

Document public

Programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française : bilan des investigations menées à Moorea

Rapport final

BRGM/RP-69218-FR Septembre 2019

6-hia hib

.89 3740,46 -625.5









Programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française : bilan des investigations menées à Moorea

Rapport final

BRGM/RP-69218-FR

Septembre 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM AP16POL001

Corbier P., Pasquier S., Bernard J., Baltassat J.-M., Mardhel V., Dewandel B., Gourcy L. et Malcuit E.

Vérificateur :

Nom: Chrystelle Auterives

Fonction: Hydrogéologue DEPA

Date: 01/10/2019

Signature:

Approbateur:

Nom: JM Mompelat

Fonction: Directeur adjoint DAT

Date: 10/10/2019

Signature:

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact: qualite@brgm.fr







Mots-clés : Captages, Diagraphies, Forages, Géologie, Géophysique, IDPR, Hydrochimie, Hydrogéologie, Modèle conceptuel, Moorea, Pompages d'essai, Polynésie française, Reconnaissances, Sources.
En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Corbier P., Pasquier S., Bernard J., Baltassat JM., Mardhel V., Dewandel B., Gourcy L. et Malcuit E. (2019) — Programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française : bilan des investigations menées à Moorea. Rapport final. BRGM/RP-69218-FR, 147 p., 98 ill., 5 ann.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française a été initié suite à la signature le 3 mars 2016 de la convention MCE n° 1366 entre le BRGM et le Ministère de la Culture et de l'Environnement polynésien.

Ce programme d'une durée initialement fixée à 36 mois puis étendue à 48 mois par le biais d'un avenant s'inscrit dans le cadre des « Opérations diverses venant en appui des axes AEP, déchets et assainissement » du volet « Environnement » du Contrat de Projets 2008-2013 et vise à doter la Polynésie française d'outils de gestion et d'exploitation des ressources en eau souterraine performants.

Suite à une première phase d'inventaire ayant concernée 8 îles et conformément au contenu de la convention, des études hydrogéologiques détaillées ont été menées sur une île haute (Moorea), une île mixte (Ua Pou), un atoll (Rangiroa) et deux bassins versants de Tahiti.

Sur l'île de Moorea, des investigations géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et hydrogéochimiques ont été mises en œuvre pour mieux cerner le potentiel aquifère des formations volcaniques situées aux alentours d'Afareaitu et le fonctionnement hydrogéologique global de l'île. Ces opérations se sont déroulées entre septembre 2017 et mars 2019.

Le secteur d'Afareaitu correspond en effet à une zone de recherche privilégiée par la commune pour la recherche de nouvelles ressources en eau et il a été jugé intéressant de mener des investigations (notamment hydrogéochimiques) sur un territoire plus étendu.

Les éléments recueillis au travers des différentes approches ont permis d'élaborer un schéma hydrogéologique conceptuel de la zone d'intérêt qui précise l'agencement des formations géologiques et illustre les modalités d'écoulement supposées. Ce dernier met notamment en évidence le rôle prépondérant du plateau basaltique qui surplombe le secteur d'étude dans l'alimentation des sources situées en contre-bas.

Parmi ces dernières, la source Vaiava est celle qui présente le plus fort débit (de l'ordre de 5 l/s à l'étiage). Elle se caractérise également par une qualité physico-chimique qui semble compatible avec la production d'eau potable. Située sur un terrain privé, son exploitation à des fins d'alimentation en eau potable pourrait être envisagée si un arrangement foncier peut être trouvé. Cette solution est en tout cas à privilégier par rapport à la réalisation d'un forage dont les résultats sont plus aléatoires.

En dehors de la zone d'intérêt, les investigations n'ont pas été assez poussées pour pouvoir établir d'autres modèles conceptuels mais les formations volcaniques sous faible recouvrement altéré situées à distance de la côte (au-delà de 700 m) pourraient représenter une cible privilégiée. Dans la mesure du possible, les investigations devront être étendues jusqu'à la cote - 30 m NGPF car les venues d'eau sont généralement observées au-dessus de ce niveau.

Sur le plan de la qualité, aucun problème majeur n'a été relevé à l'exception de phénomènes d'intrusion salée ponctuels et d'un enrichissement systématique en sodium lié à l'environnement géologique (roches riches en alcalins).

À l'avenir, il est recommandé que des investigations géophysiques aéroportées puissent être menées afin de localiser les cibles précédemment décrites à l'échelle de l'île entière.

Sur la base d'un premier traitement des données acquises en vol, une cartographie des secteurs pouvant se caractériser par la présence d'un aquifère significatif pourra ainsi être établie. Une fois classés en fonction des intérêts communaux et des contraintes foncières, ces derniers devront alors faire l'objet de reconnaissances de terrain complémentaires afin de confirmer leur intérêt. Au terme de cette phase et d'un traitement plus fin des données, une sélection de sites favorables à l'implantation de forages pourra alors être fournie.

Sur le plan opérationnel, le captage de la source Vaiva et les reconnaissances géophysiques aéroportées constituent donc 2 pistes de sécurisation de l'approvisionnement en eau potable de l'île. La première pourrait être mise en oeuvre à court terme (dans l'année à venir) après des travaux d'aménagement et la seconde, à moyen terme (dans les 3 ans à venir) au travers d'un partenariat avec un opérateur spécialisé. Son coût a été évalué à environ 390 000 XPF/km² investigué.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Généralités sur l'île de Moorea	13
2.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE	13
2.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	14
2.3. CONTEXTE CLIMATIQUE	14
3. Approche géologique	17
3.1. DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES	
3.1.1.L'archipel de la Société	
3.1.2.L'île de Moorea	
3.2. RECONNAISSANCES MENÉES DANS LE SECTEUR D'AFAREAITU	22
3.2.1. Observations géologiques et géomorphologiques	22
3.2.2. Description des lithologies rencontrées	
3.2.3. Synthèse	25
4. Approche hydrogéologique	27
4.1. DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES	27
4.2. RECONNAISSANCES MENÉES À L'ÉCHELLE DE L'ÎLE	28
4.2.1. Carte d'indice de persistance des réseaux (IDPR)	_
4.2.2.Réinterprétation de tests de pompage	
4.2.3. Logs de conductivité électrique	
4.3. RECONNAISSANCES MENÉES DANS LE SECTEUR D'AFAREAITU	54
4.4. SYNTHÈSE	57
5. Approche géophysique	59
5.1. PRINCIPE	59
5.1.1.Généralités	59
5.1.2. Dispositifs d'électrodes / configurations d'acquisition	60
5.1.3. Pseudo-sections de résistivité apparente et inversion	61
5.2. MISE EN ŒUVRE	62
5.3. RÉSULTATS	63
5.3.1.Résultats d'inversion dans la vallée d'Hotutea	63
5.3.2.Résultats d'inversion dans la vallée de Niuroa	65
5.4. SYNTHÈSE	68
6. Approche hydrochimique	69

6.1. PRÉAMBULE	69
6.2. PARAMÉTRES PHYSICO-CHIMIQUES MESURES IN SITU	70
6.3. ÉLÉMENTS MAJEURS, MINEURS ET TRACES	73
6.3.1. Vérification des balances ioniques	
6.3.2. Conductivité électrique <i>in situ</i> et éléments dissous totaux	
6.3.3. Faciès hydrochimiques des eaux	
6.3.4.Fond hydrogéochimique et normes de potabilité	
6.3.5. Relations inter-éléments : diagrammes binaires	
6.4. ANALYSES ISOTOPIQUES	81
6.4.1.Isotopes en strontium	81
6.4.2. Isotopes stables de la molécule d'eau	82
6.5. ESTIMATION DES TEMPS MOYENS DE TRANSFERT DES EAUX SOUTERRAINES	
6.5.1.Préambule	90
6.5.2. Méthode de prélèvement	91
6.5.3. Estimation des temps moyens de transfert	92
6.5.4. Résultats obtenus à Moorea	93
6.6. SYNTHÈSE	94
7. Modèle conceptuel	97
8. Conclusion	99
9. Bibliographie	101

Liste des illustrations

Illustration 1:	Potabilité des réseaux d'adduction de Moorea en 2018 (CHSP, 2019)	.12
Illustration 2:	Localisation de Moorea dans l'archipel de la Société (Maury et al., 2000)	13
Illustration 3 :	Communes associées, réseau routier et principaux sommets de Moorea (https://www.tefenua.gov.pf)	.14
Illustration 4:	Informations sur les stations météorologiques de Moorea	.15
Illustration 5:	Localisation des stations météorologiques de Moorea	15
Illustration 6:	Pluviométrie enregistrée sur le poste d'Afareaitu depuis 1997 (la couleur rouge indique les années pour lesquelles au moins une donnée mensuelle est manquante)	
Illustration 7:	Carte de la bathymétrie et de l'âge des îles de la Société (Clouard et Bonneville, 2004)	.17
Illustration 8:	Modèle d'évolution structurale retenu pour Moorea (Maury et al., 2000)	19
Illustration 9:	Carte géologique de l'île de Moorea (Maury et al., 2000)	20
Illustration 10:	Localisation de la zone d'étude	22
Illustration 11:	Vue d'ensemble sur la zone d'étude	23
Illustration 12:	Localisation et lithologie des sites étudiés dans le secteur d'Afareaitu	24
Illustration 13:	Exemples de lithologies rencontrées sur le terrain. A = Lave ; B = Série lavique (lave + semelles scoriacées) ; C = Brèche ; D = Série bréchique avec intercalations de lave (le géologue donne l'échelle) ; E = Dyke	.25
Illustration 14:	Ouvrages inventoriés à Moorea (Corbier et Pasquier, 2018)	.27
	Caractéristiques des 7 forages sollicités pour l'AEP	
Illustration 16:	Réseau hyrographique naturel, réseau de talwegs calculés et IDPR correspondant	28
Illustration 17:	Modèle numérique de terrain au pas de 5 m de Moorea	30
Illustration 18:	Réseau de talwegs calculé	30
Illustration 19:	Identification des zones endoréïques à l'échelle de Moorea	.31
Illustration 20:	Zoom sur les zones endoréiques principales et secondaires	31
Illustration 21:	Réseaux hydrographiques naturels de Moorea	32
Illustration 22:	Carte de IDPR brut (maille de 5*5 m) et légende	33
Illustration 23:	IDPR par bassin versant	34
Illustration 24:	IDPR par unité géologique	34
Illustration 25:	IDPR par unités fonctionnelles	35
Illustration 26:	Localisation des forages ayant fait l'objet d'une réinterprétation des pompages d'essai	36
Illustration 27 :	Méthodologie mise en œuvre pour réinterpréter les pompages d'essai (méthode des dérivées) et exemple de succession de régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos (t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et s_D ' (courbe tiretée): rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel))	.38
Illustration 28:	Diagnostic des données de pompage relatives à l'ouvrage Teavaro F6	.39
Illustration 29:	Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Teavaro F6	40
Illustration 30:	Modèle utilisé pour la détermination des paramètres hydrodynamiques au droit du forage Teavaro F6	.40
Illustration 31:	Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation	41
Illustration 32:	Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Teame 1	42
Illustration 33 :	Modèle utilisé pour la détermination des paramètres hydrodynamiques au droit du forage Teame 1	.42
Illustration 34:	Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation	43

Illustration 35 :	: Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Maharepa 1 et des suivis réalisés dans les piézomètres S3 et S4	44
Illustration 36:	: Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation	45
Illustration 37:	: Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Maharepa 2	46
Illustration 38:	: Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation	46
Illustration 39:	: Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Paopao 1.1	48
Illustration 40:	: Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation	48
Illustration 41:	: Synthèse des résultats obtenus sur les 5 forages	49
Illustration 42:	Décroissance de la transmissivité en fonction de l'épaisseur du recouvrement	49
Illustration 43:	: Forages au droit desquels des logs conductivité/température ont été réalisés en mars 2018	.51
Illustration 44:	: Logs température/conductivité de l'eau réalisés sur les forages Maharepa 1, Maharepa 2 et Nuuroa F2 et le piézomètre Maharepa 1	52
Illustration 45:	Logs température/conductivité de l'eau réalisés sur les forages Pao Pao 1.2, Pao Pao 1.3 et Pao Pao F2	.53
Illustration 46 :	: Sites d'intérêt identifiés dans le secteur d'Afareaitu sur fond géologique	55
Illustration 47:	: Source Vaiava (point n° 319)	56
Illustration 48 :	Conductivités mesurées lors des investigations de terrain en septembre 2017 (les étiquettes indiquent les références des points d'eau)	.56
Illustration 49 :	: Valeurs de pH mesurées lors des investigations de terrain en septembre 2017 (les étiquettes indiquent les références des points d'eau)	.57
Illustration 50:	: Principe de la mesure en courant électrique continu (Bretaudeau et al., 2016)	59
Illustration 51:	: Géométrie du dispositif de mesure (Bretaudeau et al., 2016)	60
Illustration 52:	: Configuration dipôle-dipôle	60
Illustration 53:	: Configuration Wenner-Schlumberger	60
Illustration 54 :	Pseudo-section de résistivité apparente mesurée (haut), pseudo-section de résistivité calculée sur la base du modèle de résistivité (centre) et modèle de résistivité issu de l'inversion (bas)	.61
Illustration 55:	: Carte d'implantation des investigations : profils P1 et P2 sur le site de Hotutea et P4, P5 et P6 sur le site de Niuroa	62
Illustration 56:	: Travaux réalisés sur le site d'Afareiatu	62
Illustration 57:	Synthèse des paramètres qualités des tomographies électriques	63
	Modèle de résistivité vrai obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P1	
Illustration 59 :	: Modèle de résistivité vrai obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P2	64
Illustration 60 :	: Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P4	.66
Illustration 61:	: Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P5	.66
Illustration 62 :	: Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P6	67
Illustration 63:	Cartographie des paléovallées C1" imagées par les tomographies électriques. Les traits blancs discontinus dessinent les propositions de développement des paléovallées	.68
Illustration 64:	: Localisation des points d'eau prélevés à Moorea	69
	: Pluviométrie du mois de juillet 2018 à Moorea (poste Météo France Afareaitu 2)	

Illustration 66 :	: Résultats de l'analyse statistique descriptive des paramètres physico-chimiques mesurés in situ pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) de Moorea70
Illustration 67:	Répartition des valeurs de conductivité (μS/cm) mesurées in-situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 201871
Illustration 68 :	: Répartition des valeurs de pH mesurées in-situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 201871
Illustration 69 :	Répartition des teneurs en oxygène dissous (mg/L) mesurées in-situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 201872
Illustration 70:	: Répartition des valeurs du potentiel d'oxydo-réduction (mV) mesurées in-situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 201872
Illustration 71:	: TDS (g/L) vs conductivité (μS/cm) pour l'ensemble des échantillons d'eau prélevés à Moorea en juillet 201873
Illustration 72:	Diagrammes de Piper représentant l'ensemble des prélèvements effectués à Moorea (à gauche) et l'ensemble des prélèvements effectués au droit de 5 secteurs ayant fait l'objet d'études détaillées (à droite)74
Illustration 73:	: Analyse statistique descriptive des concentrations en éléments majeurs pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) prélevées en juillet 2018 à Moorea76
Illustration 74:	: Analyse statistique descriptive des concentrations en éléments traces pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) prélevées en juillet 2018 à Moorea77
Illustration 75:	: Diagramme CI vs Na (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea78
Illustration 76:	: Diagramme de TAS (Total Alkalis-Silica) établi pour les roches volcaniques de Moorea (Maury et al., 2000)78
Illustration 77:	: Diagrammes B vs SO ₄ (mmol/L) et B vs Cl (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea79
Illustration 78:	: Diagramme Ca+Mg vs HCO ₃ (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea79
Illustration 79 :	: Na/Cl vs Ca/Mg (mol/mol) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea80
Illustration 80 :	: Diagramme Na + K vs SiO ₂ (mmol/L) représentant les prélèvements effectués à Moorea en juillet 201880
Illustration 81:	Diagramme Sr vs SO ₄ (mmol/L) et ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr vs 1/Sr représentant les prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018 et rapports isotopiques du strontium de l'eau de mer et des basaltes de Moorea (Maury et al., 2000, d'après White et Duncan, 1996 et Hémond et al., 1994)81
Illustration 82:	: Fractionnement isotopique au cours du cycle de l'eau et variations de $\delta^2 H$ et $\delta^{18} O$ 82
Illustration 83:	: Informations sur les stations de prélèvement des pluies et les modalités d'échantillonnage83
Illustration 84:	: Diagramme δ²H vs δ¹8O pour les précipitations collectées au droit des 4 îles84
Illustration 85:	: Diagramme δ ² H vs δ ¹⁸ O pour les eaux de surface et les eaux souterraines prélevées au droit des 4 îles84
Illustration 86 :	: Diagramme δ²H vs δ¹8O établi pour l'ensemble des prélèvements effectués au droit des 4 îles et droites de référence85
Illustration 87:	Relation entre le deutérium et la hauteur totale des pluies collectées sur les 10 collecteurs .86
Illustration 88:	Relation entre l'altitude de la station de mesure et le δ^{18} O pour les 8 collecteurs de pluie87
Illustration 89 :	: Composition isotopique des eaux de pluies sur la période août 2018-février 2019 pour les 2 stations de Moorea (Jan = janvier, F = février, A = avril, A = août, S = septembre, N = novembre, D = décembre)
Illustration 90:	. Gradients d'apprauvrissement (δ¹8O/km) calculés pour 6 périodes à Moorea88
Illustration 91:	: Composition isotopique des eaux de rivières et des pluies prélevées à Moorea89
Illustration 92:	: Composition isotopique de l'ensemble des eaux prélevées à Moorea89

Illustration 93 : Méthodes de datation basées sur les traceurs radioactifs et gazeux (Newmann et al., 2010)	90
Illustration 94 : Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et SF ₆ (Tituila, Samoa)	91
Illustration 95 : Système de prélèvement utilisé en vue du dosage des CFC et SF ₆	92
Illustration 96 : Modèles d'écoulement type piston, exponentiel et mélange binaire	93
Illustration 97 : Âges calculés pour 6 points d'eau à Moorea	94
Illustration 98 : Modèle conceptuel hydrogéologique défini pour la zone d'intérêt d'Afareaitu	97
Liste des annexes	
Annexe 1 : Données des reconnaissances géologiques	105
Annexe 2 : Informations sur les ouvrages inventoriés à Moorea	109
Annexe 3 : Données des reconnaissances hydrogéologiques	117
Annexe 4 : Fiches des points de prélèvement	121
Annexe 5 : Résultats des analyses chimiques	139

1. Introduction

Le programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française a été initié suite à la signature le 3 mars 2016 de la convention MCE n°1366 entre le BRGM et le Ministère de la Culture et de l'Environnement polynésien.

Ce programme d'une durée initialement fixée à 36 mois puis étendue à 48 mois par le biais d'un avenant s'inscrit dans le cadre des « Opérations diverses venant en appui des axes AEP, déchets et assainissement » du volet « Environnement » du Contrat de Projets 2008-2013.

D'un point de vue technique, le programme vise à doter la Polynésie française d'outils de gestion et d'exploitation des ressources en eau souterraine performants de façon à faire face aux défis actuels (augmentation des besoins en lien avec le développement démographique et touristique, distribution d'une eau de qualité au plus grand nombre, sécurisation de l'approvisionnement en période de sécheresse, maîtrise des risques de pollution et d'intrusion du biseau salé,...) et futurs (possible évolution des conditions d'accès aux ressources en raison du changement climatique).

D'un point de vue réglementaire, le programme se déroule dans un contexte où les communes doivent mettre en œuvre des moyens pour assurer la distribution d'eau potable conformément à l'article L2573-27 du Code Général des Collectivités Territoriales. Initialement fixé au 31/12/15, le délai de mise en œuvre a été repoussé au 31/12/24.

Le programme réalisé par le BRGM comporte 4 axes : un premier axe dédié à la synthèse des connaissances et à la typologie des aquifères polynésiens, un second dédié à l'élaboration d'outils de gestion de la ressource en eau, un troisième axe dédié à des missions d'assistance technique et règlementaire et un quatrième dédié à des études hydrogéologiques détaillées.

Suite à la phase d'inventaire des données qui a été menée dans le cadre de l'axe 1 et qui a porté sur les îles de Moorea, Maiao, Huahine, Raiatea, Taha'a, Ua Pou, Makatea et Rangiroa (Corbier et Pasquier, 2018), le comité de suivi du projet a retenu les îles de Moorea, Ua Pou et Rangiroa pour faire l'objet d'études détaillées. Ces dernières ont en effet été jugées représentatives d'une île haute, d'une île mixte et d'un atoll. Conformément à la convention MCE n°1366, 2 bassins versants de Tahiti (Papenoo et Punaruu) ont également fait l'objet d'études détaillées. Le présent rapport fait état des investigations menées à Moorea.

Sur cette île, la production d'eau est assurée par 12 forages, 12 sources et 21 captages d'eau de surface répartis sur 23 sites différents. Ce nombre important rend la gestion des ressources extrêmement complexe, en particulier pour la potabilisation.

En 2016, seuls 3 réseaux sur 14 (Temae, Maharepa 2 et Nuuroa) distribuaient de l'eau potable. Cette situation s'est toutefois améliorée avec notamment la mise en service le 1^{er} juillet 2017 d'une usine de traitement des eaux de surface à Papetoai permettant la potabilisation du réseau éponyme.

En 2018, le nombre de réseaux distribuant de l'eau potable est passé à 5 (Illustration 1) (CHSP, 2019) et la Polynésienne des Eaux ainsi que la commune se sont engagées dans des démarches pour mettre en place une nouvelle station de traitement à Haumi. Cette dernière a été inaugurée en juillet 2019.

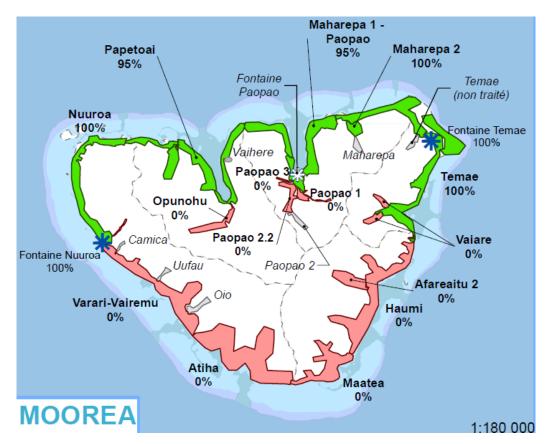


Illustration 1 : Potabilité des réseaux d'adduction de Moorea en 2018 (CHSP, 2019).

La partie centrale de l'île (secteur de Paopao) ainsi que le sud de l'île restent deux zones critiques en ce qui concerne l'eau potable. Les débits captés dans le secteur de Paopao sont limités et les ressources sont exposées à des risques de contamination par des pesticides du fait de la présence de champs d'ananas en amont. Au sud de l'île, les débits d'étiage sont très faibles.

La recherche de ressources supplémentaires est donc nécessaire pour sécuriser l'alimentation de ces secteurs mais reste délicate en raison d'un foncier en indivision.

Au sud, une étude récente menée par le groupement LTPP/SPEED (2015) a permis d'identifier 11 sites favorables pour la réalisation de forages. Au final, 2 ouvrages devaient être réalisés dans le secteur de Atiha à Haapiti mais des problèmes de foncier ont retardé leur réalisation.

Dans le secteur de Paopao, la commune a réalisé un forage sur un terrain privé au droit duquel la propriétaire avait décelé des traces d'humidité. Malgré quelques venues d'eau superficielles, l'ouvrage n'a pas été jugé assez productif pour une mise en service.

En complément et pour accroître la sécurisation, la commune et la Polynésienne des Eaux ont souhaité que de nouvelles recherches d'eau souterraine puissent être menées dans le secteur d'Afareaitu.

Après de brèves généralités sur l'île de Moorea (chapitre 2), le présent document compile les résultats des investigations géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et hydrogéochimiques (chapitres 3 à 6) effectuées par le BRGM sur le secteur préalablement indiqué de même que sur le restant de l'île. Le rapport propose ensuite un modèle hydrogéologique conceptuel (chapitre 7) et se termine par une conclusion et des recommandations.

2. Généralités sur l'île de Moorea

2.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

L'île de Moorea se situe au droit des îles du Vent dans l'archipel de la Société (17.5° S ; 149.8° W). Elle se caractérise par une superficie de 133 km² et se situe à 17 km au nord-ouest de Tahiti (Illustration 2). Elle en est séparée par un profond chenal dépassant les 1500 m de profondeur.

Elle constitue avec l'île voisine de Maiao, la commune de Moorea-Maiao et se compose de 5 communes associées (Afareaitu, Teavaro, Paopao, Papetoai et Haapiti) (Illustration 3). Le dernier recensement de 2017 fait état d'une population de 18 071 habitants qui vivent pour la plupart sur la frange côtière.

Le réseau routier permet d'effectuer le tour complet de l'île qui est par ailleurs facilement accessible (présence d'un aéroport et navettes maritimes fréquentes depuis Tahiti).

D'un point de vue morphologique, l'île se présente sous la forme d'un volcan-bouclier de forme triangulaire effondré dans sa partie nord. Elle culmine à 1207 m d'altitude au Mont Tohiea et est très fortement disséquée par l'érosion.

Au nord, les baies d'Opunohu (à l'ouest) et de Cook (à l'est) pénètrent sur plus de 3 kilomètres à l'intérieur des terres et isolent le Mont Rotui (899 m) qui représente le deuxième plus haut sommet de l'île.

La barrière de corail présente sur tout le pourtour de l'île se situe entre 1 000 et 1 500 m du rivage. Elle est entaillée par 12 passes qui permettent au lagon de communiquer avec l'océan.

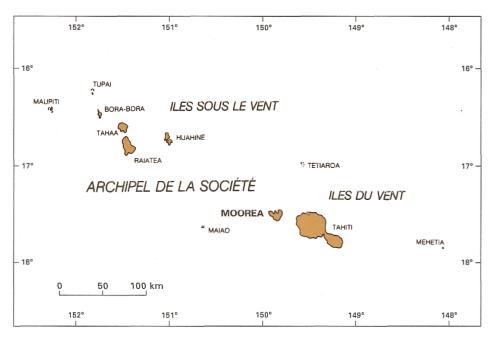


Illustration 2 : Localisation de Moorea dans l'archipel de la Société (Maury et al., 2000).



Illustration 3 : Communes associées, réseau routier et principaux sommets de Moorea. (https://www.tefenua.gov.pf)

2.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique est principalement constitué de petites rivières à disposition radiale, dont la longueur n'excède pas trois kilomètres. Seules les plus importantes sont pérennes. Un débit maximal de 35 m³/s pour un bassin versant de 2,3 km² a été mesuré au pont d'Afareaitu (Maury *et al.*, 2000).

L'île a par ailleurs été équipée jusqu'en 1991 d'une station hydrométrique permettant de suivre le niveau de la Vaianae, située sur la commune de Haapiti. Cette station qui était gérée par l'ORSTOM n'est plus opérationnelle mais les mesures effectuées dans le passé ont permis de mettre en évidence des débits moyens annuels de l'ordre de 0.175 m³/s pour un bassin versant d'une superficie de 3,13 km². Cette valeur paraît particulièrement élevée au regard des débits plutôt faibles actuellement observés dans ce secteur.

2.3. CONTEXTE CLIMATIQUE

Du point de vue des dispositifs de mesure, l'île de Moorea est équipée de 7 stations météorologiques qui fonctionnent depuis novembre 1959 pour la plus ancienne. Sur ces 7 stations, Météo France en gère 6 et le GEGDP, 1 seule (Illustrations 4 et 5).

Code Station	Nom	Lieu-dit	Date ouverture	Producteur	
98729003	Paopao 1	Quartier Putua	01/11/1959	Météo France	
98729007	Afareaitu 2	Afareaitu SDR	01/01/1977	Météo France	
98729008	Papetoai 3	Opunohu SDR	01/01/1979	Météo France	
98729010	Papetoai 4	Opuhonhu Ephe	01/12/1993	Météo France	
98729012	Haapiti 3	Tetaiuo	01/03/2000	Autres	
98729013	Teavaro 2	SPEA - PK 2	23/11/2007	Météo France	
98729015	Haapiti 5	Nuuroa	01/11/2011	Météo France	

Illustration 4 : Informations sur les stations météorologiques de Moorea.

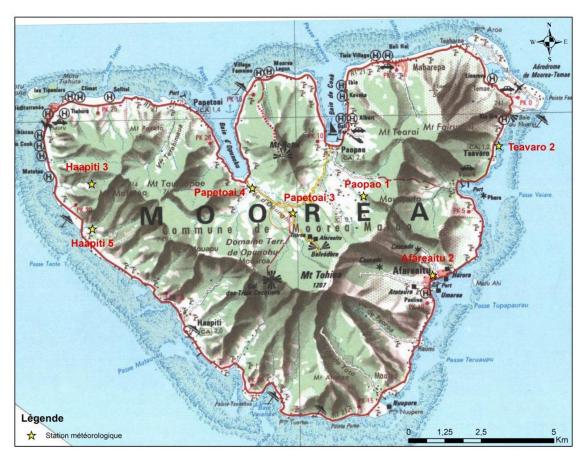


Illustration 5 : Localisation des stations météorologiques de Moorea.

L'Illustration 6 montre les cumuls annuels enregistrés depuis 1977 sur la station Afareaitu 2. Pour les années complètes (représentées en bleu), il apparaît que ces cumuls varient de 1112 à 3040 mm pour une moyenne de 2 260 mm.

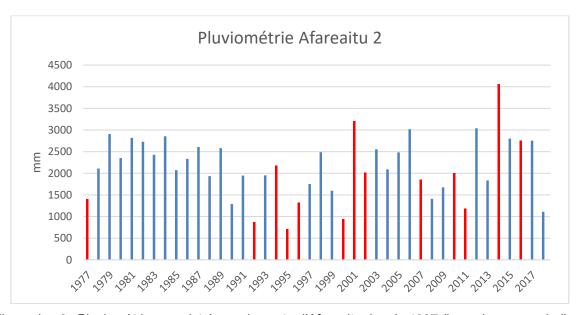


Illustration 6 : Pluviométrie enregistrée sur le poste d'Afareaitu depuis 1997 (la couleur rouge indique les années pour lesquelles au moins une donnée mensuelle est manquante).

3. Approche géologique

3.1. DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

3.1.1. L'archipel de la Société

L'archipel de la Société se qui situe entre 15 et 18° de latitude sud et 147 et 157° de longitude ouest s'étend sur près de 750 km suivant une direction N 115°E, correspondant au déplacement de la plaque Pacifique (110 km/Ma). Il repose sur un plancher océanique datant de 65 Ma au sud-est et de 90 Ma au nord-ouest qui se situe à une profondeur de l'ordre de 4 000 mètres. Il présente les caractéristiques majeures d'une chaîne volcanique de point chaud (Illustration 7).

L'île de Mehetia située à l'ouest de Tahiti correspond au point chaud proprement dit. Il s'agit d'une île qui culmine à 435 m d'altitude et qui correspond à la partie immergée d'un giganstesque édifice volcanique dont la base se trouve à 4 200 m de profondeur. Des coulées de lave auraient recouvert un ancien récif corallien qui s'était constitué lors d'une phase d'érosion entre deux périodes d'activité. La jeunesse du volcan est attestée par la faible érosion des pentes et du cratère, le fait que la végétation n'ait pas encore colonisé la totalité des pentes de l'île ainsi que par l'absence de récif corallien continu à sa périphérie. Les émissions de fumerolles, l'épanchements de laves fluides en profondeur ainsi que les nombreux séismes de faible ampleur qui sont enregistrés constituent d'autres témoignages de l'activité de ce volcan.

Les deux volcans boucliers peu érodés de Tahiti culminants respectivement à 2 241 mètres (Mont Orohena à Tahiti-Nui) et 1 332 mètres (Mont Ronui à Tahiti-Iti) constituent les édifices émergés suivants. Ils sont respectivement datés de 200 000 ans et 1,4 Ma. L'île est entourée d'un lagon et d'un récif barrière peu éloigné du rivage (1 km au maximum),

Les îles de Moorea, Huahine, Raiatea et Tahaa sont plus vieilles et plus érodées. La forme des volcans boucliers n'est que peu reconnaissable et la barrière récifale peut se trouver jusqu'à 2 km de la côte. Les îles de Bora-Bora et de Maupiti correspondent enfin à des édifices volcaniques résiduels encore plus vieux (jusqu'à 4,2 Ma) entourés de vastes lagons (jusqu'à 3 km de largeur).

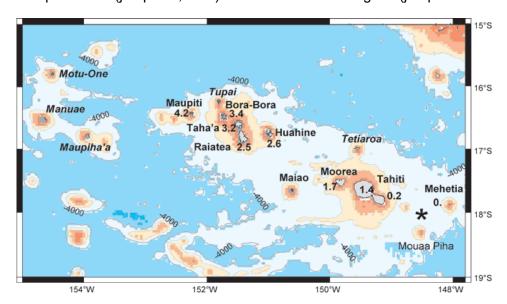


Illustration 7 : Carte de la bathymétrie et de l'âge des îles de la Société (Clouard et Bonneville, 2004).

3.1.2. L'île de Moorea

Les éléments présentés ci-dessous sont essentiellement issus de la notice de la carte géologique de Moorea établie à l'échelle 1/25 000 en 2000 (Maury et al., 2000). Les auteurs y précisent notamment la chronologie de mise en place et décrivent les formations présentes au niveau des différents massifs.

Chronologie de mise en place

L'île de Moorea repose sur un plancher océanique d'âge Crétacé supérieur (75 Ma), dont la profondeur avoisine les 4 000 mètres. La partie immergée de l'édifice possède une morphologie d'ensemble simple, conique, avec des flancs dont la pente varie entre 15 et 20°, caractéristique des volcans boucliers.

L'Illustration 8 présente le modèle d'évolution retenu. Ce dernier comporte 3 phases :

- 1) une première correspondant à l'édification du volcan du Tohiea entre 1,55 et 1,51 Ma : d'abord modérée, l'activité volcanique s'intensifie avec des épanchements basaltiques vacuolaires réguliers (vitesse d'édification élevée : de l'ordre de 1,2 cm/an) ;
- 2) une seconde correspondant à une période de fracturation initiée par l'intrusion d'un système de sills et de dykes dans la partie superficielle de l'édifice volcanique. Un plan de décollement sous forme de cuillère se forme et engendre le déplacement du flanc nord de l'édifice qui subit un démantèlement. Il s'en suit des épanchements latéraux, à partir de failles décrochantes, à Papetoai, Paveo et Paopao;
- 3) entre les stades 2 et 3 (situation actuelle), les éruptions latérales se poursuivent, notamment à Papetoai. Durant cette période, l'érosion joue aussi un rôle prépondérant, comme en témoignent les baies de Cook et d'Opunohu de part et d'autre du mont Rotui ou la dépression centrale. Les éruptions post-caldeira se terminent à 1,36 Ma.

Il apparaît donc que la mise en place de l'île a été relativement rapide à l'échelle des temps géologiques.

Formations géologiques

Volcan du Tohiea

Les brèches lahariques d'Afareaitu (épaisseur inférieure à 250 m) sont notées br1 et représentées en marron sur l'Illustration 9. Elles constituent les plus vieilles formations reconnues de l'île. Elles se présentent sous la forme de passées de puissance métrique à décamétrique. Elles peuvent localement alterner avec des niveaux pyroclastiques stromboliens de nature basaltique et sont recoupées par de nombreux dykes et sills. Leur présence qui a aussi été observée sur l'île de Tahiti témoigne d'un épisode de remaniement d'un édifice émergé antérieur à la formation des parties affleurantes du Tohiea. On ne peut donc exclure l'hypothèse d'une évolution beaucoup plus longue que celle enregistrée par les unités actuellement affleurantes.

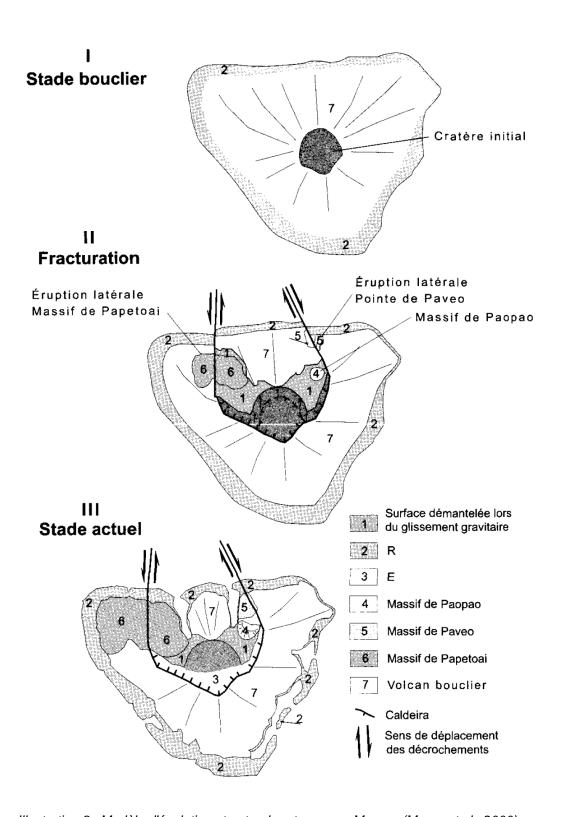
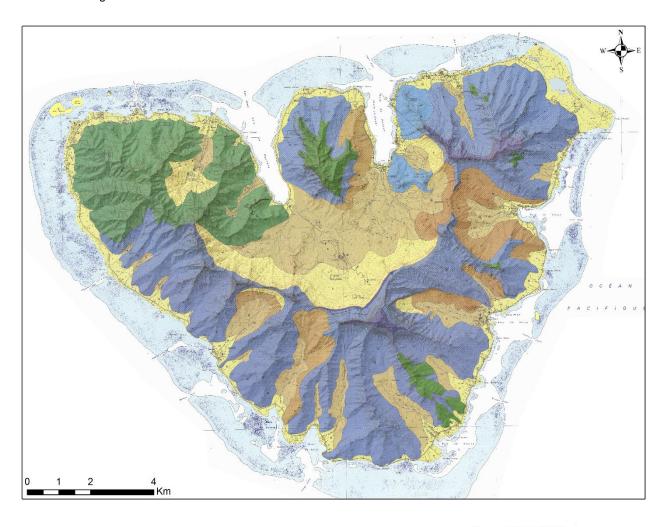


Illustration 8 : Modèle d'évolution structurale retenu pour Moorea (Maury et al., 2000).



