Rapport de stage
2ème année d'École d'Ingénieurs
2015 / 2016

Mise en évidence des assainissements à risques à proximité des forages et analyses des pollutions des zones sensibles en vue de proposer des solutions adaptées

Etudiantes : Marion ZELESZKO et Camille LEBRET
Encadrant ENSIL : Mr Philippe CHAZAL
Encadrants entreprise : Mr Atoloto MALAU et Mme Karine BRUNET

Spécialité
Eau et Environnement

« L'eau et l'assainissement sont indispensables à la santé publique. Je dis souvent qu'ils en constituent la base, car lorsqu'on aura garanti à tout un chacun, quelles que soient ses conditions de vie, l'accès à une eau salubre et à un assainissement correct, la lutte contre un grand nombre de maladies aura fait un bond énorme. »

Dr LEE Jong-wook, Directeur général de l'Organisation mondiale de la Santé

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué au bon déroulement de nos stages et de notre séjour, à savoir :

Mr Patrick Leprat, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges, pour nous avoir offert la possibilité de voir plus loin, et mis en relation avec le Service Territorial de l'Environnement de Wallis et Futuna.

L'ensemble du Service de l'Environnement, pour la chaleur de son accueil et pour la bonne humeur qui y règne, et plus particulièrement :

Mr Atoloto Malau, chef du service de l'environnement, pour nous avoir accueillies et permis de découvrir ce petit bout de France à l'autre bout du monde, avec toutes ses richesses et ses coutumes.

Mme Karine Brunet, chargée de la surveillance de la ressource en eau, avec qui la vie est plus belle, pour nous avoir suivies et conseillées tout au long de ces quelques mois.

Mme Julie Petit, coordinatrice INTEGRE pour Wallis et Futuna, et grand manitou à ses heures perdues, pour nous avoir soutenues et supportées au cours de discussions acharnées.

Mr Enelio Liufau, chargé de la surveillance des milieux, pour avoir été notre passe partout de MapInfo, et avoir résolu nos problèmes en un temps record.

Mr Sosefo Malau, agent polyvalent, pour son implication totale lors des enquêtes et des prélèvements, et son aptitude à sauter au-dessus d'une paire de tongs, les mains derrière le dos.

Roxanne Bottari et Gabriella Vaisala, pour leurs insatiables fringales, et pour nous avoir appris les rudiments du Wallisien au cours d'analyses laboratoire nocturnes.

Mr Claude Mignard, pour nous avoir aidé à poser les bases de l'étude grâce à l'établissement provisoire des périmètres de protection, et nous avoir fait découvrir les tartines géantes du snack Mahina.

Mr Alain Boulanger, pour son investissement, le partage de ses connaissances techniques souvent précieuses, et ses envies frénétiques de cultiver des roseaux.

Chloé Desmots et Simon Moncelon, stagiaire juriste et animateur INTEGRE pour Wallis et Futuna, pour avoir rythmé nos vies par leurs péripéties, et leurs recherches inlassables, tantôt de signes, tantôt de charades inégalables.

La population wallisienne, pour nous avoir ouvert ses portes lors des enquêtes, pour leurs sourires inébranlables et pour tout ce qu'ils nous ont appris et apporté.

En somme, un grand merci à toutes les personnes qui ont croisé notre chemin, de près ou de loin, et qui ont fait partie de cette aventure exotique qui nous laissera des souvenirs impérissables.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements....1
Introduction....1
1. Contexte bibliographique....2
1.1. Wallis et Futuna, un territoire méconnu....2
1.1.1. Historique....2
1.1.2. Une géographie particulière....2
1.1.3. Un milieu naturel singulier....3
1.1.4. La démographie....5
1.1.5. Institutions, coutume et autosuffisance....6
1.2. La problématique de l'eau....8
1.2.1. Une unique ressource en eau....8
1.2.2. Deux menaces particulières....9
1.3. Les outils pour protéger la ressource....12
1.3.1. L'assainissement non collectif dans les règles de l'art....12
1.3.2. La réglementation applicable à Wallis....16
1.3.3. Les périmètres de protection....17
1.4. Les indicateurs de pollution au niveau de l'eau....19
1.4.1. Eaux usées....19
1.4.2. Eaux brutes....20
1.4.3. Eaux de source....21
1.4.4. Eaux de baignade....22
2. Matériel et méthodes....23
2.1. La démarche adoptée....23
2.2. Détermination des périmètres de protection....24
2.3. Réalisation des enquêtes domiciliaires....24
2.3.1. Questionnaire....24
2.3.2. Terrain....25
2.4. Choix des niveaux de criticité....25
2.4.1. Pour l'ANC....25
2.4.2. Pour l'élevage....30
2.5. Prélèvements et préparation du matériel....33
2.5.1. Choix des lieux de prélèvements....33
2.5.2. Réalisation des prélèvements....34
2.5.3. Préparation des analyses....35
2.6. Les mesures In-Situ....36
2.6.1. Les paramètres communs à tous types d'eaux....36
2.6.2. Paramètres spécifiques à certaines eaux....37
2.7. Analyses en laboratoire....38
2.7.1. Paramètres organoleptiques....38
2.7.2. Paramètres physico-chimiques....39
2.7.3. Paramètres indésirables....41
2.7.4. Paramètres microbiologiques....43

3. Résultats et discussions.....45
3.1. Enquêtes domiciliaires : Étude statistique.....45
3.1.1. Informations générales.....45
3.1.2. Respect des distances préconisées par le DTU 64-1.....46
3.1.3. Destination des eaux vannes.....46
3.1.4. Destination des eaux grises.....47
3.1.5. Caractéristiques des fosses septiques.....49
3.1.6. Caractéristiques de l'élevage.....50
3.2. Mise en évidence des maisons prioritaires.....52
3.2.1. Mise en évidence des habitations prioritaires.....53
3.3. Les analyses laboratoires.....56
3.3.1. Eaux usées.....56
3.3.2. Eaux brutes.....59
3.3.3. Eaux de baignade.....59
3.3.4. Eaux de sources.....60
3.3.5. Synthèse sur l'état des lieux de la pollution.....61
3.4. Les solutions envisagées.....62
3.4.1. Des solutions techniques.....62
3.4.2. Des missions de sensibilisation.....65
3.4.3. Un appui réglementaire et financier.....66
Conclusion.....68
Bibliographie.....69

Index des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des sols du territoire de Wallis....4
Tableau 2: Synthèse des choix d'ANC possible en fonction de la perméabilité du terrain et de ses caractéristiques....15
Tableau 3: Valeurs réglementaires et objectifs pour les paramètres caractéristiques des eaux usées 19
Tableau 4: Valeurs limites pour l'analyse de la ressource profonde....20
Tableau 5: Valeurs réglementaires et objectifs pour l'analyse des eaux de source....21
Tableau 6: Classement des eaux de baignade selon la directive 76/160/CEE....22
Tableau 7: Synthèses des notes minimales et maximales pour chacun des critères et mise en évidence de la note finale....29
Tableau 8: Niveaux de priorité et caractéristique de l'assainissement en fonction de la note finale 29
Tableau 9: Détermination de la criticité maximale, en fonction du type d'élevage....32
Tableau 10: Niveaux de priorité et caractéristiques de l'élevage en fonction de la note finale....33
Tableau 11: Synthèse du nombre de maisons enquêtées et du nombre de maisons priorisées en fonction des périmètres de protection....53
Tableau 12: Synthèse du nombre d'habitations en fonction du niveau de criticité, pour l'ANC et N° des enquêtes à traiter en priorité....54
Tableau 13: Synthèse du nombre d'habitations en fonction du niveau de criticité, pour l'élevage. .55
Tableau 14: Classement des enquêtes pour différents paramètres....57
Tableau 15: Résultats des analyses effectuées sur les eaux de baignade....59
Tableau 16: Avantages et inconvénients du système cocolit....64

