souterraine en zone littorale. Pour cela, une analyse des suivis de la conductivité électrique de l'eau et des tendances en lien avec les pompages dans la nappe est menée. Les données de la géophysique aéroportée (ReunEM) apportent des informations intéressantes sur les phénomènes d'intrusion saline à La Réunion (Thèse de Marc Dumont, 2018).
- En dernier lieu, il est important de prendre en considération les indicateurs basés sur les observations et/ou l'expertise locale.

2 Aspects méthodologiques

2.1 Données et outils disponibles

Données d'entrée	Outils disponibles	Données de sortie
<p>Analyse de tendances piézométriques</p> <p>Chroniques piézométriques (Office de l'eau Réunion)</p>	Hype	Tendances piézométriques
<p>Quantification des prélèvements</p> <p>Volumes prélevés (Déclarations des exploitants et données issues de la BNPE http://www.bnpe.eaufrance.fr/)</p> <p>Données Office de l'eau Réunion</p>		Prélèvements rattachés aux masses d'eau souterraine ¹
<p>Evaluation de la recharge selon les données disponibles</p> <p>Données Météorologiques : Pluie, ETP, Pluie efficace (Météo France)</p> <p>Répartition des zones imperméabilisées (Zones U et AU du PLU)</p> <p>Réserve utile (couche cartographique, CIRAD)</p> <p>Estimation des coefficients d'infiltration à partir de l'IDPR (couche cartographique, BRGM)</p> <p>Modèles hydrogéologiques implémentés par l'Office de l'eau Réunion pour les aquifères côtiers stratégiques</p>	<p>Feuilles de calcul Excel</p> <p>Modèles hydrogéologiques existants</p> <p>Logiciel SIG (Q-GIS)</p>	<p>Recharge spatialisée (provenant des infiltrations directes au droit des masses d'eau souterraine)</p> <p>Calcul du ratio prélèvements/recharge</p>
<p>Autres Indicateurs de pressions significatives</p> <p>Chroniques de conductivité (Office de l'eau Réunion)</p> <p>Etendue et impact des intrusions salines (traitement des données AEM)</p> <p>Analyse en vue du classement en ZRE pour certaines masses d'eau (connaissances locales)</p>	Hype	<p>Indicateurs de pressions et d'impact sur les masses d'eau souterraine</p> <p>Tendances salinité</p>

Figure 1 : Données utilisées et outils disponibles pour les méthodes proposées

¹ Problème du rattachement aux masses d'eau pour les données de la BNPE. Un travail de rattachement a été réalisé.

2.1.1 La période de référence :

- l'estimation des tendances d'évolution à long terme a été réalisée sur une durée de 12 ans (2 cycles DCE) et au minimum 10 ans pour les nappes sans évolution cyclique.
- L'estimation de la recharge utilise les données de pluie efficace annuelle moyenne sur la période 1992-2017. Pour les masses d'eau stratégiques pour lesquelles des modèles hydrogéologiques existent, les valeurs de recharge sont celles calculées pour le calage du modèle. L'année moyenne la plus récente retenue est 2014 pour les prélèvements.

2.1.2 Les réseaux et points d'observation :

Tous les points d'eau du réseau DCE disposant de données piézométriques et autres réseaux jugés pertinents (de par la longueur de la chronique, la représentativité des points,...). Tous les points du réseau piézométrique de l'Office de l'eau Réunion. Tous les points d'eau souterraine disposant d'information sur les volumes prélevés (données disponibles sur la BNPE).

2.1.3 Eléments/paramètres utilisés :

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

Volumes annuels exploités (BNPE)

Pluie efficace : les valeurs moyennes annuelles sur la période 1992-2017 calculées à partir des données accessibles sur la Publiothèque de Météo France et des résultats obtenus par les études antérieures (par exemple Bessière et Allier, 2011).

2.2 Méthodologie appliquée

L'évaluation de la pression liée aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine se base sur le calcul du ratio prélèvements/recharge à l'échelle de la masse d'eau.

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

La pression s'évalue au regard des valeurs de ratios obtenues et est répartie en trois classes :

- Le ratio inférieur à 2% correspond à une pression faible,
- Le ratio compris entre 2 et 5% correspond à une pression modérée,
- Le ratio supérieur à 5% correspond à une pression forte

L'impact des prélèvements sur les masses d'eau s'apprécie au regard de 4 indicateurs :

- le ratio prélèvements/recharge,
- l'évolution pluriannuelle de la piézométrie,

- la présence ou non d'intrusion saline dans un ouvrage exploité,
- le classement ou non de la masse d'eau en zone de répartition des eaux (ZRE),

L'approche méthodologique comprend l'estimation de la recharge des masses d'eau souterraine, le calcul du ratio prélèvements/recharge, le calcul des tendances piézométriques et l'évaluation de l'emprise des intrusions salines. La méthode est détaillée dans l'« Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine ».

3 Caractérisation de la pression liée aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine

3.1 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).

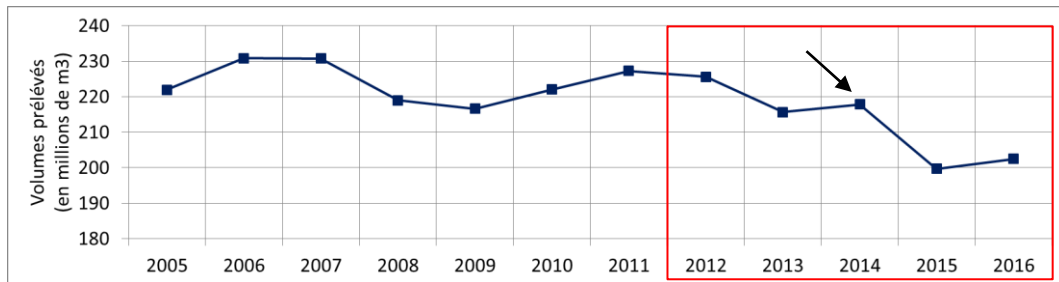


Figure 2 : Evolution des prélèvements depuis 2005 (source : Office de l'eau Réunion)

D'après la BNPE², 102.9 Mm³ ont été prélevés sur les ressources en eau souterraine.

La Réunion

2014

Volume total : 102 877 348 m³

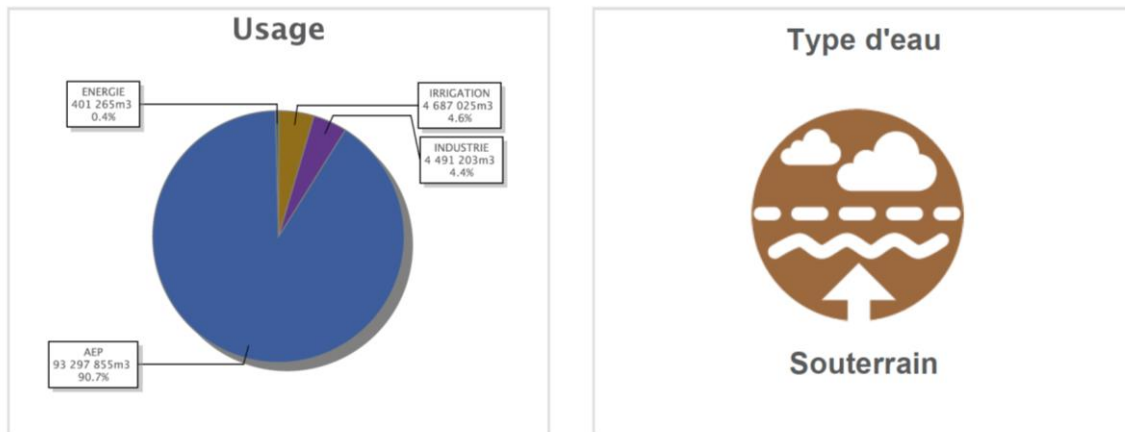


Figure 3 : Volumes d'eau souterraine prélevés en 2014 (Données BNPE)

3.2 Evaluation de la pression prélèvement (ratio prélèvement/recharge)

Pour mémoire, la méthodologie mise en œuvre pour estimer le ratio est explicitée dans la note relative au Test Balance (partie « Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine »).