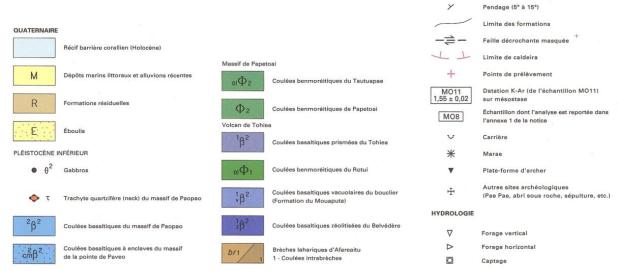


Illustration 9 : Carte géologique de l'île de Moorea (Maury et al., 2000).

Les brèches décrites précédemment sont surmontées par les coulées basaltiques dites du Belvédère (épaisseur supérieure à 60 m). Ces formations notées z1β2 et représentées en violet foncé sur la carte correspondent à des coulées massives, de puissance métrique à plurimétrique intrudées par de nombreux sills et dykes.

Les formations du Mouaputa (épaisseur inférieure ou égale à 300 m) notées v1β2 et représentées en violet constituent l'essentiel du volcan bouclier. Ces coulées basaltiques vacuolaires à surface pahoehoe dont les épaisseurs unitaires varient de 1 à 20 m ont été datées entre 1,55 et 1,52 Ma.

Les coulées de benmoréites¹ du Rotui (épaisseur supérieure ou égale à 150 m) notées o\psi1 et représentées en vert vif affleurent de façon plus restreinte que les précédentes au sud, à l'est et au niveau du Mont Rotui mais présentent le même âge (1,52 Ma). Elles présentent des épaisseurs unitaires de 2 à 3 m et alternent avec des niveaux de brèches autoclastiques.

Les coulées basaltiques prismées du Tohiea (épaisseur inférieure ou égale à 500 m) notées 1β2 et représentées en violet constituent les reliefs escarpés de la bordure de la caldeira ainsi que la crête de la partie nord-est de l'île. Cette formation apparaît formée par un empilement de coulées décamétriques, massives et prismées, avec une quasi-absence de niveaux de brèches interstratifiés.

Massif de Papetoai

Les coulées de benmoréites de Papetoai (épaisseur supérieure ou égale à 200 m) notées φ2 et représentées en vert recouvrent les coulées basaltiques vacuolaires du bouclier du Tohiea. Elles sont datées de 1,53 et 1,47 Ma.

Les coulées de benmoréites du Tautuapa (épaisseur inférieure ou égale à 100 m) notées oφ2 et également représentées en vert forment le sommet du massif de Papetoai (Mont Tautuapae, 769 m). Il s'agit de coulées épaisses, décamétriques, comportant une prismation bien marquée. Ces coulées sont caractérisées par une extension très limitée. Leur mise en place est datée à 1,53 Ma (Pléistocène inférieur).

Massif de la pointe Paveo

Un massif de coulées basaltiques à enclaves (épaisseur inférieure ou égale à 150 m), d'origine effusive, situé à la pointe de Paveo, masque la bordure orientale de la caldeira. Ces coulées sont notées cm2β2 et représentées en bleu sur la carte. Elles se caractérisent par un pendage plus accentué (30-40°) que celles du volcan bouclier (5-15°) et résultent donc d'un épanchement ultérieur à la formation du volcan Tohiea.

Massif de Paopao

Les coulées basaltiques du massif de Paopao (épaisseur inférieure ou égale à 200 m) notées 2β2 et représentées en bleu reposent directement sur le plancher de la caldeira du volcan du Tohiea.

Les pentes de ce massif en forme de croissant sont constituées de coulées métriques alternant avec des brèches autoclastiques. On peut aussi localement observer des brèches stromboliennes, notamment au niveau d'un petit édifice strombolien caractérisé par des pentes de l'ordre de 25 °. L'ensemble du massif est recoupé par un réseau dense de dykes.

Les coulées basaltiques échantillonnées sur les flancs du cône ont révélé un âge de 1,53 Ma, compatible avec l'édification post-caldeira du petit édifice strombolien.

Une intrusion de trachyte quartzifère recoupe la bordure du petit cône strombolien et forme un neck culminant à 207 m. L'âge de 1,36 Ma (Pléistocène inférieur) confirme sa mise en place tardive, nettement postérieure à celle des coulées basaltiques du massif de Paopao.

-

¹ Laves volcaniques alcalines sodiques intermédiaires entre les trachytes et les basaltes alcalins

3.2. RECONNAISSANCES MENÉES DANS LE SECTEUR D'AFAREAITU

Les reconnaissances géologiques ont été menées à l'est de la crête qui relie le Tohiea (1 207 m) au Mouaputa (830 m). Il s'agit d'une zone qui englobe le village d'Afareaitu, les vallées d'Hotutea et de Niuroa ainsi qu'une planèze de forme triangulaire située entre les 2 vallées (Illustration 10).

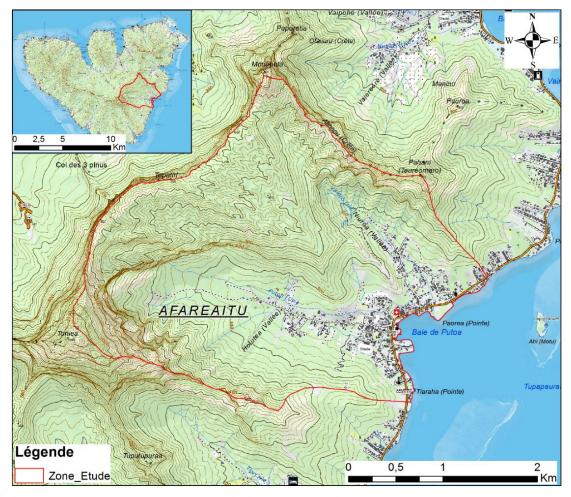


Illustration 10 : Localisation de la zone d'étude.

3.2.1. Observations géologiques et géomorphologiques

D'un point de vue morphologique, la zone d'étude est composée de (Illustration 11) :

- la vallée d'Hotutea qui entaille le volcan bouclier à partir du flanc NE du Tohiea jusqu'au lagon. Le fond de la vallée se trouve au pied d'une falaise de 800 m,
- la vallée de Niuroa qui descend du Mouaputa et qui se divise en une basse vallée et une haute vallée,
- une planèze de forme triangulaire située entre les deux vallées et d'orientation sud-est,
- le vallon de Vaiava qui se trouve en aval de la planèze entre les deux vallées précédemment citées,
- deux vallées perchées situées au nord-nord-ouest de la vallée d'Hotutea correspondant à la zone amont des deux cascades d'Afareaitu.



Illustration 11: Vue d'ensemble sur la zone d'étude.

D'après la carte géologique de Moorea au 1/25 000 (Maury et al., 2000) (Illustration 9), les formations susceptibles d'être rencontrées correspondent, des plus anciennes aux plus récentes :

- br1 : aux brèches lahariques d'Afareaitu (plus vieille formation reconnue sur l'île). Elles ont été reconnues dans les vallées d'Hotutea et de Niuroa ;
- $\sqrt[1]{\beta^2}$: aux coulées basaltiques vacuolaires du bouclier (Formation du Mouaputa). Il s'agit d'un empilement de coulées fluides aériennes et peu différenciées. Elles constituent une grande partie de la zone d'étude :
- οιΦ1 : aux coulées benmoréitiques du Rotui qui présentent une faible extension sur la zone d'étude (non reconnues) ;
- ¹β²: aux coulées basaltiques prismées du Tohiea qui arment la partie supérieure du point culminant de l'île (non reconnues en raison de contraintes d'accessibilité);
- E : aux éboulis. Ils recouvrent le fond de la vallée d'Hotutea, au pied du Mont Tohiea ;
- R : aux formations résiduelles. Il s'agit de sols ferrallitiques, épais d'environ 30 m et présents dans les deux vallées de la zone investiguée ;
- M : aux dépôts marins littoraux et aux alluvions récentes qui bordent la zone littorale.

Les reconnaissances ont été réalisées du 11 au 16 septembre 2017 et ont permis d'identifier 52 sites d'intérêt au sein des bassins versants de la Putoa (vallée de Hotutea) et de Vaioro (vallée de Niuroa).

Ces sites ont été représentés sur l'Illustration 12 et leurs caractéristiques (type de formation, lithologie, structure, degré de fracturation, niveau d'altération) ont été compilées en Annexe 1.

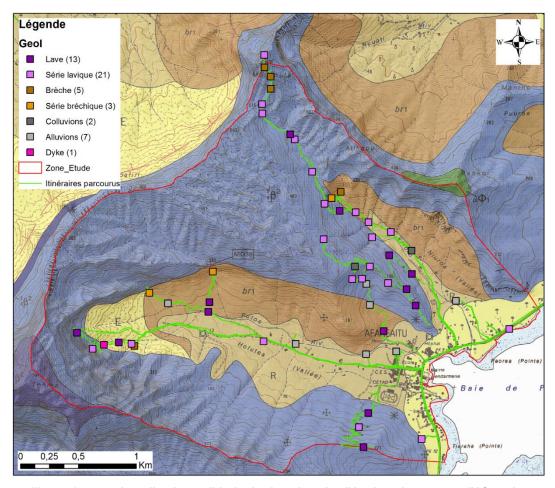


Illustration 12 : Localisation et lithologie des sites étudiés dans le secteur d'Afareaitu.

3.2.2. Description des lithologies rencontrées

Une description et des photos sont proposées ci-dessous pour les lithologies reconnues.

<u>Lave</u>: il s'agit d'affleurements massifs constitués de coulées individualisées (Illustration 13A). La fracturation et la vésicularité sont variables mais parfois importantes. L'orientation des vésicules marque le sens de mise en place des coulées qui est généralement E-NE vers S-SO. D'un point de vue pétrologique, les laves correspondent à des basaltes aphyriques ou à olivine et pyroxènes (parfois plagioclases). L'altération est variable : faible au niveau du plateau entre les deux bassins versants et généralement très importante dans les fonds de vallée et au niveau de la crête du Mouaputa (où les laves sont fortement saprolitisées).

<u>Série lavique</u>: il s'agit d'affleurements hétérogènes constitués par un empilement de coulées, possiblement séparées par des niveaux scoriacés (Illustration 13B). La chimie des laves est la même que précédemment (basaltes). L'altération peut être importante (notamment dans les fonds de vallée et au niveau de la crête du Mouaputa). Des empilements de coulées peu épaisses et relativement fraîches sont bien visibles au niveau des falaises entourant le plateau entre les deux bassins versants (Illustration 13B).

<u>Brèche</u>: il s'agit de dépôts volcano-clastiques composés de clastes (fragments) emballés dans une matrice argileuse (Illustration 13C). Ces niveaux peuvent avoir différentes origines (brèches de coulées, dépôts de lahars, brèches phréato-magmatiques) et sont généralement peu poreux et peu fracturés. L'altération est généralement importante (notamment au niveau de la crête du Mouaputa).

<u>Série bréchique</u>: il s'agit d'affleurements hétérogènes constitués d'un empilement de niveaux volcanoclastiques, potentiellement d'origines différentes, sur une forte épaisseur (plusieurs dizaines de mètres). Des coulées de laves massives peuvent être intercalées dans ces séries bréchiques (Illustration 13D) et des dykes peuvent recouper l'ensemble (Illustration 13E). L'altération est variable, de même que la porosité et la fracturation en raison de la forte hétérogénéité. Les niveaux volcanoclastiques riches en clastes et pauvres en matrice peuvent ainsi être assez poreux, tandis que ceux pour lesquels la proportion de matrice est plus importante le sont moins. Les coulées massives sont, quant à elles, relativement fracturées à l'affleurement.

<u>Colluvions</u>: il s'agit de blocs généralement anguleux de natures variées emballés dans une matrice brune argilo-limoneuse. Les colluvions se forment par fluage lent vers l'aval des formations de surface (régolithe).

<u>Alluvions</u>: il s'agit d'alluvions grossières (en amont) à fines (en aval) de fond de vallée. Elles sont limitées aux lits des principaux torrents et ruisseaux.

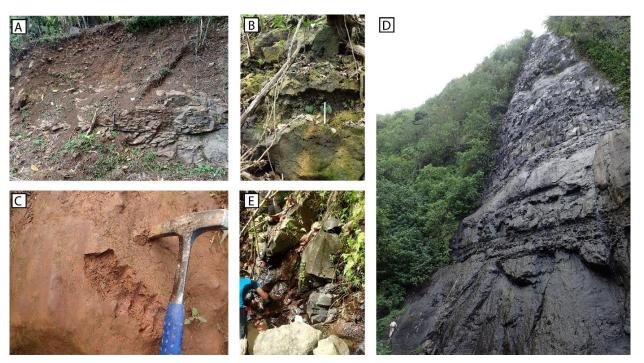


Illustration 13 : Exemples de lithologies rencontrées sur le terrain. A = Lave ; B = Série lavique (lave + semelles scoriacées) ; C = Brèche ; D = Série bréchique avec intercalations de lave (le géologue donne l'échelle) ; E = Dyke

3.2.3. Synthèse

D'un point de vue morphologique, il apparaît que le plateau basaltique de forme triangulaire situé entre les deux bassins versants étudiés est assez unique sur Moorea. Cette morphologie ondulante en pente douce vers le SE semble être relativement fraîche et contraste fortement avec les crêtes et amphithéâtres visibles partout ailleurs sur l'île. Ce plateau est très difficile d'accès mais les sites étudiés aux alentours (falaises notamment) montrent systématiquement des laves ou séries laviques peu ou pas altérées. Le plateau serait donc constitué d'un empilement de coulées peu ou pas altérées qui sont généralement fracturées et vacuolaires à l'affleurement.

Ce plateau repose sur des niveaux bréchiques de forte puissance, bien visibles au niveau des cascades situées au fond des vallées. Ces brèches sont hétérogènes, litées et de natures variées. Elles ne correspondent pas seulement à des dépôts de lahars comme semble le proposer la notice de la carte géologique. Certains niveaux pourraient en effet correspondre à des niveaux volcanoclastiques primaires (retombées phréato-magmatiques par exemple). Ces séries majoritairement bréchiques peuvent aussi contenir des niveaux laviques d'épaisseur non-

négligeable intercalés dans la série volcano-sédimentaire. La fracturation et la porosité sont hétérogènes et varient ainsi fortement d'un lit à l'autre.

Le substratum de cette série bréchique n'a pas été observé de manière claire. Certains affleurements en fond de vallée correspondent cependant à des laves très altérées (saprolites) qui pourraient représenter un substratum lavique vieux et altéré sur lequel se sont déposées les brèches. Il pourrait néanmoins aussi s'agir de niveaux laviques altérés intercalés dans la série bréchique. Le faible niveau d'altération des laves observé dans la série bréchique semble cependant conforter la première hypothèse.

L'ensemble des formations est recoupé par deux familles de dykes basaltiques tardifs respectivement orientés N145 et N050. À l'affleurement, ils présentent des épaisseurs métriques.

La relation entre les laves différenciées (phonolites) représentées sur la carte géologique en périphérie de la zone d'étude et leur substratum n'a pas pu être observée dans le cadre des reconnaissances de terrain.

Les formations superficielles prennent enfin la forme de vastes dépôts d'éboulis en pied de falaise, passant progressivement à des colluvions lorsque l'on se déplace latéralement vers les pentes plus faibles.

Les fonds de vallées sont remplis par des alluvions grossières en tête de versant et par du matériel plus fin à mesure que l'on se rapproche de l'exutoire (lagon). L'épaisseur de ces formations superficielles semble être assez limitée.

4. Approche hydrogéologique

4.1. DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

Une vingtaine de références bibliographiques concernant l'île de Moorea ont pu être identifiées mais la plupart sont anciennes ou ne correspondent qu'à des rapports de fin de travaux ou chiffrant des aménagements à venir.

Les données relatives aux sources et aux forages identifiées dans ces documents répertoriés en bibliographie ont néanmoins contribué à étoffer l'inventaire de terrain mené en février 2017 dans le cadre de l'axe 1 du programme (Corbier et Pasquier, 2018).

Au final, la base de données établie sur le même modèle que celui retenu pour Tahiti (Ozog et Vernoux, 2012) comporte des informations relatives à 43 forages, 112 sources et 25 captages en rivière (Illustration 14 et Annexe 2).

L'Illustration 15 recense notamment les caractéristiques des 7 forages verticaux actuellement sollicités pour l'AEP, les 5 autres correspondant à des ouvrages horizontaux.

À l'exception du forage Maharepa 1 (FOR_VMO008) qui fait face à une augmentation de la conductivité depuis plusieurs années, aucun problème qualitatif particulier n'est à mentionner.

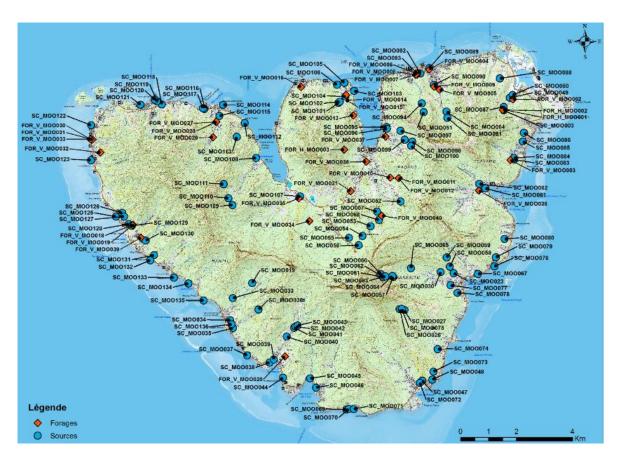


Illustration 14 : Ouvrages inventoriés à Moorea (Corbier et Pasquier, 2018).

ID Forage	Nom	Commune associée	Bassin Versant	х	Y	Z	Réalisation	Profondeur (m)	Distance côte (m)	Etat	Usage
FOR_V_MOO002	Temae 1	Teavaro	Vallée de Temae	205510	8063842	32,9	1990	70,0	1250	Exploité	AEP
FOR_V_MOO003	Teavaro	Teavaro	Vallée Puaue	205426	8061676	34,0	1998	83,0	550	Exploité	AEP
FOR_V_MOO008	Maharepa 1	Paopao	Vaiterupe	202043	8064727	1,7	1990	51,0	260	Exploité	AEP
FOR_V_MOO009	Maharepa 2	Paopao	Papeahi	202693	8064299	20,0	1998	96,0	700	Exploité	AEP
FOR_V_MOO012	Paopao 1.3	Paopao	(est Taraieie)	201425	8061030	71,0	2015	80,0	1400	Exploité	AEP
FOR_V_MOO018	Nuuroa 1	Haapiti	Niumaru	191935	8059365	6,8	1986	63,0	340	Exploité	AEP
FOR_V_MOO019	Nuuroa 2	Haapiti	Niumaru	191919	8059355	7,0	1986	63,0	320	Exploité	AEP

Illustration 15 : Caractéristiques des 7 forages sollicités pour l'AEP.

4.2. RECONNAISSANCES MENÉES À L'ÉCHELLE DE L'ÎLE

À l'échelle de l'île de Moorea, les investigations hydrogéologiques ont comporté la réalisation d'une carte de l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR), la réinterprétation d'essais de pompage anciens et la réalisation de logs de conductivité.

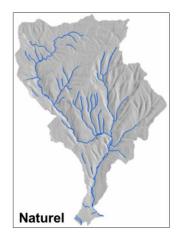
4.2.1. Carte d'indice de persistance des réseaux (IDPR)

Généralités

L'indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR) a été créé par le BRGM (Mardhel et Gravier, 2005) pour qualifier un territoire en termes de « chemins empruntés » par les eaux météoritiques. L'eau qui n'est ni absorbée par les plantes ni soumise à une évaporation directe peut quitter son bassin versant de deux manières distinctes :

- en ruisselant à la surface puis en se concentrant dans les ruisseaux et les rivières avant de quitter le bassin à la faveur d'un exutoire de surface ;
- en s'infiltrant dans le sous-sol puis en transitant dans un aquifère avant de quitter ce dernier par un exutoire souvent distinct de celui du réseau des rivières.

Le calcul de l'IDPR est basé sur la comparaison entre un réseau hydrographique fictif qui considère la présence d'une rivière dans chaque thalweg (Indice de Développement) et le réseau hydrographique naturel (Persistance des Réseaux). Cela permet de faire ressortir les zones à faible réseau hydrographique (zones d'infiltration forte) et celles où le ruissellement est important (réseau hydrographique dense). L'IDPR correspond à l'écart constaté entre le réseau naturel et le réseau de talwegs calculés à partir du MNT (Illustration 16).





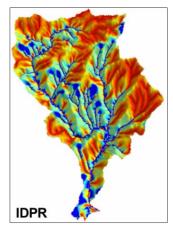


Illustration 16 : Réseau hyrographique naturel, réseau de talwegs calculés et IDPR correspondant.

La distribution des valeurs de l'indice IDPR varie selon une gamme de 0 à 2 000, les valeurs inférieures à 1 000 caractérisant les zones où l'infiltration est majoritaire et les valeurs supérieures à ce même seuil, caractérisant les zones où le ruissellement est majoritaire.

En 2007, une première évaluation de l'IDPR a été réalisée sur l'ensemble du territoire métropolitain au pas de 50 m mais les résultats obtenus en domaine de socle étaient peu discriminants. En 2017, une nouvelle cartographie se basant sur des données topographiques de meilleure qualité et surtout sur une nouvelle méthode pour traiter les zones de socle (principe de continuité/discontinuité des réseaux hydrographiques détectées grâce au calcul du TPI (Topographic Position Index, Gallant and Wilson, 2000) a été mise en œuvre.

Données de base (MNT, réseau de talwegs et réseau hydrographique)

Les valeurs d'altitude du MNT (pas de 5 m) de Moorea s'étendent du niveau de la mer (niveau 0) au point culminant de l'île (mont Toheia à 1 205 mètres) (Illustration 17).

Pour le calcul du réseau de talwegs (Illustration 18), ce sont les outils développés par l'*Environmental Systems Research Institute* (ESRI) et notamment l'extension d'ArcGis « SpatialAnalyst » qui ont été utilisés. Le calcul s'appuie sur une grille de direction et d'accumulation calculées à partir du MNT originel au pas de 5 m. Il nécessite toutefois une analyse préliminaire des données d'altitude afin d'éliminer d'éventuelles zones endoréiques dont la présence peut interrompre l'écoulement naturel des talwegs jusqu'à la mer (Illustrations 19 et 20).

Le réseau de talwegs ainsi calculé est composé de 8 274 arcs distincts. Le bassin versant élémentaire ayant permis d'initier le calcul est de 300 cellules, soit 0,75 hectare (300 * 25 m²). La contrainte limite à 300 cellules a été retenue à dire d'expert après analyse du réseau naturel des rivières. Le réseau de talwegs produit de cette manière présente une distribution similaire à celle du réseau naturel.

La couche relative au réseau hydrographique naturel a, quant à elle, été fournie par le Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme (SAU) polynésien. Elle représente les talwegs pour lesquels le géographe a identifié un réseau naturel d'écoulement des eaux de surface (Illustration 21).

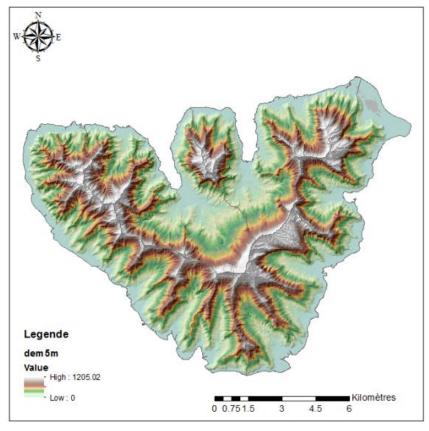


Illustration 17 : Modèle numérique de terrain au pas de 5 m de Moorea.

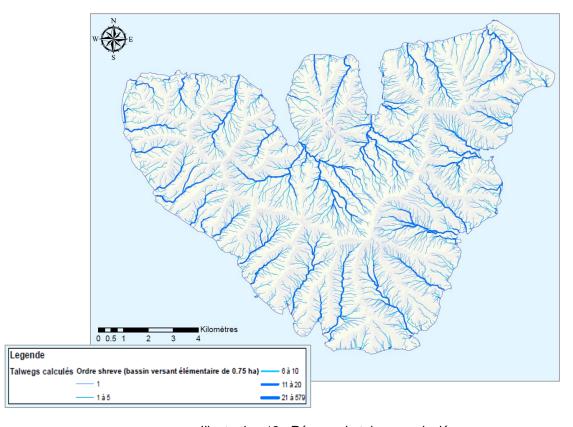


Illustration 18 : Réseau de talwegs calculé.

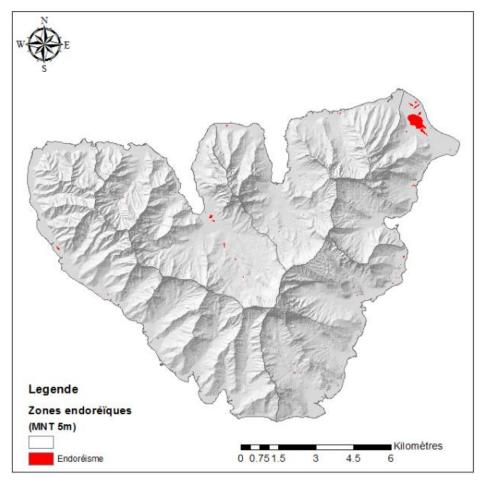


Illustration 19 : Identification des zones endoréïques à l'échelle de Moorea.

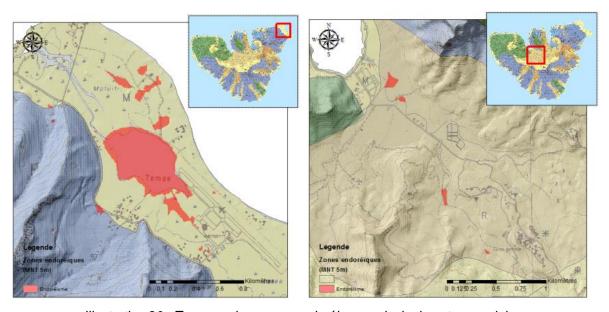


Illustration 20 : Zoom sur les zones endoréiques principales et secondaires.

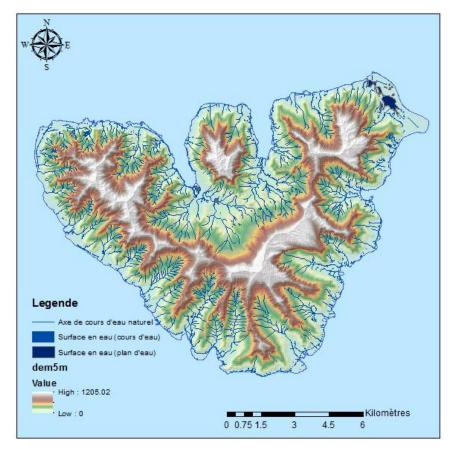


Illustration 21: Réseaux hydrographiques naturels de Moorea.

Résultats obtenus

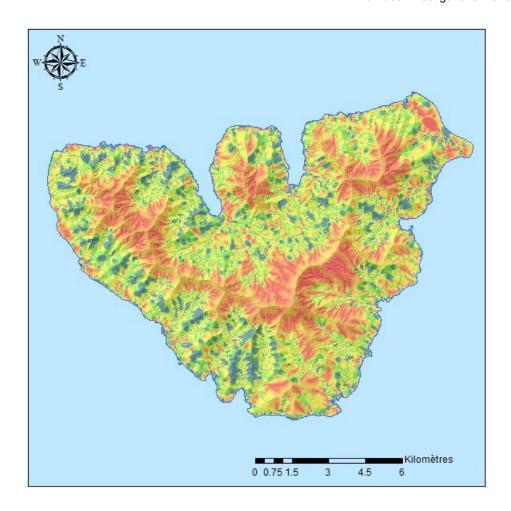
La carte représentant l'IDPR brut met en évidence la présence de zones infiltrantes de part et d'autre des crêtes et de zones où le ruissellement est prépondérant ailleurs (Illustration 22). Il apparaît que ce résultat peut être biaisé par la qualité de la couche représentant le réseau hydrographique naturel. L'IDPR peut en effet être surestimé si le réseau hydrographique naturel n'a pas fait l'objet d'une cartographie exhaustive.

La représentation de l'IDPR par unités fonctionnelles (petites entités supposées cohérentes sur le plan hydrogéologique) peut également faciliter la lecture des cartes.

L'Illustration 23 représente l'IDPR agrégé à l'échelle des bassins versants et l'Illustration 24, l'IDPR agrégé à l'échelle des unités géologiques vectorisées.

Le croisement des 2 cartes permet d'obtenir la cartographie finale à l'échelle des unités fonctionnelles. L'IDPR y est représenté par la valeur médiane obtenue par chacun des polygones.

Il apparaît qu'une grande partie de la zone d'intérêt étudiée par le BRGM en amont d'Afareaitu se caractérise par un fort potentiel infiltrant. Ces eaux pourraient contribuer à alimenter des aquifères dont les caractéristiques géométriques et hydrodynamiques restent à préciser.



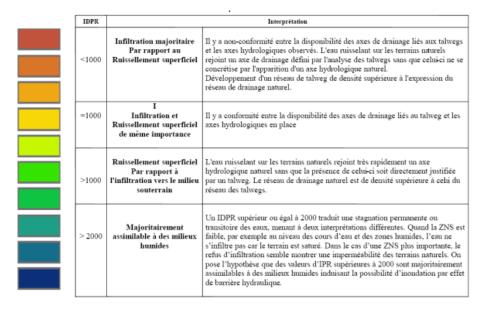


Illustration 22 : Carte de IDPR brut (maille de 5*5 m) et légende.

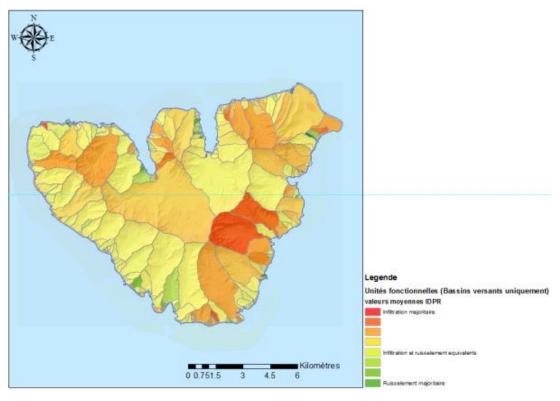


Illustration 23: IDPR par bassin versant.

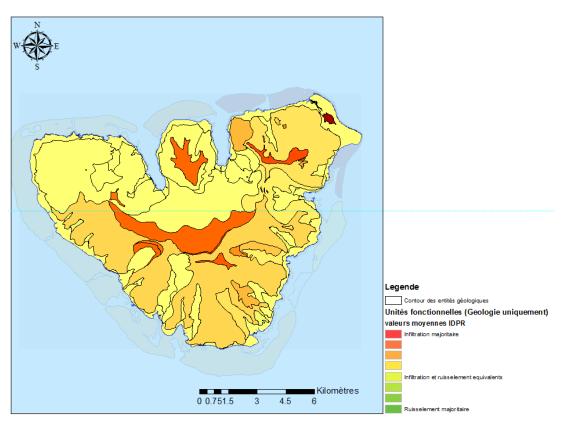


Illustration 24 : IDPR par unité géologique.

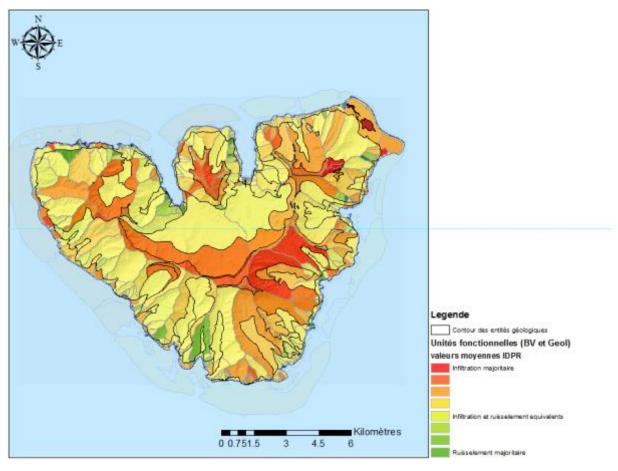


Illustration 25 : IDPR par unités fonctionnelles.

4.2.2. Réinterprétation de tests de pompage

Sur les 12 forages actuellement sollicités par la commune, 7 correspondent à des ouvrages verticaux ayant potentiellement fait l'objet de pompages d'essai.

Les données relatives à ces essais qui étaient disponibles et exploitables (cas de 4 forages sur 7) ont été compilées en vue d'une réinterprétation par des techniques novatrices adaptées à la complexité des aquifères volcaniques; l'objectif étant de ré-estimer les paramètres hydrodynamiques (transmissivité et emmagasinement) et de préciser la géométrie de l'aquifère (conditions limites). Ce travail a également porté sur les données du forage abandonné Paopao 1.1 portant ainsi à 5 les jeux de données réinterprétés (Illustration 26). Tous concernent le quart nordest de Moorea.

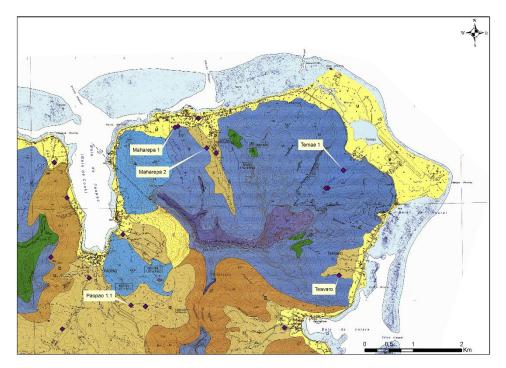


Illustration 26 : Localisation des forages ayant fait l'objet d'une réinterprétation des pompages d'essai.

Méthodologie utilisée pour la réinterprétation des essais de pompage

En domaine volcanique, l'interprétation des essais de pompage peut être complexe en raison de l'hétérogénéité des formations (empilement de séries de perméabilités différentes, géométrie variable des coulées basaltiques et des dépôts alluvionnaires...).

La méthodologie à laquelle le BRGM a eu recours pour réinterpréter les essais existants repose sur l'interprétation de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements (δ (s) $/\delta$ ln(t); à la descente ou à la récupération). Cette dernière présente en effet l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet *et al.*, 1983, 1989; Spane et Wurstner, 1993) (Illustration 27).

En fait, pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère mais aussi pour chaque type de configuration forage-aquifère, il correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck *et al.*, 1992 ; Schlumberger, 2002 ; Renard *et al.*, 2009).

Par exemple, un écoulement radial sera caractérisé par une dérivée formant un plateau (pente nulle), l'atteinte de deux limites étanches parallèles par une pente de ½, quatre limites étanches orthogonales (ou tout autre type de réservoir fermé) par une pente unitaire, un captage partiel de l'aquifère par une pente de -½, un effet de drainance par une pente négative infinie, etc.

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage afin d'augmenter le rapport signal sur bruit, bruit engendré soit par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux d'eau (sonde manuelle, sonde automatique) mais ce traitement n'altère en rien la qualité des données originelles.

Par contre, si le débit varie de façon significative durant l'essai il est nécessaire de prendre en compte ces variations. La dérivée sera alors calculée à partir des rabattements spécifiques (normalisation par rapport aux variations de débit) et du temps de superposition (fonction aussi des variations de débits).

Une fois la courbe des dérivées construite, le diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et à en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, effet de skin, ...) et de l'aquifère (isotropie, anisotropie, limites, présence de fractures verticales, double porosité...). Des relations entre l'aquifère capté et les aquifères sus et sous-jacents (effets de drainance) peuvent également être mises en évidence.

Une fois le diagnostic posé, les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sont estimés à partir du modèle mathématique le plus approprié. Le modèle conceptuel de l'aquifère est alors validé en jugeant de la pertinence de la modélisation par rapport aux informations géologiques disponibles.

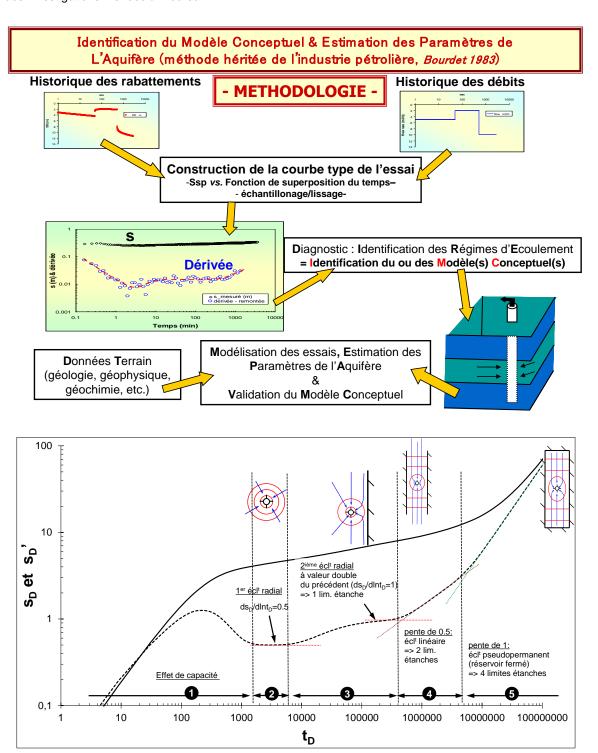


Illustration 27 : Méthodologie mise en œuvre pour réinterpréter les pompages d'essai (méthode des dérivées) et exemple de succession de régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos (t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et s_D' (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel)).