Index des figures

Figure 1: Localisation de Wallis et Futuna....2
Figure 2: Evolution de la population de 1969 à 2013....5
Figure 3: Umu traditionnel....7
Figure 4: Panier tressé....7
Figure 5: Dispositif installé à Mua....8
Figure 6: Dispositif installé à Ahoa....8
Figure 7: Lentille d'eau douce de Wallis....8
Figure 8: Les différentes stratégies d'élevage....9
Figure 9: Caractéristiques, composition et risques des différents types d'eaux usées....11
Figure 10: Étapes du système d'ANC....12
Figure 11: Schéma de principe d'une fosse septique....13
Figure 12: Volume utile de la fosse en fonction du nombre de pièces principales....13
Figure 13: Un triptyque à considérer avant de mettre en place un ANC....14
Figure 14: Distance minimale fixées par le DTU 64-1, que doit respecter le dispositif de traitement 15
Figure 15 : Les périmètres de protection et leurs spécificités....18
Figure 16: La problématique de contamination de la lentille d'eau douce : Enjeux, risques et actions 23
Figure 17: Méthodologie générale....23
Figure 18: Les différentes destinations des eaux usées....26
Figure 19: Fosse septique plastique (Source : Enquête n°50, Holo, 30/06/06)....26
Figure 20: Matrice des criticités ANC ; association d'une note à chaque critère....28
Figure 21: Les stratégies d'élevages....30
Figure 22: Ancien parc en terre....30
Figure 23: Fosse à lisiers....31
Figure 24: Matrice des criticités de l'élevage ; association d'une note à chaque critère....32
Figure 25: Étapes permettant le choix des lieux de prélèvement pour les eaux usées....33
Figure 26: Electrolyseur permettant le traitement de l'eau au chlore....35
Figure 27: Autoclave du laboratoire de Wallis....35
Figure 28: pH mètre du laboratoire de Wallis....36
Figure 29: Conductimètre, laboratoire de Wallis....37
Figure 30: Piézomètre permettant également la mesure de la conductivité....38
Figure 31: Appareil Photolab S6, laboratoire de Wallis....39
Figure 32: Dispositif de filtration sur membrane....40
Figure 33: Schéma représentatif des différentes formes de l'azote....41
Figure 34: Schéma du processus de traitement de l'azote....42
Figure 35: Exemple de lecture d'un microplaque MUD/SF (Source : Biokar diagnostics)....43
Figure 36: Test de confirmation pour la présence de Salmonelles....44
Figure 37: Pourcentage d'enquêtes réalisées en fonction de la proximité avec les forages (Mua,

Carmélites, Ahoa et Holo).....45
Figure 38: Pourcentages des enquêtes réalisées en fonction du statut et de la présence de l'habitant.....45
Figure 39: Pourcentage des maisons conformes et non conformes aux prescriptions du DTU 64-1 46
Figure 40: Pourcentage des modes de pré-traitements des eaux vannes, pour l'ensemble des maisons visitées.....47
Figure 41: Nombre d'habitants dans les habitations ne disposant pas de fosse septique.....47
Figure 42: Mode de traitement des eaux grises, pour l'ensemble des maisons visitées.....48
Figure 43: Origine des écoulements de surface, pour l'ensemble des maisons visitées.....48
Figure 44: Classement des fosses septiques en fonction de la date de leur construction.....49
Figure 45: Classement des fosses septiques en fonction de leur mode de construction et du type de matériau.....49
Figure 46: Classement des fosses septiques en fonction de la date de réalisation du dernier entretien.....50
Figure 47: Classement des différents types d'élevages pour l'ensemble des parcs à cochons recensés.....50
Figure 48: Répartition du nombre de cochons en fonction de la stratégie d'élevage, pour l'ensemble des parcs à cochons recensés.....50
Figure 49: Fréquence de rotation des parcs en terre tournants.....51
Figure 50: Destination des lisiers pour les habitations possédant des parcs à cochons, en pourcentage.....51
Figure 51: Photographies d'un système de récupération de lisiers et de la fosse pleine (Enquêtes n°115).....51
Figure 52: Nombre d'animaux par habitations possédant des parcs à cochons, en pourcentage.....52
Figure 53: Répartition des élevages en fonction du niveau de priorité associé.....55
Figure 54: Classement des enquêtes, après analyses laboratoire, en fonction de l'état de pollution des eaux usées.....58
Figure 55: Classement des enquêtes par niveau de criticité d'après les enquêtes domiciliaires.....58
Figure 56: Composition d'une noix de coco.....62
Figure 57: Schématisation d'un média filtrant.....63
Figure 58: Système d'assainissement proposé pour les habitations ne disposant pas d'une fosse septique.....63
Figure 59: Étapes nécessaires à la publication d'un arrêté.....66

INTRODUCTION

Sur l'île d'Uvea, il est nécessaire de disposer d'un système d'assainissement permettant à chacun de vivre dans des conditions de vie descentes, et de limiter son impact sur les ressources. Cependant, sur le territoire, les aménagements individuels sont souvent peu entretenus et effectués par une main d'œuvre non qualifiée. Cela implique un risque direct pour l'unique ressource en eau de Wallis, la lentille d'eau douce. A cela s'ajoute la problématique des lisiers, produits par plus de 2 000 parcs à cochons familiaux.

Dans le but d'améliorer l'état de l'assainissement à Wallis et suite à l'état des lieux du SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux), un schéma directeur de l'assainissement doit être mis en place. Dans cet objectif, diverses études ont été menées et ont notamment mis en évidence les caractéristiques géologiques et pédologiques du territoire. Ces dernières ont permis d'orienter les choix dans la définition des périmètres de protection rapprochée autour des forages, en ce moment à l'étude. Pour compléter ces démarches, un état des lieux de l'assainissement et de l'état de pollution des ressources en eau doit être effectué. Pour remplir ces objectifs, deux stages ont été proposés par le Service Territorial de l'Environnement de Wallis, sous la tutelle de Karine BRUNET, et s'inscrivent dans le plan d'action du projet INTEGRE.

L'Initiative des Territoires pour la Gestion Régionale de l'Environnement (INTEGRE), est un projet de développement durable. Il a pour objectif de prévenir la dégradation des milieux, de préserver le cadre de vie des habitants et de renforcer la coopération régionale dans le domaine du développement durable et de l'intégration des territoires européens. Ce projet commun aux quatre Pays et Territoires d'Outre-Mer européen du Pacifique est financé par l'Union Européenne sur l'enveloppe du 10e Fond Européen de Développement à hauteur de douze millions d'euros, pour la période de novembre 2013 à janvier 2018. Il est mis en œuvre par la Communauté du Pacifique, et piloté par la Polynésie française, représentant les PTOM.