² La BNPE est la Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau, banque qui collecte les volumes d'eau prélevés pour l'intégralité des usages.

3.2.1 Estimation des prélèvements annuels par masse d'eau

La carte ci-dessous présente les prélèvements en eau souterraine enregistrés dans la BNPE pour l'année 2014. Les points de prélèvements peuvent correspondre à des forages et galeries drainantes. Les prélèvements des sources, dès lors qu'ils ne font appel qu'à des dispositifs de captage gravitaire, sont considérés comme des eaux de surface et n'ont donc pas été pris en compte dans l'établissement du bilan hydrogéologique à l'échelle de la masse d'eau souterraine ni dans la caractérisation de la pression liée aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine.

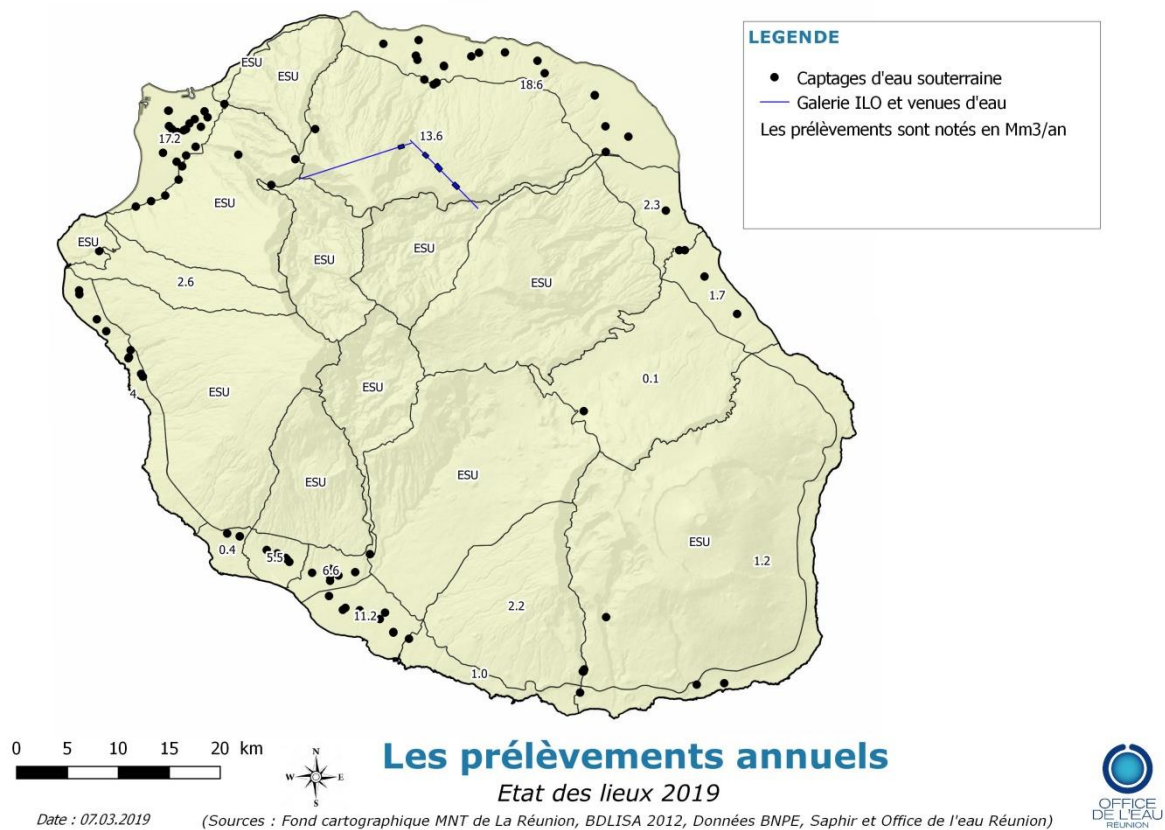


Figure 4 : Les prélèvements annuels sur les eaux souterraines

3.2.2 Evaluation de la recharge des nappes

La recharge des nappes a été estimée à partir de la pluie efficace et du taux d'infiltration moyen obtenu sur chaque masse d'eau souterraine.

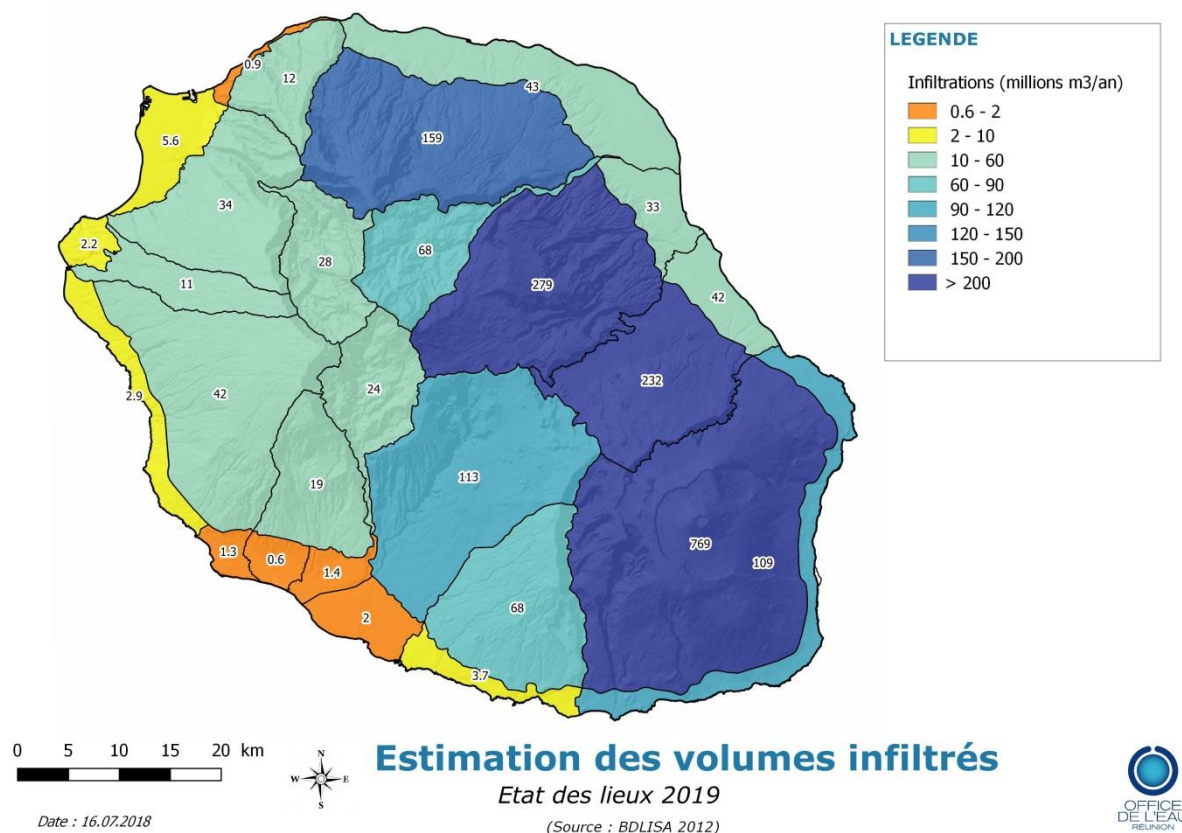


Figure 5 : Volumes infiltrés à l'échelle des masses d'eau souterraine

Dans le contexte réunionnais, les écoulements souterrains en provenance des planètes constituent la majeure partie de la recharge des aquifères littoraux. Une évaluation de la recharge 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 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 :