Résultats obtenus

Forage MO_003 (Teavaro F6)

Le forage MO_003 correspond au forage Teavaro F6 réalisé en 1998 pour les besoins de l'alimentation en eau potable. Il se caractérise par une profondeur de 83 mètres et a intercepté des formations altérées (mamu) sur 35 m avant d'atteindre les formations basaltiques qu'il capte à partir de 48 m. Une venue d'eau importante a été identifiée à 63 m de profondeur. Le test de pompage de longue durée (48 h) réalisé entre le 9 et le 11 septembre 1998 au débit de 17 à 18 l/s sur cet ouvrage a permis d'estimer la transmissivité à 3,9.10⁻³ m²/s (Speed, 1998). Le potentiel de production a, quant à lui, été estimé à 1440 m³/jour.

Le diagnostic des données de cet essai (Illustration 28) montre que le test a bien été réalisé (bonne juxtaposition des dérivées à la descente et à la remontée). Il met également en évidence la présence d'une zone très perméable localisée (a priori la venue d'eau majeure vers 63 m de profondeur préalablement mentionnée), une transmissivité de l'aquifère de 8 à 9.10⁻⁴ m²/s ainsi qu'un effet de drainance en fin d'essai (contribution possible du mamu dont l'épaisseur atteint 35 m).

La modélisation de l'essai est représentée sur l'Illustration 29 et le modèle d'aquifère retenu pour la détermination des paramètres hydrodynamiques correspond à un système multicouche constitué de 2 aquifères séparés par un aquitard en raison de la forme en « U » de la dérivée en fin d'essai (Illustration 30). Une fracture verticale de dimensions notables recoupe également tout l'aquifère profond.

Pour l'aquifère pompé (formations basaltiques), une transmissivité de 5,5.10⁻⁴ m²/s et un emmagasinement de 6.10⁻⁴ ont ainsi pu être déterminés (Illustration 31). À noter que la valeur de l'emmagasinement a été déterminée « au puits » en l'absence de piézomètre et que des valeurs similaires de T et S ont été obtenues avec un modèle supposant la présence d'une fracture horizontale (fracture carrée de 90 m de côté pouvant représenter une interface entre deux coulées). La perméabilité de l'éponte semi-perméable est évaluée 8,5.10⁻⁸ m/s (pour une épaisseur unitaire). L'emmagasinement de l'aquifère de surface a été estimé à 0,03 mais sa transmissivité (T₀) n'a pas pu être évaluée avec précision (essai trop court).

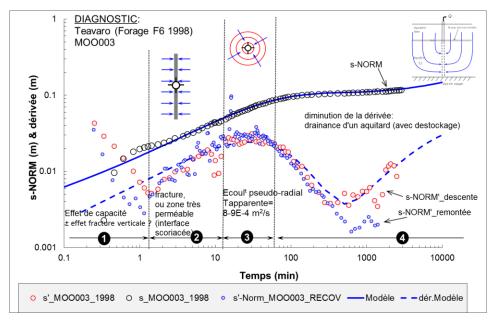


Illustration 28 : Diagnostic des données de pompage relatives à l'ouvrage Teavaro F6.

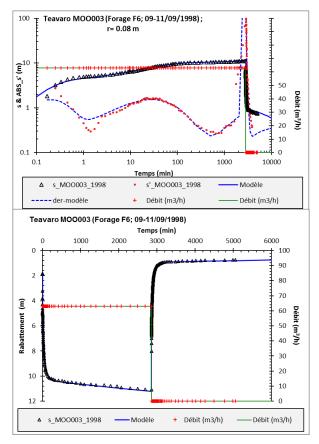


Illustration 29 : Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Teavaro F6.

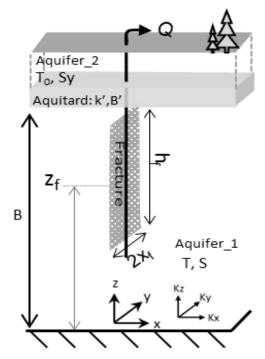


Illustration 30 : Modèle utilisé pour la détermination des paramètres hydrodynamiques au droit du forage Teavaro F6.

Rayon de l'ouvrage	Rayon de l'ouvrage (m)	0.08
Aquifère pompé	T; Transmissivité (m2/s)	5.50E-04
Aquifère pompé	S; Emmagasinement (-)	6.00E-04
	xf; demi-long. fracture verticale (m)	75.0
Semi-perm.	k'; Perm. éponte (m/s)	8.50E-08
Semi-perm.	b'; épaisseur éponte (m)	1.0
Aqui. de surface	T0; Transmissivité (m2/s)	1.00E-07
Aqui. de surface	Sy; Emmagasinement (-)	3.00E-02
	Pertes de charge quadratiques (m-5s2)	1.2E+04
	Effet capacité (m)	0.1

Illustration 31 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation.

Forage MO_002 (Teame 1)

Le forage MO_002 correspond au forage Teame 1 réalisé en 1990 pour les besoins de l'alimentation en eau potable. Il se caractérise par une profondeur de 70 mètres et a intercepté des éboulis de pentes et des formations altérées (mamu) sur 10 m avant d'atteindre des formations basaltiques plus ou moins scoriacées qu'il capte à partir de 28 m. Un niveau essentiellement scoriacé a été repéré entre 33 et 56 m de profondeur.

Le test de pompage de longue durée (72 h) réalisé entre le 18 et le 21 janvier 1990 au débit de 13 l/s sur cet ouvrage a permis d'estimer la transmissivité à 2,9.10⁻³ m²/s (moyenne des valeurs obtenues à la descente et à la remontée) (Speed, 1990).

La modélisation de l'essai est représentée sur l'Illustration 32. Contrairement à l'ouvrage précédent, aucun phénomène de drainance n'a été mis en évidence et le modèle d'aquifère retenu pour la détermination des paramètres hydrodynamiques correspond à un aquifère simple surmonté par un aquitard (Illustration 33). Le modèle retenu intègre également une fracture horizontale de dimensions notables (200 m x 200 m) pour représenter le niveau scoriacé principal repéré entre 33 et 56 m.

Pour l'aquifère pompé (formations basaltiques scoriacées), une transmissivité de 4.10⁻³ m²/s et un emmagasinement « au puits » de 5.10⁻⁴ ont ainsi pu être déterminés (Illustration 34).

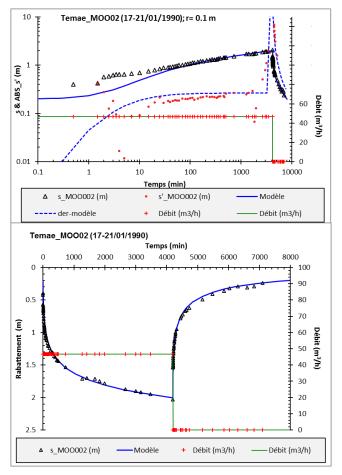


Illustration 32 : Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Teame 1.

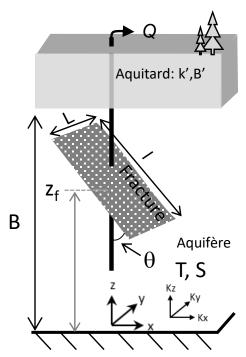


Illustration 33 : Modèle utilisé pour la détermination des paramètres hydrodynamiques au droit du forage Teame 1.

		Temae_MOO02 (17-21/01/1990)
Rayon de l'ouvrage	Rayon de l'ouvrage (m)	0.1
Aquifère pompé	T; Transmissivité (m2/s)	4.00E-03
Aquifère pompé	S; Emmagasinement (-)	5.00E-04
Aquifère pompé	Epaisseur aquifère (m)	60.0
Fracture	Longueur fracture (m)	200.0
Fracture	Largeur fracture (m)	200.0
Fracture	Profondeur fracture verticale (m)	30
Fracture	Angle fract./verticale (°)	90
Semi-perm.	k'; Perm. éponte (m/s)	-
Semi-perm.	b'; épaisseur éponte (m)	-
	Pertes de charge quadratiques (m-5s2)	1.2E+03
	Effet capacité (m)	0.1

Illustration 34 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation.

Forage MO_008 (Maharepa 1)

Le forage MO_008 correspond au forage Maharepa 1 réalisé en 1990 pour les besoins de l'alimentation en eau potable. Il se caractérise par une profondeur de 51 mètres et a intercepté des niveaux argileux ou altérés sur 15 m avant d'atteindre des formations basaltiques plus ou moins scoriacées qu'il capte à partir de 17 m. Trois niveaux scoriacés (17-34 m, 40-47 m et 48-51 m) sont bien identifiés sur la coupe géologique et une venue d'eau importante a été notée à 31 m.

Un test de pompage de longue durée (72 h) réalisé entre le 23 et le 27 janvier 1990 au débit de 17 l/s et le suivi des niveaux sur 2 piézomètres (S3 et S4) avaient permis de calculer des transmissivités comprises entre 4,9.10⁻³ et 2,5.10⁻² m²/s et des valeurs d'emmagasinement comprises entre 1,6.10⁻⁶ et 2,6.10⁻⁴ (Speed, 1990). Le potentiel de production a, quant à lui, été estimé à 1150 m³/jour.

La modélisation de l'essai est représentée sur l'Illustration 35. Le phénomène de drainance depuis les horizons superficiels est observé sur le puits de pompage et les 2 piézomètres et le modèle d'aquifère retenu pour la détermination des paramètres hydrodynamiques correspond à un aquifère multicouche du même type que celui utilisé pour le forage de Teavaro F6 (Illustration 30). Le modèle retenu intègre aussi une fracture horizontale de petites dimensions (12 m x 12 m) pour représenter la venue d'eau repérée à 31 m.

Pour l'aquifère pompé (formations basaltiques scoriacées), une transmissivité de 2.10⁻² m²/s et un emmagasinement de 4.10⁻⁴ ont ainsi pu être déterminés (Illustration 36). A noter qu'une légère anisotropie de perméabilité de l'aquifère (kh/kv=1,5) a dû être introduite pour modéliser cet essai. L'empilement des coulées pourrait ainsi être responsable d'une diminution de la perméabilité verticale. La perméabilité de l'éponte semi-perméable a été évaluée à 7.10⁻⁸ m/s (pour une épaisseur unitaire). L'emmagasinement de l'aquifère de surface a été évalué à 8.10⁻⁴ mais sa transmissivité (T₀) n'a pas pu être estimée avec précision (essai trop court).

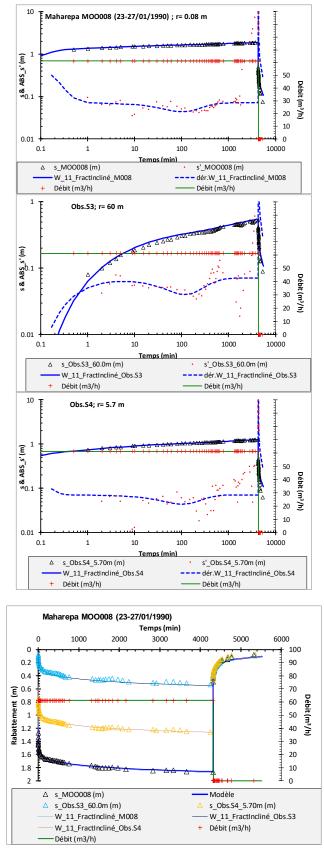


Illustration 35 : Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Maharepa 1 et des suivis réalisés dans les piézomètres S3 et S4.

2Aquifères_Fracture horizontale			
	Maharepa MOO008 (23-27/01/1990)	Obs.S3	Obs.S4
Rayon de l'ouvrage (m)	0.08	60	5.7
T; Transmissivité (m2/s)	2.00E-02	2.00E-02	2.00E-02
S; Emmagasinement (-)	4.00E-04	4.00E-04	4.00E-04
B; épaisseur aquifère (m)	36.0	36.0	36.0
kh/kv; anisotropie de perméaliité (-)	1.5	1.5	1.5
Longueur fracture (m)	12.0	12.0	12.0
Largeur fracture (m)	12.0	12.0	12.0
Prof. fracture (m)	16.0	16.0	16.0
Angle fract./verticale (°)	90	90	90
k'; Perm. éponte (m/s)	7.00E-08	7.00E-08	7.00E-08
b'; épaisseur éponte (m)	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
T0; Transmissivité (m2/s)	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07
Sy; Emmagasinement (-)	8.00E-04	1.00E-03	8.00E-04
Pertes de charge quadratiques (m-5s2)	1.4E+03	-	-
Effet capacité (m)	0.08	-	-

Illustration 36 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation.

Forage MO_009 (Maharepa 2)

Le forage MO_009 correspond au forage Maharepa 2 (F1) réalisé en 1998 pour les besoins de l'alimentation en eau potable. Il se caractérise par une profondeur de 96 mètres et a intercepté des niveaux essentiellement argileux sur 87 m avant d'atteindre des formations basaltiques plus ou moins altérées. Il a été équipé de tubes crépinés entre 42 et 96 m. Une petite arrivée d'eau a été notée à 60 m puis une plus importante à 87,5 m.

Un test de pompage de longue durée (48 h) réalisé entre le 10 et le 12 août 1998 au débit de 3,1 l/s a permis de calculer une transmissivité de 2,5.10⁻⁴ m²/s (Speed, 1998). Le potentiel de production a, quant à lui, été estimé à 130 m³/jour.

La modélisation de l'essai est représentée sur l'Illustration 37. Des effets de drainance sont observés en fin d'essai (diminution de la dérivée) mais ces derniers ne se manifestent pas de façon assez durable pour qu'une caractérisation l'aquifère de surface soit envisageable. Dans ces conditions, le modèle d'aquifère retenu correspond à un aquifère simple surmonté par un aquitard du même type que celui retenu pour le forage de Temae 1 (Illustration 33) . Le modèle retenu intègre également une fracture horizontale de dimensions notables pour représenter la venue d'eau importante repérée à 87,5 m.

Pour l'aquifère pompé (formations basaltiques), une transmissivité de 6.10⁻⁵ m²/s et un emmagasinement « au puits » de 1,5.10⁻⁴ ont ainsi pu être déterminés (Illustration 38). La perméabilité de l'éponte semi-perméable a été évaluée à 1.10⁻⁹ m/s (pour une épaisseur unitaire).

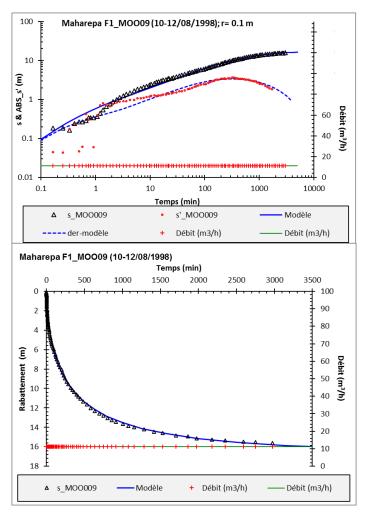


Illustration 37 : Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Maharepa 2.

		Maharepa F1_MOO09 (10-12/08/1998)
Rayon de l'ouvrage	Rayon de l'ouvrage (m)	0.1
Aquifère pompé	T; Transmissivité (m2/s)	6.00E-05
Aquifère pompé	S; Emmagasinement (-)	1.50E-04
Aquifère pompé	Epaisseur aquifère (m)	54.0
Fracture	Longueur fracture (m)	150.0
Fracture	Largeur fracture (m)	150
Fracture	Profondeur fracture (m)	46
Fracture	Angle fract./verticale (°)	90
Semi-perm.	k'; Perm. éponte (m/s)	1.00E-09
Semi-perm.	b'; épaisseur éponte (m)	1.0
	Pertes de charge quadratiques (m-5s2)	6.7E+04
	Effet capacité (m)	0.4

Illustration 38 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation.

Forage MO_010 (Paopao 1.1)

Le forage MO_010 correspond au forage Paopao 1.1 réalisé en 1990 pour les besoins de l'alimentation en eau potable (il n'est actuellement plus utilisé en raison de sa qualité). Il se caractérise par une profondeur de 85 mètres et a intercepté des niveaux essentiellement argileux ou altérés sur 58 m avant d'atteindre des formations basaltiques compactes. Il a été équipé de tubes crépinés entre 39 et 85 m. Les premières arrivées d'eau ont été repérées à 44 m. Après un passage de basaltes très durs, d'autres venues d'eau ont été identifiées à 80 m.

Un test de pompage de longue durée (72 h) réalisé entre le 13 et le 15 janvier 1990 au débit de 3 à 5 l/s a permis de calculer une transmissivité moyenne de 1,3.10⁻⁵ m²/s qui traduit la faible intensité de la fracturation dans l'environnement de l'ouvrage (Speed, 1990). Le potentiel de production a, quant à lui, été estimé à 3l/s soit 260 m³/jour au maximum.

La modélisation de l'essai est représentée sur l'Illustration 39. Un phénomène de drainance vraisemblablement lié à la présence de ressources en eau dans les niveaux les plus superficiels (aquifère alluvial) est observé en fin d'essai. Toutefois, comme dans le cas du forage Maharepa 2, les effets ne se manifestent pas de façon assez durable pour qu'une caractérisation l'aquifère de surface soit envisageable.

Dans ces conditions, le modèle d'aquifère retenu pour la détermination des paramètres hydrodynamiques correspond à un aquifère simple surmonté par un aquitard du même type que celui retenu pour le forage de Temae 1 et de Maharepa 2 (Illustration 33). Le modèle retenu intègre également une fracture horizontale de petites dimensions (10 m x10 m) pour représenter la venue d'eau identifiée à 80 m.

Pour l'aquifère pompé (formations basaltiques compactes), une transmissivité de 1.10⁻⁴ m²/s et un emmagasinement « au puits » de 1.10⁻⁴ ont ainsi pu être déterminés (Illustration 31Illustration 40). La perméabilité de l'éponte semi-perméable a, quant à elle, été évaluée à 6.10⁻¹⁰ m/s (pour une épaisseur unitaire).

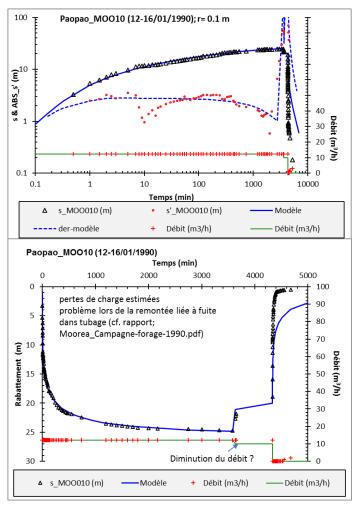


Illustration 39 : Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Paopao 1.1.

		Paopao_MOO10 (12-16/01/1990)
Rayon de l'ouvrage	Rayon de l'ouvrage (m)	0.1
Aquifère pompé	T; Transmissivité (m2/s)	1.00E-04
Aquifère pompé	S; Emmagasinement (-)	1.00E-04
Aquifère pompé	Epaisseur aquifère (m)	27.0
Fracture	Longueur fracture (m)	10.0
Fracture	Largeur fracture (m)	10
Fracture	Profondeur fracture (m)	22
Fracture	Angle fract./verticale (°)	90
Semi-perm.	k'; Perm. éponte (m/s)	6.00E-10
Semi-perm.	b'; épaisseur éponte (m)	1.0
	Pertes de charge quadratiques (m-5s2)	5.0E+05
	Effet capacité (m)	0.1

Illustration 40 : Caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères issues de la modélisation.

Bilan

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau suivant (Illustration 41) qui précise également l'environnement géologique des ouvrages, l'épaisseur du recouvrement argileux ou altéré, l'altitude des venues d'eau et la productivité estimée lors de la réalisation des ouvrages. Les paramètres hydrodynamiques estimés dans le passé y ont également été reportés.

Forage	Géologie	Épaisseur. Recouvrement (m)	Altitude venues eau (m NGPF)	Productivité estimée m3/j	T ancien m²/s	S ancien	T nouveau m²/s	S nouveau
Teavaro F6	R + ^{v1} β ²	35	-29	1441	3,9.10 ⁻³		5,5.10 ⁻⁴	6.10-4
Temae 1	^{v1} β ²	10	0 à -23	?	2,9.10 ⁻³		4.10 ⁻³	5.10 ⁻⁴
Maharepa 1	^{ν1} β ²	15	-29	1150	4,9.10 ⁻³ à 2,5.10 ⁻²	1,6.10 ⁻⁶ à 2,6.10 ⁻⁴	2.10 ⁻²	4.10-4
Maharepa 2	R + ^{v1} β ²	87	-40 puis -68	130	2,5.10 ⁻⁴		6.10 ⁻⁵	1,5.10-4
Paopao 1.1	$R + {}^2\beta^2$	58	-20	260	1,3.10 ⁻⁵		1.10-4	1.10-4

Illustration 41 : Synthèse des résultats obtenus sur les 5 forages.

Pour l'analyse suivante, il est proposé de se référer aux nouvelles valeurs de T et S, ces dernières ayant été évaluées à partir de la même méthodologie. Elles sont également plus fiables que les données anciennes parfois calées sur des portions où les phénomènes de drainance étaient prépondérants.

Bien que le nombre d'ouvrages soit peu important, il semble que la transmissivité des formations basaltiques diminue lorsque l'épaisseur du recouvrement augmente. Si l'on exclue la valeur la plus forte recalculée pour le forage de Maharepa 1, cette décroissance semble même présenter une forme exponentielle (Illustration 42).

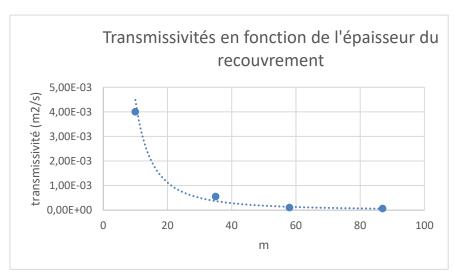


Illustration 42 : Décroissance de la transmissivité en fonction de l'épaisseur du recouvrement.

Cette observation semble conforter l'hypothèse selon laquelle les coulées les plus jeunes (donc les moins altérées) sont les plus propices à l'écoulement des eaux souterraines mais dans le cas de Moorea, il conviendrait de préciser la relation avec d'autres valeurs.

La relation entre la transmissivité des ouvrages et leur productivité est moins nette car ce dernier paramètre dépend de nombreux facteurs comme l'extension des bassins ou des aquifères sollicités, celle des interfaces très perméables, les pertes de charge aux puits ou les relations avec les aquifères de surface.

Parmi les 5 forages étudiés, des phénomènes de drainance depuis les horizons superficiels ont pu être mis en évidence sur les forages de Teavaro, Maharepa 1&2 et Paopao 1.1. Les conditions aux limites n'ont par contre pas pu être précisées (limites de l'aquifère non atteintes au bout des périodes de pompage).

Les valeurs d'emmagasinement sont quant à elles faibles (ce qui traduit le caractère captif des aquifères) mais également relativement semblables (ce qui peut témoigner d'une certaine homogénéité géologique).

L'examen de l'altitude des arrivées d'eau montre enfin que dans 4 cas sur 5, ces dernières se sont produites à une côte supérieure à - 30 m NGPF.

Au final, il apparaît donc que les formations du Mouaputa (v1 β 2) qui constituent l'essentiel du volcan bouclier et les formations basaltiques plus localisées du massif de Paopao (2 β 2) peuvent, à condition de ne pas être surmontées par une couverture d'altération trop importante et de pouvoir être recoupées jusqu'à une altitude de -30 m NGPF, constituer des cibles intéressantes pour la recherche de nouvelles ressources en eau.

4.2.3. Logs de conductivité électrique

Du 20 au 22 mars 2018, des logs de température et de conductivité de l'eau ont été réalisés sur 7 forages de l'île de Moorea (Illustration 43).

Les résultats obtenus sont présentés sur les Illustrations 44 et 45.

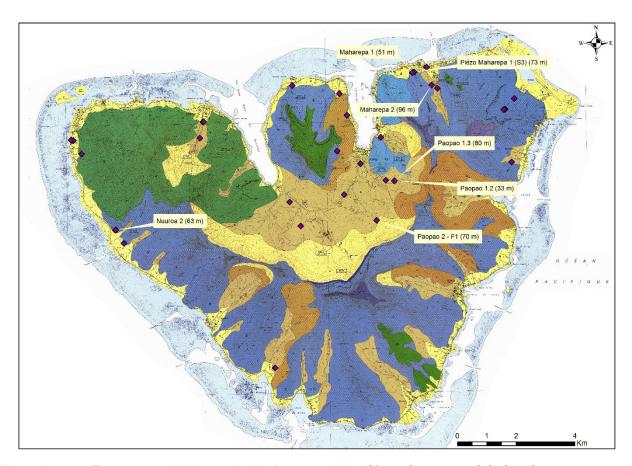
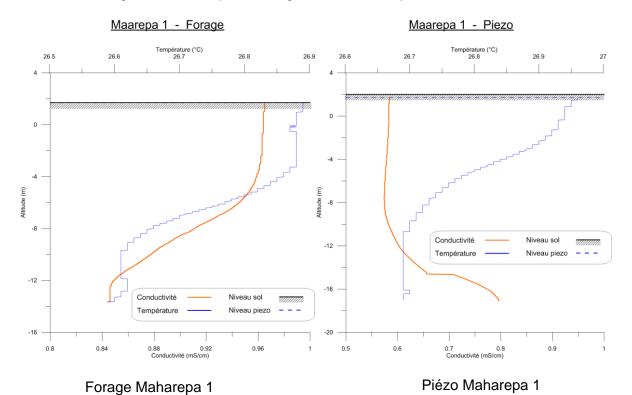


Illustration 43 : Forages au droit desquels des logs conductivité/température ont été réalisés en mars 2018



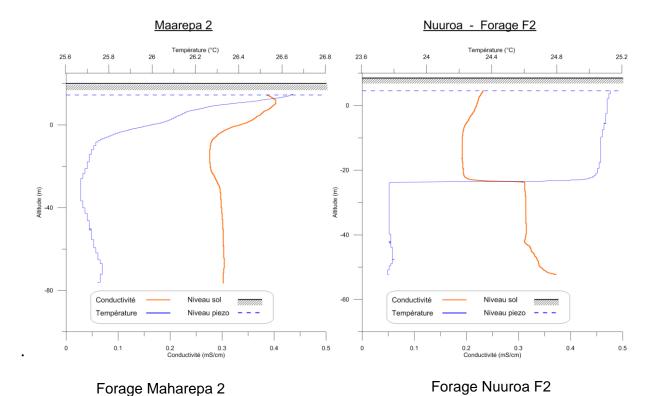
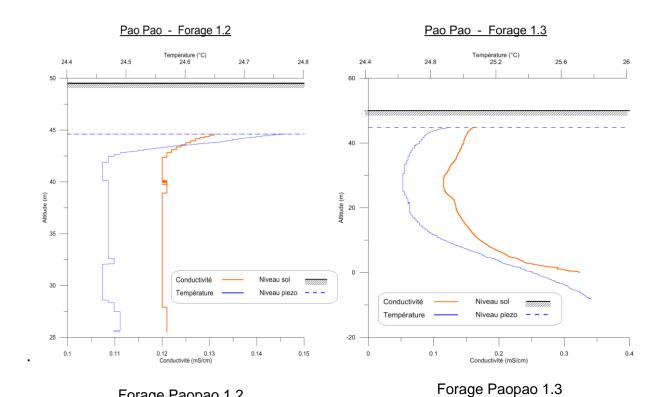
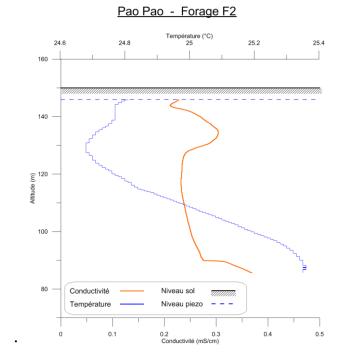


Illustration 44 : Logs température/conductivité de l'eau réalisés sur les forages Maharepa 1, Maharepa 2 et Nuuroa F2 et le piézomètre Maharepa 1.



Forage Paopao 1.2



Forage Paopao 2

Illustration 45 : Logs température/conductivité de l'eau réalisés sur les forages Pao Pao 1.2, Pao Pao 1.3 et Pao Pao F2.

En ce qui concerne le site de Maharepa 1, les investigations n'ont pu être menées que jusqu'à 13 m de profondeur dans l'ouvrage de pompage (passage de la sonde impossible au-delà en raison de la présence de la colonne d'exhaure) et 16 m dans le piézomètre (passage obstrué au-delà de cette profondeur).

Les enregistrements effectués ont toutefois permis de mettre en évidence une baisse de la température de l'eau de 3 dixièmes de degré environ entre la surface et la profondeur maximale d'investigation ainsi qu'une évolution différentielle de la conductivité pour les 2 ouvrages.

Contre toute logique, on observe une diminution de la conductivité sur l'ouvrage de production. Cette dernière passe en effet de 970 à 840 μ S/cm entre la surface et la cote -13 m NGPF. Il peut s'agir d'un artefact lié à la température de la sonde. Sur le piézomètre, la conductivité passe de 580 à 800 μ S/cm en l'espace de quelques mètres, ce qui témoigne d'une très probable intrusion salée.

On note également que pour une même cote (-12 m NGPF par exemple), la conductivité observée dans le forage de production (850 μ S/cm) est plus importante que celle observée sur le piézomètre (600 μ S/cm), ce qui traduit l'impact des pompages vis-à-vis de la mobilisation d'eaux plus minéralisées (le littoral se situe à 260 m).

Si l'on se réfère à la loi de Ghyben-Herzberg qui positionne l'interface eau douce/eau salée à environ 40 fois la hauteur piézométrique, cette limite devrait se trouver aux alentours de la cote -80 m NGPF pour une charge hydraulique d'environ 2 m or à la cote -13 m, les eaux sont déjà quasiment à la limite de la potabilité.

Pour l'ouvrage Maharepa 2 situé plus à l'intérieur des terres (700 m), on observe une diminution de la conductivité sur les premiers mètres de profondeur semblable à celle qui a été observée sur le forage Maharepa 1 (effet de température ?) puis une stabilisation aux alentours de 300 µS/cm. Ce forage ne subit pas d'influence marine.

Pour le forage Nuuroa 2, aucune coupe géologique n'est disponible mais les diagraphies réalisées sur cet ouvrage mettent en évidence l'arrivée d'une eau plus fraîche et plus minéralisée à la cote - 25 m NGPF. Cette observation semble conforter l'hypothèse selon laquelle les horizons compris entre les cotes -20 et -30 m peuvent constituer une cible privilégiée pour la recherche de nouvelles ressources.

Dans le secteur de Paopao, les diagraphies menées sur les 3 forages ont mis en évidence :

- une rapide stabilisation des paramètres pour l'ouvrage Paopao 1.2 qui se caractérise également par une très faible conductivité (120 µS/cm) ;
- une baisse suivie d'une augmentation des paramètres pour l'ouvrage Paopao 1.3. A 40 m sous la surface piézométrique, la conductivité n'excède toutefois pas 325 μS/cm ;
- une augmentation progressive de la température ainsi que 2 augmentations brutales de la conductivité qui est néanmoins restée inférieure à 400 μS/cm pour l'ouvrage Paopao 2.

En l'absence de données disponibles sur les coupes géologiques et les équipements techniques de ces forages, il est difficile de déterminer l'origine de ces variations. Elles semblent toutefois témoigner de conditions d'écoulement hétérogènes au droit des différents forages avec la contribution possible d'eaux d'origines et d'âges divers.

Au final, il apparaît qu'à l'exception du site de Maharepa 1 qui subit une influence marine, les eaux présentent de faibles conductivités (inférieures à 400 μS/cm) typiques des milieux volcaniques basaltiques.

4.3. RECONNAISSANCES MENÉES DANS LE SECTEUR D'AFAREAITU

En complément des investigations précédemment décrites qui ont concerné l'ensemble de l'île, des reconnaissances hydrogéologiques se sont déroulées de façon synchrone aux investigations géologiques du 11 au 16 septembre 2017 sur la zone d'intérêt située en amont d'Afareaitu. En l'absence de routes carrossables, les investigations ont été menées exclusivement à pied en remontant les talwegs et en suivant les rares sentiers.

Lors de ces investigations, tous les points d'intérêt identifiés (sources, suintements, pertes...) ont été répertoriés et caractérisés du point de vue de leur débit et de leur qualité lorsque cela a été possible (Illustration 46 et Annexe 3). Des mesures physico-chimiques ont également été réalisées directement dans les cours d'eau.

Les reconnaissances menées dans la vallée de Niuroa, drainée par la rivière Vaioro, n'ont pas permis de reconnaître de source. Une émergence est toutefois connue des riverains au niveau du littoral (point n°349) mais elle était à sec lors de la période d'investigation.

Le haut de la planèze d'Afareaitu n'a pas pu être reconnu en raison d'un accès trop délicat.

Trois résurgences ont par contre pu être identifiées en aval :

- une première à la cote 224 m (point n° 324 a). Il s'agit d'une source émergeant au niveau d'une rupture de pente dans des colluvions dont le débit d'étiage a été évalué à 0,1 l/s et qui est entièrement captée par un particulier via un petit bassin en ciment ;
- une seconde à la cote 70 m (point n° 320). Il s'agit d'une émergence de faible débit qui sourd en contrebas de la planèze dans les alluvions de pente ;
- une troisième à la cote 13 m (point n° 19 ou source dite « Vaiava »). Il s'agit d'une source qui émerge à la faveur d'une rupture de pente à la limite entre des laves très altérées et les colluvions de pente. Cette source se caractérise par un débit de l'ordre de 4 l/s en période d'étiage. Elle est captée par les habitants situés plus en aval et pourrait représenter une ressource d'intérêt communal (Illustration 47).

Dans la vallée d'Hotutea, drainée par la rivière Putoa, des suintements ont été observés en pied de falaise dans une zone difficile d'accès (points n° 324 b et 325) et 3 sources ont également été repérées (débit compris entre 0,5 et 1 l/s au droit du point n°326, débit inférieur à 0,1 l/s au droit du point n° 327 et débit de l'ordre de 0,5 l/s au droit du point n° 313).

Sur le plan de la qualité, les mesures physico-chimiques effectuées in situ ont mis en évidence des conductivités comprises entre 100 et 250 μ S/cm et des pH pour la plupart compris entre 6,5 et 8 (Illustration 48 et Illustration 49). Les conductivités les plus faibles ont été observées au niveau du cours amont de la Vaioro et les plus fortes, au pied du Toheia (ce qui peut suggérer des temps de contact eau/roche un peu plus importants).

La répartition des pH semble plus aléatoire mais 77 % des valeurs (27/35) se sont avérées comprises entre 7 et 8. La plupart des valeurs de potentiel redox (Eh) se sont étagées entre 300 et 400 mV pour des teneurs en oxygène proches de 8 mg/l (Annexe 3).

La source Vaiava, seule émergence d'intérêt notoire, s'est enfin caractérisée par une conductivité de 194 µS/cm, un pH de 7,7, un potentiel redox de 323 mV et une teneur en oxygène dissous de 8,7 mg/l, paramètres et teneurs a priori compatibles avec la production d'eau potable.

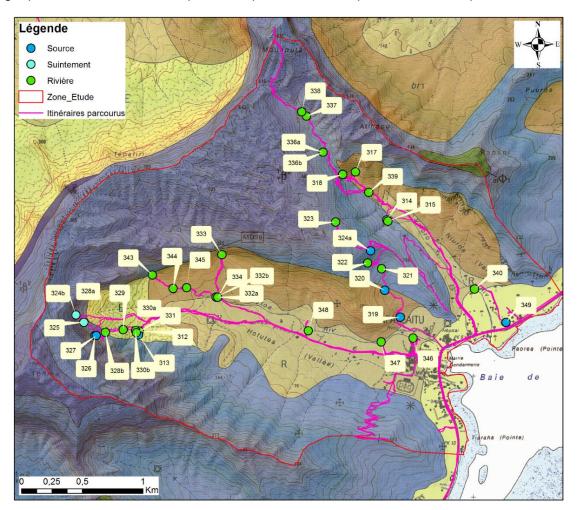


Illustration 46 : Sites d'intérêt identifiés dans le secteur d'Afareaitu sur fond géologique.



Illustration 47 : Source Vaiava (point n° 319).

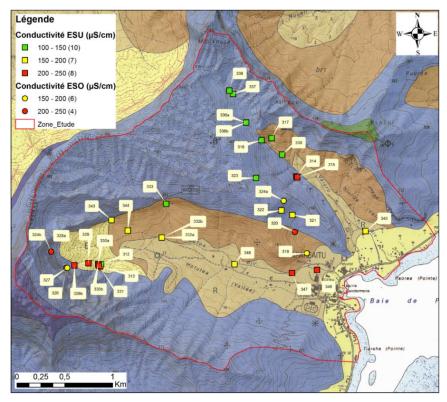


Illustration 48 : Conductivités mesurées lors des investigations de terrain en septembre 2017 (les étiquettes indiquent les références des points d'eau).