Sur Wallis et Futuna, INTEGRE accompagne le territoire dans la mise en place d'une stratégie de développement durable sur des enjeux identifiés comme majeurs et prioritaires. Les trois axes définis sont la gestion durable des déchets, la préservation de la ressource en eau et la protection du littoral.

La présente étude a donc été jalonnée par les objectifs suivants : faire un état des lieux de l'assainissement au sein des périmètres de protection rapprochée, établir l'état de pollution des ressources en eau, mettre en évidence les maisons prioritaires pour une réhabilitation du système d'assainissement, pour finalement proposer des solutions adaptées au territoire de Wallis.

1. Contexte bibliographique

1.1. Wallis et Futuna, un territoire méconnu

1.1.1. Historique

Le territoire de Wallis et Futuna est composé de trois îles distinctes. Futuna et Alofi ont été découvertes en 1616 par des navigateurs hollandais et constituent ensemble les îles Horn. Uvea, nom polynésien donné par les habitants à la dernière des trois îles, forme avec ses 16 îlots le territoire de Wallis. Elle fut découverte en 1767 par Samuel Wallis, d'où le nom qui lui est donné en général.

En 1842, ces îles se déclarèrent « libres et indépendantes sous la protection de la France » séparément et par la signature de traités. En 1888, elles s'unifièrent, puis devinrent finalement en 1959 une collectivité d'outre-mer, régie par la loi n°61-814 du 29 juillet 1961.

Le chef-lieu de cet archipel est Mata'utu, situé en bord de mer sur l'île d'Uvea. [1] [2]

1.1.2. Une géographie particulière

Wallis et les îles Horn sont, d'une part, éloignées du reste du monde, mais aussi distantes entre elles. En effet, à 22 000 kilomètres de la métropole, l'archipel est situé dans le Pacifique sud, entre la Nouvelle-Calédonie et Tahiti, non loin des îles Samoa et des îles Fidji, comme visible en figure 1. Wallis est située à 230 kilomètres de Futuna, alors que Futuna et Alofi sont très proches, à seulement 1,7 km l'une de l'autre. C'est d'ailleurs pour cela que ces deux îles sont considérées comme un seul ensemble.

Le territoire de Wallis et Futuna a une superficie de 142 km², dont 78 km² pour Wallis à elle seule [1][2]. Le cadre de cette étude se limitera à Uvea qui est localisable par les coordonnées GPS suivantes : 176° de longitude Ouest et 13° de latitude Sud.

Figure 1: Localisation de Wallis et Futuna

Source : countryreports.org

1.1.3. Un milieu naturel singulier

- *Un climat tropical*

Le climat de l'archipel est tropical maritime, humide avec très peu de variations de température. Cette dernière reste autour des 27°C, ce qui peut favoriser le développement d'une flore diversifiée. Il est tout de même possible de distinguer deux saisons. L'une est plus fraîche, grâce aux alizés (de mai à septembre) et c'est aussi la saison la plus sèche. L'autre est plus chaude, de novembre à avril avec plus de 300 mm de précipitations par mois. Les précipitations à l'année sont relativement importantes sur Wallis : plus de 3 000 mm pour 2014 d'après le rapport annuel de l'eau publié en 2014 par EEWF (Eau et Électricité de Wallis et Futuna) contre 814 mm à l'échelle mondiale [1] [2].

- *Géomorphologie*

La proximité de la zone de fracture Nord Fidjienne (entre les plaques coulissantes australienne et pacifique) et l'existence d'une faille passant par Futuna et Alofi, sont à l'origine de séismes superficiels de fortes magnitudes et de glissements de terrain. Mais le territoire est relativement protégé par une grande barrière de corail. En effet, le lagon de Wallis, profond de 10 à 15 m, est entouré d'un récif, barrière faisant près de 63 km et communiquant par quatre passes ; trois dans la partie ouest de l'île et une au sud.

- *Un contexte pédologique volcanique*

Contrairement aux îles Futuna et Alofi qui possèdent un relief assez marqué avec un point culminant à 524 mètres, Uvea est une île relativement plate. Son point culminant est le mont Lulu à 151 mètres seulement.

Sur le territoire, quatre unités paysagères peuvent être définies [3] :

- La mangrove, qui est principalement présente sur la côte ouest mais également au sud de l'île.
- Le cordon littoral, à l'Est qui est la zone la plus habitée, et où l'élevage est le plus important (Annexe 1 et 2). C'est entre ce cordon et le premier plateau que se situent les tarodières. On y trouve également des sources.
- Le premier plateau, situé à une côte allant de 15 à 30 mètres, qui est en cours d'urbanisation. Les sols y sont rouges ou bruns. Il est possible d'y trouver des élevages de porcs mais aussi des plantations fruitières et vivrières. Il rejoint le littoral par une pente plus ou moins forte.
- Le plateau supérieur, peu habité, qui est composé des monts et collines.

L'étude du pouvoir épurateur des sols doit prendre en compte un certain nombre de paramètres parmi lesquels il est possible de trouver la texture du sol, sa pente ou sa perméabilité, mais aussi l'activité biologique ou la profondeur de la nappe. L'ensemble de ces paramètres sont des facteurs contraignants et impactent donc l'environnement de manière plus ou moins prononcée.

Pour tous les types de sols de Wallis, les contraintes sont globalement légères, sauf pour l'activité biologique, pour laquelle elles sont moyennes à élevées. De même, la profondeur de la nappe, affleurante au niveau du littoral, est un facteur de contrainte élevée à très élevée dans cette zone de sols coquilliers.
D'après diverses études pédologiques, le SAGE a établi une conclusion générale quant au pouvoir épurateur des sols de Wallis, synthétisée dans le tableau 1:

Tableau 1: Caractéristiques des sols du territoire de Wallis

Lieu	Type de sol [3]	Perméabilité (k en cm/h) [3]	Pouvoir épurateur [3][4]
	Mangrove		Inexistant
Zone côtière	Sables coquilliers	2,3 à 11	Très réduit
Plateau inférieur	Bruns/rouges	9,7 à 24	Modéré
Plateau inférieur	Ferrallitiques	4,3 à 26	Médiocre à moyen
Plateau supérieur (zone de *Toafa*)	Ferrallitiques	1 à 30	Assez faible
Monts	Ferrallitiques	9 à 17,6	Assez faible

D'un point de vue général, les sols de Wallis sont perméables (D'après le BURGEAP, la perméabilité optimum est > 5cm/h), mais leur pouvoir épurateur est faible à modéré. Certaines zones présentent des situations plus critiques (Annexe 3), et notamment le littoral. En effet, c'est une zone exposée puisque le pouvoir épurateur y est réduit et la nappe affleurante, mais la perméabilité y est importante. Le risque de pollution est donc élevé. Ainsi, l'eau s'infiltre rapidement dans le sol, qui n'est pas forcément en mesure de la traiter. Cela pourrait constituer un risque à court terme.

Pour le plateau inférieur, la perméabilité reste élevée, mais le pouvoir épurateur est plus important et la nappe plus profonde, ce qui n'induit pas de risque imminent de contamination. Enfin, bien que la capacité d'épuration soit faible, la perméabilité réduite et la profondeur de la nappe permettent de garantir une certaine marge de sécurité au niveau du plateau supérieur et des monts.