402 Mm³/an dont 88 en provenance de la Plaine des Chicots et 197 en provenance de la Plaine des Fougères

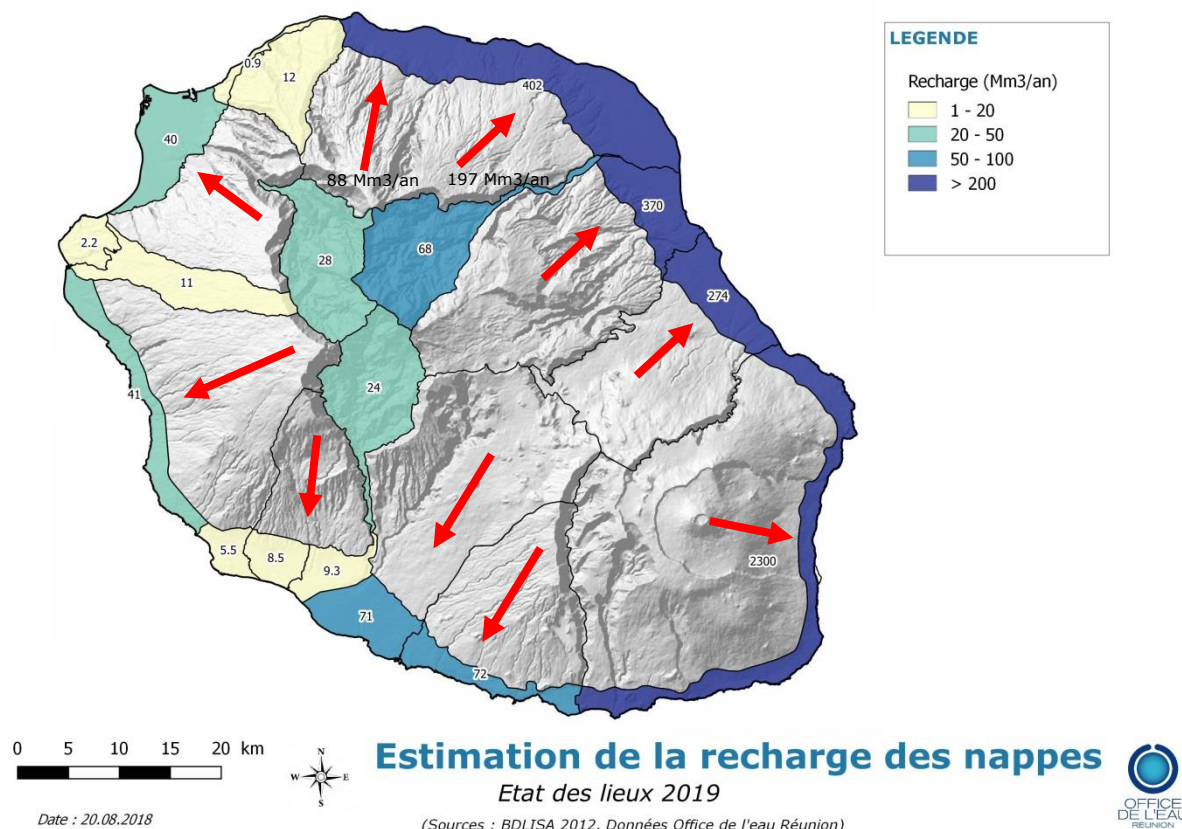


Figure 6 : Estimation de la recharge à l'échelle des masses d'eau souterraine

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.

3.2.3 Evaluation de la pression liée aux prélèvements (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). Il convient de noter que les prélèvements de sources, dès lors qu'ils ne font appel qu'à des dispositifs de captage gravitaire, ont été 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.

La carte ci-dessous présente l'évaluation de la pression liée aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine à l'échelle de l'île.

Sur la masse d'eau FRLG101 du Littoral Nord, la pression s'exprime de manière hétérogène : elle est forte sur les secteurs Saint-Denis et Sainte-Marie d'une part et modérée sur le secteur Sainte-Suzanne et Saint-André d'autre part.

Sur la masse d'eau FRLG114 Planèze de la Roche Ecrite, la pression est forte sur la partie Plaine des Chicots et modérée sur la partie Plaine des Fougères. Les prélèvements enregistrés sur cette masse d'eau correspondent aux venues d'eau captées par la galerie Salazie Amont qui recoupe la Plaine des Fougères (≈ 9 Mm³/an) et la galerie Salazie Aval, recoupant la plaine des Chicots (≈ 3 Mm³/an). Les infiltrations captées par la galerie drainante du Bras Guillaume sont également prises en compte (0.05 Mm³/an).

La pression est modérée sur la masse d'eau FRLG118 de la Plaine des Grègues, en raison des prélèvements importants opérés sur les 3 forages Ilet Delbon.

La pression est forte sur la masse d'eau des formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles (FRLG122) et sur 6 masses d'eau souterraine de la frange littorale allant de Saint-Pierre à La Possession (FRLG106 à FRLG110 et FRLG112).

La pression demeure faible sur les 17 masses d'eau souterraine restantes.

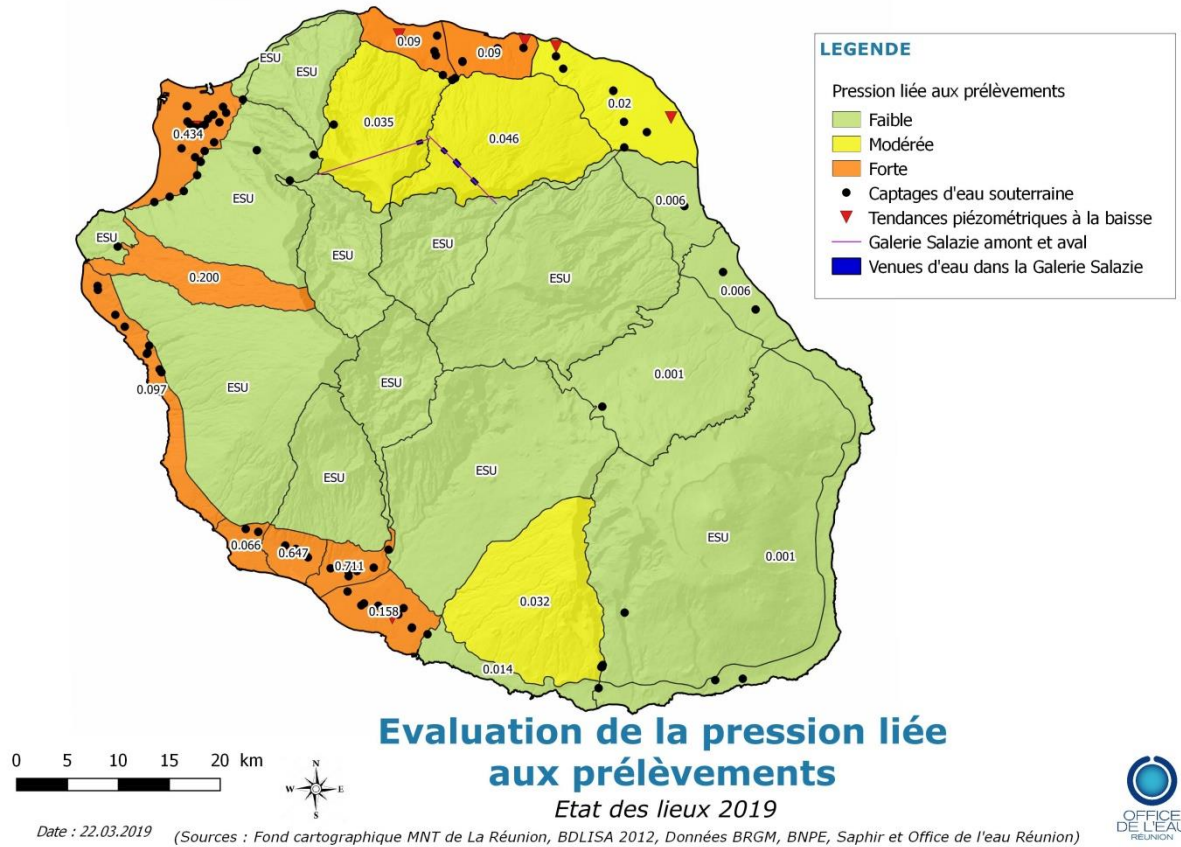
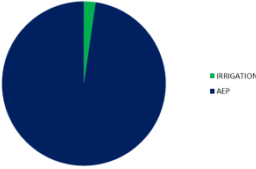