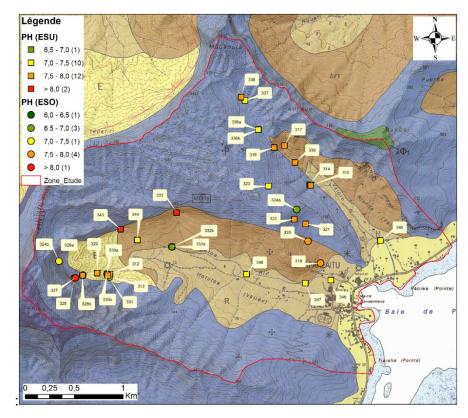


Illustration 49 : Valeurs de pH mesurées lors des investigations de terrain en septembre 2017 (les étiquettes indiquent les références des points d'eau).

4.4. SYNTHÈSE

Les investigations hydrogéologiques menées à l'échelle de l'île de Moorea et notamment la carte représentant l'IDPR ont montré que le secteur situé en amont d'Afareaitu correspondait à une zone d'infiltration préférentielle.

La transmissivité des formations basaltiques semble également diminuer lorsque l'épaisseur du recouvrement altéré augmente. Dans certains cas, l'eau stockée dans le mamu peut être mobilisée mais la productivité des forages qui en interceptent une grande épaisseur reste aléatoire. Parallèlement, les valeurs d'emmagasinement sont faibles et relativement semblables, ce qui semble témoigner d'une certaine homogénéité géologique.

Bien que le nombre de points d'observation soit faible, les arrivées d'eau qui sont liées à la présence de fractures ou de niveaux scoriacés semblent aussi se produire à une cote supérieure à - 30 m NGPF.

Au droit des forages, l'évolution différentielle de la température et de la conductivité avec la profondeur semble témoigner de conditions d'écoulement hétérogènes avec la contribution possible d'eaux d'origines et d'âges divers. Les eaux restent toutefois peu minéralisées.

Cette dernière caractéristique a également été observée au droit des rivières et des sources de la zone d'intérêt située à proximité d'Afareaitu. Dans ce secteur, les eaux infiltrées au niveau de la planèze semblent s'écouler suivant le pendage des coulées volcaniques. Elles contribuent à alimenter quelques résurgences situées en contre-bas et notamment la source Vaiava dont les caractéristiques physico-chimiques semblent compatibles avec la production d'eau potable.

Afin de compléter cette première approche, 5 sondages électriques ainsi qu'une campagne de prélèvements ont été mis en œuvre pour préciser l'agencement des formations géologiques au droit de la zone d'intérêt et mieux apprécier les mécanismes qui contrôlent les écoulements.

5. Approche géophysique

Comme indiqué préalablement, l'approche géophysique a consisté en la mise en œuvre de 5 sondages électriques au droit de la zone d'intérêt située à proximité d'Afareaitu.

5.1. PRINCIPE

5.1.1. Généralités

Les sondages électriques consistent à injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I entre deux électrodes A et B et à mesurer la différence de potentiel ΔV induite entre une autre paire d'électrodes M et N (Illustration 50) .

Ils permettent d'obtenir une image de la distribution de la résistivité électrique des matériaux (roches ou structures) en profondeur (2D et 3D selon le dispositif d'acquisition mis en place et les procédés d'inversion/modélisation appliqués).

Les termes de « panneau électrique » ou de « tomographie électrique » (ERT pour Electrical Resistivity Tomography en anglais) sont utilisés pour qualifier une prospection électrique (initialement basée sur quatre électrodes) automatisée le long d'un profil multi-électrodes (2D) ou sur une surface (3D).

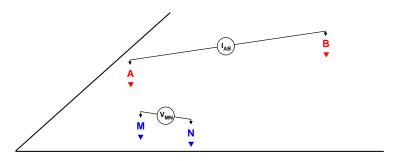


Illustration 50: Principe de la mesure en courant électrique continu (Bretaudeau et al., 2016).

À partir de la valeur du courant injecté I, de la mesure de la différence de potentiel ΔV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la **résistivité électrique apparente** du sous-sol sur base de la loi d'Ohm :

$$\rho_{app} = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

où K est un facteur dépendant de la géométrie du dispositif de mesure (Illustration 51) :

$$K = 2\pi \times \left[\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}} \right]^{-1}$$

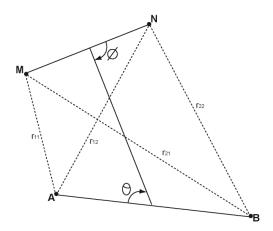


Illustration 51 : Géométrie du dispositif de mesure (Bretaudeau et al., 2016)

5.1.2. Dispositifs d'électrodes / configurations d'acquisition

Il existe plusieurs configurations d'acquisition possibles chacune présentant des avantages et des inconvénients. Les différences majeures concernent la distribution des lignes de courant électrique dans le sol et la forme des équipotentielles induites. La valeur du coefficient géométrique K conditionne également l'intensité minimale du courant I à injecter pour mesurer un potentiel électrique fiable. Certains dispositifs permettent enfin une acquisition plus rapide que d'autres grâce à des acquisitions multi-voies (plusieurs mesures de ΔV pour une injection de courant).

D'une manière générale, la mise en œuvre d'au moins deux configurations d'électrodes permet dans la plupart des contextes de bien appréhender la géométrie des différents corps en présence. À Moorea, le choix s'est porté sur la mise en œuvre de dispositifs dipôle-dipôle et Wenner-Schlumberger.

Le dispositif dipôle-dipôle découple l'injection et la mesure (Illustration 52), ce qui a pour conséquence de limiter le bruit. Il est adapté à la reconnaissance des horizons sub-superficiels car le niveau de signal décroit rapidement lorsqu'on augmente la longueur de ligne.



Illustration 52 : Configuration dipôle-dipôle.

Le dispositif Wenner-Schlumberger est le plus employé des dispositifs car il permet d'accéder à de plus grandes profondeurs d'investigations mais sa sensibilité vis-à-vis des variations verticales et horizontales de résistivité est moins intéressante (Illustration 53). Il s'agit en fait d'un compromis entre le dispositif Wenner sensible aux structures horizontales et le dipôle-dipôle sensible aux structures verticales. L'arrangement des électrodes permet toutefois d'effectuer un grand nombre de mesures et d'obtenir des modèles précis.



Illustration 53: Configuration Wenner-Schlumberger.

5.1.3. Pseudo-sections de résistivité apparente et inversion

Après filtrage des données brutes de résistivité apparente mesurées sur le terrain, celles-ci sont agencées de manière à obtenir une coupe (pseudo-section) de résistivité apparente du sous-sol (Illustration 54, schéma du haut). Cette dernière est construite (automatiquement) en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif à une pseudo-profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes.

Afin d'obtenir une image représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section. Cette étape est réalisée à l'aide d'un logiciel (ex : Res2DInv). Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section de résistivités apparentes mesurées et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible (Illustration 54, schéma du centre).

Les résultats de l'inversion sont présentés, pour les différentes configurations d'acquisition choisies, sous la forme de coupes semblables à celle de la résistivité apparente (Illustration 54, schéma du bas).

À noter que les paramètres fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (plusieurs solutions possibles pour le même jeu de données) et que l'interprétation des profils est d'autant plus aisée et fiable que l'on dispose de paramètres de calage (résistivités étalonnées, profondeur des interfaces connues...).

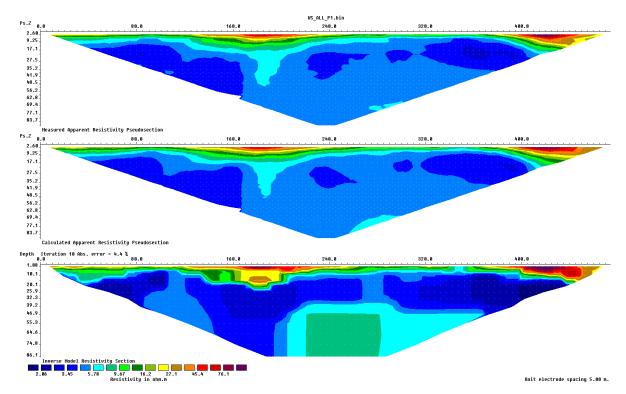


Illustration 54 : Pseudo-section de résistivité apparente mesurée (haut), pseudo-section de résistivité calculée sur la base du modèle de résistivité (centre) et modèle de résistivité issu de l'inversion (bas).

5.2. MISE EN ŒUVRE

Deux profils de 950 m et 3 profils de 790 à 950 m ont été respectivement implantés dans les vallées de Hotutea et de Niuroa (Illustration 56). Des tomographies de type Wenner-Schlumberger réciproque (WSR) et dipôle-dipôle (DD) ont été réalisées au droit de chaque profil sauf pour P5 où une erreur de manipulation a conduit à mesurer deux fois la WSR (Illustration 56).

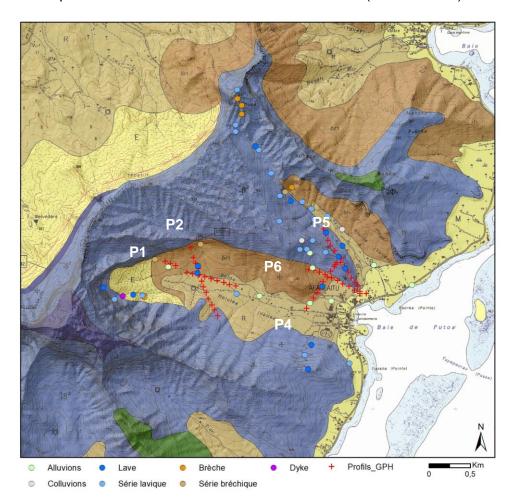


Illustration 55 : Carte d'implantation des investigations : profils P1 et P2 sur le site de Hotutea et P4, P5 et P6 sur le site de Niuroa.

Profil	Longueur (m)	Dispositif de quadripôle	Remarques
P1	950	WSR+DD	
P2	950	WSR+DD	
P4	790	WSR+DD	
P5	950	WSR	Dispositif WSR enregistré en double et en place du DD
P6	790	WSR+DD	

Illustration 56 : Travaux réalisés sur le site d'Afareiatu.

Les données obtenues sont globalement de bonne à très bonne qualité avec des taux de conservation de mesure après filtrage de 96 à 99 % en WSR et de 85 à 94 % en DD et des coefficients d'ajustement d'inversion compris entre 1,4 à 1,7 en WSR et entre 4,2 à 5,9 en DD.

À noter que les coefficients d'ajustement plus élevés pour P4 sont dus à des latéraux en lien avec la complexité de la structure du sous-sol qui ne peut pas être modélisée en 2D.

Profil	Taux de mesure	Coefficient
Prom	conservée WS/PD	d'ajustement WS/PD
P1	96 / 85	1,65 / 4,2
P2	98 / 90	1,46 / 3,8
P4	99 / 85	3,0 / 8,0
P5	97	3,1
P6	99 / 94	1,69 / 5,9

Illustration 57 : Synthèse des paramètres qualités des tomographies électriques.

5.3. RÉSULTATS

5.3.1. Résultats d'inversion dans la vallée d'Hotutea

Les résultats d'inversion conjointe des tomographies WSR et DD P1 et P2 sont présentés sur l'Illustration 58 et l'Illustration 59.

La **tomographie P1** met en évidence un substrat résistant R1 (115<p<700 Ohm.m) surmonté par un puissant niveau conducteur C1 (7<p<45 Ohm.m). Le substrat résistant R1 semble se développer vers le WNW et se rapprocher graduellement de la surface topographique mais les structures notées R1' pourraient correspondre à des artefacts de l'inversion. On distingue par ailleurs au niveau de l'horizon conducteur, 2 zones plus conductrices notées C1' ainsi qu'un approfondissement noté C1".

À ce stade des investigations, C1 est attribué à la série de brèches qui formerait le soubassement de l'unité ^{ν1}β² qui constitue l'essentiel des reliefs du site.

C1 est généralement surmonté par une couche résistante R3 (80< p<230 Ohm.m) qui peut être attribuée d'après les observations de terrain à des éboulis de bas de pente et aux alluvions présentes dans les rivières. L'affleurement A représenté sur l'Illustration 13 et attribué à un front de coulée lavique en place nous invite toutefois à distinguer un résistant R2 dans la partie amont. Ce dernier correspondrait à une coulée de pendage apparent faible (proche de la pente topographique).

La **tomographie P2** met en évidence un agencement relativement semblable. On retrouve en effet un résistant R1 en profondeur mais de résistivité plus faible que sur P1. Une convergence insuffisante de l'inversion en lien avec la forte pente du versant NNW pourrait expliquer ce phénomène. Sa remontée graduelle sur le versant NNW reste toutefois mieux marquée.

Le résistant R2 observé dans la partie est du profil montre une continuité claire avec le substrat R1 malgré la présence d'une intercalation C2. Cette disposition (à mettre en parallèle avec le niveau R2 du profil P1) conduit à proposer le schéma global suivant : le résistant R1 correspondrait à une série importante volcanique se développant depuis au moins l'altitude - 100 m jusqu'à 200 m et serait dominée par des coulées laviques peu altérées. Cette série aurait été anciennement érodée par des vallées où des séries bréchiques ou d'autres séries altérées et conductrices représentées par C1 et C1"ont pu se mettre en place. Ces séries auraient ensuite été elles-mêmes érodées et creusées avant la mise en place d'une nouvelle série à dominante lavique peu altérée (C2-R2).

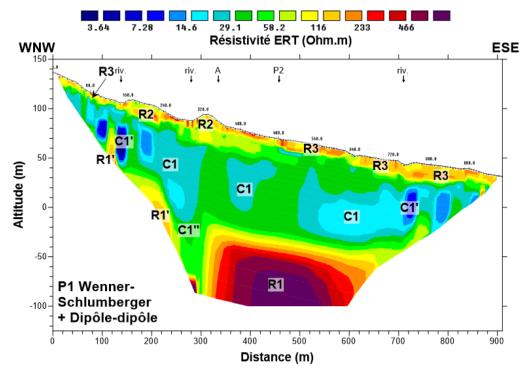


Illustration 58 : Modèle de résistivité vrai obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P1.

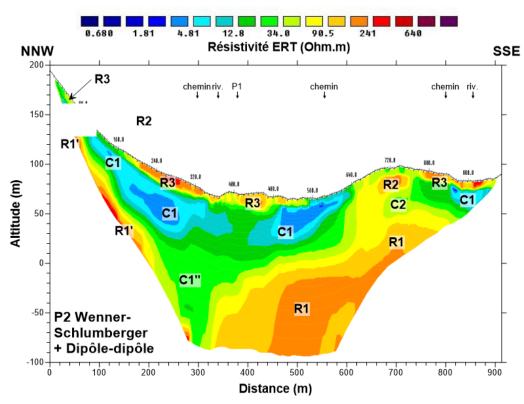


Illustration 59 : Modèle de résistivité vrai obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P2.

Un schéma alternatif plus simple consisterait à supposer que les séries C2-R2 de P2 correspondent à l'équivalent peu altéré de C1 mais la question d'une altération différentielle dans des conditions *a priori* semblables se pose alors.

Un dernier schéma supposant la présence de niveaux laviques massifs (R2) intercalés au sein de la série bréchique C1 peut enfin être évoqué et correspond à une observation faite in situ (affleurement D de l'Illustration 13).

L'approfondissement localisé de C1 noté C1" sur les coupes ne trouve par contre pas d'explication à ce stade de connaissance dans les schémas interprétatifs proposés. Il pourrait s'agir d'un élément structural mais cette hypothèse reste à valider.

5.3.2. Résultats d'inversion dans la vallée de Niuroa

Les résultats d'inversion conjointe des tomographies WSR et DD P4, P5 et P6 sont présentés sur l'Illustration 60, l'Illustration 61 et l'Illustration 62.

Sur la tomographie P4, le schéma général est proche de celui du profil P2 avec une succession R1-C2-R2 occupant toute la partie centrale du profil. L'intercalaire C2 est toutefois plus développé que sur P2. Le substrat R1' est également bien marqué sur la partie est du profil et son allure verticale pourrait suggérer une structure de dyke. Sa situation en limite de profil et sous un fort relief ne permet toutefois pas une résolution idéale. Pour confirmer cette hypothèse, le profil devrait être étendu à l'est et complété par un ou deux profils parallèles.

L'imagerie générale de P4 invite à proposer une nouvelle interprétation de C2-R2 qui peut toutefois également s'appliquer aux profils précédents. Nous proposons ainsi que la série C2-R2 corresponde à la partie supérieure du profil d'altération de la série volcanique dont la partie peu altérée est représentée par R1 et R1'. Dans ce schéma, R2 pourrait représenter :

- une coulée lavique intercalée moins sensible à l'altération. La présence d'autres coulées de mêmes propriétés, intercalées dans la conducteur C2, est possible mais elle n'a pas été révélée par l'imagerie électrique sauf peut-être au niveau de la limite est où l'on observe une structure superficielle en gradins;
- la partie supérieure du profil d'altération où l'augmentation de la teneur en oxydes et hydroxydes au profit de la teneur en argile expliquerait l'augmentation de la résistivité ;
- les brèches de la carte géologique où des niveaux moins altérés peuvent se différencier par des unités plus résistantes et plus compétentes.

Dans ces conditions, les conducteurs C1 sont interprétés comme des remplissages alluvionnaires de paléovallées creusées dans le substrat plus ou moins altéré R1-C2-R2 même s'il n'existe pas d'évidence de terrain de ces remplissages très épais.

À l'ouest, la rivière actuelle coïncide avec la paléo-vallée qui peut est raisonnablement reliée à l'approfondissement observé sur les profils P1 et P2 selon une direction W-E.

À l'est, le conducteur semble profondément enraciné (C1") et la disposition générale du massif suggère une paléovallée de direction similaire.

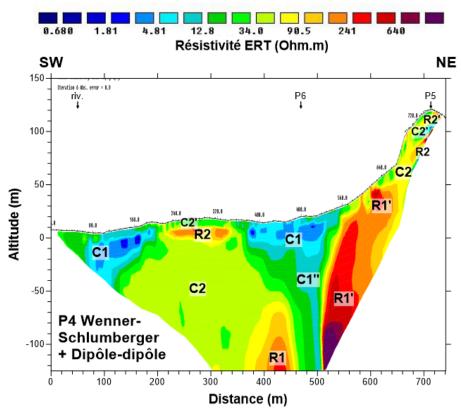


Illustration 60 : Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P4.

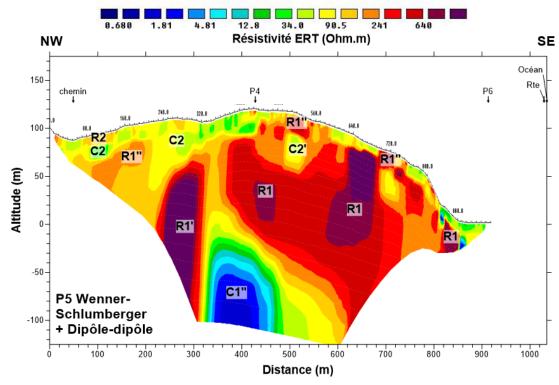


Illustration 61 : Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P5.

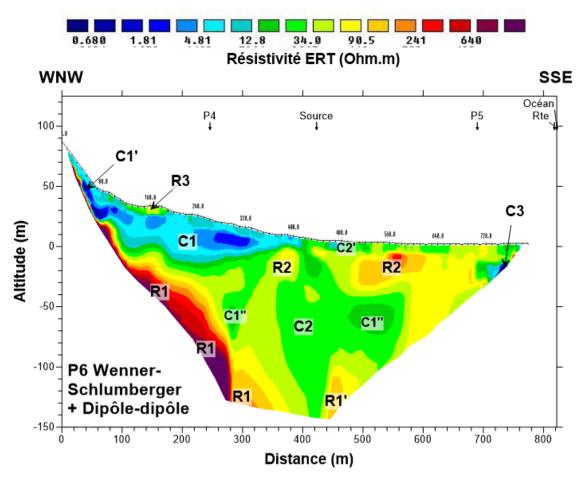


Illustration 62 : Modèle de résistivité vraie obtenu en résultat d'inversion des tomographies WSR et DD le long du profil P6.

La **tomographie P5** met essentiellement en évidence un corps résistant (R1, R1', R1") formant l'ossature du relief sur lequel le profil a été implanté. Les variations de résistivité peuvent être attribuées soit à des variations de faciès de la roche d'origine, soit à un degré d'altération variable, soit à une résolution imparfaite de corps de géométrie complexe. Les résistivités élevées observées (175<p<750 Ohm.m) montrent néanmoins que l'éperon est constitué de roches peu altérées, ce qui est en accord avec les observations de terrain et conforte la première hypothèse.

Les conducteurs C2 et C2' sont attribués à des parties plus fracturées/altérées du massif. Le conducteur profond et marqué C1" est, quant à lui, attribué à une inversion imparfaite de la paléovallée qui se développerait parallèlement au profil.

La **tomographie P6** montre le substrat résistant R1 se rapprochant progressivement de la surface par gradins successifs pour former l'ossature du relief. La couverture conductrice C1' est interprétée comme des éboulis à matrice argileuse. Dans toute la partie SE, le substrat est profond (situé à une altitude inférieure à -100 m) et recouvert par une série complexe C2-R2-C2' attribuée à la partie altérée du massif en accord avec P4.

L'approfondissement de C1 interprété comme une paléovallée d'orientation est-ouest sur P4 n'apparaît pas sur P6. En revanche, il est possible que les anomalies les plus conductrices C1" soient les images de la résolution imparfaite de cet approfondissement.

La couverture C1 qui se développe du pied des éboulis (C1') jusqu'à atteindre un développement maximal d'environ 40 m d'épaisseur vers l'abscisse 200 m vient se biseauter au SE, au niveau de la source Vaiava. Cette configuration complétée par l'imagerie du profil P4 permet de proposer l'hypothèse d'une paléovallée C1, C1' concentrant les écoulements aquifères qui siègent au sein des éboulis et potentiellement du substrat. La diminution de sa section provoquerait l'affleurement de l'aquifère et l'émergence de la source.

Le petit plateau basaltique situé en amont de la crête pourrait également jouer un rôle important dans l'alimentation de la source. Il présente en effet une morphologie unique à Moorea (ondulations en pente douce) et serait constitué de coulées fraîches qui pourraient jouer le rôle de château et ainsi alimenter le conducteur C1.

Le résistant R3 est enfin interprété comme des éboulis non saturés et le conducteur C3, à peine ébauché par la tomographie, comme une possible manifestation du biseau salé.

5.4. SYNTHÈSE

Les 5 tomographies réalisées dans les environs d'Arafeiatu ont donné des résultats cohérents et permettent de supposer l'existence d'un substrat formé de séries volcaniques résistantes et peu altérées recouvert par un profil d'altération dont l'épaisseur peut dépasser 100 m.

Ce massif est *a priori* moins altéré à proximité des reliefs où il se rapproche de la surface. Il semble par ailleurs entaillé par des paléovallées prononcées pouvant descendre au-delà de l'altitude - 50 m. Ces paléovallées dont le développement possible est représenté jusqu'à la passe sur l'Illustration 63 sont aujourd'hui remplies de matériaux plutôt conducteurs indiquant une composante argileuse marquée.

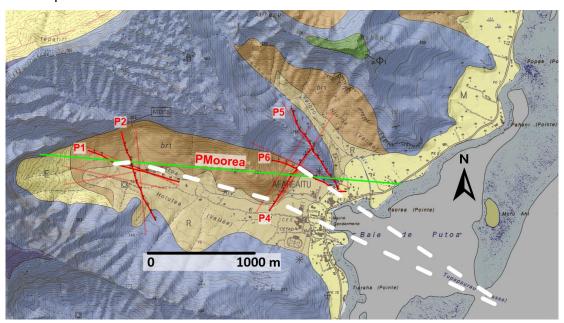


Illustration 63 : Cartographie des paléovallées C1" imagées par les tomographies électriques. Les traits blancs discontinus dessinent les propositions de développement des paléovallées.

La concordance du biseautage du remplissage conducteur avec notamment l'émergence de la source Vaiava permet néanmoins de supposer que ces paléovallées servent de drain aquifère. Dans ces conditions, elles pourraient représenter des cibles privilégiées pour la réalisation de forages de reconnaissance pour peu que ces derniers descendent au moins jusqu'à l'altitude de -50 m NGPF.

Dans l'idéal, la réalité de ces approfondissements devra être confirmée par des travaux de modélisation. Ces derniers s'appliqueront en particulier à vérifier qu'un substrat de profondeur uniforme situé sous un relief accusé du type de ceux qui ont été rencontrés par les profils P1, P2 et P4 ne produit pas, par un effet indésirable de l'inversion, un approfondissement localisé.

Le modèle proposé est encore hypothétique mais il est cohérent avec la morphologie abrupte des montagnes de Moorea et une érosion fluviatile intense lorsque le niveau de base marin était plus bas que l'actuel. Selon ce modèle, des résurgences d'eau douce en mer sont également possibles.

Le petit plateau situé en amont de la zone investiguée pourrait également jouer un rôle prépondérant en favorisant l'infiltration des eaux météoriques et en permettant leur transit vers les sources repérées plus bas. Le débit de la source Vaiava témoigne en tout cas d'une zone d'alimentation relativement importante dont les limites restent à préciser.

6. Approche hydrochimique

6.1. PRÉAMBULE

Conformément au contenu de l'annexe 1 à la convention MCE n° 1366, 15 points d'eau situés sur l'île de Moorea ont fait l'objet de prélèvements en vue d'analyses complètes. Leur localisation et leur nature sont représentées sur l'Illustration 64. À noter que 6 d'entre eux se situent au droit de la zone d'intérêt située à proximité d'Afareaitu.

Tous les points ont également fait l'objet de prélèvements en vue d'analyses des isotopes stables de la molécule d'eau et 3 d'entre eux, de prélèvements en vue d'analyses des isotopes du strontium. Pour compléter cette caractérisation, 6 points ont également été retenus en vue du dosage des CFC et du SF₆.

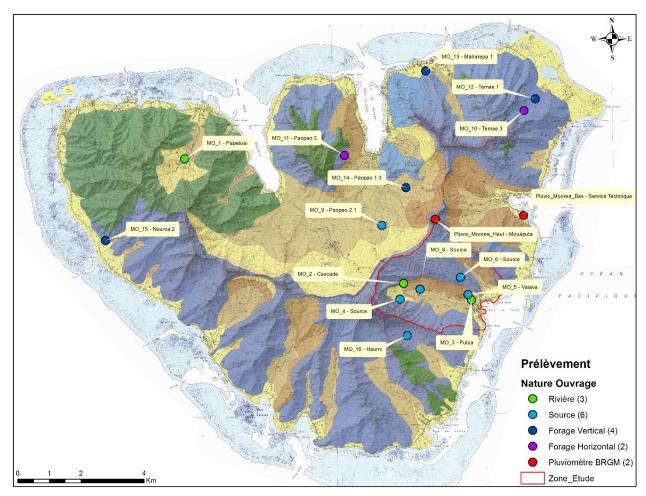


Illustration 64 : Localisation des points d'eau prélevés à Moorea.

Les opérations de prélèvement se sont déroulées le 19 et le 20 juillet 2018 dans des conditions plutôt humides (près de 90 mm précipités lors des 6 jours précédents) (Illustration 65).

Les échantillons en vue du dosage des éléments majeurs et traces et des isotopes ont été envoyés dans les plus courts délais possibles au laboratoire du BRGM situé à Orléans via un service de transport express alors que les échantillons en vue du dosage des CFC/SF₆ ont été confiés au Spurenstofflabor (Allemagne).

Les points prélevés ont fait l'objet de fiches compilées en Annexe 4 et les résultats obtenus (de même que les limites de quantification des méthodes retenues) ont été synthétisés dans l'Annexe 5.

Parallèlement à cette opération ponctuelle de prélèvement, un suivi isotopique des précipitations a été réalisé au droit de 2 postes pluviométriques implantés au niveau des services techniques communaux et au sommet du Mouaputa (Illustration 64). Les échantillons prélevés ont également été confiés au laboratoire du BRGM.

L'analyse proposée dans les paragraphes suivants porte dans un premier temps sur les paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* puis sur les éléments majeurs, mineurs et traces. Les résultats des analyses isotopiques et en CFC et SF_6 sont ensuite présentés après certains rappels méthodologiques.

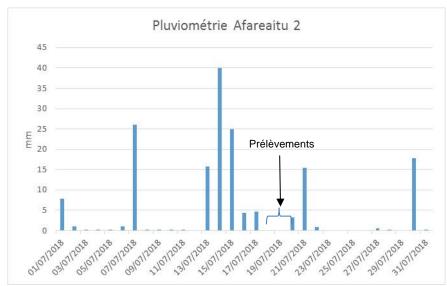


Illustration 65 : Pluviométrie du mois de juillet 2018 à Moorea (poste Météo France Afareaitu 2).

6.2. PARAMÉTRES PHYSICO-CHIMIQUES MESURES IN SITU

Les résultats de l'analyse statitique descriptive des paramètres physico-chimiques non conservatifs mesurés sur site pour les points d'eau ESO (eau souterraine) et ESU (eau de surface) de Moorea sont présentés ci-après (Illustration 66).

Les variations les plus importantes sont constatées pour les eaux souterraines, avec notamment la conductivité électrique qui varie de 186 à 1245 µS/cm. Cette dernière valeur a été observée sur le forage de Maharepa 1 (MO_13) qui subit l'influence du biseau salé. Le pH le plus bas (5,8) a, quant à lui, été observé sur la source Paopao 2.1 (MO_9). Cette valeur est inférieure à la norme de potabilité retenue en Polynésie française (6,5) (JO - 25/11/1999).

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESO	T (°C)	°C	30	25	11	23,1	27,4	24,4	24,6	1,3
Moorea-ESO	Conductivité à 25°C	μS/cm		2500 μS/cm à 20°C	11	186	1245	229	332	311
Moorea-ESO	рН	-	≥6,5 et ≤9	≥4,5 et ≤9	11	5,8	7,7	7,0	6,9	0,7
Moorea-ESO	Eh NHE	mV			11	301	534	447	429	87
Moorea-ESO	O ₂ dissous	mg/L			11	2,0	8,8	6,2	6,0	2,5

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESU	T (°C)	°C	30	25	4	22,0	25,5	22,4	23,1	1,6
Moorea-ESU	Conductivité à 25°C	μS/cm		2500 μS/cm à 20°C	4	91	180	160	148	40
Moorea-ESU	рН	-	≥6,5 et ≤9	≥4,5 et ≤9	4	6,5	7,5	7,1	7,1	0,4
Moorea-ESU	Eh NHE	mV			4	342	472	457	432	61
Moorea-ESU	O ₂ dissous	mg/L			4	8,0	8,8	8,5	8,5	0,4

Illustration 66 : Résultats de l'analyse statistique descriptive des paramètres physico-chimiques mesurés in situ pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) de Moorea

En complément de cette première analyse, des cartes représentant la répartition spatiale des valeurs ont été réalisées (Illustration 67 à Illustration 70). Il apparaît que sur les 4 forages verticaux échantillonnés (MO_12, MO_13, MO_14 et MO_15), 3 présentent des conductivités supérieures à 300 μS/cm en lien probable avec la proximité de la côte. Pour l'ouvrage le plus en retrait (MO_14), une conductivité proche de la valeur moyenne calculée pour les eaux souterraines (190 μS/cm) a été observée. Pour les 2 forages horizontaux (MO_10 et MO_11), des pH supérieurs à 7,5 ont été observés mais le lien entre ces observations et la nature des équipements n'est pas évident. Les valeurs de potentiel redox semblent également plus élevées dans le secteur d'Afareaitu, ce qui pourrait traduire une origine superficielle des eaux.

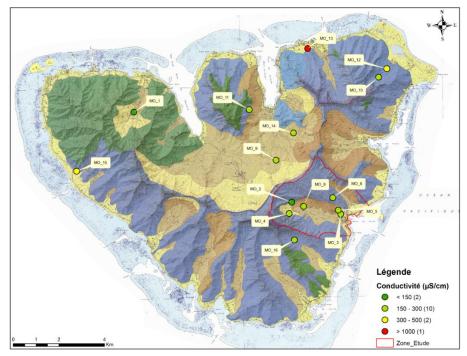


Illustration 67 : Répartition des valeurs de conductivité (µS/cm) mesurées in situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018

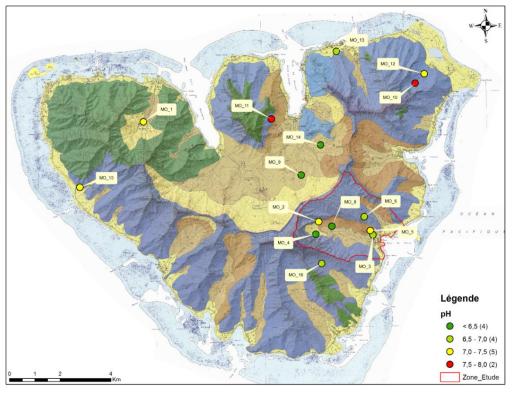


Illustration 68 : Répartition des valeurs de pH mesurées in situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018.

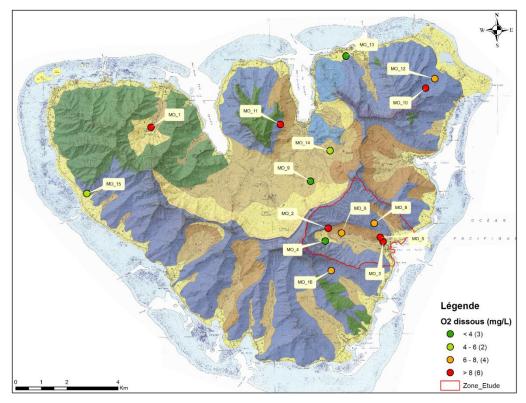


Illustration 69 : Répartition des teneurs en oxygène dissous (mg/L) mesurées in situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018.

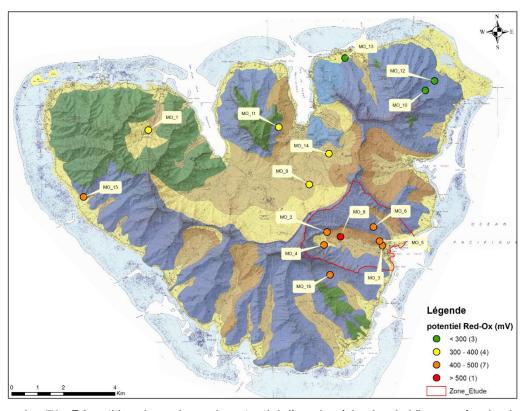


Illustration 70 : Répartition des valeurs du potentiel d'oxydo-réduction (mV) mesurées in situ lors des prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018.

6.3. ÉLÉMENTS MAJEURS, MINEURS ET TRACES

6.3.1. Vérification des balances ioniques

Il est possible d'évaluer la qualité d'une analyse physico-chimique réalisée en laboratoire en calculant sa balance ionique selon la formule :

$$Balance\ ionique\ =\ 100 \times \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions}$$

où les sommes d'anions et de cations en réaction sont exprimées en meg/L.

La fiabilité de l'analyse est jugée excellente pour une balance comprise entre - 1 et + 1 %; acceptable pour une balance comprise entre - 5 et + 5%; mauvaise pour une balance comprise entre - 10 et + 10 % et médiocre pour une balance inférieure à - 10 ou supérieure à + 10 % (dans ce cas, les résultats sont difficilement exploitables).

Tous les prélèvements réalisés à Moorea se sont caractérisés par une balance ionique comprise entre -5 et + 5 % et constituent donc un jeu de données fiable.

6.3.2. Conductivité électrique in situ et éléments dissous totaux

La somme des éléments dissous dosés (Total Dissolved Solid ou TDS) a été calculée puis comparée aux mesures de conductivité électrique réalisées sur le terrain (Illustration 71). Il apparaît une bonne corrélation entre les paramètres ($R^2 = 0.9$), ce qui valide d'une seconde manière le jeu de données.

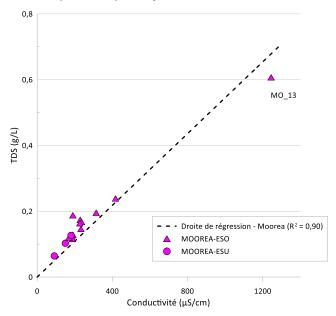


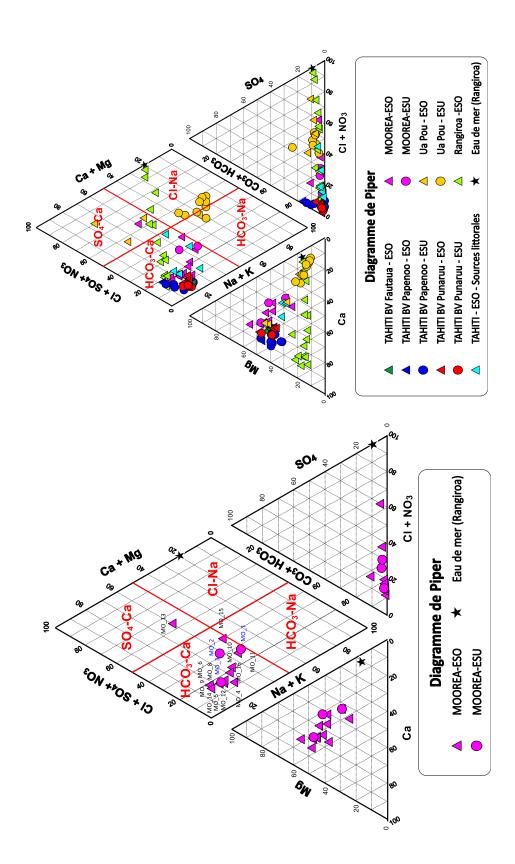
Illustration 71 : TDS (g/L) vs conductivité (μS/cm) pour l'ensemble des échantillons d'eau prélevés à Moorea en juillet 2018.

6.3.3. Faciès hydrochimiques des eaux

La projection des résultats des analyses en éléments majeurs dans un diagramme de Piper permet de déterminer le faciès hydrochimique des eaux.