1.1.4. La démographie

La population de Wallis et Futuna ne cesse de décroître depuis quelques années. Celle-ci avait pourtant augmenté de manière considérable entre 1969 et 2003, car les naissances compensaient alors le faible taux d'émigration. Mais depuis 2003, cela n'est plus le cas. Au recensement d'août 2013, la population était de 12 197 personnes (dont 8 584 pour Uvea) contre 13 445 en 2008 (Figure 2).

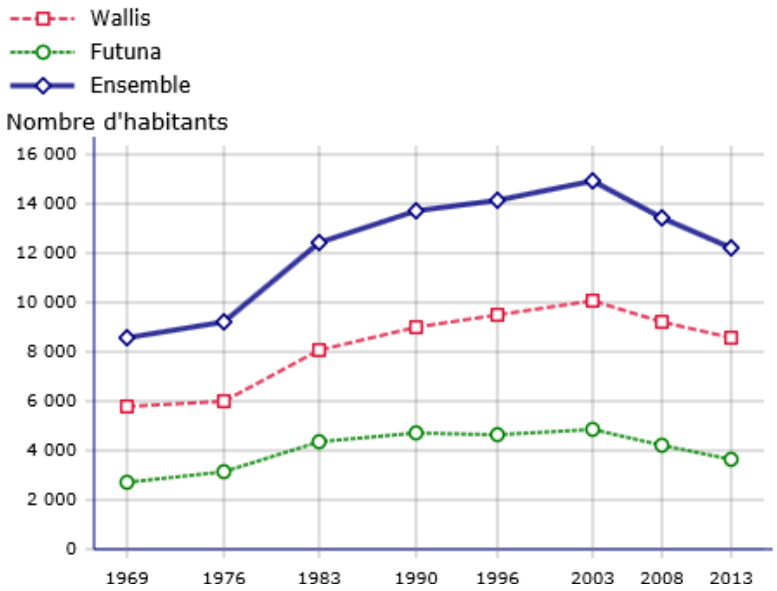


Figure 2: Evolution de la population de 1969 à 2013
Source : Insee-STSEE, recensements de la population

Cette décroissance s'explique tout d'abord par le fait que le taux de natalité a considérablement baissé ces dernières années. Mais le facteur prépondérant dans ce phénomène reste l'émigration des jeunes. En effet, l'école n'est assurée sur le territoire que jusqu'au Baccalauréat. Cela explique en partie l'émigration des jeunes vers la métropole ou la Nouvelle-Calédonie afin de pouvoir suivre des études supérieures, ou encore avoir plus de possibilités d'emploi. De plus, il y a peu de possibilités d'embauche étant donné la faible présence d'industries [2][5].

Cependant, les proportions entre les différentes îles restent relativement stables. Environ 70 % de la population est concentrée à Wallis alors que les 30 % restants sont sur Futuna, Alofi étant inhabitée.

1.1.5. Institutions, coutume et autosuffisance

- *L'importance de la coutume et de la religion*

La coutume, qui peut être définie comme étant « l'ensemble des règles de vie, des devoirs et des droits, antérieurs au statut actuel de territoire, qui régissent la société locale »[6], ainsi que la religion possèdent une place importante dans la vie des wallisiens. La loi n° 61-814 du 29 juillet 1961 stipule d'ailleurs que « La République garantit aux populations du territoire des îles Wallis et Futuna le libre exercice de leur religion, ainsi que le respect de leurs croyances et de leurs coutumes tant qu'elles ne sont pas contraires aux principes généraux du droit et aux dispositions de la présente loi » [7].

Par ailleurs, trois pouvoirs se distinguent sur le territoire de Wallis. Tout d'abord, l'État est représenté par le préfet, qui est l'administrateur supérieur du territoire, et gère les lois, ordonnances, décrets et arrêtés qui doivent être mis en application. Il est en somme la figure du pouvoir exécutif.

Wallis possède également une autorité coutumière, présidée par le roi ou *Lavelua*, qui est assisté de ses six « ministres » ayant chacun des attributions particulières. À titre d'exemple, il est possible de citer le *Mahe*, qui est chargé de l'environnement de manière générale. Ces ministres communiquent avec les chefs de districts ou *Faipule*, qui sont au nombre de trois : un pour le district de Hahake au nord, un pour Hihifo au centre et un pour Mua au sud (Annexe 1). Viennent ensuite les 21 chefs de villages ou *Pulekolo*, désignés par la population du village, qui se réfèrent aux chefs de districts.

Finalement, l'influence de l'Église catholique est non négligeable. En effet, celle-ci assure l'enseignement primaire, et inculque donc ses valeurs aux jeunes wallisiens. Les fêtes religieuses sont très importantes, et font l'objet de grandes célébrations réunissant souvent danses et chants traditionnels, messes, et coutumes. [8]

- *Un développement basé sur l'autosuffisance*

L'élevage fait également partie intégrante de la vie d'un wallisien et représente une part importante de l'activité agricole, complétée par la culture d'arbres fruitiers ou de tubercules (taro, igname…). Cependant, tout cela n'est pas destiné à l'exportation ou à la vente. Il s'agit plutôt de satisfaire une consommation personnelle. Pour cela, presque toutes les familles possèdent un élevage porcin, généralement situé dans leur jardin, et parfois couplé à l'élevage de poules. Si cette activité est si développée sur le territoire de Wallis, c'est qu'il s'agit là encore d'honorer la tradition. Le porc ou *Puaka* est un élément central de la coutume, qui veut que chaque événement important, familial ou non, soit célébré avec le don d'un cochon. La taille de ce dernier représente alors l'importance de l'occasion, fait la fierté du donneur et témoigne du statut social de la personne à qui le porc est destiné [6].

Les cochons ainsi consommés sont alors cuits dans le four traditionnel wallisien : le *Umu* (figure 3).

Figure 3: Umu *traditionnel*

Source : Wallisetfutuna.fr

Figure 4: Panier tressé

Source : Wallisetfutuna.fr

Il s'agit d'un four réalisé sous terre. Le trou est rempli de pierres chauffées grâce à un feu. Lorsque le bois est consumé, le porc et les tubercules y sont déposés, protégés par des feuilles de bananiers. Le tout est alors recouvert de terre, afin de limiter les déperditions de chaleur. Après cuisson les aliments sont recueillis dans des paniers tressés (figure 4).

- *La notion de terres « coutumières »*

Les terres du territoire d'Uvea ainsi que son lagon sont dites « coutumières », ce qui signifie qu'elles sont par principe incessibles car elles ne peuvent pas être vendues. Cette pratique est régie par le principe d'indivision du patrimoine familial. Enfin, chaque membre de la famille a le droit d'utiliser un bien possédé par le propriétaire de la maison et d'en percevoir les avantages : c'est la notion d'usufruit [9].

A Wallis, aucune autorité n'est compétente pour délivrer les permis de construire (Comme le CADASTRE en métropole), ce qui conduit à la prolifération anarchique de nombreuses habitations le long du littoral. Aujourd'hui, seules les maisons récemment construites ayant bénéficié des prêts de l'Agence Française de Développement doivent se conformer à des règles d'assainissement [10].