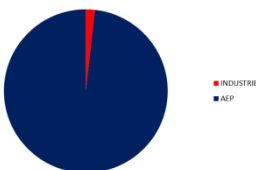

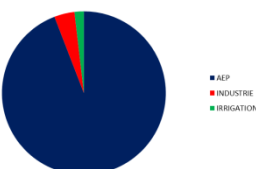
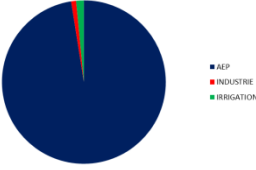
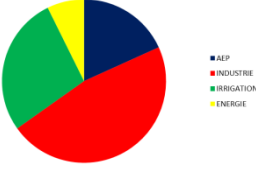



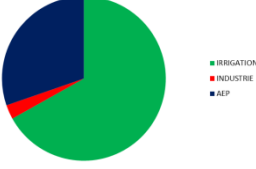



Figure 7 : Evaluation de la pression liée aux prélèvements sur les eaux souterraines

Le tableau ci-dessous présente la part de chaque usage sur l'expression de la pression pour les 17 masses d'eau concernées par des prélèvements d'eau souterraine.

Masse d'eau souterraine		Répartition des prélèvements selon les usages	Usage prédominant	Qualification de la pression liée aux prélèvements	
FRLG101 Le Littoral Nord	St-Denis	 <p>■ IRRIGATION ■ AEP</p> <p>Volume total= 18.6 Mm³/an</p>	AEP	Forte	Modérée
	Ste-Marie			Forte	
	Ste-Suzanne et St-André			Modérée	
FRLG102 Le Littoral de Saint-Benoit/Bras Panon		 <p>Volume total= 2.3 Mm³/an</p>	AEP	Faible	
FRLG103 Le Littoral de Sainte-Anne		 <p>Volume total= 1.7 Mm³/an</p>	AEP	Faible	
FRLG104 Le Littoral de la Fournaise		 <p>■ INDUSTRIE ■ AEP</p> <p>Volume total= 1.2 Mm³/an</p>	AEP	Faible	
FRLG105 Le Littoral de Petite-Ile		 <p>Volume total= 1.0 Mm³/an</p>	AEP	Faible	
FRLG106 Saint-Pierre / Pierrefonds		 <p>■ AEP ■ INDUSTRIE ■ IRRIGATION</p> <p>Volume total= 11.2 Mm³/an</p>	AEP	Forte	

FRLG107 La Plaine des Cocos		 Volume total= 6.6 Mm ³ /an	AEP	Forte	
FRLG108 La Plaine du Gol		 Volume total= 5.5 Mm ³ /an	Industriel	Forte	
FRLG109 L'Etang-Salé		 Volume total= 0.4 Mm ³ /an	AEP	Forte	
FRLG110 Le Littoral Ouest		 Volume total= 4 Mm ³ /an	AEP	Forte	
FRLG112 La Plaine des Galets		 Volume total= 17.2 Mm ³ /an	AEP	Forte	
FRLG114 Planèze de la Roche Ecrite	Plaine des Fougères	 Volume total= 13.6 Mm ³ /an	Irrigation ILO	Modérée	Modérée
	Plaine des Chicots			Modérée	
FRLG116 La Plaine des Palmistes		 Volume total= 0.1 Mm ³ /an	AEP	Faible	

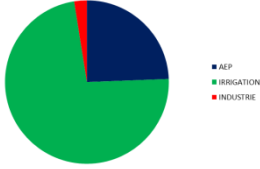
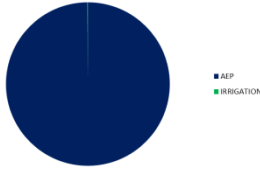
<p>FRLG118 Formations volcaniques de la Plaine des Grègues</p>	 <p>Volume total= 2.2 Mm³/an</p>	<p>Irrigation</p>	<p>Modérée</p>
<p>FRLG122 Aquifère d'altitude de la Ravine Saint-Gilles</p>	 <p>Volume total= 2.6 Mm³/an</p>	<p>AEP</p>	<p>Forte</p>

Figure 8 : Répartition de la pression liée aux prélèvements en eau souterraine

4 Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine

4.1 Méthodologie appliquée

L'impact des prélèvements est considéré comme nul en l'absence de captage d'eau souterraine sur la masse d'eau (ex : FRLG111 Formations aquitardes de Saint-Gilles).

En présence de captage d'eau souterraine, l'évaluation de l'impact lié aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine s'apprécie en combinant les résultats de quatre indicateurs :

- Les tendances piézométriques pluriannuelles,
- le ratio prélèvements/recharge (vu précédemment),
- la présence ou non d'intrusion saline dans un ouvrage exploité,
- le classement ou non de la masse d'eau en ZRE,

Les résultats de ces 4 indicateurs sont synthétisés dans un tableau récapitulatif. Pour chaque indicateur, une pondération égale à 1 est affectée lorsque l'indicateur révèle un impact. Cette pondération vaut 0 dans le cas inverse.

L'impact des prélèvements est évalué en additionnant les pondérations des 4 indicateurs. Les classes suivantes sont proposées :

Somme des pondérations	Qualification de l'impact
0	Faible
1 à 2	Modéré
3	Fort
4	Très fort

Pour mémoire, la méthodologie mise en œuvre pour estimer la recharge des masses d'eau souterraine, calculer le ratio prélèvements/recharge, calculer les tendances piézométriques et détecter la présence d'intrusion saline est explicitée dans les notes relatives au Test Balance et au Test intrusion saline (partie « Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine »).

4.2 Tendances piézométriques

La carte ci-dessous présente les résultats du calcul des tendances piézométriques. 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).