Dans le cas de Moorea, la plupart des points d'eau présentent un faciès de type bicarbonaté-calcique (Illustration 72, schéma de gauche). Certains points (MO_1, MO_11 et MO_15) se rapprochent toutefois d'un faciès bicarbonaté-sodique (possible influence d'une géologie différente dans le quart nord-ouest de l'île) ou présentent un net faciès sulfaté-calcique (cas du forage de Maharepa 1 sous influence marine).

Il apparaît également que les eaux prélevées à Moorea présentent un chimisme plus varié que celles échantillonnées à Tahiti et différent de celles prélevées à Ua Pou (Illustration 72, schéma de droite).



(à gauche) et l'ensemble des prélèvements effectués au droit de 5 secteurs ayant fait l'objet d'études détaillées (à droite). Illustration 72: Diagrammes de Piper représentant l'ensemble des prélèvements effectués à Moorea

6.3.4. Fond hydrogéochimique et normes de potabilité

Le fond hydrogéochimique correspond à la composition naturelle des eaux en l'absence d'impact anthropique. En contexte volcanique, il dépend essentiellement du type de formations et de leur degré d'altération. Il est généralement élevé en fer, manganèse et parfois en aluminium. Ces éléments sont principalement mobilisés sous formes colloïdales.

Il existe également des risques d'observer de fortes teneurs en fluor et/ou en arsenic au droit des zones affectées par des phénomènes hydrothermaux et en éléments qui composent l'eau de mer (chlorures, sodium, bore...) au droit des premiers secteurs affectés par l'intrusion marine.

Les résultats des analyses en ions majeurs, mineurs et traces menées sur les 15 prélèvements effectués à Moorea ont donné lieu à une analyse statistique descriptive (Illustration 73 et Illustration 74). Ils ont notamment été comparés aux normes de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine extraites du Journal Officiel de la Polynésie Française en date du 25 novembre 1999 ainsi qu'aux normes de potabilité appliquées en France.

En ce qui concerne les éléments majeurs, les normes de potabilité appliquées en Polynésie française (PF) sont les mêmes qu'en Métropole, à l'exception de celles retenues pour le sodium (150 mg/L en PF contre 200 mg/L en Métropole) et les chlorures (200 mg/L en PF contre 250 mg/L en Métropole).

Pour les éléments mineurs, une différence existe pour le fluor (limite de 0,7 mg/L fixée en PF contre 1,5 mg/L en Métropole).

Pour les éléments traces, les normes de potabilité appliquées en Polynésie Française sont les mêmes qu'en France sauf pour le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) où elles sont plus restrictives. La Polynésie française n'a par contre pas défini de norme pour le bore alors qu'une limite de 1000 µg/L a été fixée en métropole.

Au final, aucun dépassement n'a été observé pour les paramètres analysés, ce qui semble indiquer que la qualité des eaux superficielles et souterraines de Moorea est bonne.

Sur le plan des éléments majeurs et mineurs, on note logiquement que les teneurs moyennes des eaux souterraines sont systématiquement plus importantes que celles des eaux superficielles.

La plus forte teneur en nitrates (3,6 mg/L) a été observée sur la source Paopao 2.1 (MO_9) située dans un secteur où les champs d'ananas sont nombreux et la plus forte teneur en chlorures (180,7 mg/L), sur le forage Maharepa 1 (MO_13).

Sur le plan des éléments mineurs, le bore et le strontium sont les éléments que l'on retrouve en plus grandes quantités avec des teneurs moyennes toujours plus importantes dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Bilan des investigations menées à Moorea

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESO	Ca	mg/L			11	6,5	36,5	10,6	12,3	8,3
Moorea-ESO	HCO ₃	mg/L			11	61,0	186,0	87,0	91,6	34,6
Moorea-ESO	CI	mg/L	200	250	11	6,0	180,7	8,1	26,0	51,9
Moorea-ESO	F	mg/L	0,7 (pour T = 25°C à 30°C)	1,5	11	0,05	0,40	0,10	0,11	0,11
Moorea-ESO	К	mg/L	12	12	11	0,3	8,9	1,9	2,5	2,5
Moorea-ESO	Fe	mg/L	0,2	0,2	11	0,01	0,08	0,01	0,02	0,02
Moorea-ESO	Mg	mg/L	50	50	11	4,6	40,4	8,6	11,6	9,8
Moorea-ESO	NH_4	mg/L	0,5	0,5	11	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESO	NO ₂	mg/L	0,1		11	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESO	NO ₃	mg/L	50	50	11	0,3	3,6	0,8	0,9	1,0
Moorea-ESO	Na	mg/L	150	200	11	4,9	72,9	9,5	16,6	19,8
Moorea-ESO	PO_4	mg/L		0,5	11	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
Moorea-ESO	SO_4	mg/L	250	250	11	1,0	19,3	1,7	3,9	5,6
Moorea-ESO	SiO ₂	mg/L			11	25,7	62,4	39,1	40,1	10,8

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESU	Ca	mg/L			4	2,5	9,0	6,0	5,9	3,0
Moorea-ESU	HCO ₃	mg/L			4	25,0	65,0	50,5	47,8	18,4
Moorea-ESU	CI	mg/L	200	250	4	5,5	8,0	6,1	6,4	1,1
Moorea-ESU	F	mg/L	0,7 (pour T = 25°C à 30°C)	1,5	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	К	mg/L	12	12	4	0,8	2,3	0,9	1,2	0,7
Moorea-ESU	Fe	mg/L	0,2	0,2	4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Moorea-ESU	Mg	mg/L	50	50	4	3,2	7,4	4,5	4,9	2,0
Moorea-ESU	NH ₄	mg/L	0,5	0,5	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	NO ₂	mg/L	0,1		4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	NO ₃	mg/L	50	50	4	0,3	0,8	0,4	0,5	0,3
Moorea-ESU	Na	mg/L	150	200	4	5,1	9,1	6,3	6,7	1,7
Moorea-ESU	PO ₄	mg/L		0,5	4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
Moorea-ESU	SO ₄	mg/L	250	250	4	0,9	1,6	1,1	1,2	0,3
Moorea-ESU	SiO ₂	mg/L			4	20,5	32,9	31,9	29,3	5,9

Illustration 73 : Analyse statistique descriptive des concentrations en éléments majeurs pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) prélevées en juillet 2018 à Moorea.

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESO	Ag	μg/L	10		11	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESO	Al	μg/L	200	200	11	0,61	5,55	1,72	2,07	1,47
Moorea-ESO	As	μg/L	10	10	11	0,03	1,10	0,14	0,34	0,37
Moorea-ESO	В	μg/L		1000	11	6,53	37,70	12,70	15,07	8,81
Moorea-ESO	Ва	μg/L	700	700	11	0,10	17,80	1,59	3,48	5,28
Moorea-ESO	Ве	μg/L			11	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESO	Cd	μg/L	3	5	11	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESO	Со	μg/L		20	11	0,00	0,07	0,00	0,01	0,02
Moorea-ESO	Cr	μg/L	50	50	11	0,10	3,38	0,64	0,96	0,92
Moorea-ESO	Cu	μg/L	1000	2000	11	0,05	1,05	0,20	0,31	0,32
Moorea-ESO	Li	μg/L			11	0,05	3,45	0,36	0,70	1,01
Moorea-ESO	Mn	μg/L	50	50	11	0,05	4,19	0,23	0,60	1,21
Moorea-ESO	Ni	μg/L	20	20	11	0,05	3,33	0,17	0,51	0,99
Moorea-ESO	Pb	μg/L	10	10	11	0,00	0,33	0,00	0,04	0,10
Moorea-ESO	Sr	μg/L			11	42,00	359,00	81,70	99,93	87,98
Moorea-ESO	Zn	μg/L	3000	5000	11	0,25	3,84	1,10	1,35	1,11

MOOREA	Paramètres	Unité	Normes de potabilité JO Polynésie Française - 25/11/1999	Normes de potabilité RF	Nombre d'analyses	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart-type
Moorea-ESU	Ag	μg/L	10		4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	Al	μg/L	200	200	4	1,21	8,75	3,98	4,48	3,81
Moorea-ESU	As	μg/L	10	10	4	0,03	0,14	0,06	0,07	0,06
Moorea-ESU	В	μg/L		1000	4	6,44	14,30	9,46	9,91	3,36
Moorea-ESU	Ва	μg/L	700	700	4	0,54	3,11	1,64	1,73	1,09
Moorea-ESU	Be	μg/L			4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	Cd	μg/L	3	5	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td>. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	. <lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	Со	μg/L		20	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	Cr	μg/L	50	50	4	0,12	0,56	0,30	0,32	0,21
Moorea-ESU	Cu	μg/L	1000	2000	4	0,05	0,13	0,11	0,10	0,04
Moorea-ESU	Li	μg/L			4	0,05	0,27	0,09	0,12	0,10
Moorea-ESU	Mn	μg/L	50	50	4	0,05	5,63	2,45	2,64	2,59
Moorea-ESU	Ni	μg/L	20	20	4	0,05	0,22	0,19	0,16	0,08
Moorea-ESU	Pb	μg/L	10	10	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	
Moorea-ESU	Sr	μg/L			4	22,10	81,30	42,20	46,95	25,87
Moorea-ESU	Zn	μg/L	3000	5000	4	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td><lq< td=""><td></td></lq<></td></lq<>	<lq< td=""><td></td></lq<>	

Illustration 74 : Analyse statistique descriptive des concentrations en éléments traces pour les eaux souterraines (ESO) et les eaux superficielles (ESU) prélevées en juillet 2018 à Moorea.

6.3.5. Relations inter-éléments : diagrammes binaires

Les diagrammes binaires présentés dans ce chapitre ont pour objectif de mettre en évidence des relations inter-éléments au sein des eaux souterraines et des eaux superficielles. Ces diagrammes permettent également d'identifier des pôles qui influencent la chimie des eaux et de mettre en avant des facteurs de dilution par la recharge météoritique ou par l'intrusion saline par exemple. À noter que la droite de dilution de l'eau de mer reportée sur les graphiques a été établie d'après la composition de l'eau de mer prélevée à Rangiroa.

Dans le diagramme CI vs Na (Illustration 75), tous les points à l'exception du MO_13 se situent sous la droite de dilution de l'eau de mer. Les eaux présentent donc un enrichissement quasi systématique en sodium dont l'origine est probablement géologique. Les roches volcaniques de Moorea sont en effet riches en minéraux alcalins (Illustration 76).

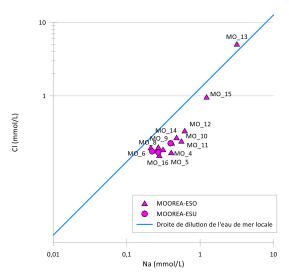


Illustration 75 : Diagramme CI vs Na (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea.

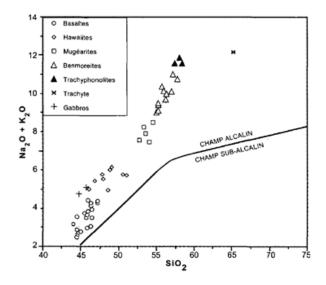


Illustration 76 : Diagramme de TAS (Total Alkalis-Silica) établi pour les roches volcaniques de Moorea (Maury et al., 2000).

Dans les diagrammes B vs SO₄ et B vs CI (Illustration 77), deux pôles distincts (un pôle « recharge » représenté par une pluie tropicale analysée à Mayotte et un pôle « eau de mer » représenté par un échantillon prélevé à Rangiroa) peuvent être mis en évidence.

L'alignement des points MO_13 et MO_11 sur la droite de dilution du graphique de gauche montre que l'origine des sulfates et du bore dosés sur ces 2 ouvrages est bien d'origine marine. Il en va de même pour les chlorures dosés sur l'ouvrage MO_13 (alignement sur le graphique de droite).

Pour les autres points qui se situent à plus grande distance de la côte, les teneurs sont liées à celles de la pluie (influencées par les embruns) et à celles des minéraux présents dans les roches.

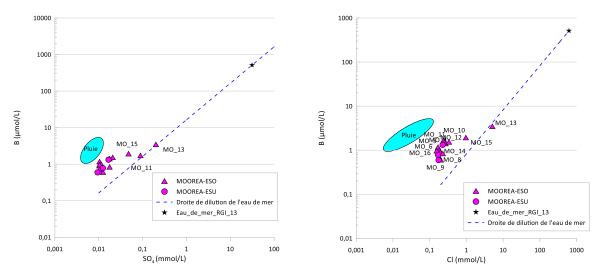


Illustration 77 : Diagrammes B vs SO₄ (mmol/L) et B vs CI (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea.

Sur le diagramme Ca+Mg vs HCO₃, les points d'eau (à l'exception du forage MO_13) s'alignent parfaitement sur une droite de pente 1:2. Cet alignement tend à prouver que les mécanismes d'acquisition des teneurs en bicarbonates, calcium et magnésium sont relativement semblables pour tous les points d'eau.

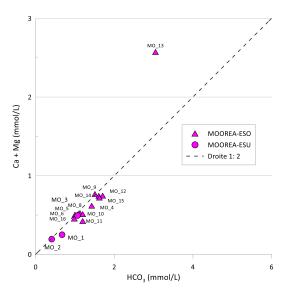


Illustration 78 : Diagramme Ca+Mg vs HCO3 (mmol/L) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea.

Cette hypothèse semble confirmée par le diagramme Na/CI vs Ca/Mg (Illustration 79). Pour les échantillons analysés, il semble en effet que le rapport Ca/Mg soit relativement constant. La non corrélation des éléments Na et CI tend à prouver que ces 2 derniers éléments n'ont pas une origine commune, sauf pour MO_13 qui se situe à proximité du point RGI_13 (eau de mer de Rangiroa).

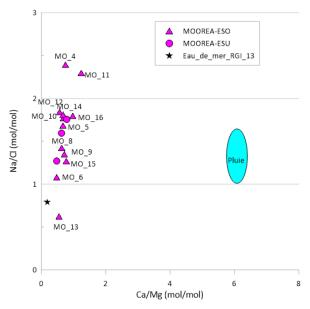


Illustration 79 : Na/Cl vs Ca/Mg (mol/mol) représentant les prélèvements effectués en juillet 2018 à Moorea.

En dernier lieu, l'Illustration 80 montre que tous les points d'eau à l'exception de MO_13 et MO_15 présentent des positions rapprochées dans un diagramme Na+K vs SiO₂. Cela suggère que les eaux circulent au contact de formations géologiques relativement similaires. Si la position excentrée de l'ouvrage MO_13 peut s'expliquer par le phénomène d'intrusion marine qui induit une forte teneur en sodium, la position du forage MO_15 est plus difficile à expliquer. Elle peut être liée à une influence marine mais le fort rapport Na/Cl observé sur l'Illustration 79 pourrait également être lié à une composition particulière du sous-sol. La présence de phonolites dont la teneur en alcalins est plus importante que celle des basaltes est en effet reportée dans le forage Nuuroa 1 tout proche de l'ouvrage qui a été prélevé (Nuuroa 2).

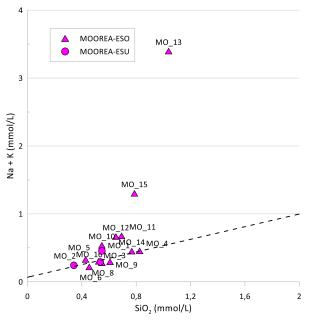


Illustration 80 : Diagramme Na + K vs SiO₂ (mmol/L) représentant les prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018.

6.4. ANALYSES ISOTOPIQUES

6.4.1. Isotopes en strontium

Lors de la campagne d'échantillonnage, 3 prélèvements d'eau ont été réalisés sur des sources de la zone d'intérêt (dont la source Vaiava) en vue du dosage du rapport isotopique ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr.

Ce dernier est lié à celui du minéral ou des associations minéralogiques avec lesquelles l'eau a interagi. Les variations de ce rapport au sein d'un hydrosystème peuvent donc donner des informations sur l'origine des eaux et les proportions de mélange lorsqu'il existe plusieurs composantes de même que sur l'intensité des processus d'interaction roche-eau.

Lors des phénomènes d'interaction eau-roche, le rapport ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de la fraction de strontium libéré sera différent de celui de la roche totale et caractéristique du ou des minéraux altérés. Globalement, le strontium solubilisé et transporté vers l'extérieur du système est beaucoup moins radiogénique (rapport ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr plus bas) que le strontium de la roche non altérée. Le strontium des argiles résiduelles est, quant à lui, très radiogénique.

Le diagramme Sr vs SO₄ (Illustration 81, schéma de gauche) confirme un chimisme proche pour les 3 sources (MO_5, MO_6 et MO_8). Les rapports isotopiques sont également très proches et similaires de ceux retenus pour les basaltes de Moorea par Maury et al. en 2000 (Illustration 81, schéma de droite).

Dans ces conditions, on doit imaginer un environnement géologique et des interactions eau/roche relativement similaires pour les eaux alimentant les 3 sources échantillonnées.

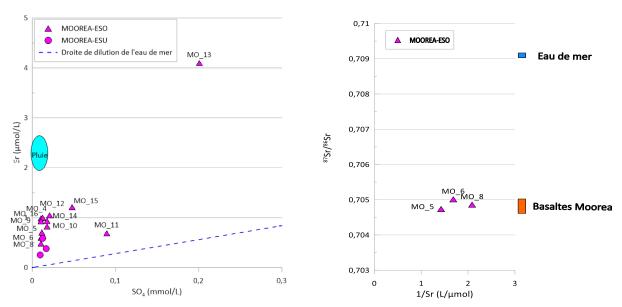


Illustration 81 : Diagramme Sr vs SO₄ (mmol/L) et ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs 1/Sr représentant les prélèvements effectués à Moorea en juillet 2018 et rapports isotopiques du strontium de l'eau de mer et des basaltes de Moorea (Maury et al., 2000, d'après White et Duncan, 1996 et Hémond et al., 1994).

6.4.2. Isotopes stables de la molécule d'eau

Comme indiqué en introduction de ce chapitre, des analyses isotopiques ont été réalisées sur des échantillons d'eau souterraine et superficielle, de même que sur des échantillons d'eau de pluie récoltées au droit de 2 sites. Les analyses effectuées ont concerné $\delta^{18}O$ et $\delta^{2}H$, l'objectif étant de déterminer l'origine spatiale des eaux souterraines et superficielles. Les résultats obtenus seront analysés après de brefs rappels.

Rappels

Pour un élément chimique donné, la composition isotopique correspond aux proportions des divers isotopes qui le composent (99,76 % de ¹⁶O, 0,04 % de ¹⁷O et 0,2 % de ¹⁸O dans le cas de l'oxygène). Cette dernière est notamment susceptible d'évoluer lors des changements d'état (fractionnement cinétique) ou de réactions à l'équilibre (fractionnement thermodynamique).

Pour un échantillon d'eau, le rapport isotopique correspond, quant à lui, au rapport de la concentration de l'isotope lourd sur celle de l'isotope léger (ex : ²H/¹H ou ¹⁸O/¹⁶O). Ce rapport étant très faible, il a été décidé de l'exprimer par rapport à un standard qui diffère pour chacun des éléments considérés. Dans le cas de l'oxygène et de l'hydrogène, le standard correspond au V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water) et la différence s'exprime selon la relation :

$$\delta$$
 (‰) = [(R_{échantillon}/R_{étalon}) - 1] x 1000

L'Illustration 82 permet de visualiser le fractionnement isotopique au cours du cycle de l'eau et les variations de δ^2H et $\delta^{18}O$ qui en résultent. Il apparaît ainsi que la composition isotopique des eaux météoriques varie en fonction de paramètres géographiques comme la latitude, l'altitude ou la saison.

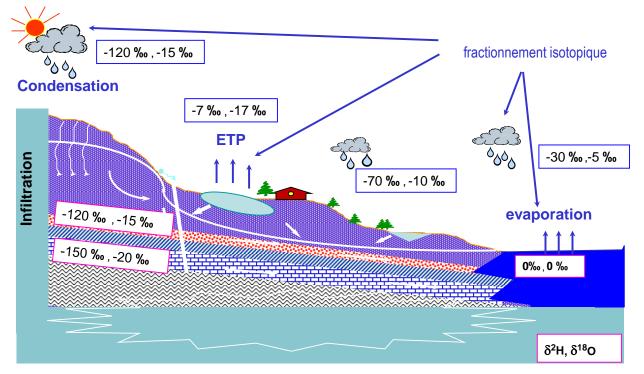


Illustration 82 : Fractionnement isotopique au cours du cycle de l'eau et variations de $\delta^2 H$ et $\delta^{18} O$.

Une approche statistique (IAEA, 1992) a également montré que les valeurs de δ^2H étaient linéairement corrélées à celle du $\delta^{18}O$ dans les pluies et les eaux naturelles d'origine météorique.

Cette relation d'équation $\delta^2H=8^*$ $\delta^{18}O$ +10 est appelée « droite météorique mondiale » (DMM) et constitue une référence à laquelle on peut comparer les couples δ^2H et $\delta^{18}O$.

Pour des eaux ayant subi des phénomènes d'évaporation, une corrélation entre ²H et ¹⁸O existe mais la droite présente une pente inférieure à 8 (généralement comprise entre 3,5 et 6) et une ordonnée à l'origine différente.

Définition de la droite météorique locale

Les données pluviométriques acquises au droit des services techniques communaux et du Mouaputa entre le 3 mai 2018 et le 4 mars 2019 ont été ajoutées aux relevés pluviométriques effectués dans les autres îles (Tahiti, Ua Pou et Rangiroa) pour tenter de définir une droite météorique locale (Illustration 83).

lle ou bassin versant	Nom station	Altitude [m]	Date début mesures	Date fin mesures	Nbre de prélèvements
Moorea	Services techniques	5	22/06/18	04/03/19	6
Moorea	Mouaputa	827	03/05/18	04/03/19	8
Rangiroa	Gendarmerie	2	13/09/18	25/02/19	3
Rangiroa	Mairie	2	27/04/18	11/09/18	1
Tahiti Punaruu	SIGFA	44	06/04/18	16/03/19	9
Tahiti Punaruu	Mont Tuhi	1 414	01/03/18	05/03/19	10
Tahiti Papenoo	Marie Papenoo	5	07/04/18	06/03/19	8
Tahiti Papenoo	Pihaiateta	1 743	17/04/18	01/03/19	9
Ua Pou	Hakahau	20	17/ 02/18	31/01/19	5
Ua Pou	Poumaka	664	12/04/18	03/03/19	5

Illustration 83 : Informations sur les stations de prélèvement des pluies et les modalités d'échantillonnage.

Le report des résultats obtenus sur un diagramme $\delta^2 H$ vs $\delta^{18} O$ montre que les points représentant les échantillons de pluie s'alignent selon une droite d'équation $\delta^2 H = 7,20$ $\delta^{18} O + 11,94$ représentée par un trait plein sur l'Illustration 84. Cette droite présente une pente plus faible que celle de la droite météorique mondiale (DMM) tracée en pointillés.

L'Illustration 85 qui représente les échantillons d'eaux souterraines et superficielles montre que les points ne s'alignent pas sur la droite d'équation $\delta^2H = 7,20$ $\delta^{18}O$ +11,94 établie à partir des échantillons de pluie.

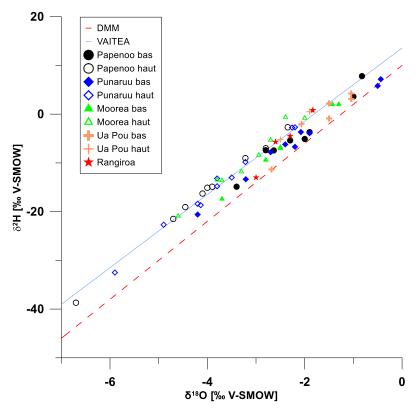


Illustration 84 : Diagramme $\delta^2 H$ vs $\delta^{18} O$ pour les précipitations collectées au droit des 4 îles.

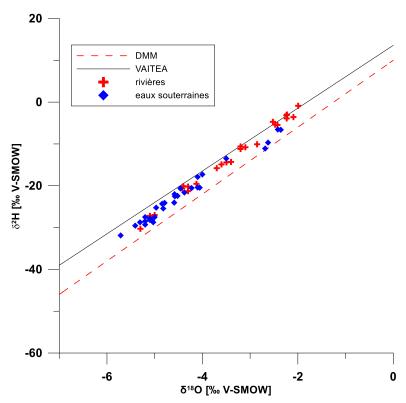


Illustration 85 : Diagramme $\delta^2 H$ vs $\delta^{18} O$ pour les eaux de surface et les eaux souterraines prélevées au droit des 4 îles.

Dans ces conditions, une analyse bibliographique des données disponibles pour la région sud pacifique a été menée. Elle a permis de recenser les équations suivantes :

- Australie : $\delta^2 H = 8.4 \delta^{18} O + 15.8 (Duvert et al., 2015)$;
- Île de Pâques : $\delta^2 H = 8 \delta^{18} O + 10$ (Herrera et Custodio, 2008);

- Indonésie/Papouasie : δ^2 H = 7,98 δ^{18} O +14,38 (Permana *et al.*, 2016) :
- Hawaï : Volcan Kilauea $\delta^2 H = 8 \delta^{18} O + 12$ (Scholl *et al.*, 1996) et est Maui $\delta^2 H = 8,2 \delta^{18} O + 14,7$ (Scholl *et al.*, 2002) ;
- Rarotonga (Iles Cook) : $\delta^2 H = 8,17 \, \delta^{18} O + 10,73 \, (IAEA, 1992)$;
- Tahiti et Moorea : $\delta^2 H = 8 \delta^{18} O + 14$ (Hassler *et al.*, 2019).

Ces dernières traduisent un excès en deutérium systématique par rapport à la DMM (ordonnée à l'origine supérieure à 10) qui a également été constaté sur l'Illustration 84.

Si l'on reporte l'ensemble des résultats d'analyse (pluies, eaux de surface et souterraines), il apparaît que ces derniers s'alignent parfaitement avec la droite des pluies établies pour Hawaï ou Tahiti et Moorea par Hassler *et al.* (2019) (Illustration 86). Quelques points d'écartent de cette droite, en se positionnant sous la droite des pluies locales. Un fractionnement isotopique similaire a été observé sur d'autres îles volcaniques comme Hawaï (Scholl *et al.*, 1996) ou en raison d'une forte évaporation des eaux de surface (Gat, 1996).

Compte tenu de ces observations, c'est la droite établie pour Hawaï et notamment l'est de Maui estimée à partir d'un plus grand nombre de données (permettant ainsi de prendre en compte la variabilité interannuelle des précipitations) et d'équation $\delta^2H = 8.2 \ \delta^{18}O + 14.7$ qui sera considérée comme la droite météorique locale (DML).

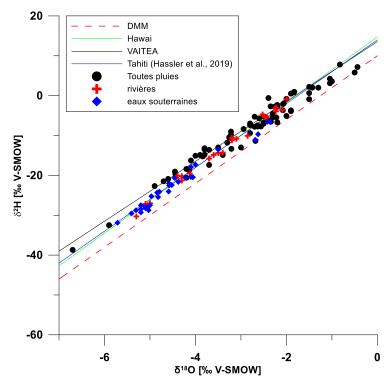


Illustration 86 : Diagramme $\delta^2 H$ vs $\delta^{18} O$ établi pour l'ensemble des prélèvements effectués au droit des 4 îles et droites de référence.

Évolution spatio-temporelle des teneurs isotopiques dans les pluies

L'importance de la variation saisonnière des teneurs isotopiques en lien avec l'effet de masse (appauvrissement isotopique plus marqué pour les pluies les plus abondantes) est reconnue pour le Pacifique Sud (Rozanski *et al.*, 1993 ; Araguas *et al.*, 1998). Il s'avère que ce phénomène est observable sur le jeu de données relatif aux pluies récoltées sur les 10 collecteurs (Illustration 87).

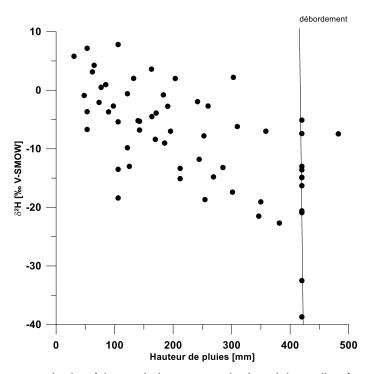


Illustration 87 : Relation entre le deutérium et la hauteur totale des pluies collectées sur les 10 collecteurs.

En complément de ce premier graphique, les teneurs isotopiques déterminées pour l'ensemble des postes à l'exception de ceux de Rangiroa en fonction de l'altitude ont été représentées sur l'Illustration 88.

Pour les échantillons prélevés de façon synchrone ou quasi-synchrone (avec quelques jours de différence), il apparaît que les échantillons prélevés à haute altitude se sont systématiquement caractérisés par des teneurs plus appauvries que celles des échantillons prélevés à basse altitude (cf. Illustration 89).

La détermination d'un gradient moyen d'appauvrissement s'est par contre avérée délicate compte tenu du faible nombre de stations de mesures et de prélèvements, de l'impossibilité d'associer des cumuls pluviométriques fiables à certains prélèvements (débordement des dispositifs) et de l'effet de masse préalablement mis en évidence.

En 2004, Hildenbrand *et al.* avaient pu estimer un gradient δ^{18} O/km de - 0,7 % en période humide et de - 1,6 % en période sèche sur la base d'un suivi pluviométrique effectué dans la partie nordouest de Tahiti.

À l'exception d'un gradient calculé sur une période très pluvieuse (février 2019), les autres valeurs calculées pour Moorea à partir des données récoltées s'inscrivent dans cet intervalle (Illustration 90). Elles ne pourront toutefois pas être utilisées pour définir avec précision l'altitude moyenne des zones de recharge des aquifères.

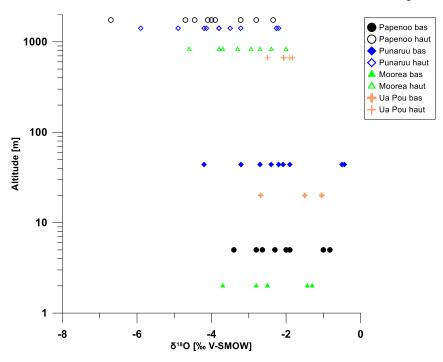


Illustration 88 : Relation entre l'altitude de la station de mesure et le δ^{18} O pour les 8 collecteurs de pluie.

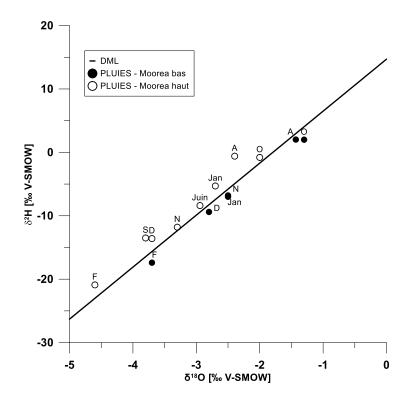


Illustration 89 : Composition isotopique des eaux de pluies sur la période août 2018-février 2019 pour les 2 stations de Moorea (Jan = janvier, F = février, A = avril, A = août, S = septembre, N = novembre, D = décembre).

Moorea	180 bas	180 haut	Différence	δ ¹⁸ O/km
27/08/2018	-1,43	-2,40	-0,96	-1,17
07/11/2018	-1,3	-2,0	-0,70	-0,85
04/12/2018	-2,51	-3,34	-0,83	-1,01
15/01/2019	-2,76	-3,69	-0,93	-1,13
11/02/2019	-2,54	-2,72	-0,18	-0,22
04/03/2019	-3,73	-4,60	-0,87	-1,06

Illustration 90 : Gradients d'apprauvrissement (δ¹8O/km) calculés pour 6 périodes à Moorea.

Évolution spatiale des teneurs isotopiques dans les eaux souterraines et de surface

Les prélèvements relatifs aux eaux de surface (MO_1, MO_2, MO_3) et effectués en juillet 2018 ont été reportés dans le diagramme δ^2H vs $\delta^{18}O$ (Illustration 91, schéma de gauche). Il apparaît que leurs teneurs sont nettement plus appauvries que les pluies qui ont été collectées en août et qui correspondent au cumul des précipitations tombées entre le 22 juin et le 27 août 2018. Elles sont également plus appauvries que les pluies échantillonnées sur la station basse en juin. Dans ces conditions, il est possible d'imaginer soit un marquage spécifique des pluies qui ont précédé la campagne de prélèvement, soit une influence d'eaux souterraines infiltrées à plus haute altitude.

Le report de l'ensemble des prélèvements ESO et ESU dans le même type de diagramme (Illustration 92) montre que la variabilité des compositions isotopiques est relativement faible (1,47 % pour le δ^{18} O et 9,91 % pour le δ^{2} H) (pour rappel, l'incertitude analytique est respectivement de 0,2 et 1%).

On constate toutefois que le point MO_2 (cascade Hotutea) s'écarte nettement des points représentant les eaux souterraines. Il serait donc le point le plus représentatif du signal « eau de pluie ». Au droit du point MO_3, situé plus en aval, la composante eau souterraine est probablement plus importante mais pas dominante. Le marquage isotopique du point MO_1 est, quant à lui, similaire à celui des points d'eau souterraine.

La composition isotopique appauvrie des eaux souterraines par rapport à la moyenne annuelle pondérée des eaux de pluie laisse également supposer une alimentation par les secteurs d'altitude.

La position du point MO_13 sur la droite de mélange théorique entre une eau de mer et des eaux souterraines peu ou pas influencées par les eaux de surface (valeurs les plus négatives) confirme aussi le phénomène d'intrusion saline sur ce point. Les teneurs isotopiques dosées sur l'ouvrage MO_15 semblent par contre indiquer que ce forage ne subit pas une telle influence. Les fortes teneurs en sodium observées sur l'ouvrage seraient donc bien liées à l'environnement géologique.

En première approximation, si l'on considère que le forage horizontal MO_11 est représentatif du pôle « eau souterraine », la proportion d'eau de mer sollicitée par le forage MO_13 serait de 8 %. À noter qu'un résultat similaire est obtenu en utilisant le chlore comme traceur.

Enfin, sur le plan spatial, il apparaît que les points se regroupent bien en fonction de leur localisation géographique. Les points MO_10, MO_11, MO_12 et MO_13 se situent au nord de l'île et présentent les teneurs les plus appauvries. Les points MO_5 et MO_6 situés au droit de la zone d'intérêt présentent des compositions très proches. Les points MO_4, MO_8, MO_9, MO_14 et MO_16 se situent au centre de l'île et présentent les compositions les plus enrichies. L'origine de ces variations est à rechercher dans le marquage isotopique des pluies qui affectent ces différents secteurs ainsi que dans l'altitude d'infiltration des eaux météoriques.

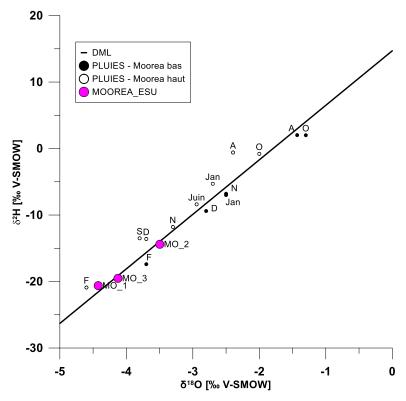


Illustration 91 : Composition isotopique des eaux de rivières et des pluies prélevées à Moorea.

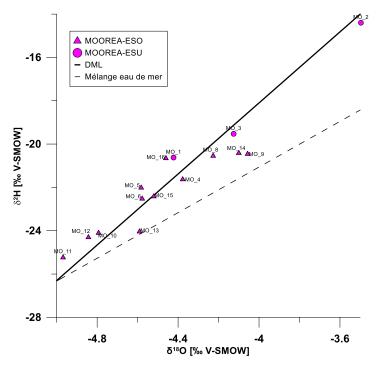


Illustration 92 : Composition isotopique de l'ensemble des eaux prélevées à Moorea.

6.5. ESTIMATION DES TEMPS MOYENS DE TRANSFERT DES EAUX SOUTERRAINES

6.5.1. Préambule

Il existe plusieurs méthodes pour estimer le temps moyen de transfert (TMR) des eaux souterraines (Illustration 93). Pour Moorea et les autres îles de la Polynésie française, des temps relativement courts sont attendus. Ce sont donc les gaz dissous CFCs et SF₆ qui ont été retenus.

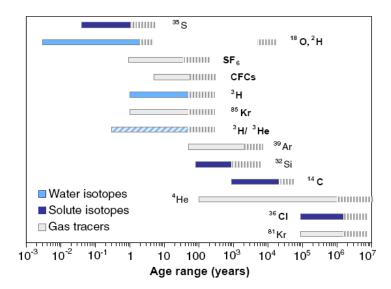


Illustration 93 : Méthodes de datation basées sur les traceurs radioactifs et gazeux (Newmann et al., 2010).

Les gaz dissous ont été utilisés dès le début des années 1980 pour estimer les temps moyens de transfert. À l'heure actuelle, on dispose donc d'un certain recul pour les mettre en œuvre de façon optimum (IAEA, 2006).

Les composés halogénés CFC-11 (trichlorofluorométhane), CFC-12 trichlorodifluorométhane), et CFC-113 (trichlorotrifluorométhane) communément appelés « fréons » ont été utilisés en raison de leur origine exclusivement anthropique et de leurs propriétés physico-chimiques :

- temps de résidence atmosphérique élevé ;
- bonne stabilité chimique dans le sol et dans l'eau ;
- homogénéité des concentrations atmosphériques dans les deux hémisphères.