Cette situation peut représenter un frein à l'ensemble des études menées sur le territoire. En effet, chaque action menée sur un terrain nécessite au préalable l'accord de son propriétaire, qui est dans le droit de refuser toute intervention. En outre, l'absence de réglementation complique la mise en place de préconisations sur ces terrains.

1.2. La problématique de l'eau

1.2.1. Une unique ressource en eau

Sur Uvea, l'eau du robinet est propre à la consommation humaine ce qui n'est pas le cas sur Futuna. De ce fait, l'eau est utilisée pour de nombreux usages, aussi bien la cuisine et les tâches ménagères, que le nettoyage des enclos des animaux, ce qui en gaspille une partie. L'eau de pluie, plutôt abondante dans cette région (cf 1.1.3), pourrait donc être collectée afin d'être traitée et utilisée pour la machine à laver, ou du moins pour le nettoyage des enclos. Cette technique est d'ailleurs déjà utilisée chez certains habitants (figures 5 et 6), mais elle est encore très peu exploitée.

Figure 5: Dispositif installé à Mua

Source : Enquête domiciliaire n°1

Figure 6: Dispositif installé à Ahoa

Source : Enquête domiciliaire n°101

L'importance de ce type de solutions alternatives réside dans le fait que l'eau est une ressource relativement rare qu'il faut donc préserver au maximum. En effet, la ressource en eau sur Uvea est presque uniquement constituée d'une nappe phréatique[11] en forme de lentille souvent nommée « lentille d'eau douce », (figure 7) et formée grâce à la forte perméabilité des sols.

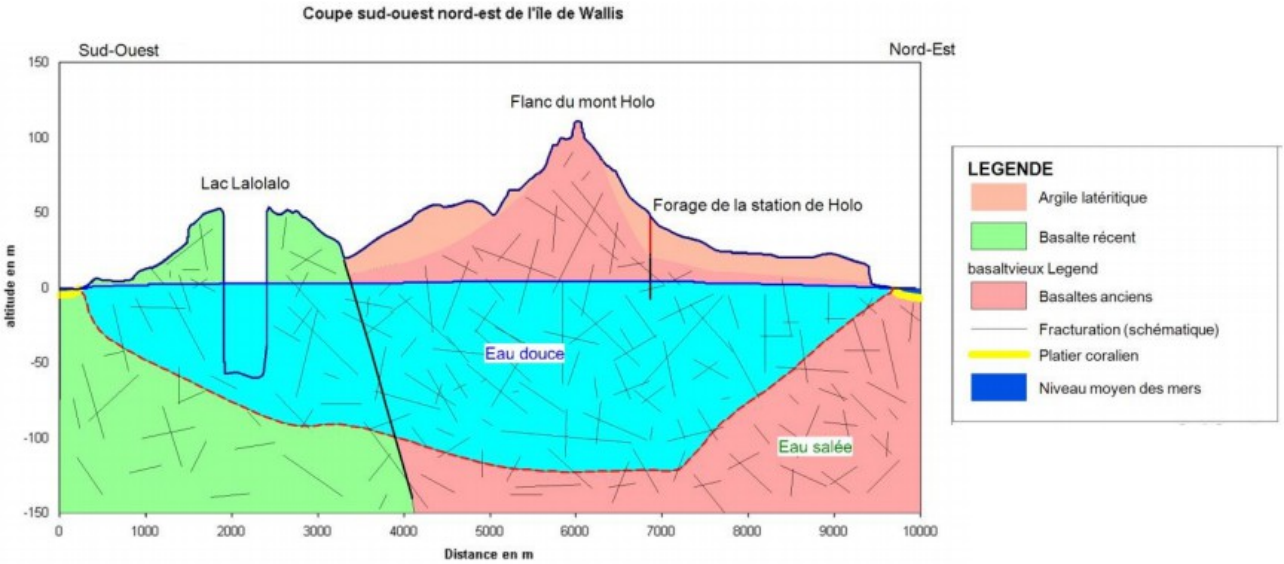


Figure 7: Lentille d'eau douce de Wallis

Source : BRGM

Elle est alimentée par l'infiltration des eaux de pluie, et est en équilibre sur des eaux saumâtres provenant de la mer ; on parle alors de biseau salé. L'eau brute y est puisée grâce à quatre forages en activité qui sont ceux de Holo, Mua, Ahoa et Carmélites, celui de Loka n'étant plus actif, dû à une salinisation de la nappe dans les années 90.

Le niveau de la nappe peut varier au grès des épisodes pluvieux ou plus secs. Cela se remarque notamment au niveau du forage de Mua, les trois autres étant relativement stables. D'après les relevés effectués chaque mois sur l'année 2016, il est à noter que le niveau de la surface de la nappe à Mua est très variable. Il peut passer de 1,2 mètres de profondeur, auquel cas la nappe court un grand risque de pollution, à presque 7 mètres. Dans ce cas, la hauteur d'eau douce est faible ce qui pose un risque de salinisation de la nappe.

Par ailleurs, des résurgences d'eau douce permettent l'équilibre de la nappe par l'écoulement des eaux excédentaires, et forment quelques sources exploitables, notamment localisées sur le littoral à Vailala, car la nappe y est affleurante. Uvea possède également quelques lacs difficilement accessibles, qui forment une petite réserve en eaux de surface peu exploitée, communiquant avec la lentille.

1.2.2. Deux menaces particulières

- *L'élevage*

L'un des problèmes majeurs concernant la pollution des sols et des eaux est l'élevage, qui est relativement important et peu contrôlé sur Wallis [11]. Comme expliqué en 1.1.5, le porc est essentiel à la coutume wallisienne de telle sorte que la majeure partie des familles possède son propre élevage, plus ou moins important. Il existe deux grands types de stratégie d'élevage, ce qui constitue déjà une bonne avancée, car les cochons étaient auparavant en liberté sur la plage. Le premier est le parc en terre grillagé, qui peut potentiellement être qualifié de « tournant », et le second est la dalle en béton (figure 8). La différence entre ces deux types d'élevage réside dans le devenir des lisiers.

Figure 8: Les différentes stratégies d'élevage

Source : Holo, enquête n°53

Dans le cas des dalles en béton, il est nécessaire d'effectuer des lavages réguliers, qui se font en moyenne deux fois par jour. En l'absence de dispositif de récupération, les eaux de ruissellement s'écoulent donc directement derrière la dalle et s'infiltrent dans le sol, toujours au même endroit.

Les dalles en béton étant inamovibles, le sol peut alors être saturé en germe fécaux rendus mobiles par lessivage des sols [12]. Cependant, le risque bactériologique n'est pas le seul présent. Certaines études ont montré que les lisiers de cochons peuvent contenir une concentration élevée voir excessive en cuivre et en zinc [12], mais également en azote. Ce dernier pourrait conduire à une accumulation de nitrates qui, par lessivage, induirait une pollution des eaux souterraines [13]. C'est pourquoi les lisiers pourraient être considérés comme une menace pour la ressource en eau.

De plus, l'alimentation des porcs, autrefois uniquement constituée de manioc et de coco, a été modifiée récemment par l'apparition de nourriture industrielle. La composition des lisiers s'en trouve donc impactée comme l'ont montré des études récentes [6].