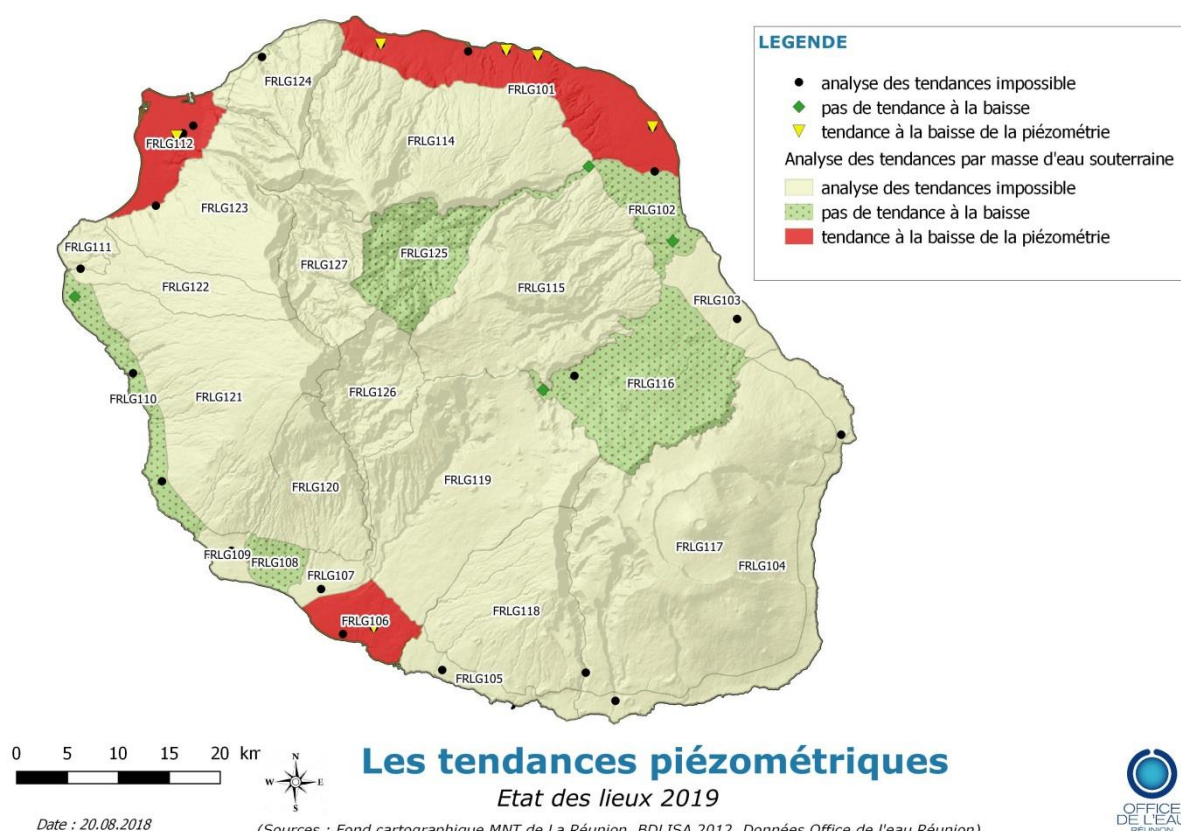


Figure 9 : Résultats du calcul des tendances piézométriques

Les rayons d'influence des forages d'exploitation sont relativement faibles en milieu volcanique et ne peuvent couvrir une surface équivalente à 20% de la masse d'eau (sauf pour des masses d'eau de très faible superficie). Les cônes de rabattement étant en général limités autour des ouvrages d'exploitation, le critère du rabattement sur 20% de la masse d'eau ne peut être retenu pour confirmer l'impact des prélèvements sur les trois masses d'eau concernées : le Littoral Nord, la Plaine des Galets et Saint-Pierre. En effet, une tendance à la baisse de la piézométrie est attribuée aux prélèvements dès lors que l'ouvrage d'exploitation impactant le piézomètre a pu être identifié, quelle que soit l'étendue de son rayon d'influence.

4.3 Ratio prélèvements / recharge

La méthode d'estimation du ratio prélèvements/recharge est rappelée ci-dessus et détaillée dans l'« Evaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine ».

Pour l'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine, il a été jugé pertinent de retenir une valeur seuil de 0.05 pour l'indicateur « ratio », 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 marine.

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

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**

Sur la masse d'eau FRLG101 (Littoral Nord), le ratio global calculé est de 0.046. Cette valeur très proche du seuil appelle à une plus grande vigilance sur l'évolution quantitative de la masse d'eau. Les pressions de prélèvement de cette masse d'eau sont d'autant plus alarmantes qu'elle est la seule à afficher une tendance pluriannuelle à la baisse des niveaux d'eau sur 4 piézomètres d'observation.

L'analyse a été réalisée à l'échelle des communes afin de mettre en évidence le contraste entre les secteurs Saint-Denis/Sainte-Marie d'une part et Sainte-Suzanne/Saint-André d'autre part. Cette démarche a permis de relever deux secteurs à enjeux avec un déséquilibre quantitatif : Saint-Denis et Sainte-Marie.

Par ailleurs, la masse d'eau FRLG114 (Formations volcaniques de la Roche Ecrite) a été divisée en deux parties afin d'apprécier l'impact des prélèvements des venues d'eau recoupées dans la galerie Salazie (environ 13.6 Mm³/an captés le long de la galerie). Le ratio global calculé est de 4.2%. Les résultats du bilan hydrogéologique à une échelle plus fine révèlent un ratio prélèvements/recharge de 3.5% sur la Plaine des Chicots et 4.6% sur la Plaine des Fougères. Les prélèvements pris en compte sur cette masse d'eau correspondent aux venues d'eau captées par les galeries Salazie Amont et Aval (environ 13.6 Mm³/an).

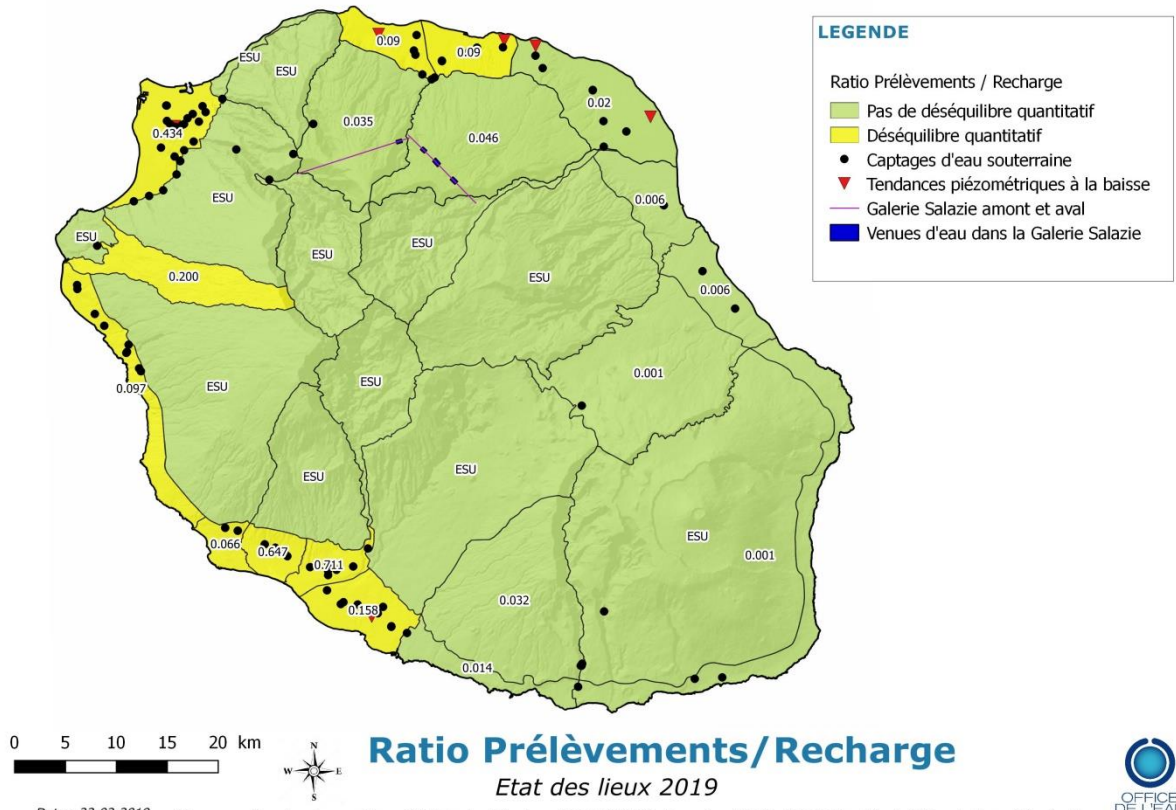


Figure 10 : Le ratio prélèvements/recharge pour les masses d'eau souterraine

4.4 Les indicateurs de l'intrusion saline

Le troisième indicateur de l'impact des prélèvements sur les masses d'eau correspond à l'emprise des intrusions salines et l'observation de signes de dégradation en lien avec l'exploitation des ouvrages de production (tendance à la hausse et dépassement des seuils pour les paramètres indicateurs de salinité : conductivité et chlorures).