La première synthétisation date de 1928 mais ce n'est qu'au début des années 30 que leur commercialisation a commencé. Entre les années 1950 et 1960, ces gaz ont été largement été utilisés dans l'industrie (froid, nettoyants industriels, propulseurs, mousses isolantes...) et se sont diffusés dans l'atmosphère et l'hydrosphère. Compte tenu de leurs effets délétères sur la couche d'ozone, de nombreux états en ont interdit l'utilisation en 1987.

L'hexafluorure de soufre (SF₆) est, quant à lui, principalement utilisé pour ses capacités isolantes (industrie électrique, double vitrage...). Ce gaz est également utilisé dans la production du magnésium et comme traceur dans la détection des transferts de polluants. Sa production industrielle a débuté en 1953 et il est actuellement considéré comme le plus puissant gaz à effet de serre. Il est principalement d'origine anthropique mais 1% des émissions mondiales serait d'origine naturelle.

La datation des eaux se base sur la comparaison des concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines et les concentrations en gaz dans l'atmosphère qui sont parfaitement connues en divers endroits de la planète. Dans le cas de la présente étude, ce sont les chroniques données par le Earth System Research Laboratory / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA/ESRL, 2019) et l'Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE, Prinn *et al.*, 2018) pour la station de Tituila aux îles Samoa qui ont servi de référence (Illustration 94).

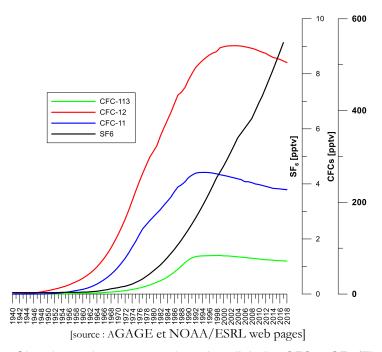


Illustration 94: Chroniques des concentrations dans l'air des CFC et SF6 (Tituila, Samoa).

6.5.2. Méthode de prélèvement

Les prélèvements d'eau doivent être réalisés de manière à ce que l'échantillon ne soit jamais en contact avec l'atmosphère. Dans cet objectif, Oster *at al.* (1996) ont défini un protocole basé sur l'utilisation de flacons en verre de 500 ml eux même placés dans un récipient métallique (Illustration 95) qui est également rempli d'eau prélevée puis scellé.

Les analyses des gaz dissous (CFC, SF₆) ne font pas l'objet de normes ISO mais le recours à un contrôle continu avec l'utilisation de standards internes et la participation à des exercices de calibration inter-laboratoires permettent de garantir l'obtention de faibles incertitudes (environ 5 %).

Les CFC sont dosés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé d'un capteur à détecteur d'électrons. Le SF_6 est dosé de la même manière mais une préconcentration initiale de type « purge-and-trap » doit être mise en œuvre. Au final, les concentrations s'expriment en pmol/l pour les CFC et en fmol/l pour le SF_6 .



Illustration 95 : Système de prélèvement utilisé en vue du dosage des CFC et SF6

Il convient de noter que plusieurs phénomènes peuvent entraîner une altération de la concentration en gaz dissous :

Contamination du milieu ou de l'échantillon : le milieu peut être contaminé par la présence d'objets contenant des fréons ou du SF₆ (vieux frigos, transformateurs électriques...). Le non-respect des consignes de prélèvement (contact de l'échantillon avec l'atmosphère actuelle, mauvaise fermeture du flacon...) peut également conduire à une contamination de l'échantillon.

Dégradation : les gaz dissous peuvent être dégradés dans un environnement réducteur, de même que par la présence de matière organique dissoute dans l'échantillon.

Excès d'air: lors des épisodes de recharge, une quantité de gaz additionnelle peut être dissoute sous une pression supérieure à la pression atmosphérique (Wilson et McNeill, 1997). Ce phénomène concerne très fréquemment le SF₆ et dans une moindre mesure le CFC-12.

Formation géogénique : pour le SF₆, il existe un possible apport terrigène en milieu sédimentaire ou riche en fluor ou en soufre.

6.5.3. Estimation des temps moyens de transfert

L'estimation du temps moyen de transfert d'une eau souterraine passe par la prise en compte des concentrations en gaz dissous mais également par l'identification du modèle de circulation le plus probable. Parmi ces modèles, on distingue (Illustration 96) :

- le modèle « piston » qui considère qu'il n'y a pas de mélange entre l'impluvium et la zone de captage ni de modification des activités par dispersion, diffusion ou échange direct ;
- le modèle « exponentiel » qui considère une stratification verticale des âges qui croissent logarithmiquement de 0 à l'infini de la surface de la nappe à sa base, ce qui peut correspondre à un aquifère homogène d'épaisseur négligeable pour lequel la recharge se fait sur toute la surface;
- le modèle « mélange » qui considère un mélange entre 2 pôles différents.

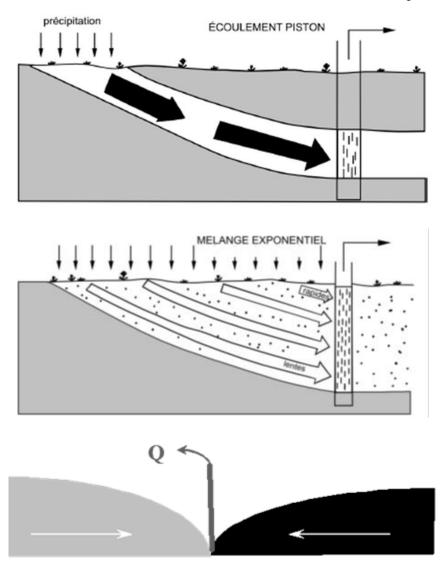


Illustration 96 : Modèles d'écoulement type piston, exponentiel et mélange binaire.

6.5.4. Résultats obtenus à Moorea

Compte tenu des contraintes de prélèvement, seuls 6 points d'eau ont pu faire l'objet de prélèvements en vue du dosage des CFC et du SF₆ à Moorea. A noter que la source Vaiva n'a pas pu faire l'objet de prélèvements compte tenu des installations de captage (contamination atmosphérique inévitable).

Sur la base d'un modèle de type exponentiel, des âges compris entre 10 et 100 ans ont pu être calculés (Illustration 97).

Les eaux prélevées au droit de la zone d'intérêt sur le point MO_4 se sont avérées les plus jeunes (une dizaine d'années). Deux points se sont caractérisés par des âges un peu plus anciens de 16 à 25 ans (MO_14 et MO_16). Des eaux plus anciennes (90-100 ans) ont été identifiées au droit des points MO_12 et MO_13. Le point d'eau MO_15 s'est enfin caractérisé par un âge intermédiaire de l'ordre de 50 à 60 ans.

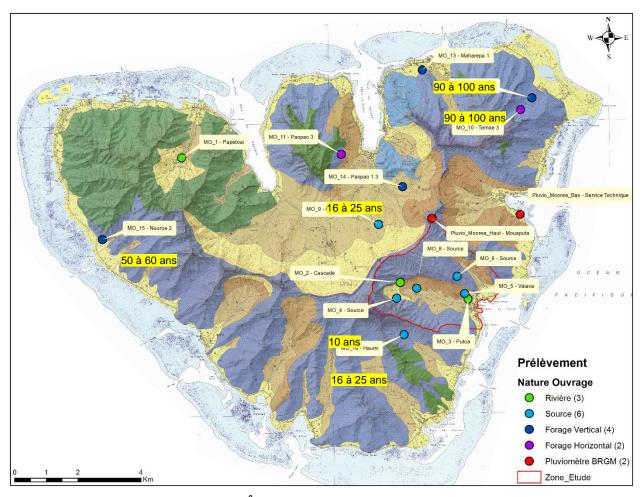


Illustration 97 : Âges calculés pour 6 points d'eau à Moorea.

6.6. SYNTHÈSE

Les analyses mises en œuvre sur 15 points d'eau souterraine (ESO) et superficielle (ESU) ont permis de mettre en évidence :

- le caractère bicarbonaté calcique majoritaire des eaux ;
- un chimisme des eaux plus varié qu'à Tahiti et différent de Ua Pou mais qui reste relativement homogène, ce qui laisse supposer des processus d'acquisition de la minéralisation (interactions eau-roche) relativement similaires d'un point à un autre ;
- un enrichissement systématique en sodium lié à l'environnement géologique (essentiellement constitué de roches alcalines) ;
- un faible risque de fond hydrogéochimique élevé pour les éléments analysés (à l'exception de la frange côtière où une intrusion saline est possible). Les teneurs en nitrates restent faibles dans les secteurs agricoles et le bore et le strontium constituent les 2 éléments traces les plus abondants ;
- un phénomène d'intrusion saline marqué sur le forage Maharepa 1 (MO_13) avec une contribution de l'eau de mer évaluée à 8 %;
- l'origine géologique (sollicitation d'horizons phonolitiques) des fortes teneurs en sodium observées sur le forage Nuuroa 2 (MO_15);

- des compositions isotopiques relativement similaires en ce qui concerne le strontium au droit de la zone d'intérêt (secteur d'Afareaitu), confirmant ainsi des processus d'acquisition de la minéralisation relativement semblables ;
- la contribution plus que probable des eaux souterraines au débit des cours d'eau même si au droit de certains points de contrôle (ex : cascade d'Hotutea), le débit écoulé semble essentiellement correspondre à des eaux ruisselées ;
- un net appauvrissement des eaux souterraines par rapport à la composition moyenne pondérée et annuelle des pluies, ce qui suggère une alimentation par les pluies les plus abondantes (effet de masse) et/ou tombées le plus en altitude ;
- des temps moyens de résidence allant d'une dizaine d'années à un peu moins d'une centaine d'années. À noter que les âges les plus anciens qui ont été observés dans le nord-est de l'île correspondent également aux teneurs isotopiques les plus appauvries; ces dernières pouvant témoigner d'une contribution prépondérante de zones élevées et lointaines dans l'alimentation de ces ouvrages.

7. Modèle conceptuel

Sur la base des résultats des différentes investigations, il est possible de proposer un modèle conceptuel hydrogéologique pour la zone d'intérêt située en amont d'Afareaitu.

Le modèle retenu correspond à celui d'un bassin versant limité par de hautes crêtes culminant à 700 ou 800 m d'altitude et présentant un allongement nord-ouest/sud-est d'environ 6,5 km. Entre les crêtes et les cascades que l'on retrouve généralement à mi-pente au contact entre les formations basaltiques du Mouaputa ($^{v1}\beta^2$) et les brèches plus anciennes (br1), se développe un plateau en pente douce constitué de coulées fraîches et vacuolaires propices à l'infiltration des eaux météoriques (Illustration 98). La présence de petites sources au sein de cet horizon est néanmoins possible.

Au droit du plateau, l'infiltration serait prépondérante comme semble l'indiquer la carte d'Indice et de Persistance des Réseaux (IDPR). Les eaux s'écouleraient ensuite selon le sens des coulées au sein des brèches. Ces dernières comportent en effet des niveaux laviques plus ou moins poreux et fracturés qui sont également propices à la circulation des eaux souterraines. Les eaux de ruissellement sont, quant à elles, drainées par le réseau hydrographique et rejoignent la partie aval par le biais de cascades.

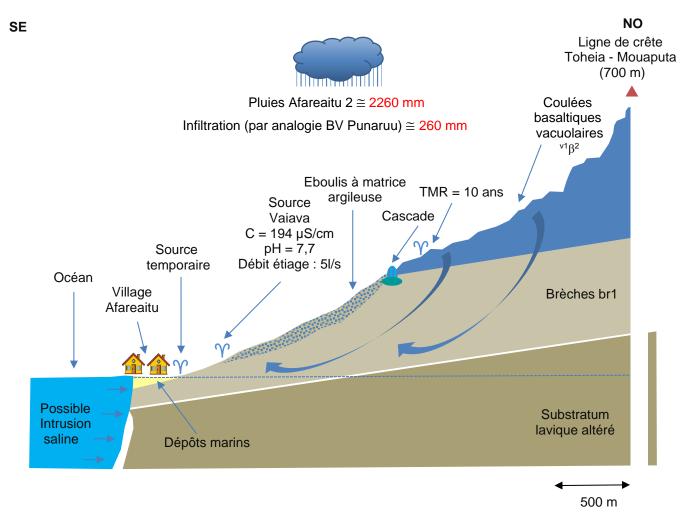


Illustration 98 : Modèle conceptuel hydrogéologique défini pour la zone d'intérêt d'Afareaitu.

En contre-haut du village d'Afareaitu, la source Vaiva dont les caractéristiques physico-chimiques semblent compatibles avec la production d'eau potable serait alimentée par les eaux infiltrées sur le plateau ainsi que par des circulations plus superficielles au sein d'éboulis présentant une matrice argileuse et ressortant comme conducteur sur la tomographie P6 (épaisseur de l'ordre de 40 mètres).

En l'absence de station pluviométrique d'altitude et de station limnimétrique, il est difficile d'évaluer le volume infiltré au droit du bassin versant. Si l'on se réfère toutefois aux éléments de bilan calculés pour le bassin versant de la Punaruu qui se caractérise par une pluviométrie moyenne (2100 mm) proche de celle enregistrée au poste d'Afareaitu 2 (2260 mm) et qui présente également une zone d'infiltration privilégiée dans sa partie amont (Plateau des Orangers), on peut retenir un pourcentage d'infiltration de 11,5 %, soit un cumul de 260 mm pour la zone d'intérêt d'Afareaitu. Rapporté à la superficie du plateau (environ 1 km²), un tel cumul permet d'estimer le volume infiltré à 260 000 m³ et de calculer un débit restituable de 8 l/s, ce qui est proche du débit observé sur la source Vaiava (débit d'étiage estimé à 5 l/s).

Sur la frange littorale, la présence de formations marines et/ou la présence d'un substratum lavique très altéré à faible profondeur (repéré au fond des vallées lors des investigations géologiques) provoquent l'émergence de petites sources temporaires (sources de débordement). L'intrusion marine, bien que possible, n'a pas été observée en l'absence de forages.

Sur le plan isotopique, les 2 sources situées à l'aval direct du plateau basaltique (dont la source Vaiava) présentent les teneurs les plus appauvries de la zone d'intérêt ainsi que des teneurs inférieures à la composition moyenne pondérée et annuelle des pluies. Ceci suggère une alimentation par les pluies les plus abondantes (effet de masse) et/ou tombées à haute altitude.

En ce qui concerne les datations, un âge de 10 ans a pu être calculé pour une source située en contre-bas du Toheia, au sein des formations basaltiques du bouclier principal. La source Vaiava n'a pas pu faire l'objet d'une telle datation compte tenu des équipements de captage.

En dehors de la zone d'intérêt, les investigations n'ont pas été assez poussées pour pouvoir établir d'autres modèles conceptuels. On retiendra néanmoins qu'à l'exception de la frange littorale où le risque d'intrusion saline est important et des forages qui intercepteraient une grande épaisseur de phonolites (roche riche en alcalins), le risque de fond géochimique élevé est faible.

Pour les forages situés dans le quart nord-est de l'île, les teneurs isotopiques appauvries et les âges importants (de l'ordre de 100 ans) suggèrent une contribution prépondérante de zones élevées et lointaines dans l'alimentation de ces ouvrages.

8. Conclusion

Les investigations menées sur l'île de Moorea entre septembre 2017 et mars 2019 ont principalement porté sur une zone d'intérêt située en amont d'Afareaitu et définie par la commune et la Polynésienne des Eaux. Des investigations plus ponctuelles (réinterprétation de pompages d'essai, diagraphies, prélèvements, ...) ont également été menées au droit de différents secteurs dans l'objectif de caractériser les phénomènes hydrogéologiques à plus grande échelle.

Au droit de la zone d'intérêt d'Afareaitu, le modèle hydrogéologique conceptuel établi met en évidence le rôle prépondérant du plateau constitué de coulées fraîches basaltiques qui surmonte les formations bréchiques. De par leur nature vacuolaire, les laves permettraient aux eaux météoriques de s'infiltrer et de contribuer à l'alimentation des sources situées plus bas et notamment de la source Vaiava.

Cette dernière présente un débit d'étiage non négligeable (de l'ordre de 5 l/s) ainsi qu'une qualité physico-chimique qui semble compatible avec la production d'eau potable. Elle est actuellement captée pour les besoins des habitations situées en contre-bas mais pourrait constituer une ressource d'intérêt communal.

Dans ce secteur, la réalisation d'un forage horizontal visant à intercepter les brèches qui contiennent des passées poreuses et/ou fracturées est envisageable mais il existe un risque de ne pas intercepter de tels niveaux. Il existe également un risque d'assécher la source si cet ouvrage venait à être productif. La réalisation d'un forage vertical est, quant à elle, proscrite dans la mesure où le substratum, a priori très altéré, semble se situer à faible profondeur sous le niveau 0 m NGPF.

En dehors de la zone d'intérêt, les investigations n'ont pas été assez poussées pour pouvoir établir d'autres modèles conceptuels mais il semble que les formations volcaniques sous faible recouvrement altéré situées au-dessus de la cote -30 m NGPF et à distance de la côte (au-delà de 700 m) constituent une cible à privilégier. Les paléo-vallées remplies de matériaux détritiques pourraient également constituer des axes de drainage privilégiés pour les eaux souterraines mais les résultats peuvent être aléatoires compte tenu de la nature potentiellement argileuse du remplissage.

Si l'on souhaite reconnaître ces formations à grande échelle, les techniques géophysiques aéroportées semblent adaptées. Sur la base d'un premier traitement des données acquises en vol, il est en effet possible d'établir une cartographie des secteurs pouvant se caractériser par la présence d'un aquifère significatif. Une fois classés en fonction des intérêts communaux et des contraintes foncières, ces derniers doivent alors faire l'objet de reconnaissances de terrain complémentaires afin de confirmer leur intérêt. Au terme de cette phase et d'un traitement plus fin des données, une sélection de sites favorables à l'implantation de forages peut alors être fournie.

Sur le plan de la qualité, aucun problème majeur n'a été relevé à l'exception de phénomènes d'intrusion salée sur le forage Maharepa 1 et d'un enrichissement systématique en sodium lié à l'environnement géologique. A noter que ce dernier est nettement marqué au droit des forages de Nuuroa en raison de la présence de phonolites dans le sous-sol.

Au-delà de ces résultats, il apparaît que l'approche pluridisciplinaire mise en œuvre s'est avérée adaptée pour mieux préciser le potentiel et les caractéristiques des formations volcaniques de l'île de Moorea.

L'échantillonnage des pluies s'est par contre avéré trop limité dans le temps pour déterminer avec précision l'origine géographique des eaux prélevées. Compte tenu de cette observation, il est recommandé que le suivi isotopique des pluies puisse être mené sur au moins 2 cycles hydrologiques à partir de dispositifs permettant de récupérer l'ensemble des précipitations si de nouvelles zones devaient faire l'objet d'une approche similaire.

On peut également recommander que le nombre de prélèvements soit étendu à un plus grand nombre de points d'eau et que plusieurs forages puissent être instrumentés en vue d'un suivi des niveaux piézométriques et de paramètres physiques tels que la température et la conductivité si l'on souhaite appréhender de façon plus fine les mécanismes hydrogéologiques.

Sur le plan opérationnel, le captage de la source Vaiva et les reconnaissances géophysiques aéroportées constituent donc 2 pistes de sécurisation de l'approvisionnement en eau potable de l'île. La première pourrait être mise en œuvre à court terme (dans l'année à venir) après des travaux d'aménagement et la seconde, à moyen terme (dans les 3 ans à venir) au travers d'un partenariat avec un opérateur spécialisé. Son coût a été évalué à environ 390 000 XPF/km² investigué.

9. Bibliographie

Araguas L., Froelich K., Rozanski K. (1998) - Stable isotope composition of precipitation over southeast Asia. Journal of Geophysical Research, 103, D22, 28721-28742.

BESET (2003) - Rapport technique : l'installation d'un nouveau forage d'eau potable. SA Jus de fruit de Moorea. 30 p.

Bourdet, Whittle T.M., Dougals A.A., Pirard V.M. (1983) - A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.

Bourdet D., Ayoud J.A. and Prirard Y.M. (1989) - Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.

Bretaudeau F., Mathieur F., François B. (2016) - Investigations sismiques et électriques sur le Mont Baduel, Guyane Française. Rapport final. BRGM/RP-65823-FR, 99 p., 74 fig., 3 tabl., 3 ann.

CHSP (2019) - Qualité des eaux destinées à la consommation humaine à Tahiti et dans les îles. Rapport 2018.

Clouard V., Bonneville A. (2004) - Submarine landslides in French Polynesia. Oceanic hotspots. Ed. Springer, pp. 209-238.

Corbier P., Pasquier S. (2018) - Programme d'actions pour l'exploitation et la gestion des eaux souterraines de la Polynésie française. Inventaire des données existantes sur les îles de Moorea, Maiao, Huahine, Raiatea, Taha'a, Ua Pou, Makatea et Rangiroa. Rapport final. BRGM/RP-67128-FR, 137 p., 95 ill., 4 ann.

Direction de l'Ingénierie Publique et des Affaires Communales (DIPAC) (2009) - Délimitation des périmètres de protection des captages destinés à l'alimentation en eau potable de la commune de Moorea-Maiao. Phase 1 : études préalables, rapport définitif. 396 pp.

Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J., (1992) - Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.

Duvert C., Raiber M., Owen D. D. R., Cendón D. I., Batiot-Guilhe C., Cox M. E. (2015) - Hydrochemical pro-cesses in a shallow coal seam gas aquifer and its over-lying stream–alluvial system: implications for recharge and inter-aquifer connectivity, Appl. Geochem., 61, 146–159,doi:10.1016/j.apgeochem.2015.05.021.

Gallant J.C., Wilson J.P. (2000) - Primary topographic attributes in J.P. Wilson, J.C. Gallant (Eds.), Terrain Analysis: Principles and Applications, Wiley, New York (2000), pp. 51-85.

Gat J.R. (1996) - Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. Annu. Rev. Earth Planet Sci. 24, 225–262.

Guillen J. (2018) - Prospection de nouvelles ressources sur Paopao, Marché N°15/2017 - Forage de reconnaissance, rapport d'exécution (1ère partie).

Hassler K., Dähnke K., Kölling M., Sichoix L., Nickl A.L., Moosdorf N. (2019) - Provenance of nutrients in submarine fresh groundwater discharge on Tahiti and Moorea, French Polynesia. Applied Geochemistry, 100, 181-189.

Hémond C., Devey C.W., Chauvel C. (1994) - Source compositions and melting processes in the Society and Austral plumes: element and isotope (Sr, Nd, Pb, Th) geochemistry. Chem. Geol., 115 (1994), pp. 7-45.

Herrera C., Custodio E. (2008) - Conceptual hydrogeological model of Easter Island (Chile) after chemical and isotopic survey. Hydrogeology journal, 16:1329-1348.

Hildenbrand A., Gillot P.Y, Le Roy I. (2004) - Volcano-tentonic and geochemical evolution of an oceanic intra-plate volcano: Tahiti-Nui (French Polynesia). Earth and Planetary Science Letters, 217(3), pp. 349-365.

Houdre G. (2013) - Actualisation du Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de la commune de Moorea-Maiao. Rapport de Phase 1. Egis Eau, 268p.

IAEA (1992) - Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation, Tech. Rep. Serie, vol. 331, 720 pp., Vienna.

IAEA (2006) - Use of Chlorofluorocarbons in hydrology: A guidebook. STI/PUB 1238, IAEA, Vienna. 277p.

LTPP (1971) - Reconnaissance hydrogéologique, vallée de Temae, baie de Paopao. Dossier N°70564. 16p.

LTPP (1974) - Reconnaissance hydrogéologique, secteur de Paopao. Rapport N°4544, dossier N°74835. 10p.

LTPP (1977) - Reconnaissance hydrogéologique, secteur d'Opunohu. Dossier N°78001. 21p.

LTPP (1977) - Reconnaissance hydrologique, secteur NW, deuxième phase. Rapport N°5971, dossier N°74835. 30p.

LTPP (1980) - Reconnaissance hydrogéologique, secteur de Maharepa. Rapport N°7439, dossier N° 80052. 4p.

LTPP (1980) - Études des ressources en eau, île de Moorea, rapport préliminaire. Rapport N°7435, dossier N°80062. 53p.

LTPP (1981) - Étude globale des ressources en eau, île de Moorea. Rapport N°8249, dossier 80062. 89 p.

LTPP (1981) - Sondage de reconnaissance, essais de pompage 2^{ème} phase, secteur de Maharepa. Rapport N°7684, dossier N°80062. 18p.

LTPP (1985) - Forage d'eau, reconnaissance hydrogéologique. Note technique N°85/592. Rapport N°85/778/CP/BB, dossier N° 85087. 8p.

LTPP (1987) - Sondages de reconnaissance hydrogéologique à Haapiti et Vaiare. Complémentaire à la note technique N°85/592. Rapport N°87/331, dossier N°87 024. 43p.

LTPP (1988) - Sondages de reconnaissance S3 et S4, Maharepa – Essais de pompage. PVE N°88/1046, D.88.099.

Mardhel V., Gravier A. (2005) - Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines du Bassin Seine-Normandie. Rapport BRGM RP-54148-FR, 92 p.

Maury R.C., Le Dez A. (2000) - Carte géol. France (1/25 000), feuille Moorea – Polynésie française. Orléans : BRGM. Notice explicative par Maury R.C., Le Dez A., Guillou H. (2000) 62p.

Maury R.C., Le Dez A., Guillou H. (2000) - Notice explicative, Carte géol. France (1/25 000), feuille Moorea – Polynésie française. Orléans : BRGM, 62 p. Carte géologique par Maury R.C., Le Dez A. (2000).

Newmann B.D., Osenbruck K., Aeschbach-Hertig W., Solomon K., Cook P., Rozanski K., Kipfer R. (2010) - D ating of "young" groundwater using environmental tracers: advantages, applications, and research needs. Isotopes in Environmental and Health Studies, 46:3, 259-278

NOAA/ESRL (2019) - Chloroflurocarbon-11, Chloroflurocarbon-12, Chloroflurocarbon-113, Sulfur hexaflouride data from the NOAA/ESRL halocarbons in situ program DOI: http://doi.org/10.7289/V5X0659V.

Oster H., Sonntag C., Munnich K.O., (1996) - Groudwater age dating with chlorofluorocarbons, Water Ressour. Res., Vol. 32, No. 10, 2989-3001.

Ozog R., Vernoux J.F. (2012) - Inventaire des données relatives à l'eau souterraine disponibles à Tahiti. Rapport final BRGM/RP-61597-FR, 102 p., 35 figures, 21 tableaux, 2 annexes.

Permana D. S., Thompson L.G., Setyadi G. (2016) - Tropical West Pacific moisture dynamics and climate controls on rainfall isotopic ratios in southern Papua, Indonesia, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 2222–2245, doi:10.1002/2015JD023893.

Prinn R.G., Weiss R.F., Frasser P.J. et al. (2000) - A History of Chemically and Radiatively Important Gases in Air deduced from ALE/GAGE/AGAGE, J. Geophys. Res., 150, 17,751-17,792.

Renard Ph., Glenz D. and M. Mejias. (2009) - Understanding diagnostic plots for well-test interpretation. Hydrogeology Journal. 17: 589–600.

Rozanski K., Araguás L., Gonfiantini R. (1993) - Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation, in: Climate Change in Continental Isotopic Records, edited by Swart, P. K., Lohman, K. C., McKenzie, J., and Savin, S., 1–36, American Geophysical Union, Washington D.C., USA, doi:10.1029/GM078p0001.

Scholl M.A., Ingebritsen S.E., Janik C.J., Kauahikaua J.P. (1996) - Use of precipitation and ground water isotopes to interpret regional hydrology on a tropical volcanic island: Kilauea volcano area, Hawaii. Water Resour. Res. 32 (12), 3525–3537.

Scholl M.A., Gingerich S.B., Tribble G.W. (2002) - The influence of microclimates and fog on stable isotope signatures used in interpretation of regional hydrology: East Maui, Hawaii. Journal of Hydrology, 264, 170-184.

Shlumberger (2002) - Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap. 122 p.

Spane F.A. and Wurstner S.K. (1993) - DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives fir use in hydraulic test analysis.

SPCPF (1995) - Forages Maharepa, compte rendu de mission.

SPEED (1990) - Études des ressources en eau. Reconnaissance mécanique, évaluation des potentialités, secteurs de Paopao, Temae et Maharepa.

SPEED (1998) - Schéma directeur de l'alimentation en eau potable de Moorea, recherche de nouvelles ressources. Rapport de 3^{ème} phase, campagne de reconnaissance mécanique. 32 p.

SPEED – LTPP (2015) - Recherche de nouvelles ressources en eau pour le secteur sud de l'île de Moorea, Phase 1 : Analyse de la situation existante et définition du contexte hydrogéologique. N° affaire 1694 15 EAU, 130 p.

Vai-Natura (2016) - Exploration de la vallée de Paopao pour en apprécier le potentiel hydraulique, Moorea. Rapport d'analyse R20160411-HY, 46p.

White W.M., Duncan R.A. (1996) - Geochemistry and Geochronology of the Society Islands: New Evidence For Deep Mantle Recycling. Isotope Studies of Crust-Mantle Evolution, Amer. Geophys. Union, Geophysical Monograph, 95, p. 183-206.

Wilson G. B., McNeill G. W. (1997) - Noble gas recharge temperatures and the excess air component. Appl. Geochem.12(6), 747–762.

Annexe 1

Données des reconnaissances géologiques

	ntre les ionaire				atre les	vionaire	c volant de						voir									2																									
CONTEXTE HYDROGEOL	Source semble sortir à la limite entre les brèches et le recouvrement colluvionaire	,			Source semble sortir à la limite entre les	saprolites et le recouvrement colluvionaire	Source/Résurgence à la base d'un bloc volant de brèches	/	Suintements	Suintements			Origine de la source difficile à voir	,	,				Suintements	/		Venue d'eau ferrugineuse (?)	,		, ,			,				,		•	,							,	,				
COMMENTAIRE	Brèche volcanique cohésive à clastes de toutes tailles (maxi métrique) et de nature différente emballés dans matrice fine grise-marron	Alternance de coulées et de brèches scoriacées inter-coulées (semelles) métriques, début d'argilisation des prèches scoriacées	10m de brèches cohésives à lapillis en cours d'érosion par la cascade reposant sur une coulée massive non	vasiculee etfracturee 60m de brèches soudées de 5-7m de puissance alternant avec de rares coulées massives. Les brèches sont	probablement d'origines différentes	Affleurement limité (quelques m2) de saprolites laviques à rares vacuoles en cours de colmatage	Alluvions torretielles sub-actuelles	Alluvions / Colluvions à blocs dm pris dans une matrice arglieuse ocre	20-30m de basalte lavique avec belle alternance métrique de coulées massives vésuculées (parfois avec zéolithes) et de brèches intercoulée (type aa ?)	20-30m de basalte lavique avec belle alternance métrique de coulées massives vésuculées (parfois avec sontitues) et de pràcipe interroulée (true aa ?)	20-30m de basalte lavique avec belle alternance métrique de coulées massives vésuculées (parfois avec	zeoilthes) et de breches intercoulee (type aa ?) 10m de basalte massif gris clair à rares vacuoles, dyke ou bordure de lavatube ?	Colluvions à blocs emballés dans une matrice brune	Alternance de coulées et de brèches scoriacées inter-coulées (semelles) métriques brêches scoriacées bien arglisées, basalte massif en début de saprolitisation	Basalte massif à larges vésicules généralement zéolithisées	Basalte massif à larges vésicules, présence de semelle scoriacée Dott afflaurement de basalte véciculé altéré en boules (canodites)	Lave vésiculée massive à débit en dalles, altérée en saprolites vers le haut du profil et recouverte par 1m de	colluvions	Lave tres vacuolaire, avec presence de nombreux zeolitnes Falaise massive avec niveau bréchinues nius en hauteur. Présone d'un duke hien dévelonné	Dyke très frai de 2m de puissance, prismé, s'intrudant dans une brèche scoriacée	Dyke très frai de 1m de puissance, prismé, s'intrudant dans une coulée basaltique vésiculée	Succession fine de niveau laviques et pyrociastiques (?) ou de coulées très fines de type pa hoe hoe Série volcano-sédimentaire présentant une alternance de coulées, de brèches scoriacées inter-coulées	(semelles), de brèches soudées (phréatomagmatiques ?) et de cinérites, sur 80m de puissance	Atérites orangées de lave vésiculée, sol argileux	Alternance de coulées plus ou moins vériculées (2 m max) et de mineaux bréchiques soudés à éléments divers (croisées plus ou moins vériculées (2 m max) et de mineaux bréchiques soudés à éléments divers (croisées à maséfé mas dérimétriques) nris dans une matrie roune	Coulées de basaltes bien vésiculées (Pa ho hoe?) formant des niveaux tabulaires horizontaux. Par-dessus : Thérhes suihartialias (alluminn/laharx)	Alternance de niveaux laviques sains plus ou moins vésiculés mais généralement bien fracturés et de niveaux المناطقية المناطق	Alternance de coulées et de brèches intercoulées de couleur rouge-orangée, altération parfois importante la Jaroilleasinon.	Alternance de coulées et de brêches intercoulée couleur rouge-orangée, altération parfois importante (asset annue) a familiarion	Dyke basaltique arme la crête et le sommet du Moua Puta	Brèche scoriacée rougeâtre Brèche scoriacée rougeâtre	Brèche scoriacée rougeâtre, passés plus massifs grisâtres	Coulée bien vésiculée (1m de puissance) alternant avec une brèche inter-coulée scoriacée Affleurement limité (quelques m2, en place?) de saprolites de lave massive aphyrique à cassure esquilleuse et	altération blancar de la trèche inter-coulée eur 2 m de ouireance nondens user l'aval. Autour - collusione à	Atternance de lave et de Oreche inter-coulee sur sin de puissance, pendage vers Lavar Autour = colluviors a blocs	4m de saprolites laviques grises vésiculées à px altérés	Altemances de coulees fines et de breches inter-coulees, vesiculation importante Colluvions d'altérites lavioues emballées dans une matrice brune	Alluvions actuelles et remblais anthropique	Saprolites grises clair friables	Empliement de coulees de taible puissance, tres vesiculees (pahoehoe ?) Crête armée de lave massive moyennement vésiculée, px automorphes cm	Alternance de brêches et de coulées intrudée par un dyke de 2m de puissance. Présence d'océanites. Origine	des preches soudees ≡ remaniement / prireatomagnatisme ? Alluvions torretielles sub-actuelles	Ple lavique présentant une alternance de coulées vésiculées métriques et de brèches inter-coulées dm recoupée par un dyke	Alluvions torretielles sub-actuelles (galets max dm) Alluvions torretielles cub-actuelles (galets < dm)	Alluvions torretielles sub-actuelles (galets max m). Présence d'altérites laviques vésiculées à plg (saprolites)	au niveau de la route	Attentes landues vestculees a rax pig (saproines) intercaetes entre possible breches Empilement lavique au sommet reposant sur des brèches (vue depuis la route)
ALTERATION	Moyenne (Saprolites)	Moyenne pour les brèches intercoulées, faible pour les coulées	_	es, faible pour	les conlées	Importante (Saprolites évoluées)	/	/	Faible	Nulle	Nulle	Faible		Importante (Saprolites évoluées)	Faible	Faible Moveme (Seprolites)		(councides) suitable	Movenne (Saprolites)	Faible (dyke), forte (encaissant)	Faible (dyke), forte (encaissant)	Moyenne Moyenne pour les brèches, faible pour	les coulées	Importante (saprolites évoluées)	Moyenne pour les brèches, faible pour	nne	Faible	Importante (Saprolites évoluées)	Importante (Saprolites évoluées)	Importante (Saprolites évoluées)	Importante (Saprolites évoluées) Importante (Saprolites évoluées)	Importante (Saprolites évoluées)		MOYELLIE		Importante (Saprolites évoluées)	Moyenne		Moyenne (Saprolites)	Faible à nulle		intercoulees, raible pour les coulees	Faible à la base de l'affleurement, moyenne (saprolite) au sommet			Macrona (canaditar)	Moyerne (saprontes) Faible
FRACTURATION	Nulle	Faible	portante	portante	dans les coulées	Nule	,	/	Moyenne à forte	Forte	Forte	Faible		Faible	Importante	Importante Faible (2)	Forte	3 -	Movenne	Forte	Forte	Faible Nulle dans les brèches, importante		Faible	Nulle dans les brèches, importante dans les coulées	Moyenne	Forte	Faible à moyenne	Faible	Faible	Faible/Nulle Faible/Nulle	Faible/Nulle	Faible	355	Faible	Moyenne	Importante /	. \	Moyenne	Importante	Nulle dans les brèches, importante	dans les coulees	Faible dans les brèches, importante dans les coulées		, ,	Control of column	Nulle dans les brèches, importante
STRUCTURE	,	Ecoulement vers le N110		. \		,	,	/	Ecoulement vers le N145	Ecoulement vers le N120	,	Dyke (?) N100, vertical	/	,		Ecoulement vers le N110	, ,) Dvke N140 75F	Dyke N140, 75E	Dyke N150, 60E		,			,	,	,	`	Dyke N050, vertical		,	, ,	,	,						Dyke N050, 65E		Dyke N140, 90	, ,		, ,	
ПТНО	Lahar	Basalte sub-aphyrique	Basalte aphyrique	Juff.		Basalte à ol/px	Alluvions	Alluvions	Basalte sub-aphyrique	Basalte à ol/px	Basalte à ol/px	Basalte à ol/px	Colluvions	Basalte à ol/px	Basafte à px/ol	Basalte à px/ol	Basalta arbivrigio	anhi kida aman	Basalte	Basalte à ol/px/plg	Basalte à px/ol/plg	Basalte	Tuff	Basalte à px	Basalte à px/ol	Basalte sub-aphyrique	Basalte	Basalte	Basalte	Basalte	Brèche Brèche	Brèche	Basalte sub-aphyrique	rave illerinediale	Basalte	Basalte à px	Basalte a px Colluvions	Alluvions	Basalte à px/ol	Basalte a pig Basalte à px/ol	Basalte	Alluvions	Basalte à px/ol	Alluvions	Alliwions	December & relation force	Basalte a pig/oi/px
FORMATION	Brèche	Série lavique	Brèche	Série bréchique		Lave	Alluvions	Alluvions	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Colluvions	Série lavique	Lave	Lave	9/10		Série lavione	Dyke	Lave	Série lavidue	Série bréchique	Lave	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Série lavique	Brèche		Lave	רפאע	Série lavique	Série lavique	Colluvions	Alluvions	Lave	Serie lavique Lave	Série bréchique	Alluvions	Série lavique	Alluvions	Alliwions	Cheiologiano	Série lavique
IYPE AFF	Bordure rivière	Bordure rivière	Cascade		T	Source	Bordure rivière	Bordure rivière	Falaise	Falaise	Falaise	Bordure rivière	Source	Talus	Crête	Talus	Talic		Falaise	Bordure rivière	Bordure rivière	ere		Chemin	Falaise	Chemin	Chemin	Chemin	Chemin	Chemin	Chemin	Chemin	Bordure rivière		Bordure rivière	Talus	Talus	Bordure rivière	Talus	Talus		ē	Talus	Bordure rivière	Bordure rivière	Signal Signal	Falaise
sd87	177,771	78,80	150,42	176,65		13,86	63,91	98'96	149,75	193,13	192,88	335,11	234,43	148,71	112,44	121,54	42 98	Section .	290.83	272,08	245,59	204,07	97,46	92,07	239,80	305,46	363,67	464,63	496,55	830,00	707.03	615,94	385,25	202,30	127,43	118,43	43.51	62'9	31,62	45,24 173,19	171,41	123,69	35,04	12,96	18.95	10,01	4,48
>	8057518	8058455	8058849	8058793		8057646	8057871	8058053	8058097	8058095	8058204	8058438	8058203	8058061	8057866	8058008	8058138	000000	805/632	8057528	8057547	8057535	8058158	8057894	8058745	8059019	8059299	8059522	8059604	8060029	8059920	8059736	8059343	+0000C00	8058673	8058587	8058340	8057906	8056938	8056816 8056644	9767508	8057885	8056714	8057470	8057533	0001000	8057665
×	201233	203283	203015			203384	203265	203235	203197	203112	203266	202865	203137	203423	203659	203582	203627	20000	200738	200971	201099	201207	201911		202873	202766	202616	202337	202336	202355	202356	202408	202577	203003	203143	203253	203623	204007	203251	2031/1	201362	201522	203713	203492	202625	002020	204348
POINT GEOL	MO-001	MO-002	MO-003	MO-004		MO-005	900-OW	MO-007	MO-008	600-OM	MO-010	MO-011	MO-012	MO-013	MO-014	MO-015	MO-017	3	MO-018	MO-020	MO-021	MO-022	MO-023	MO-024	MO-026	MO-027	MO-028	MO-029	MO-030	MO-031	MO-032 MO-033	MO-034	MO-035	8	MO-037	MO-038	MO-040	MO-041	MO-042	MO-043	MO-045	MO-046	MO-047	MO-048	050-0M	2000	MO-052