Concernant les parcs en terre, les déjections ne peuvent pas être récupérées. Une partie des éléments est donc fixée et l'autre est filtrée dans le sous-sol et peut potentiellement affecter la lentille d'eau douce. Cependant, cette construction peut être régulièrement déplacée et une rotation du parc peut être mise en place, d'où la notion de parc en terre « tournant ». Selon certaines études, les analyses de sols précédemment occupés par les parcs à cochon n'ont pas montré de différence significative avec l'étude de sols comparables sans cochons. Ceci tend à montrer que d'un point de vue agronomique, il est possible d'encourager la rotation des parcs et cultures [14].

De plus, les habitants ne disposant pas de compteurs séparés, il n'est pas possible de dissocier la consommation propre à l'habitation de celle utile à l'élevage. Cependant, il apparaît que la majeure partie de l'eau consommée résulte de l'entretien des parcs et de l'abreuvage des animaux. Or, cette consommation d'eau, si elle est trop forte pourrait à terme provoquer un rabattement de la nappe et donc une salinisation de la lentille d'eau douce.

- *L'assainissement*

Toutes les activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles produisent des eaux usées. D'après les rapports de EEWF, on peut évaluer la consommation en eau d'un wallisien à environ 100 litres d'eau par jour, à différentes fins. Une partie de ces eaux se retrouve à l'état d'eaux usées, essentiellement porteuses de pollution organique, mais aussi minérale et bactériologique. Comme le montre la figure 9, les eaux usées sont composées des eaux vannes (WC) et des eaux ménagères (cuisine, salle de bain..). La pollution journalière peut être estimée comme suit :

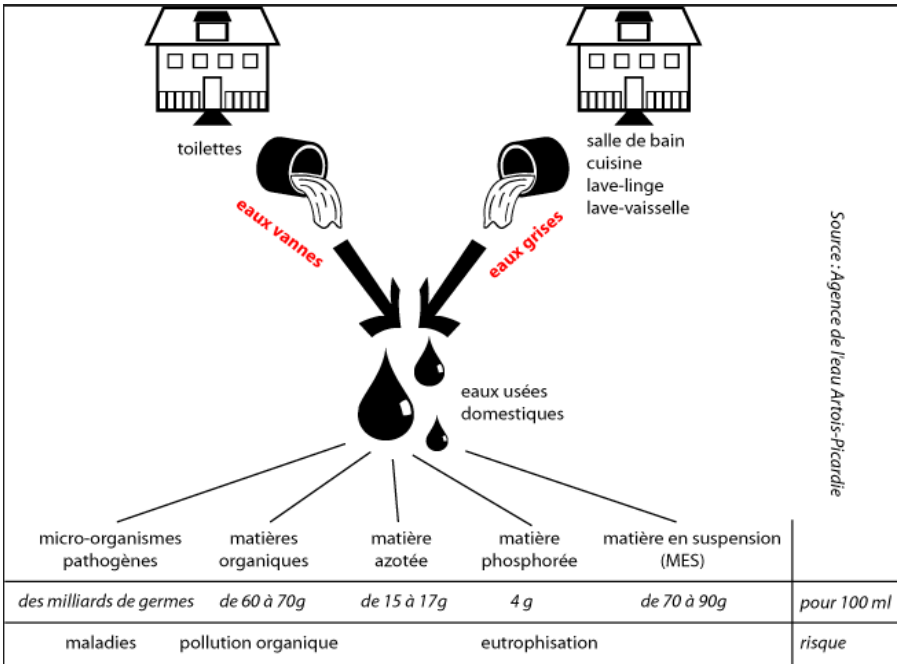


Figure 9: Caractéristiques, composition et risques des différents types d'eaux usées

Afin de limiter l'impact de ces eaux sur l'environnement il est donc nécessaire de les traiter. En métropole, seule 20 % de la population est concernée par une installation de traitement autonome [15], la majeure partie étant raccordée à des stations d'épurations. Mais sur le territoire de Wallis, c'est le système d'Assainissement Non collectif (ANC) qui est mis en place.

Malheureusement, au regard des différentes études récemment menées, une grande partie de ces assainissements n'a pas été conçue ni entretenue dans les règles de l'art, ce qui représente aujourd'hui une menace, à la fois sanitaire et environnementale. En effet, les risques de contamination sont grands, à la fois pour la nappe, mais également pour les sources et le lagon.

Le risque crée par les deux menaces évoquées ci-dessus est accru par le fait que la population, comme les élevages de porcs (Annexe 4), ne sont pas répartis équitablement sur toute l'île mais plutôt localisés sur le bord de mer, à l'Est [6]. Ainsi, tous ces facteurs de contamination se situent non seulement au niveau où la nappe affleure, ce qui constitue un risque pour la ressource profonde, mais aussi près du lagon et des sources, qui pourraient également être touchés. Pour cela, l'étude sera principalement menée sur les eaux usées, mais également sur les eaux de baignade, de forages et de sources afin de déterminer l'état de ces ressources.

1.3. Les outils pour protéger la ressource

1.3.1. L'assainissement non collectif dans les règles de l'art

- *Principe*

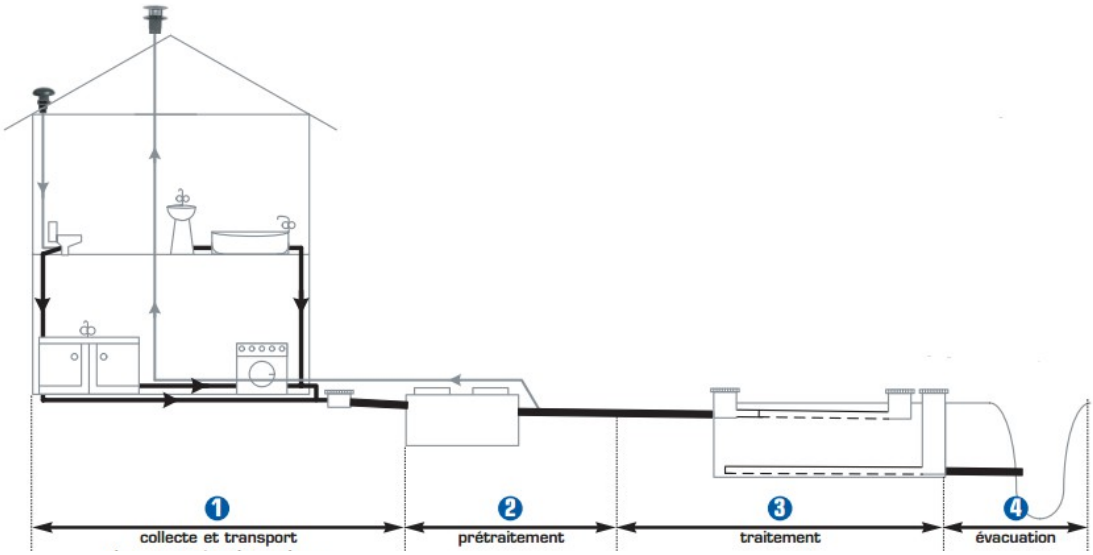
Une installation d'Assainissement Non Collectif est définie comme « une installation d'assainissement assurant la collecte, le transport, le traitement et l'évacuation de l'ensemble des eaux usées domestiques des immeubles (maisons, appartements), non raccordés à un réseau de collecte des eaux usées » [15].