La carte ci-dessous présente les masses d'eau les plus impactées par les phénomènes d'intrusion saline. Les ouvrages représentés correspondent aux forages sur lesquels la moyenne des moyennes annuelles sur la période 2012/2017 est supérieure à 75% des seuils pour les paramètres indicateurs de salinité.

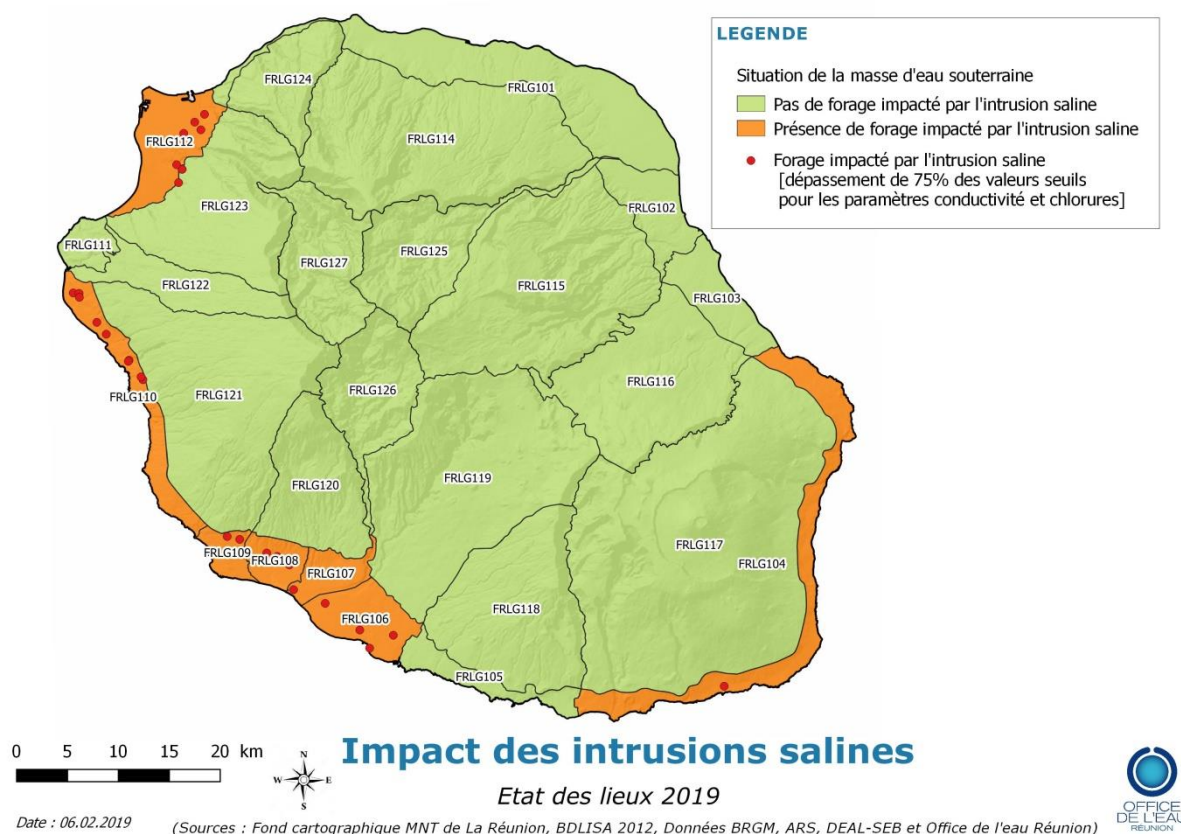


Figure 11 : Impact des intrusions salines dans les masses d'eau souterraine

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

- Le forage PIB-6 Coco 1 (Masse d'eau FRLG107),
- 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),

4.5 Le Classement en zone de répartition des eaux (ZRE)

Enfin, le quatrième indicateur correspond au classement ou non de la masse d'eau en zone de répartition des eaux. L'arrêté préfectoral 2019-132/SG/DRECV du 21 janvier 2019, relatif au classement en zone de répartition des eaux (ZRE) de 9 masses d'eau souterraines du bassin de La Réunion, identifie les masses d'eau FRLG104 à FRLG112, situées sur la frange littorale allant de Sainte-Rose à La Possession.

La carte ci-dessous présente les masses d'eau souterraine classées en zone de répartition des eaux et les forages sur lesquels la moyenne des moyennes annuelles sur la période 2012/2017 est supérieure à 75% des seuils pour les paramètres indicateurs de salinité.

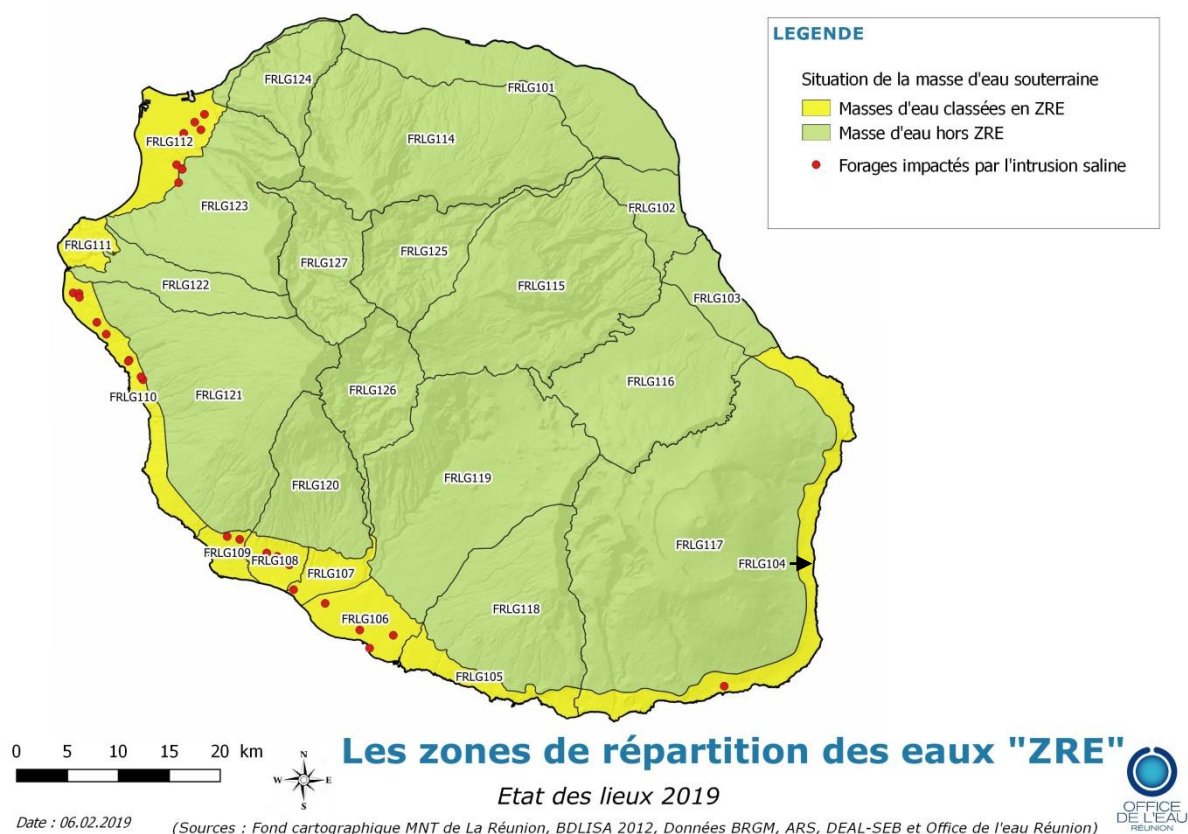


Figure 12 : Les zones de répartition des eaux (Arrêté préfectoral du 21/01/2019)

4.6 Les indicateurs de l'impact lié aux prélèvements

L'agrégation des résultats relatifs aux tendances piézométriques pluriannuelles, au ratio prélèvements/recharge, à l'emprise des intrusions salines et au classement en ZRE des masses d'eau souterraine permet une évaluation de l'impact des prélèvements sur les masses d'eau souterraine.