Annexe 2

Informations sur les ouvrages inventoriés à Moorea

			П		2		Τ	Ι			7		П	_	_				_	_		П		T			1	T					J	Т		П	1			<u>ш</u>
Source	LTPP 71 - SDAEP 2012	LTPP 71 - SDAEP 2012	SDAEP 2012	LTPP 71	SPEED 1990 - SDAEP 2012	SDAEP 2012	LTPP 80 (80052 - 7349)	LTPP 80 (80052 - 7349)	LTPP 80 (80052 - 7684)	LTPP 80 (80052 - 7684)	SPEED 90 - SPC 95	SDAEP 2012	SPEED 90	BRGM (Terrain 02/2017)	BRGM (Terrain 02/2017)	BRGM (Terrain 02/2017)	BESET 2003	BESET 2003	BRGM (Terrain 02/2017)	BRGM (Terrain 02/2017)	LTPP 87 (87024)	SDAEP 2012	Vai-Natura 2016	SPEED 98	SPEED 98	SPEED 98	SPEED 98	SPEED 98	LIPP // (/4835 - 59/1) LTPP 77 (74835 - 5971)	LTPP 77 (74835 - 5971)	LTPP 77 (74835 - 5971)	LTPP 77 (74835 - 5971)	LTPP 77 (74835 - 5971)	LIFF // (14650 - 55/1)	LTPP 77 (78001)	LTPP (75835)	LTPP (75835)	LTPP 87 (87024)	LTPP 87 (87024)	Rapport d'execution BOYER Marché N°15/20117
Remarque		3 forages horizontaux	Au pied d'une cascade, site difficile d'accès	Incident mécanique à 23,9 m lors de la foration	Suivi piézo, débits, fonctionnement de la pompe enregistrés via télégestion	Suivi piézo, débits, fonctionnement de la pompe	30m à l'amont d'une source, eau saumâtre	Débit très faible (Q=0,02 I/s)	Contamination biseau salé	Rebouché	Suivi de la conductivité, contamination biseau salé!	Refus d'accés régulier par le pro priétaire, suivi par télégestion	Eau de mauvaise qualité	pompe bloqué à 17m, utilisable en piézo. Pas de cadenas pour bloqué l'ouverture du forage	Pompe à 25-30 m, niveau piézo à 17m, niveau dynamique à 19m,7 L/s	Pk 11, Mr Te Hotu Rautahi - P&E Yuen	Abandonné et bétonné suite à une contamination au gazole en juillet 2002, situé à 3m du nouveau forage		Ancien forage existant avant au même endroit, pompe à 7m, aucun pb d'intrusion saline	Dispose d'un forage mais refus de communication !! Alimente une partie de l'hotel	Mise en service en 1998, décharge situé en amont	Mise en service en 2003, décharge situé en amont	Forage privée route des ananas, assure l'alimentation de	dueldnes malsons					Non productif - dans le griffon d'une source	201200000000000000000000000000000000000							Sources sous-marine dans le secteur	Sondage arrêtê car uniquement limons argileux fins et homogène dans le sous-sol		Z à 150 d'après MNT
Réalisation	1/61/90/11	27/08/1971	1950	18/05/1971	16/01/1990	1998	1978	1978	10/1980	12/1980	16/01/1990	1998	01/1990		11/2015		1985	12/09/2003	2000	2012	9861/20/71	1986		20/07/1998	31/07/1998	19/08/1998	24/08/1998	18/09/1998		26/03/1975	7/01/1977	30/08/1977	16/08/1977	17/04/1976	12/10/1976			18/06/1986	26/07/1986	09/01/2018
Usage	AEP	AEP	AEP		AEP	AEP					AEP	AEP		Piézo	AEP			Usine de jus de fruit	AEP Hotel	AEP Hotel	AEP	AEP									LTPP 77 (78001)									Reconnaissance 09/01/2018
Etat	Exploité	Exploité	Exploité		Exploité	Exploité				Bouché	Exploité	Exploité	Plus exploité	Non exploité	Exploité	Exploité	Bétonné	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité																		Non exploité
Aquifère capté	Nappe de dyke	Nappe de dyke	Nappe de dyke		Nappe basale	Nappe basale			Nappe basale	Nappe basale	Nappe basale	Nappe basale	Nappe basale				Nappe basale	Nappe basale	Nappe basale		Nappe basale	Nappe basale																		
Distance côte (m)	1700	1750	750 1		1250	550	150		260	Ħ	260	700	1250	1400	1400	180	300	300	300		340	320																		
Profondeur (m)	44,8	48,1		23,9	70,0	83,0		37,0	73,0	45,0	51,0	0′96	85,0	33,0	80,0		49,0	0′09			63,0	63,0		84.0	0,96	40,0	0′96	0,96	11.0	0,06	45,0	36,0	35,0	80,0	0'09			0'6	70,0	70,0
Coordonnées	Validées	Validées	Validées	Inconnues	Validées	Validées	Approximatives	Approximatives	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Inconnues	Validées	Validées	Validées	Inconnues	Inconnues	Inconnues	Inconnues	Inconnues	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Approximatives	Validées
Z	104,8	107,0	154,0	40,0	32,9	34,0			1,4	1,7	1,7	20,0	0'09	71,0	71,0	25,0	15,8	16,1	10,0		8'9	0,7	51,0							22,7		2,7		T						163,0
>-	8063474	8063469	8062051		8063842	8061676	8064912	8064190	8064748	8064724	8064727	8064299	8061054	8061034	8061030	8063271	8064002	8064005	8064283		8059365	8059355	8060566					000000	8063052	8062492	8062407	8062408	8061946	8059496	8060311	8061617	8062519	8060589	8058904	8059684
×	205198	205155	199479		205510	205426	202523	202889	202101	202038	202043	202693	201129	201432	201425	199812	199550	199549	197940		191935	191919	199713					404000	194916	194797	190438	190488	190767	198236	197855		200962	204298	192213	200825
Système Coordonnées	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_65	RGPF UTM Zone 6S	+	+	-	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	(est Taraieie) RGPF_UTM_Zone_6S	(est Taraieie) RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_65	+	RGPF UTM Zone 6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	_	_	RGPF UTM Zone 6S		-		RGPF UTM Zone 65	-	-	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_65
Bassin	Vallée de Temae	Vallée de Temae	(est Rotui)	Vallée de Temae	Vallée de Temae	Vallée Puaue	Papeahi	Papeahi	Vaiterupe	Vaiterupe	Vaiterupe	Papeahi	(est Taraieie)	(est Taraieie)	(est Taraieie)	(est Rotui)	(est Rotui)	Vaioma	Vaipahu	Vaiopiro ?	Niumaru	Niumaru	2000											Opunohu	Opunohu			Vaiare	Niumaru	
Commune associée	Teavaro	Teavaro	Paopao	Teavaro	Teavaro	Teavaro	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Paopao	Papetoai	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Paopao	Haapiti	Haapiti	Paopao	Haapiti	Papetoai	Papetoai	Papetoai	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Papetoai	Papetoai	Paopao	Paopao	Teavaro	Haapiti	Раорао
ell e	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	+	-	-	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea		Moorea	-		-		Moorea	+-		-	Moorea	+	-	-	Moorea	Moorea	Moorea	Moorea
Nature	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Sondage	Vertical	Vertical	Sondage	1			Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical		Vertical					Sondage				Sondage		П		Sondage	Sondage	Sondage	Forage
Now	Temae 2	Temae 3	Paopao 3	Temae 1bis	Temae 1	Teavaro	S1 Maharepa 80	S2 Maharepa 80	S3 Maharepa 80	S4 Maharepa 80	Maharepa 1	Maharepa 2	Paopao 1.1	Paopao 1.2	Paopao 1.3	Pk 11	Rotui 1985	Rotui 2003	Hilton	Intercontinental	S2 1986 - Nuuroa 1	Nuuroa 2		Atiha F2 98	Park Royal F3 98	Rotui F4 98	Haapiti F5 98	Papetoai F7 98	Salluvion 1	S1 Papetoai	S1	52		\$1	52	٧	8	51 1986	53 1986	Paopao 2 - F1
ID Forage	FOR_H_MOO001	FOR_H_MOO002	FOR_H_MOO003	FOR_V_MOO001	FOR_V_MOO002	FOR_V_MO0003	FOR V MOO0004	-	-	\vdash	FOR_V_MOO008	FOR_V_MO0009	FOR_V_MOO010	FOR_V_MOO011	FOR_V_MOO012	FOR_V_MOO013	FOR_V_MOO014	FOR_V_MOO015	FOR_V_MOO016	FOR_V_MOO017	FOR_V_MOO018	FOR V MOO019	FOR_V_MO0021	FOR V MO0022	+	-	FOR_V_MOO025	FOR_V_MO0026	FOR V MOOD28	FOR V MOO029	FOR_V_MOO030	FOR_V_MOO031	FOR_V_MOO032	FOR V MOO034	FOR_V_MOO035	FOR_V_MOO036	FOR_V_MOO037	FOR_V_MOO038	FOR_V_MOO039	FOR_V_MO0040

source	SDAEP 2012	SUAEP 2012	LTPP 81 (80062 - 8249)	LTPP 81 (80062 - 8249)	SDAEP 2012 SDAEP 2012	LTPP	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	LTPP 81 (80062 - 8249)	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAEP 2012	LTPP 81 (80062 – 8249)	SDAEP 2012	SDAEP 2012	LTPP 81 (80062 - 8249)	LTPP 81 (80062 - 8249)	SDAEP 2012	SDAEP 2012	SDAFP 2012	SPEED 2015	LTPP 81 (80062 - 8249)	- LTPP 81 (80062 – 8249)	LTPP 81 (80062 - 8249)	SPEED / LTPP 2015	LTPP 81 (80062 - 8249)	LIPP 81 (80062 – 8249)	LTPP 81 (80062 - 8249)
Remarque		Source tarie suite à la mise en place des forages horizontaux de	source tarie suite a la mise en place des Torages norizontaux de Temae	Exploité depuis 1975 - Source perchée, pérenne - Emerge des éboulis en fond de talweg	Captée depuis 1975 Captée depuis 1958	Captage de 6 sources - résurgence nappe de dyke - Source perchée, pérenne - Ennerge à la Taveur d'une rupture de pente dans des agglomérats bréchiques, autres venues d'eau diffuses dans le même secteur	Captée depuis 1980	Captée depuis 1980	Captée depuis 1977	Captée depuis 1960, captage rénové en 2002 et 2016		Captages prives en amont				Mise en service en 1970	Mise en service en 1970	Source perchée, pérenne - Emerge des éboulis - Captage municipal	Rivière pérenne	Mise en service en 1960		Non exploité par la commune bloqué foncièrement - Source de pied de versant, pérenne - Emerge au pied de la planèze d'Afareaitu, au sein d'éboulis, à la base d'un petit thalweg	Exploité - plusieurs captages en rivière		Source perchée, pérenne, captage municipal - Emerge à la faveur d'une rupture de pente au sein des éboulis, au niveau du contact alluvions	Source perchée, pérenne, captage municipal - Emerge des éboulis entre les deux bras de la rivière Tiari - Origine de la source sans doute liée aux infiltrations des ruisseaux	Mise en service en 2006	Captage de secours	Abandonné nour cause de problème foncier	Rivière pérenne	Source perchée, pérenne - Emerge des éboulis - Capté occasionnellement par la commune	Source de pied de versant, diffuse, pérenne - Irrigue une tarodière. Couverture d'altération importante sur le versant, rares affleurements observables : lave bulleuse ou compacte altérée en surface plus ou moins fissurée.	Pérenne - légèrement saumâtre - Source littorale, pérenne - Zone très marécageuse	Emerge des éboulis	Sous-marine et pérenne	Source remblayee - Source littorale, non perenne, eau saumatre	Source littorale, temporaire - faible debit
Débit	216 m3/j (étiage)	1/2 m3/J (ettage)	4 à 51/s (10/73)	560 m3/j	172 m3/j (étiage) 172 m3/j (étiage)	172 m3/j (étiage)	< 86 m3/j (étiage)	< 86 m3/j (étiage)	1036 m3/j (étiage)	2160 m3/j	1 177 40 400	345 m3/j (etiage)				9 L/s (avec Vairemu o uest)	9 L/s (avec Vairemu est)	1 l/s (23/09/81)		16 L/s (étiage)	20 L/s (étiage)	4 - 15 l/s	15 L/s (étiage)	15 L/s (étiage)	9 L/s (étiage)	5 l/s (23/05/1981)	302 m3/j (étiage)				< 2 L/s	entre 1 et 5 l/s	entre 1 et 5 I/s	2 à 5 l/s		Tres faible a nul	Très faible à nul
lagon (m)			1300			2450												1600				450			2000	2000						200	350			08	
	Exploité	Exploite	Abandonné	Exploité	Exploité Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploite	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Non exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité	Exploité		Abandonné			Exploité					_
Coordonnees	Validées	validees	Validées	Validées	Validées Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validees	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validées	Validees	Validees
7	55	6	110	115	77	125	99	80	95	88	i	24	48		150	101	95	95		06	180	5	148	150	166	148	92	,	90 02	32	38	5	1	02	0		7
	8060045	8001320	8063454	8063405	8061109	8059837	8061871	8061625	8059501	8061938	8059569	8062764	8058979	8057692	8060029	8057369	8057323	8057279	8056346	8055590	8056027	8057635	8056321	8056344	8056344	8056315	8057671	8057650	8061632	8055500	8056742	8055952	8055674	8056334	8054700	8054445	8054551
	_	+	205189	203137	201790			199485	\rightarrow	-	_	197433	192745	194644		196241	196222	196190	196362	199201	200457	203396	201503	201537	201468	201633		201697	_	+		195410	195505	196419			196970
Systeme coold	RGPF_UTM_Zone_6S	O I IVI Zone DS	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S RGPF_UTM_Zone_6S			_	-	-	-	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	-+	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	Planèze d'Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S		RGPF_UTM_Zone_6S	- 1	RGPF LITM Zone 6S	+-		RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S	\vdash	RGPF_UTM_Zone_6S	_
		\top	Vallée de Temae	Vallée de Papeahi		Vallée de Paopao			┪	na	T		Riviere Varari- Kamika	Rivière Uufau		Vallée Haapiti - Rivière Vairemu	Vallée Haapiti - Rivière Vairemu	Vallée Haapiti - Rivière Vairemu	Vallée Oio - Rivère Vaifare	ара	Vallée Toto - Rivière Manaerua	Planèze d'Afareaitu	Haumi - Rivière Tiori	Haumi - Rivière Tiori	Haumi - Rivière Tiori	Haumi - Rivière Tiori	Vallée Hotutea	Verification of	T	_	Vallée Haapiti - Rivière Vairemu	Vallée Haapiti - Rivière Vairemu		Vallée Oio - Rivère Vaifare		Vallee Vaianae	Vallee Vaianae
associée	Teavaro	leavaro	Teavaro	Раорао	Paopao Paopao	Раорао	Paopao	Paopao	Papetoai	Papetoai	Papetoai	Papetoai	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Afareaitu	Haaniti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti	Haapiti
	Captage		Source	Source	Captage			Captage	Captage	Captage		Captage	Captage	Captage	Captage	Captage	Captage	Source	Captage	Captage	Captage	Source	Captage	Captage	Source	Source	Captage Afareaitu	Captage	Cantage			Source	Source	Source	Source		Source
			B7 - Temae	C3 - Maharepa 2	Paopao 1.1 Paopao 1.2	н.		Paopao 2.2.2		П	e, SDR	Vaihere	Cameca		Nuuroa	Vairemuest	Vairemu ouest	Vairemu - E8	Oio-Haapiti	Atiha	Maatea (Manaerua)	A14 - Vaiava	Haumi Centre	Haumi Est	A9 - Haumi Centre	A11 - Huami Est	Į,	2	Tiahura		ŧ.	E9 - Haapiti	E11 - Haapiti	Source E11b	ne E12		E14 - Atiha
in captage	SC_M00001	SC_IMIQUOUZ	SC_MOO003	SC_M00004	SC_MOO005	SC_M00007	SC_MOO008	SC_MOO009	C_MO0010	SC_M00011	SC_M00012	SC_MO0013	SC_M00014	SC_M00015	C_M00016	SC_M00017	SC_MOO018	SC_M00019	SC_MOO020	SC_MO0021	SC_M00022	SC_MOO023	SC_M00024	SC_M00025	sc_M00026	SC_M00027	SC_M00028	SC_MO0029	SC_MOO031	SC_MO0032	SC_MOO033	SC_M00034	SC_MOO035	SC_M00036	-	SC_MO0038	SC_MO0039

BRGM/RP-69218-FR - Rapport final

Nature Commune Bassin Versant Système Coord X Y Z Coordonnées Etat	Système Coord X Y Z Coordonnées	X Y Z Coordonnées	Y Z Coordonnées	Z Coordonnées	Coordonnées		Eta	+	Distance C lagon (m)	Capacité captage - Débit	Remarque	Source
Haapiti Vallée Valanae RGPF_UTM_Zone_6S 197430 8055367 80	RGPF_UTM_Zone_6S 197430 8055367 80	_6S 197430 8055367 80	8055367 80	80		Valid	ées		1100		Source de dyke, pérenne, diffuse - Dykes perpendiculaires au talweg formant des ressauts rocheux, orientés N10	LTPP 81 (80062 – 8249)
Haapiti Vallée Vaianae RGPF_UTM_Zone_6S 197695 8055684 40	RGPF_UTM_Zone_6S 197695 8055684 40	_6S 197695 8055684 40	8055684 40	40		Valid	Validées			entre 1 et 2 l/s	Emerge des éboulis	SPEED / LTPP 2015
Haapiti Vallée Vaianae RGPF_UTM_Zone_6S 197745 8055725 30	RGPF_UTM_Zone_6S 197745 8055725 30	_6S 197745 8055725 30	8055725 30	30		Valid	Validées			entre 1 et 2 l/s	Emerge des éboulis	SPEED / LTPP 2015
Haapiti Vallée Vaianae RGPF_UTM_Zone_6S 197820 8055762 40	RGPF_UTM_Zone_6S 197820 8055762 40	65 197820 8055762 40	8055762 40	40		Λa	Validées			entre 1 et 2 l/s	Emerge des éboulis	/LTPP
Vallée Vaianae RGPF_UTM_Zone_6S 197295 8053899 1	RGPF_UTM_Zone_6S 197295 8053899 1	65 197295 8053899 1	8053899 1	1	1 \	>	Validées		0		érenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
Haapiti Vallee Pahonu RGPF_UTM Zone_65 198265 80538/4 1	RGPF_UIM_Zone_65 198265 80538/4 1	65 198265 80538/4 1	80538/4 1			> ?	Validees		0 6	I res taible a nul	+	LIPP 81 (80062 - 8249)
Haapiti Vallee Atina RGPF_UTM_ZONE_bS 1984/5 8053548 Z	KGPF_UIM_Zone_65 1984/5 8053548 Z	65 1984/5 8053548 2	8053548 2	7		> :	validees		100	entre 2 et 5 l/s	Perenne - Source de plaine, pied de ralaise sur terrain privee Source pérenne, diffuse en pied de versant - A 10m du pied de	LI PP 81 (80062 – 8249)
ua RGPF_UTM_Zone_65 202274 8053797 < 5	RGPF_UTM_Zone_6S 202274 8053797 < 5	_65 202 <i>27</i> 4 8053 <i>7</i> 9 <i>7</i> < 5	8053797 < 5	< 5		>	Validees		320	entre 2 et 5 l/s	1	LTPP 81 (80062 - 8249)
Source Afareaitu	RGPF_UTM_Zone_6S 202631 8053834 < 5	_6S 202631 8053834 < 5	8053834 < 5	< 5		Š	Validées	Abandonné	160	Très faible	Temporaire - Source remblayée	LTPP 81 (80062 - 8249)
RGPF_UTM_Zone_6S 205400 8063900 30 à 45	RGPF_UTM_Zone_6S 205400 8063900 30 à 45	_6S 205400 8063900 30 à 45	8063900 30 à 45	30 à 45		Ν	Validées	Exploité	1200		Captage de source par tranchée drainante - Source perchée, pérenne. diffuse	LTPP 81 (80062 - 8249)
Source Teavaro RGPF UTM Zone 6S 205500 8064000 V	65 205500 8064000	65 205500 8064000	8064000		Š	>	Validées	Exploité			Captage de source par tranchée drainante	SDAEP 2013
Pagnao Rivière Valterine RGPE UTM Zone 65 202325 8063390 240	RGPF LITM Zone 6S 202325 8063390 240	65 202325 8063390 240	8063390 240	240		1	Validées	Exploité	1700	Très faible	Captage of 30 are particulier	SDAFP 2013
Pagnago RGPF UTM Zone 6S 201500 8060200	RGPF UTM Zone 6S 201500 8060200	65 201500 8060200	8060200				Validées	Fxploité			Captage de source pour l'agriculture	SDAFP 2013
Paopao RGPF_UTM_Zone_6S 200422 8059312 205	_6S 200422 8059312 205	_6S 200422 8059312 205	8059312 205	205		-	Validées	Exploité			Source captée probablement pour l'agriculture	Vai-Natura 2016
RGPF_UTM_Zone_6S 200139 8058970 226	_65 200139 8058970 226	_65 200139 8058970 226	8058970 226	226		>	Validées	Exploité			Source captée probablement pour l'agriculture, zone de source diffuse	Vai-Natura 2016
Source Papetoai Vallée d'Opunohu RGPF_UTM_Zone_6S 199654 8058895 153 Va	RGPF_UTM_Zone_6S 199654 8058895 153	RGPF_UTM_Zone_6S 199654 8058895 153	8058895 153	153		Š	Validées	Exploité	3150		igation - Source perchée, ss éboulis - Alimente tout le cole	LTPP 81 (80062 – 8249)
Source Papetoai RGPF_UTM_Zone_6S 199998 8058635 227 V	_6S 199998 8058635 227	_6S 199998 8058635 227	8058635 227	227		>	Validées	Exploité			Source captée par le SDR pour l'irrigation	Vai-Natura 2016
Source Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S 201233 8057501 177 V	RGPF_UTM_Zone_6S 201233 8057501 177	_6S 201233 8057501 177	8057501 177	177		^	Validées	Non exploité		< 0,5 I/s	Ligne de sources	BRGM (Terrain 09/2017)
Source Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S 203261 8057870 68	_6S 203261 8057870 68	_6S 203261 8057870 68	8057870 68	89			Validées	Non exploité		< 0,5 1/s		BRGM (Terrain 09/2017)
Source Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S 203144 8058194 227	_6S 203144 8058194 227	_6S 203144 8058194 227	8058194 227	227			Validées	Exploité		< 0,1 1/s	Source entièrement captée par un particulier, prélèvement possible	BRGM (Terrain 09/2017)
Source Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S 200781 8057603 355	RGPF_UTM_Zone_6S 200781 8057603 355	_6S 200781 8057603 355	8057603 355	355			Validées	Non exploité			falaise, débit très faible	BRGM (Terrain 09/2017)
Source Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S 200873 8057495 311	RGPF_UTM_Zone_6S 200873 8057495	65 200873 8057495	8057495		311		Validées	Non exploité		<11/s	<u> </u>	BRGM (Terrain 09/2017)
Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S	RGPF_UTM_Zone_6S 200884 8057495	65 200884 8057495	8057495		304		Validées	Non exploité		< 0,1 I/s		BRGM (Terrain 09/2017)
Afareaitu	RGPF_UTM_Zone_6S 200959 8057523	_6S 200959 8057523	8057523		264	,	Validées	Non exploité		< 0,1 1/s	Source de dyke	BRGM (Terrain 09/2017)
Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S 201207 8057535	RGPF_UTM_Zone_6S 201207 8057535	65 201207 8057535	8057535	4	173	- 1		Non exploité		< 0,1 1/s	Dépôts orange autour de la source	BRGM (Terrain 09/2017)
Afareaitu Hotutea RGPF_UTM_Zone_6S 201870 8057813	RGPF_UTM_Zone_6S 201870 8057813	_65 201870 8057813	8057813	4	2 2	- 1		Nonexploité		1,75 l/s		BRGM (Terrain 09/2017)
Captage Afarearu Hotutea KGPF_UTMI_ZONE_65 201885 805/812 /U	KGPF_U IM_20Re_65 201885 805/812	_ 8U5/812 8U5/812	805/812	-	2	- 1	validees	Non exploite			+	BRGINI (Terrain 09/2017)
Source Afareaitu Niuroa RGPF_UTM_Zone_6S 204261 8057604 1	RGPF_UTM_Zone_6S 204261 8057604	_6S 204261 8057604	8057604		1		Validées	A sec			Coule hors periode de secheresse - Face a la pharmacie dans une propriété privée	BRGM (Terrain 09/2017)
Source Paopao RGPF_UTM_Zone_6S 200723 8059539 160	65 200723 8059539	65 200723 8059539	8059539	\vdash	160		Validées	Non exploité				BRGM (Terrain 09/2017)
Source Haapiti RGPF_UTM_Zone_6S 199555 8052766 0 Ap	_6S 199555 8052766 0	_6S 199555 8052766 0	8052766 0	0		7	Approximatives		0	Faible	Source sous marine - Pointe sud de l'île en face du PK17 sur la route de ceinture entre Atiha et Maatea	LTPP 81 (80062 – 8249)
			0	,			:		,		 	
Source Haapiti RGFF_UTM_Zone_6S 199647 8052786 0 App	_65 199647 8052786 0	_65 199647 8052786 0	8052786 0	0		호	Approximatives		0	s/l <u>5</u> ′0 >		.TPP 81 (80062 - 8249)
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	0	0	0	((Source de plage - Pied de falaise à 120m : lave massive bulleuse à	
Source Haapiti KGPF_UIM_Zone_b5 199819 8U52/76 U App	0 802776 0	0 802776 0	8052776	>		d d	Approximatives		D	s/I c/0 >	vacuolaire, quelques passes rissurees, niveaux scoriaces a porosite ouverte	.TPP 81 (80062 - 8249)
Source Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S 202182 8053721 < 2 Appr	_6S 202182 8053721 < 2	_6S 202182 8053721 < 2	8053721 < 2	< 2		√pp	Approximatives		280		Source littorale, écoulement visible, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
Source Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S 202671 8054114 5 Appr	_6S 202671 8054114 5	_6S 202671 8054114 5	8054114 5	2		√pp	Approximatives		340	Très faible	Source pied de falaise pérenne - Flanc est d'un petit talweg à l'est de Maatea, émerge du rocher, au contact entre lave saine et lave	(01/00 03/00) 10 00T
Haumi- Rivière	יי סטראניי איייי אייייי אייייי	1,000,000	0.00	ı					0		S	
Tiori RGFT_UIM_ZOIR_05 202825 0054910 5	RGFF_UIM_ZUIR_03	-03 202623 8034918 3	0024310	n			Approximatives		ner		de roche vacuolaire parfois fissurée, diaclasée avec des niveaux fracturés	LTPP 81 (80062 – 8249)
Source Afareaitu Haumi- Rivière RGPF_UTM_Zone_65 201539 8056357 168 Appro	RGPF_UTM_Zone_6S 201539 8056357 168	_6S 201539 8056357 168	8056357 168	168		Appro	Approximatives	Exploité	2000	entre 6 et 10 l/s	Source perchée, pérenne, captage municipal - Emerge à la faveur d'une rupture de pente au sein des ébouls, au niveau du contact alluvions - Griffon important au sein d'une zone très humide d'écoulements diffus. Sans doute origine de la source dans les	
Vallée Hotutea -				,			:					LIPP 81 (80062 – 8249)
RGPF_UTM_Zone_6S 203527 8056934 < 3	RGPF_UTM_Zone_6S 203527 8056934 < 3	_65 203527 8056934 < 3	8056934 < 3	× 3	_	Appl	Approximatives		100	Faible	Source littoral, pérenne - Pied de falaise marte à 80m	LTPP 81 (80062 – 8249)
_es 203286 8057202 5	RGPF_UTM_Zone_6S 203286 8057202 5	_es 203286 8057202 5	2	2		dd	Approximatives		200		Source alluviale, pérenne	LTPP 81 (80062 – 8249)
Source Afareaitu RGPF_UTM_Zone_6S 204849 8057879 0 App	6S 204849 8057879 0	_6S 204849 8057879 0	204849 8057879 0	0	- 1	ď	Approximatives		0	Faible	Source sous marine	LTPP 81 (80062 - 8249)

BRGM/RP-69218-FR - Rapport final

SC_MOO079 SC_MOO081	,	00,111,00												
SC_MO0080 SC_M00081	A17 - Afareaitu	an noc	Afareaitu		RGPF_UTM_Zone_6S	204902	8058202	< 2	Approximatives		180	Très faible	Source de pied de falaise, pérenne, diffuse - Située en contrebas d'une pointe rocheuse formée de lave vacuolaire fracturée et fissurée et de bréches scoriacées, roche perméable	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00081	A18 - Afareaitu	Source	Afareaitu		RGPF_UTM_Zone_6S	205214	8058858	< 2	Approximatives		190	Très faible	Source de pied de falaise, pérenne - Emerge du rocher, lave massive plus ou moins litée peu fracturée et fissurée	LTPP 81 (80062 – 8249)
	B1 - Vaiare	Source		_		204526	8990908	< 2	Approximatives		150	0,11/s		LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00082	B2 - Vaiare	Source	_	ï		204310	8060824	+	Approximatives		400	Faible	netière à 150m en amont	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOOUS3	B3 - leavaro	Source	leavaro	Vallee Puaue	KGPF_UIM_Zone_65	705556	8061697	٤,	Approximatives		150	0,3 1/5 (21/05/81)	=+-	LIPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00084	B4 - Teavaro	Source	Teavaro	Vallée Puaue	RGPF_UTM_Zone_6S	205545	8061750	< 3	Approximatives		200	1 l/s (21/05/81)	e D	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00085	B5 - Teavaro	Source	Teavaro		RGPF_UTM_Zone_6S	205864	8062340	20	Approximatives		300		Source perchée, pérenne, diffuse - Emerge à la faveur d'une rupture de pente dans les éboulis	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOO086	B6 - Teavaro	Source	Teavaro		RGPF_UTM_Zone_6S	205902	8062649	20	Approximatives		300		Source littorale, diffuse - Emerge à la faveur d'une petite rupture de pente au sein de la couverture d'éboulis	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOO087	B8 - Temae	Source	Teavaro	Vallée de Temae	RGPF_UTM_Zone_6S	205182	8063576	95	Approximatives	Exploité	1200	1,8 à 2 l/s (étiage 70)		LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOO088	B10 - Perehue	Source	Paopao		RGPF_UTM_Zone_6S	205047	8064592	74	Approximatives	Exploité	1300	1 l/s (31/07/81)	Source de dykes, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO089	C1 - Maharepa	Source			RGPF_UTM_Zone_6S	202524	8064969	< 2	Approximatives		150		Source littorale, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO090	C2 - Maharepa	Source	_			202689	8064363		Approximatives		200		Source littorale, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00091	C4 - Maharepa	Source	Paopao	Rivière Papeahi	RGPF_UTM_Zone_6S	203167	8063186	140	Approximatives	Exploité	2000	1 l/s (07/67)	Source perchée, pérenne - Emerge des éboulis en fond de talweg LTPP 81 (80062 – 8249)	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00092	C5 - Maharepa	Source	Paopao		RGPF_UTM_Zone_6S	202206	8064765	< 2	Approximatives	Exploité	280	11/5	Source en pied de falaise, pérenne - Alimente l'hotel Bali Hai - Emerge du rocher (lave fissurée, fracturée, niveaux scoriacés à norosité ouverte)	I TPP 81 (80062 – 8249)
SC MODO93	C6 - Maharena	Source	Pannan		RGPF LITM Zone 6S	202083	8064778	< 2	Annroximatives		120			(BDC8 - 8008) 18 dd1 (BUU9)
SC_M00094	C7 - Maharepa	Source	Paopao	Rivière Vaiterupe		202257	8063703	+	Approximatives	Exploité	1300	Faible	isé par des agriculteurs	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00095	C9 - Paopao	Source	Paopao	-		201004	8062860	H	Approximatives		130	Très faible		LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MO0096	C10 - Paopao	Source	Paopao		RGPF_UTM_Zone_6S	201012	8062797	< 2	Approximatives		130	Très faible	Source littorale, non pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00097	C11 - Paopao	Source	Раорао		RGPF_UTM_Zone_6S	201495	8062725	02	Approximatives	Exploité	009	1-2 I/min	Source perchée, pérenne - Emerge des éboulis de pente, autres venues d'eau diffuses à proximité	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MO0098	C12 - Paopao	Source	Paopao		RGPF_UTM_Zone_6S	201918	8062335	130	Approximatives	Exploité	1100		Source perchée, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO099	C13 - Paopao	Source	Раорао		RGPF_UTM_Zone_6S	201639	8062403	70	Approximatives	Exploité	850	< 0,5 1/s	Source perchée, pérenne - Emerge au pied d'un agglomérat bréchique à ciment très argileux de 5m de haut	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO100	C14 - Paopao	Source	Paopao		RGPF_UTM_Zone_6S	201872	8062179	110	Approximatives	Exploité	1190	1 l/min	Source de dyke, pérenne - Zone d'agglomérats bréchiques audessus du captage, dyke subvertical N30	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00101	C16 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199276	8063726	9	Approximatives	Exploité	450	400 I/j		LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO102	C17 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199315	8063764	35 à 50	Approximatives		400		Source perchée, pérenne, diffuse	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00103	C18 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199835	8064145	0	Approximatives		0		Source sous marine	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00104	C19 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199526	8063951	10	Approximatives		250		Source littoral, Usine de jus de fruit, remblayée pour la construction de l'usine	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00105	C20 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199488	8064437	< 2	Approximatives		100	Très faible		LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00106	C21 - Rotui	Source	Paopao	Rivière Vaioma	RGPF_UTM_Zone_6S	199226	8064365	< 2	Approximatives		20	0,25 l/s (03/07/81)	Source littorale, pérenne - Sans doute liée aux infiltrations de ce	(1TPP 81 (80062 – 8249)
SC M00107	C22 - Opunohu	Source	Papetoai	Vallée d'Opunohu	RGPF UTM Zone 6S	197909	8060373	< 5	Approximatives		700		iffuse, gazeuse	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOO108	D1 - Orufara	Source	Papetoai		RGPF_UTM_Zone_	196330	8061752	Н	Approximatives		200			LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO109	D2 - Orufara	Source		Rivière Urufara	RGPF_UTM_Zone_6S	195489	8060069	> 200	Approximatives	Exploité	1800		Source perchée, pérenne - alimente un élevage de poussins	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00110	D3 - Orufara	Source	Papetoai	Rivière Urufara	RGPF_UTM_Zone_6S	195340	8060313	> 200	Approximatives	Exploité	1700		Source perchée, pérenne - Alimente un élevage d'oies	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00111	D4 - Orufara	Source	Papetoai	Rivière Urufara	RGPF_UTM_Zone_6S	195166	8060816	> 270	Approximatives	Exploité	1500	< 0,5 l/s (08/07/81	Sources de dykes, pérennes, diffuses - Encaissant formé d'agglomérats bréchiques, de brèches scoriacées et de coulées massives de lave compacte	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00112	D5 - Papetoai	Source	Papetoai		RGPF_UTM_Zone_6S	195928	8063001	< 1	Approximatives		15		Source littorale, pas d'écoulement visible	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00113	D6 - Papetoai	Source	Papetoai		RGPF_UTM_Zone_6S	195642	8062504	82	Approximatives		200	s/l 5/0 >	Source perchée, pérenne - Emerge de niveaux scoriacés à porosité ouverte et de niveaux fracturés	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_M00114	D7 - Papetoai	Source				195155	8063647	\vdash	Approximatives		30	Faible		LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00115	D8 - Papetoai	Source	Papetoai	Rivière Vaihana	RGPF_UTM_Zone_6S	195023	8063255		Approximatives		450	1-2 I/min	Source alluviale, pérenne	LTPP 81 (80062 – 8249)
SC_MOO117	D10 - Papetoai	Source	_		RGPF_UTM_Zone_6S	194436	8063525	T	Approximatives		10	Faible	Deux sources de plages très proches l'un de l'autre	LIFF 81 (80062 – 8249) LTPP 81 (80062 – 8249)