En France, c'est l'arrêté du 7 mars 2012 qui fixe les prescriptions techniques relatives aux installations non raccordées au réseau public de collecte [16].

L'installation doit donc comprendre (Figure 10) :

- Un dispositif de prétraitement : il peut s'agir d'une fosse toutes eaux. L'installation d'un bac à graisse en amont de la fosse est conseillé lorsque la fosse est éloignée de la maison.
- Un dispositif de traitement : il assure l'épuration par des techniques qui peuvent être variées à savoir l'utilisation du sol (*Exemple : lit d'épandage*), d'un massif reconstitué (*Exemple : filtre à sable*) ou d'un système agrée plus complexe (*Exemple : filtre planté de roseaux*).
- Un mode d'évacuation : généralement il s'agit d'une infiltration dans le sol, ou d'un rejet en milieu hydraulique superficiel.

Ce dispositif peut accueillir toutes les eaux usées domestiques mais l'eau de pluie ne doit jamais être dirigée vers les filières d'assainissement.



- Réalisés par des canalisations (100 mm de diamètre minimum) - 2 % de pente minimum - Boite d'inspection ou té requis	Fosse toutes eaux (∑ Eaux usées domestiques)	Utilisation du sol superficiel naturel et/ou reconstitué	Infiltration dans le sol ou milieu hydraulique superficiel

Figure 10: Étapes du système d'ANC

- *Fosse septique / Fosse toutes eaux*

L'étape de prétraitement peut être assurée par une fosse septique (eaux vannes) ou une fosse toutes eaux (eaux vannes et eaux grises). Elle aura pour but d'assurer la liquéfaction partielle des matières polluantes concentrées dans ces eaux usées ainsi que la rétention des matières solides et déchets flottants.

Mais il est à noter que ce type d'ouvrage n'est qu'un prétraitement n'éliminant qu'une très faible proportion de la pollution. Les germes bactériens ne sont par exemple aucunement dégradés.

De part son fonctionnement, la fosse génère des gaz de fermentation (corrosifs et nauséabonds) qui doivent donc être évacués. C'est le rôle du système de ventilation, muni d'un extracteur, qui est présent au-dessus du faîtage de l'habitation (Figure 11) [15].

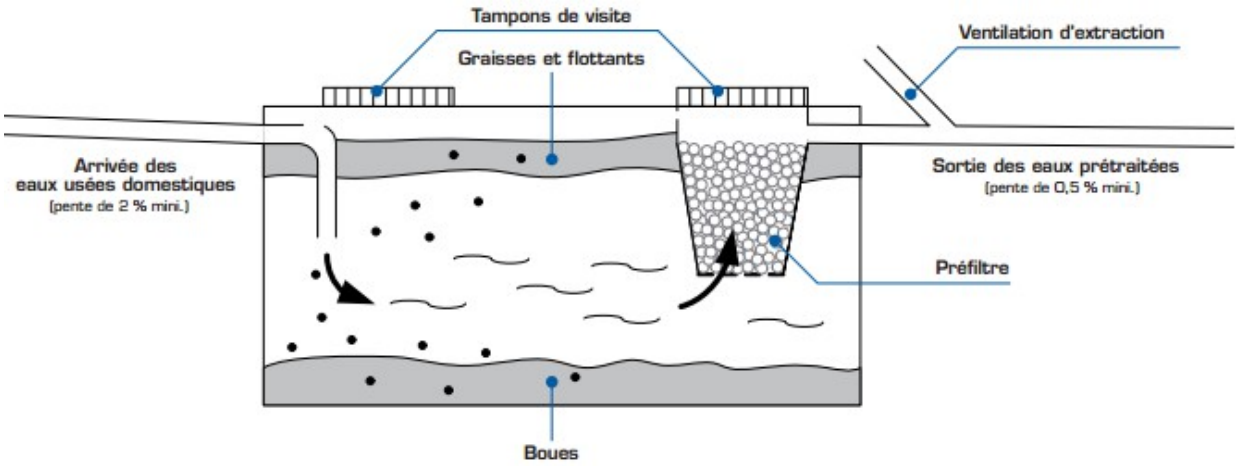


Figure 11: Schéma de principe d'une fosse septique

La fosse toutes eaux doit être placée le plus près possible des sorties des différentes eaux usées et idéalement à moins de 10 m de l'habitation. Afin de garantir l'évacuation des flux il est nécessaire que les canalisations disposent de pentes adaptées. A savoir 2 % pour celle reliant l'habitation et la fosse. Par ailleurs, la fosse doit être posée sur un lit de sable compacté de 10 cm minimum. Enfin, il est primordial que le niveau de l'entrée soit plus haut que celui de la sortie [15].

Le dimensionnement est fonction du nombre de pièces principales (Figure 12). Une pièce principale répond aux caractéristiques d'une « pièce sèche destinée au séjour ou au sommeil d'une surface minimale de 7 m², muni d'une ouverture sur l'extérieur (*exemple* : chambre, séjour…) [16].

Nombre de pièces principales	Volume utile minimum en m³
jusqu'à 5 pièces	3
6 pièces	4
7 pièces	5

Figure 12: Volume utile de la fosse en fonction du nombre de pièces principales

L'entretien de la fosse est peu contraignant. En effet, dans celle-ci, seule une partie des boues est liquéfiée. L'autre partie va donc s'accumuler au cours du temps. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer une vidange dès lors que la hauteur des boues atteint la moitié du volume utile de la fosse, ce qui représente en moyenne une vidange une fois tous les 4 ans.

Pour faciliter le redémarrage du processus de dégradation des matières, il faut laisser une centaine de litres de boues dans le fond de la fosse.

- *Les éléments à considérer pour la mise en place d'un ANC*

Le choix du système de prétraitement, notamment son dimensionnement ainsi que les caractéristiques du traitement, ne doit pas être fait au hasard. Il doit prendre en compte un certain nombre d'éléments, comme le suggère la figure 13.

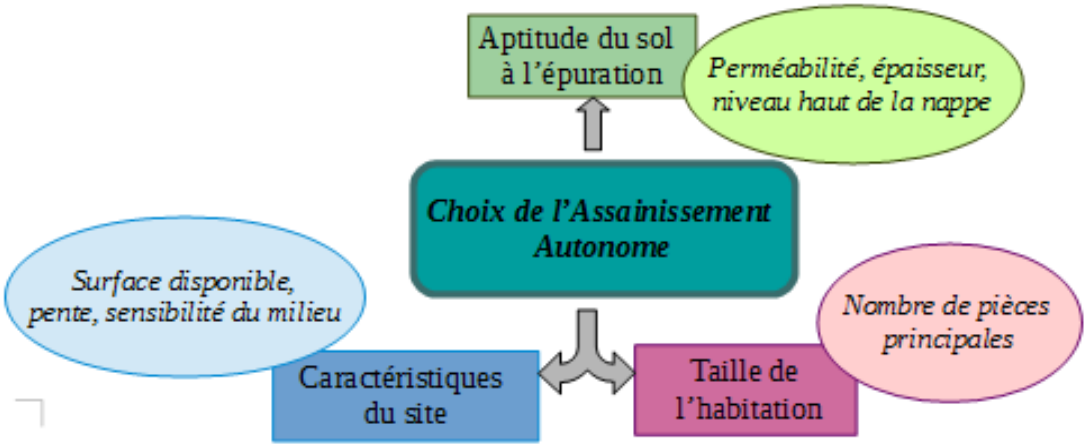


Figure 13: Un triptyque à considérer avant de mettre en place un ANC

La « perméabilité » du sol est un critère essentiel dans la détermination du type d'ANC à mettre en place, afin de ne pas dégrader l'environnement et de protéger les habitants des risques sanitaires. Ainsi, différents critères ont été définis afin de distinguer sols « perméables » et « imperméables », et pour chacune de ces situations, un assainissement doit être privilégié (Tableau 2) [17].