Le paramètre ratio (indicateur 1) est associé à trois autres indicateurs : les tendances pluriannuelles de la piézométrie (indicateur 2), la présence ou non d'intrusions salines sur un ouvrage exploité (indicateur 3) et le classement ou non de la masse d'eau en ZRE (indicateur 4). Cette démarche a permis d'obtenir un indice pertinent et intégrateur permettant la caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les eaux souterraines (voir Tableau ci-dessous).

L'impact au titre de la DCE (impact rapportage) indique si la pression est à l'origine de l'état médiocre de la masse d'eau.

Masse d'eau souterraine	Ratio P/R	Tendance piézométrique	Intrusion saline	ZRE	Indice	Impact Bassin	Impact Rapportage
FRLG101 SAINT-DENIS	0,08	Baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	2	Modéré	Significatif
FRLG101 SAINTE-MARIE	0,08	Baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	2	Modéré	Significatif
FRLG101 STE-SUZANNE/ST-ANDRE	0,02	Baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	1	Modéré	Non significatif
FRLG102	0,006	Pas de baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG103	0,006	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG104	0,001	Analyse impossible	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	2	Modéré	Non significatif
FRLG105	0,014	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	0	Faible	Non significatif
FRLG106	0,158	Baisse	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	4	Très fort	Significatif
FRLG107	0,711	Analyse impossible	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	3	Fort	Significatif
FRLG108	0,647	Pas de baisse	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	3	Fort	Significatif
FRLG109	0,066	Analyse impossible	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	3	Fort	Significatif
FRLG110	0,097	Pas de baisse	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	3	Fort	Significatif
FRLG111	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI		Nul	Non significatif
FRLG112	0,434	Baisse	Intrusion saline sur un ouvrage exploité	OUI	4	Très fort	Significatif
FRLG113	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG114 PLAINE DES CHICOTS	0,035	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG114 PLAINE DES FOUGERES	0,046	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG115	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG116	0,001	Pas de baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG117	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG118	0,032	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Faible	Non significatif
FRLG119	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG120	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG121	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG122	0,2	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	1	Modéré	Significatif
FRLG123	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG124	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG125	ESU	Pas de baisse	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG126	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif
FRLG127	ESU	Analyse impossible	Pas d'intrusion saline sur un ouvrage exploité	NON	0	Nul	Non significatif

Figure 13 : Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les eaux souterraines

Bien que classée en zone de répartition des eaux (ZRE), la masse d'eau FRLG111 « Formations aquitardes de Saint-Gilles » n'est pas concernée par des prélèvements en eau souterraine. L'impact est donc considéré comme nul.

11 masses d'eau souterraine sont concernées par des prélèvements opérés uniquement à partir de sources captées de manière gravitaire. L'impact de ces prélèvements sur la masse d'eau est considéré comme nul.

La caractérisation de l'impact sur la masse d'eau FRLG114 « Planèze de la Roche Ecrite » indique un impact faible sur la Plaine des Fougères et modéré sur la Plaine des Chicots.

4.6.1 Les masses d'eau affichant un impact faible

Il s'agit de toutes les masses d'eau souterraine pour lesquelles aucun indicateur ne montre un impact lié aux prélèvements dans les eaux souterraines. Ces masses d'eau cumulent les caractéristiques suivantes :

- le ratio prélèvements/recharge est inférieur à 5%,
- aucune tendance à la baisse de la piézométrie n'a été observée ou l'analyse des tendances n'a pas été possible,
- aucun ouvrage exploité n'a été impacté par l'intrusion saline.
- La masse d'eau n'est pas en zone de répartition des eaux (ZRE).

4.6.2 Les masses d'eau affichant un impact modéré

Il s'agit des masses d'eau pour lesquelles un ou deux indicateurs affichent un impact.

4.6.2.1 Les formations volcaniques littorales du Massif de la Fournaise (FRLG104)

Malgré la recharge élevée (2,3 Tm³/an), cette masse d'eau affiche une forte sensibilité vis-à-vis des intrusions salines. Cette situation peut s'expliquer par les fortes perméabilités des formations volcaniques récentes qui induisent de très faibles gradients hydrauliques d'une part et favorisent les circulations d'eau de mer dans les aquifères d'autre part. L'interface saline imagée par géophysique héliportée (ReunEM) est peu profonde et les intrusions salines s'étendent également dans les secteurs dépourvus de forages d'exploitation et donc sans influence anthropique (les formations volcaniques littorales du Grand Brûlé et de l'Anse des Cascades). Ces caractéristiques hydrogéologiques justifient une vulnérabilité intrinsèque du milieu face aux intrusions salines. Par ailleurs, la valeur seuil est dépassée sur le forage du Puit du Baril pour le paramètre conductivité, indicateur d'une intrusion marine. Arrêté depuis 2014, ce forage montre une tendance à la baisse de la salinité depuis plusieurs années qui s'accroît depuis l'arrêt des pompages. Aussi, l'exploitation de forage de manière inadaptée peut rapidement conduire à sa salinisation pour cet aquifère.

4.6.2.2 Les formations volcaniques du Littoral Nord (FRLG101)

La caractérisation de l'impact sur la masse d'eau du Littoral Nord (FRLG101) à l'échelle globale indique un impact modéré.

Cette masse d'eau est concernée par une tendance à la baisse de la piézométrie calculée sur 4 piézomètres. Par ailleurs, compte tenu des projets d'exploitation en cours, le ratio prélèvements/recharge (4,6%) pourrait atteindre le seuil de 5% avant la fin du cycle de gestion en cours.

L'analyse complémentaire réalisée à l'échelle des sous-masses d'eau a permis de relever deux secteurs avec un déséquilibre quantitatif : Saint-Denis et Sainte-Marie.

4.6.2.3 Les formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles (FRLG122)

L'impact des prélèvements sur la masse d'eau des formations volcaniques d'altitude de la Ravine Saint-Gilles est modéré.

Le ratio prélèvements/recharge indique un déséquilibre quantitatif. Les prélèvements au niveau du Puits Bassin Malheur (2.6 Mm³ en 2014) représentent 20% de la recharge. L'impact est considéré comme significatif car le ratio (> 5%) est à l'origine de l'état quantitatif médiocre de la masse d'eau.

Cet aquifère est en lien direct avec la ravine Saint-Gilles en termes de fonctionnement hydrologique. Une baisse des prélèvements sur ce captage permettra non seulement de réduire ce ratio mais surtout d'améliorer le débit et l'état écologique de la Ravine Saint-Gilles qui draine la masse d'eau souterraine.

4.6.3 Les masses d'eau affichant un impact fort

Les masses d'eau de la Plaine des Cocos (FRLG107), de la Plaine du Gol (FRLG108), du Littoral de l'Étang Salé (FRLG109) et du Littoral Ouest (FRLG110), classées en zone de répartition des eaux (ZRE), affichent un ratio prélèvements/recharge supérieur à 5% et comportent chacune plusieurs forages impactés par l'intrusion saline.

4.6.4 Les masses d'eau affichant un impact très fort

Deux masses d'eau souterraine appartiennent à cette dernière catégorie :

- les formations volcaniques et sédimentaires de Saint-Pierre (FRLG106),
- les formations volcaniques et sédimentaires de la plaine des Galets (FRLG112).