ID Captage	Nom	Nature	Commune associée	Bassin Versant	Système Coord	×	>	Z	Coordonnées	Etat	Distance lagon (m)	Capacité captage - Débit	Remarque	Source
SC_M00118	D11 - Papetoai	Source	Haapiti	Rivière Vaiopiro	RGPF_UTM_Zone_6S	192959	8063663	0	Approximatives		10	Très faible	So urce de plage	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO119	D12 - Papetoai	Source	Haapiti	Rivière Vaiopiro RGPF_UTM_Zone_	RGPF_UTM_Zone_6S	192784	8063771	0	Approximatives		< 10		Trou d'eau/Source de plage, pas d'écoulement visible	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO120	D13 - Papetoai	Source	Haapiti	Rivière Vaiopiro	Rivière Vaiopiro RGPF_UTM_Zone_6S	192708	8063837	0	Approximatives		20		Trou d'eau/Source de plage, pas d'écoulement visible	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC M00121	D14 - Papetoai	Source	Haaniti		RGPF UTM Zone 6S	192201	8063655	< 2	Approximatives		180	3/15/0	Source littorale, pérenne - Falaise à 50m : lave trachytique, compacte très lités lépèrement fissurés, converture d'altération	
					1							- -	importante	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO122	D15 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	190433	8062920	0	Approximatives		0		Source de plage, non pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00123	D16 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	190428	8061671	0	Approximatives		0	Très faible	Source sous marine, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
													Source littorale, pérenne - A 60m du pied de falaise : lave	
SC_M00124	D17 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	19141	8059972	× 3	Approximatives	Exploité	200		trachytique litée, certains niveaux très compacts, d'autres	20000
			+					†			,	trained and its	ractures et rissures, tres peu de niveaux scoriaces	LI PP 81 (80062 - 8249)
SC_MOO125	D18 - Haapiti	Source	Haapiti		KGPF_UIM_Zone_65	191322	8059654	0	Approximatives		< 10	< 1 l/s (23/09/81)	Source de plage, perenne	LIPP 81 (80062 - 8249)
													Source de pied de falaise, diffuse - Affleurements rocheux :	
SC_M00126	D19 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	191546	8059786	12	Approximatives		260		niveaux scoriacés à porosité ouverte et niveaux massifs fissurés et	
													fracturés, parfois plus compacts	LTPP 81 (80062 - 8249)
													Source de pied de falaise, pérenne - Emerge du rocher, sous la	
7,77	i+iac cH 000	0	:+ic cc		SCOOL LITAY ZOOG 62	101617	6350500	,	Approximation of the second	A+i0 023	066		couverture d'éboulis - Affleurements au dessus du captage :	
3C_INIOO12	DZO - Haapin	2000			201102_11110_12011	121014	5002500		Approximatives	Exploite	067		alternance métrique de niveaux scoriacés et de niveaux compacts,	
													certaines passées fracturées	LTPP 81 (80062 - 8249)
													Source de pied de falaise, pérenne, diffuse - Suintements de la	
SC_M00128	D21 - Haapiti	Source	Haapiti	_	Vallée Niumaru RGPF_UTM_Zone_6S	191783	8059388	< 5	Approximatives		210		falaise constituée de niveaux fracturés et de niveaux scoriacés à	
													porosité ouverte	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00129	D22 - Haapiti	Source	Haapiti	Vallée Niumaru	Vallée Niumaru RGPF_UTM_Zone_6S	191889	8059328	< 3	Approximatives		250		So urce littorale	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00130	E1 - Haapiti	Source	Haapiti	Rivière Varari	RGPF_UTM_Zone_6S	192383	8058799	20	Approximatives		450		Source de pied de versant, diffuse, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC MO0131	F2 - Haaniti	g	Hanniti	Rivière Daeroa	RGPE LITM Zone 6S	197687	8058276	~	Approximatives		110	Trèc faible	Source littorale, pérenne - Formations limono-sableuses autour de	
10101	re madein	2		2000		102007	0.2000		Approximation of the		211	algue e al	la source - Aménagé en puits	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00132	E3 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	192545	8028098	0	Approximatives		0	Très faible	Source sous marine, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00133	E4 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	193394	8057478	0	Approximatives		0		Source sous marine, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00134	E5 - Haapiti	Source	Haapiti	Rivière Uufau	RGPF_UTM_Zone_6S	193907	8057265	0	Approximatives		5	1 l/s (25/09/81)	So urce de plage, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00135	E6 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	194455	8056660	0	Approximatives		0	Très faible	Source sous marine, pérenne	LTPP 81 (80062 - 8249)
SC_M00136	E10 - Haapiti	Source	Haapiti		RGPF_UTM_Zone_6S	195456	8055807	× 3	Approximatives		330		Source de pied de versant, diffuse, pérenne - Pied de versant à	20000 20000
76700	110000	0						_	Americani			Tobaland	on rouge	TPP 81 (80062 -8249)
SC_MOUTS/	E12 - Haapiti	source	нааріті		KGPF_UIM_Zone_bs			0	Approximatives		О	ires raible	source sous marine perenne	LIPP 81 (80062 - 8249)

Annexe 3

Données des reconnaissances hydrogéologiques

Annexe 4

Fiches des points de prélèvement

ID: SC_MOO011

Lieu-dit: Papetoai

X: 194425

Y: 80619 38

Z: 88



Paramètres mesurés in-situ :

Moyen de prélèvement : Prise directe

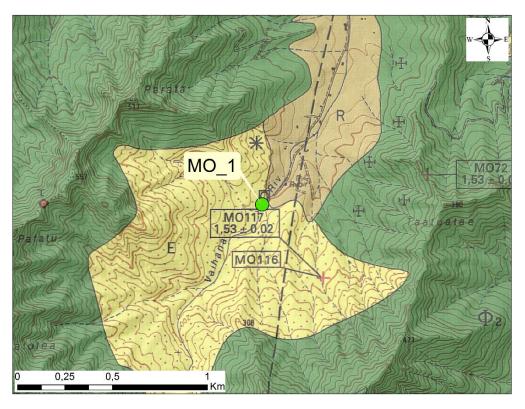
T eau (°C): 22,1 O2 dissous (%): 101,4 Nature: Rivière

C (μ S/cm) : 150 O2 dissous (mg/L) : 8,77 Date : 19/07/2018

pH: 7,32 eH mesuré (mV): 13MO3,5 Heure 9h15

Légèrement

Couleur: turbide



ID:

Lieu-dit: Cascade Hotutea

X: 201346

Y: 8057994

Z: 167



Paramètres mesurés in-situ :

Moyen de prélèvement : Prise

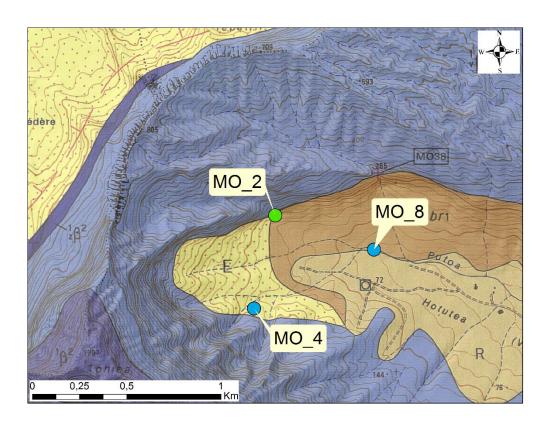
directe

T eau (°C): 22,0 O2 dissous (%): 102,0 Nature: Rivière

C (μ S/cm) : 91 O2 dissous (mg/L) : 8,83 Date : 20/07/2018

pH: 7,49 eH mesuré (mV): 263,4 Heure: 10h40

Couleur: Incolore



ID:

Lieu-dit: Stade

X: 203494

Y: 8057474

Z: 3



Paramètres mesurés in-situ :

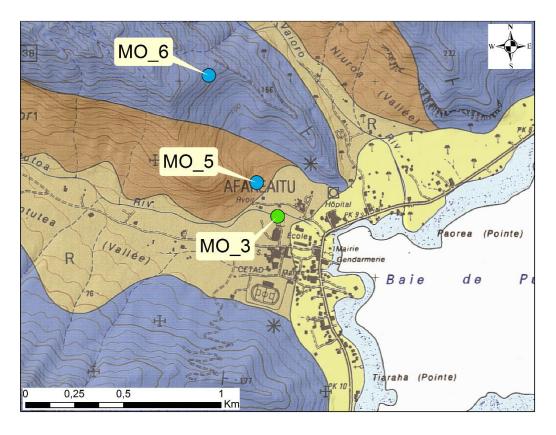
Moyen de prélèvement : Prise directe

T eau (°C): 25,5 O2 dissous (%): 100,1 Nature: Rivière

C (μ S/cm) : 180 O2 dissous (mg/L) : 8,24 Date : 20/07/2018

pH: 6,97 eH mesuré (mV): 263,0 Heure 12h50

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO057

Lieu-dit: Hotutea

X: 201233

Y: 8057500

Z: 177



Paramètres mesurés in-situ :

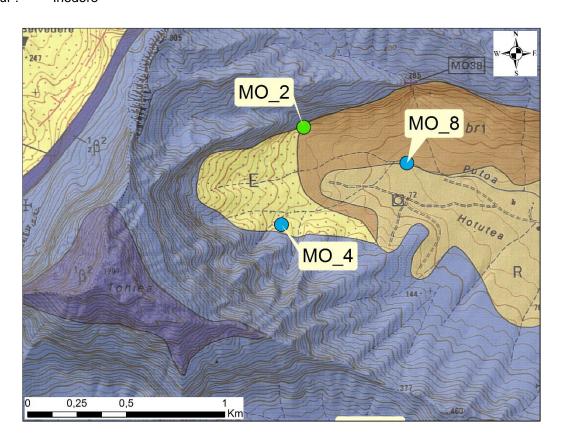
Moyen de prélèvement : Griffon

T eau (°C): 24,3 O2 dissous (%): 23,8 Nature: Source

C (μ S/cm) : 229 O2 dissous (mg/L) : 1,97 Date : 20/07/2018

pH: 6,32 eH mesuré (mV): 288,2 Heure 11h45

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO023

Lieu-dit: Vaiava

X: 203387

Y: 8057647

Z: 5



Paramètres mesurés in-situ :

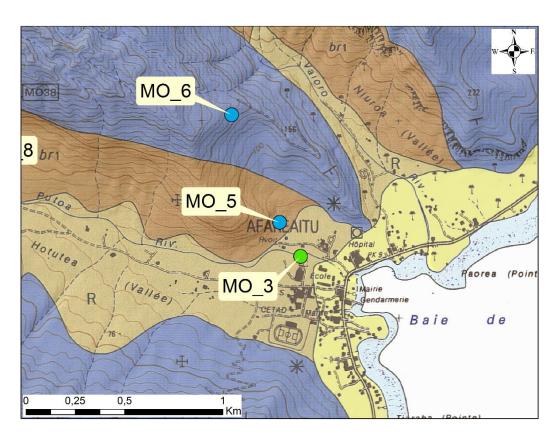
Moyen de prélèvement : Prise directe

T eau (°C): 23,4 O2 dissous (%): 99,9 Nature: Source

C (μ S/cm) : 186 O2 dissous (mg/L) : 8,55 Date : 20/07/2018

pH: 7,35 eH mesuré (mV): 276,7 Heure 8h40

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO059

Lieu-dit:

X: 203143

Y: 8058194

Z: 227



Paramètres mesurés in-situ :

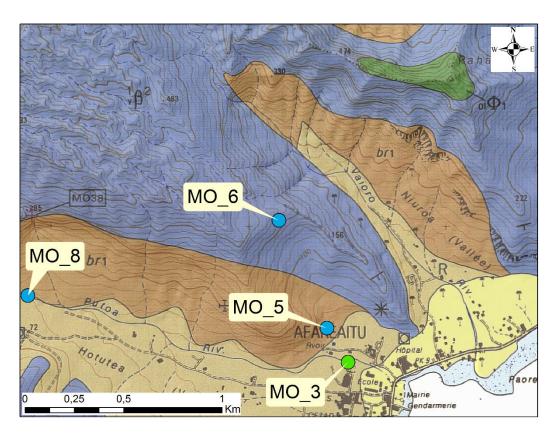
Moyen de prélèvement : Prise directe

T eau (°C): 23,3 O2 dissous (%): 89,4 Nature: Source

C (μ S/cm) : 188 O2 dissous (mg/L) : 7,43 Date : 20/07/2018

pH: 6,83 eH mesuré (mV): 291,5 Heure: 14h30

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO065

Lieu-dit: Hotutea

X: 201870

Y: 8057812

Z: 70



Paramètres mesurés in-situ :

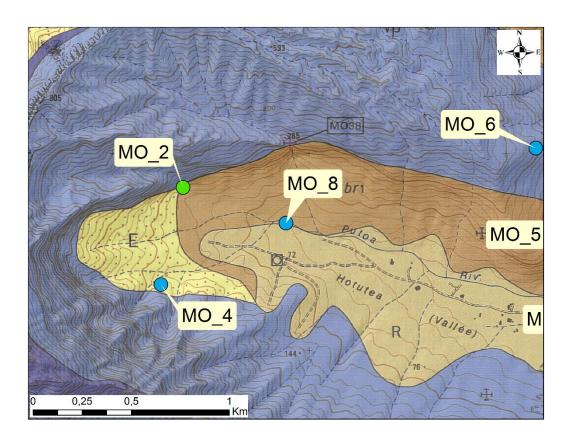
Moyen de prélèvement : Prise directe

T eau (°C): 24,4 O2 dissous (%): 73,8 Nature: Source

C (μS/cm): 190 O2 dissous (mg/L): 6,18 Date: 20/07/2018

pH: 6,00 eH mesuré (mV): 327,3 : Heure 9h45

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO007

Lieu-dit: Paopao 2.1

X: 200658

Y: 8059837

Z: 125

Paramètres mesurés in-situ :

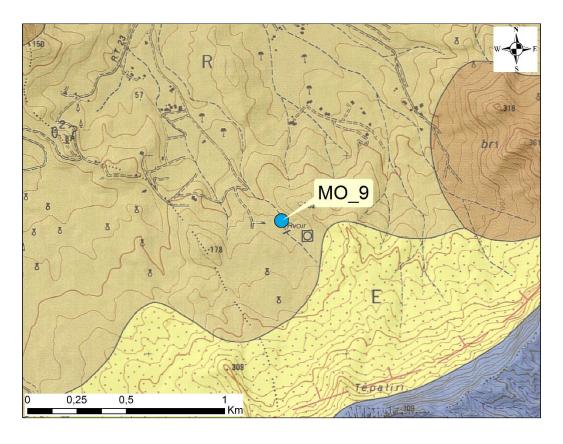
Moyen de prélèvement : Griffon

T eau (°C): 25,7 O2 dissous (%): 41,5 Nature: Source

C (μ S/cm) : 236 O2 dissous (mg/L) : 3,33 Date : 19/07/2018

pH: 5,83 eH mesuré (mV): 170,8 Heure 13h45

Couleur: Incolore



ID: FOR_H_MOO002

Lieu-dit: Temae 3

X: 205154

Y: 8063468

Z: 107



Paramètres mesurés in-situ :

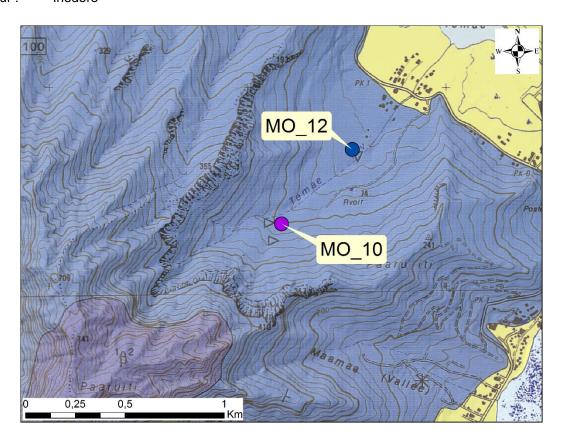
Moyen de prélèvement : Robinet

T eau (°C): 23,1 O2 dissous (%): 103,6 Nature: Forage Horizontal

C (μS/cm): 233 O2 dissous (mg/L): 8,83 Date: 19/07/2018

pH: 7,58 eH mesuré (mV): - Heure 17h00

Couleur: Incolore



ID: FOR_H_MOO003

Lieu-dit: Paopao 3

X: 199479

Y: 8062051

Z: 154



Paramètres mesurés in-situ :

Moyen de prélèvement : Dans le

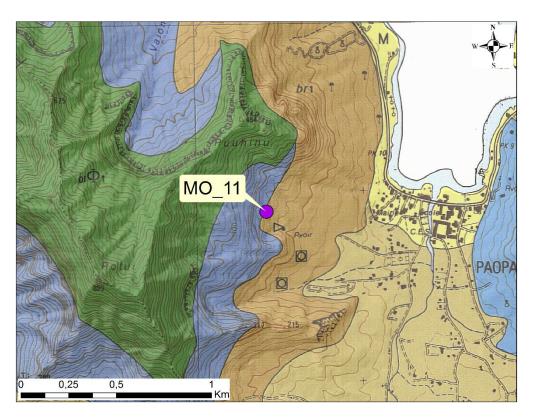
réservoir avec un seau

T eau (°C): 24,1 O2 dissous (%): 99,9 Nature: Forage Horizontal

C (μ S/cm) : 227 O2 dissous (mg/L) : 8,31 Date : 19/07/2018

pH: 7,68 eH mesuré (mV): 121,4 Heure 14h45

Couleur: Incolore



ID: FOR_V_MOO002

Lieu-dit: Temae 1

X: 205510

Y: 8063842

Z: 32,9



Paramètres mesurés in-situ :

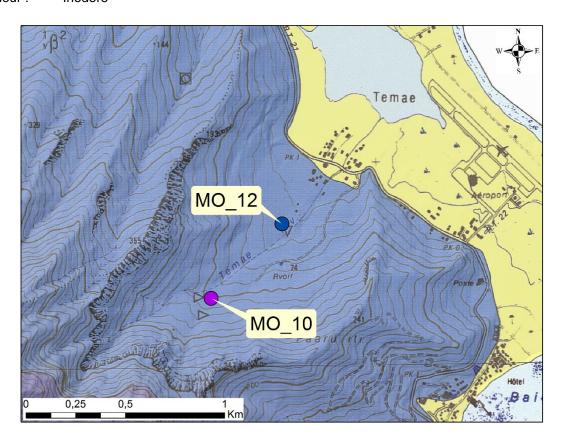
Moyen de prélèvement : Robinet

T eau (°C): 24,8 O2 dissous (%): 93,8 Nature: Forage Vertical

C (μ S/cm) : 314 O2 dissous (mg/L) : 7,79 Date : 19/07/2018

pH: 7,39 eH mesuré (mV): - Heure 16h15

Couleur: Incolore



ID: FOR_V_MOO008

Lieu-dit: Maharepa 1

X: 202043

Y: 8064726

Z: 1,7



Paramètres mesurés in-situ :

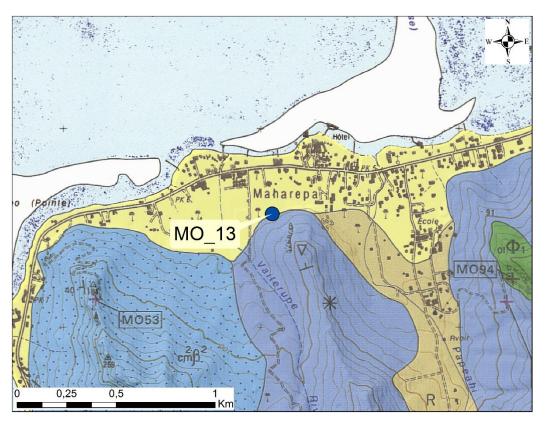
Moyen de prélèvement : Robinet

T eau (°C): 27,4 O2 dissous (%): 37,5 Nature: Forage Vertical

C (μ S/cm) : 1245 O2 dissous (mg/L) : 2,97 Date : 19/07/2018

pH: 7,00 eH mesuré (mV): - Heure 15h30

Couleur: Incolore



ID: FOR_V_MOO012

Lieu-dit: Paopao 1.3

X: 201424

Y: 8061030

Z: 71



Paramètres mesurés in-situ :

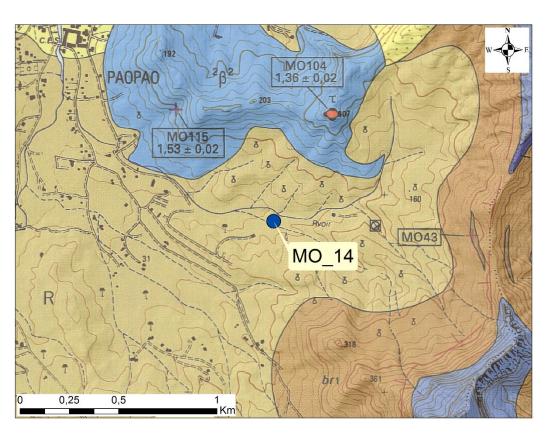
Moyen de prélèvement : Robinet

T eau (°C): 25,4 O2 dissous (%): 51,6 Nature: Forage Vertical

C (μ S/cm) : 190 O2 dissous (mg/L) : 4,23 Date : 19/07/2018

pH: 6,24 eH mesuré (mV): 94,3 Heure: 13h00

Couleur: Incolore



ID: FOR_V_MOO019

Lieu-dit: Nuuroa 2

X: 191919

Y: 8059354

Z: 7,0



Paramètres mesurés in-situ :

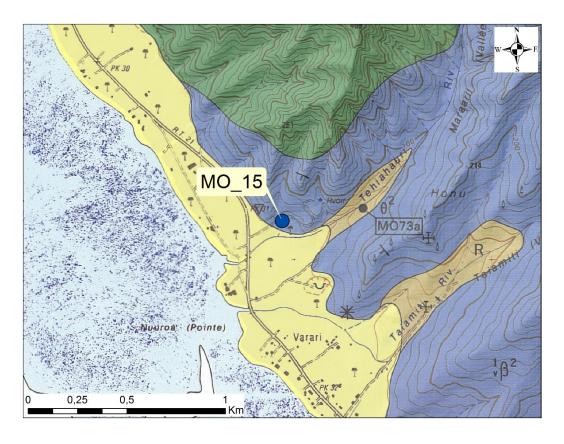
Moyen de prélèvement : Robinet

T eau (°C): 25,0 O2 dissous (%): 71,5 Nature: Forage Vertical

C (μ S/cm) : 417 O2 dissous (mg/L) : 5 96 Date : 19/07/2018

pH: 7,28 eH mesuré (mV): 202,4 : Heure 10h15

Couleur: Incolore



ID: SC_MOO026

Lieu-dit: Haumi

X: 201468

Y: 8056344

Z: 166



Paramètres mesurés in-situ :

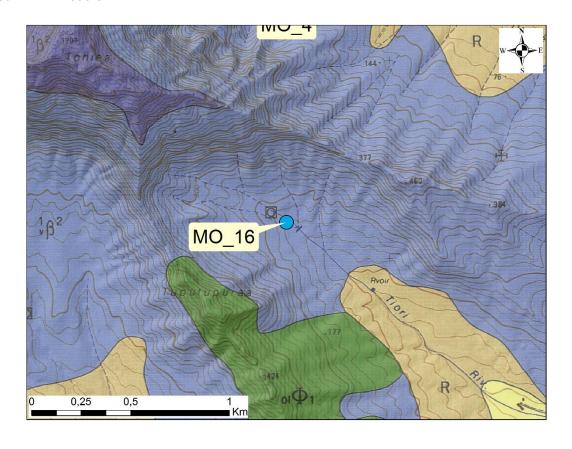
Moyen de prélèvement : Griffon

T eau (°C): 22,8 O2 dissous (%): 94,1 Nature: Source

C (μ S/cm) : 169 O2 dissous (mg/L) : 8,00 Date : 19/07/2018

pH: 6,52 eH mesuré (mV): 236,2 : Heure 11h30

Couleur: Incolore



Annexe 5

Résultats des analyses chimiques

	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_5
	19/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018
Température (°C)	22,1	22,0	25,5	24,3	23,4
Conductivité (μS/cm)	150	91	180	229	186
рН	7,32	7,49	6,97	6,32	7,35
Eh (mV)	342,3	472,3	469,4	495,4	484,6
O2 (mg/L)	8,77	8,83	8,24	1,97	8,55
O2 (%)	101,4	102,0	100,1	23,8	99,9
Ag (Argent) - 0,01 μg/l	< LQ				
Al (Aluminium) - 0,5 μg/l	6,64	8,75	1,32	0,76	2,63
As (Arsenic) - 0,05 μg/l	0,14	< LQ	< LQ	0,14	0,07
B (Bore) - 0,5 μg/l	14,3	6,44	8,41	12,7	10,8
Ba (Baryum) - 0,05 μg/l	3,11	0,54	1,95	2,79	0,36
Be (Béryllium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CO3 (Carbonates) - 10 mg/l	< LQ				
Ca (Calcium) - 0,5 mg/l	4,4	2,5	7,6	10,6	8,4
Cd (Cadmium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CI (Chlorures) - 0,5 mg/l	8	6,2	6	6	6,6
Co (Cobalt) - 0,05 μg/l	< LQ				
Cr (Chrome) - 0,1 μg/l	0,17	0,12	0,43	0,34	1,51

	MO_6	MO_8	MO_9	MO_10	MO_11
	20/07/2018	20/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Température (°C)	23,3	24,4	25,7	23,1	24,1
Conductivité (μS/cm)	188	190	236	233	227
рН	6,83	6,00	5,83	7,58	7,68
Eh (mV)	499,4	534,5	377,0	NR	328,8
O2 (mg/L)	7,43	6,18	3,33	8,83	8,31
O2 (%)	89,4	73,8	41,5	103,6	99,9
Ag (Argent) - 0,01 μg/l	< LQ				
Al (Aluminium) - 0,5 μg/l	0,61	1,48	3,03	5,55	3,06
As (Arsenic) - 0,05 μg/l	< LQ	< LQ	< LQ	0,38	0,75
B (Bore) - 0,5 μg/l	9,82	7,69	6,53	15,3	18,7
Ba (Baryum) - 0,05 μg/l	1,28	1,91	17,8	0,28	0,1
Be (Béryllium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CO3 (Carbonates) - 10 mg/l	< LQ				
Ca (Calcium) - 0,5 mg/l	6,5	7,9	12,8	8,3	9,4
Cd (Cadmium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CI (Chlorures) - 0,5 mg/l	7	6,4	7,1	9,6	8,6
Co (Cobalt) - 0,05 μg/l	< LQ				
Cr (Chrome) - 0,1 μg/l	0,64	0,55	3,38	0,88	0,1

	MO_12	MO_13	MO_14	MO_15	MO_16
	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Température (°C)	24,8	27,4	25,4	25,0	22,8
Conductivité (μS/cm)	314	1245	190	417	169
рН	7,39	7,00	6,24	7,28	6,52
Eh (mV)	NR	NR	300,8	409,1	444,5
O2 (mg/L)	7,79	2,97	4,23	5,96	8,00
O2 (%)	93,8	37,5	51,6	71,5	94,1
Ag (Argent) - 0,01 μg/l	< LQ				
Al (Aluminium) - 0,5 μg/l	2,26	0,99	0,73	1,72	1,21
As (Arsenic) - 0,05 μg/l	0,41	1,1	0,1	0,69	0,09
B (Bore) - 0,5 μg/l	16,6	37,7	9,07	20,9	10,5
Ba (Baryum) - 0,05 μg/l	0,96	2,83	8,41	1,59	1,32
Be (Béryllium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CO3 (Carbonates) - 10 mg/l	< LQ				
Ca (Calcium) - 0,5 mg/l	10,8	36,5	12	12,6	9
Cd (Cadmium) - 0,01 μg/l	< LQ				
CI (Chlorures) - 0,5 mg/l	11,9	180,7	8,1	34,3	5,5
Co (Cobalt) - 0,05 μg/l	< LQ	< LQ	0,07	< LQ	< LQ
Cr (Chrome) - 0,1 μg/l	1,35	0,13	0,61	1,02	0,56

	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_5
	19/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018
Cu (Cuivre) - 0,1 μg/l	0,13	0,1	0,12	0,13	< LQ
F (Fluorures) - 0,1 mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	0,1	< LQ
Fe (Fer) - 0,02 mg/l	0,023	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
HCO3 (Bicarbonates) - 10 mg/l	41	25	65	87	69
K (Potassium) - 0,5 mg/l	2,3	0,8	0,9	2	0,6
Li (Lithium) - 0,1 μg/l	0,27	0,12	< LQ	< LQ	< LQ
Mg (Magnésium) - 0,5 mg/l	3,4	3,2	7,4	8,6	7,6
Mn (Manganèse) - 0,1 μg/l	3,92	0,97	5,63	0,31	0,24
NH4 (Ammonium exprimé en NH4) - 0,05 mg/l	< LQ				
NO2 (Nitrites exprimés en NO2) - 0,01 mg/l	< LQ				
NO3 (Nitrates exprimés en NO3) - 0,5 mg/l	< LQ	< LQ	0,6	< LQ	< LQ
Na (Sodium) - 0,5 mg/l	9,1	5,1	6,2	9,3	7,2
Ni (Nickel) - 0,1 μg/l	0,19	0,22	0,18	0,17	< LQ
PO4 (OrthoPhosphates en PO4) - 0,05 mg/l	0,15	0,08	< LQ	0,07	0,1
Pb (Plomb) - 0,05 μg/l	< LQ				
SO4 (Sulfates) - 0,5 mg/l	1,6	0,9	1,2	1	1,1
SiO2 (Silice) - 0,5 mg/l	32,9	20,5	32,2	49,6	25,7
Sr (Strontium) - 0,1 μg/l	33,1	22,1	51,3	86,1	61,5
Zn (Zinc) - 0,5 μg/l	< LQ	< LQ	< LQ	0,55	< LQ

	MO_6	MO_8	MO_9	MO_10	MO_11
	20/07/2018	20/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Cu (Cuivre) - 0,1 μg/l	< LQ	< LQ	0,58	< LQ	0,2
F (Fluorures) - 0,1 mg/l	< LQ	< LQ	< LQ	0,1	0,1
Fe (Fer) - 0,02 mg/l	< LQ				
HCO3 (Bicarbonates) - 10 mg/l	61	66	92	73	73
K (Potassium) - 0,5 mg/l	< LQ	0,9	1	2,3	4,7
Li (Lithium) - 0,1 μg/l	< LQ	< LQ	0,29	0,36	1,37
Mg (Magnésium) - 0,5 mg/l	8,3	7,6	10,9	7,4	4,6
Mn (Manganèse) - 0,1 μg/l	< LQ	0,19	0,84	< LQ	0,23
NH4 (Ammonium exprimé en NH4) - 0,05 mg/l	< LQ				
NO2 (Nitrites exprimés en NO2) - 0,01 mg/l	< LQ				
NO3 (Nitrates exprimés en NO3) - 0,5 mg/l	< LQ	< LQ	3,6	0,8	1,4
Na (Sodium) - 0,5 mg/l	4,9	5,9	6,2	11	12,8
Ni (Nickel) - 0,1 μg/l	< LQ	0,18	3,33	< LQ	< LQ
PO4 (OrthoPhosphates en PO4) - 0,05 mg/l	0,07	< LQ	0,11	0,1	0,07
Pb (Plomb) - 0,05 μg/l	< LQ				
SO4 (Sulfates) - 0,5 mg/l	1	1	1,2	1,7	8,6
SiO2 (Silice) - 0,5 mg/l	27,3	32,9	36,5	32,9	41,6
Sr (Strontium) - 0,1 μg/l	52	42	87,2	71,9	60,1
Zn (Zinc) - 0,5 μg/l	< LQ	< LQ	1,73	1,71	2,25

	MO_12	MO_13	MO_14	MO_15	MO_16
	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Cu (Cuivre) - 0,1 μg/l	0,36	1,05	0,6	0,32	< LQ
F (Fluorures) - 0,1 mg/l	0,1	0,4	< LQ	0,2	< LQ
Fe (Fer) - 0,02 mg/l	< LQ	< LQ	0,077	< LQ	< LQ
HCO3 (Bicarbonates) - 10 mg/l	104	186	98	99	60
K (Potassium) - 0,5 mg/l	1,9	8,9	1,5	3	0,9
Li (Lithium) - 0,1 μg/l	0,6	3,45	0,43	1,03	< LQ
Mg (Magnésium) - 0,5 mg/l	11,6	40,4	10,8	9,9	5,6
Mn (Manganèse) - 0,1 μg/l	< LQ	0,17	4,19	0,28	< LQ
NH4 (Ammonium exprimé en NH4) - 0,05 mg/l	< LQ				
NO2 (Nitrites exprimés en NO2) - 0,01 mg/l	< LQ				
NO3 (Nitrates exprimés en NO3) - 0,5 mg/l	1	0,8	0,9	0,9	0,8
Na (Sodium) - 0,5 mg/l	14,2	72,9	9,5	28,2	6,4
Ni (Nickel) - 0,1 μg/l	< LQ	0,32	1,14	0,26	< LQ
PO4 (OrthoPhosphates en PO4) - 0,05 mg/l	0,15	0,21	0,15	0,23	0,09
Pb (Plomb) - 0,05 μg/l	< LQ	0,33	< LQ	0,06	< LQ
SO4 (Sulfates) - 0,5 mg/l	2	19,3	1,7	4,6	1
SiO2 (Silice) - 0,5 mg/l	39,1	62,4	46,1	47,3	31,5
Sr (Strontium) - 0,1 μg/l	91,7	359	81,7	106	81,3
Zn (Zinc) - 0,5 μg/l	1,1	3,84	2,09	0,86	< LQ

	MO_1	MO_2	MO_3	MO_4	MO_5
	19/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018
Isotope 87Sr / 86Sr	NR	NR	NR	NR	0,704735
² H (vs SMOW)	-20,623	-14,400	-19,527	-21,633	-22,018
¹⁸ O (vs SMOW)	-4,423	-3,496	-4,126	-4,377	-4,583
CFC-11 (pmol/l)	NR	NR	NR	2,3 ± 0,3	NR
CFC-12 (pmol/l)	NR	NR	NR	1,5 ± 0,1	NR
CFC-113 (pmol/l)	NR	NR	NR	0,21 ± 0,05	NR
SF6 (fmol/I)	NR	NR	NR	2,4 ± 0,3	NR

	MO_6	MO_8	MO_9	MO_10	MO_11
	20/07/2018	20/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Isotope 87Sr / 86Sr	0,705010	0,704858	NR	NR	NR
² H (vs SMOW)	-22,525	-20,548	-20,459	-24,105	-25,239
¹⁸ O (vs SMOW)	-4,578	-4,227	-4,056	-4,793	-4,969
CFC-11 (pmol/l)	NR	NR	NR	NR	NR
CFC-12 (pmol/l)	NR	NR	NR	NR	NR
CFC-113 (pmol/l)	NR	NR	NR	NR	NR
SF6 (fmol/I)	NR	NR	NR	NR	NR

	MO_12	MO_13	MO_14	MO_15	MO_16
	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Isotope 87Sr / 86Sr	NR	NR	NR	NR	NR
² H (vs SMOW)	-24,307	-24,043	-20,417	-22,421	-20,659
¹⁸ O (vs SMOW)	-4,843	-4,590	-4,100	-4,520	-4,460
CFC-11 (pmol/l)	0,24 ± 0,05	0,18 ± 0,05	2,1 ± 0,3	1,0 ± 0,2	2,4 ± 0,3
CFC-12 (pmol/l)	0,16 ± 0,05	0,13 ± 0,05	1,4 ± 0,1	0,72 ± 0,05	1,3 ± 0,1
CFC-113 (pmol/l)	0,02 ± 0,05	0,01 ± 0,05	0,20 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,19 ± 0,05
SF6 (fmol/l)	0,1 ± 0,1	2,5 ± 0,3	2,6 ± 0,3	2,1 ± 0,3	1,0 ± 0,1



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél.: 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

BRGM Polynésie

Immeuble Le Bihan à Pirae (local L1) BP 141 227 98701 – Arue – Polynésie française Tél. : 87 33 56 50