Ces deux masses d'eau cumulent les caractéristiques suivantes :

- le ratio prélèvements/recharge est supérieur à 5%,
- une tendance à la baisse de la piézométrie a été observée sur le piézomètre de la Ravine Blanche à Saint-Pierre et sur le piézomètre P1-2A Stade au Port,
- plusieurs ouvrages exploités sont impactés par l'intrusion saline.
Cet impact se manifeste par des dépassements des valeurs seuils pour les paramètres conductivité et chlorures, indicateurs de l'intrusion saline.
- les deux masses d'eaux sont classées en zone de répartition des eaux (ZRE).

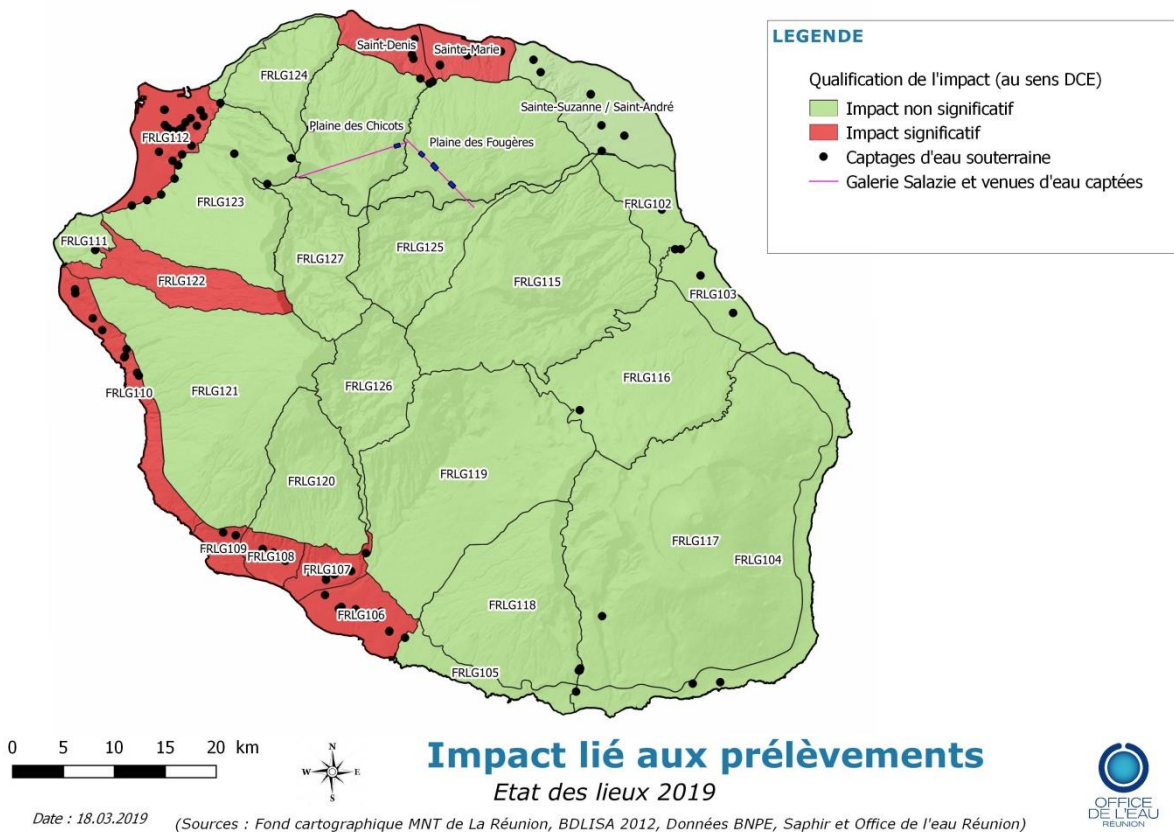
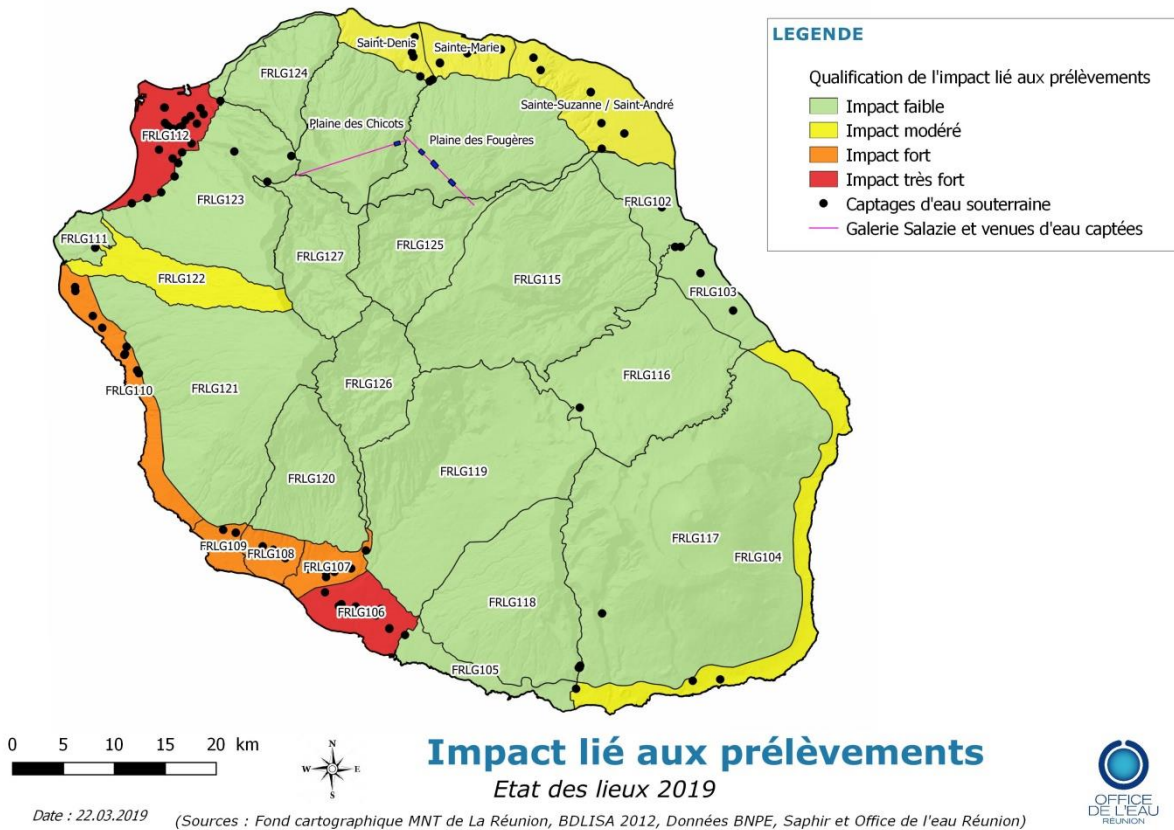


Figure 14 : Caractérisation de l'impact lié aux prélèvements sur les eaux souterraines

Pour les nappes libres et sur lesquelles un calcul de tendance est possible (chronique incluant plus de 3 cycles dans le cas des chroniques à cyclicité), le niveau de confiance pour cette analyse est élevé. C'est le cas des masses d'eau souterraine suivantes ;

- 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).

Par ailleurs, le ratio prélèvements / infiltrations indique un déséquilibre quantitatif pour les deux dernières masses d'eau (ratio > 5%).

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 (recharge, phénomène de transfert) 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).

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. Cette configuration se présente sur la masse d'eau du Littoral Nord (FRLG101). Il a donc été nécessaire de procéder par une analyse à une échelle spatiale plus fine.

5 Références bibliographiques

- Aunay B, Brugeron A, Vaudour K, Willeumier 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