Tableau 2*: Synthèse des choix d'ANC possible en fonction de la perméabilité du terrain et de ses caractéristiques*

	Caractéristiques	*Type d'épandage*	*Assainissement Non collectif à privilégier*
Terrain « perméable » 10<k<500 mm/h	Sols sableux ou « terre végétale » avec ***absence d'humidité > 80 cm*** de profondeur	Épandage souterrain dans le sol naturel	Tranchée ou lit d'épandage à faible profondeur
	Épaisseur de sol insuffisante avec roche fissurée < 1 m (roche calcaire)	Sol reconstitué	Filtre à sable vertical non drainé
	Nappe d'eau présente à ***moins de 80 cm***	Épandage hors sol	Terre d'infiltration
Terrain « imperméable »	Dénivelé disponible > ***1,50 m*** pour rejoindre d'exutoire		Filtre à sable vertical drainé
	Dénivelé disponible < ***1,50 m*** pour rejoindre d'exutoire		Filtre à sable horizontal drainé
	Surface disponible ***réduite***		Filtre à massif de zéolite

De même, la capacité épuratrice naturelle du sol doit être étudiée car si les rejets excèdent la capacité d'auto-épuration du milieu terrestre ou marin, les conséquences négatives peuvent être durables.

- *Le DTU 64.1*

C'est la norme NF DTU 64-1 d'août 2012, qui spécifie la « *Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement non collectif pour les maisons individuelles jusqu'à 20 pièces principales* ». De ce document technique découlent des règles notamment en matières de distances, représentées en figure 14 [16] [17].

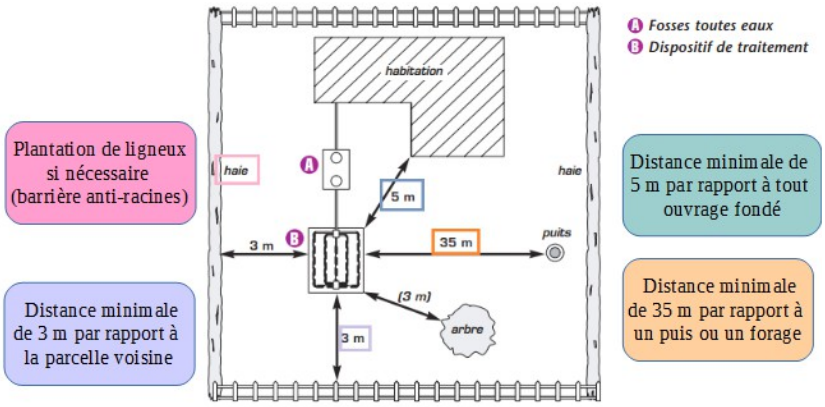


Figure 14: Distance minimale fixées par le DTU 64-1, que doit respecter le dispositif de traitement

1.3.2. La réglementation applicable à Wallis

Les eaux usées domestiques ne peuvent rejoindre le milieu naturel, qu'après avoir subit un traitement afin d'en limiter l'impact sur l'environnement. Dans cet objectif, il est donc nécessaire de respecter certains principes réglementaires [18] : assurer la protection des nappes d'eau souterraines, ainsi que la permanence de l'infiltration des effluents par des dispositifs d'épuration et d'évacuation par le sol.

Par ailleurs, il est interdit de rejeter les effluents, mêmes traités, dans un puisard, des puits abandonnés ou toute autre cavité, qu'elle soit naturelle ou artificielle.

- *Le code de l'environnement*

Bien que Wallis et Futuna soit un territoire d'Outre-mer, les dispositions réglementaires actées en Métropole ne s'y appliquent que si cela est mentionné. Les codes de l'urbanisme ne sont donc pas applicables, d'autant que comme cela a été dit, l'ensemble du foncier est géré par la coutume. Le seul texte faisant échos aux problématiques environnementales et aux besoins en terme d'assainissement est le *code de l'environnement des îles de Wallis et Futuna*, dont le texte final a été voté le 2 octobre 2006 par l'Assemblée territoriale.

En effet, l'*Article E 222-2* stipule que « *Le fait de **jeter, déverser** ou laisser s'écouler dans **les eaux superficielles, souterraines** ou les eaux de la mer à proximité immédiate du littoral, directement ou indirectement, une ou des substances quelconques dont l'action ou les réactions entraînent, même provisoirement, des effets nuisibles sur la santé ou des dommages à la flore ou à la faune, ou des modifications significatives du régime normal d'alimentation en eau ou des limitations d'usage des zones de baignade, **est puni des peines** prévues pour les contraventions de cinquième catégorie* » [19].

En outre, bien que le texte impose, d'après l'*Article E.113*, que « *les charges résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de répartition des dommages causés à l'environnement doivent être supportées en priorité par le pollueur* », cela n'est en pratique pas envisageable [20].

Par ailleurs, selon l'Article E.121-1, une étude d'impact pour « *Les travaux, activités […], qui, en raison de leur nature, risquent de porter atteinte au milieu naturel, de façon directe ou indirecte* » [21] doit être menée.

A la lecture du code, différents acteurs semblent émerger comme notamment le Service Territorial de l'Environnement, qui d'après l'*Article E.132-11*, « coordonne l'action administrative en matière de rejets d'eaux usées dans le milieu naturel ». Ce dernier est encadré par le chef du Territoire puisque c'est lui qui précise par arrêtés « *les règles et prescription générales qu'il [le SAGE] énonce, en matière de rejet d'eaux usées domestiques* » et fixe « *les normes relatives à la qualité des eaux de baignade* » [22].

En somme, le code de l'environnement serait une base juridique intéressante. Malheureusement aucun organisme ne semble avoir autorité en matière de sanction et de contrôle du respect des prescriptions. Par ailleurs, ce texte n'est concrètement pas adapté aux 2 000 exploitations familiales présentes sur l'île. Une mise en conformité des installations, grâce à la formation de personnel qualifié, en passant par l'information des populations sur les risques sanitaires encourues, seraient des outils sans doute plus efficaces.

- *Le SAGE*

C'est l'*Article E.221-1* du Code de l'Environnement qui fixe l'ensemble des missions du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux des îles de Wallis et Futuna. Il préconise notamment les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection qualitative et quantitative des ressources en eau superficielles et souterraines et des écosystèmes aquatiques [23]. En 2012, le service de l'environnement à défini l'ensemble des outils nécessaires à la réalisation du SAGE. Cependant, depuis cette date, aucun document officiel de planification n'a été édité.

Par ailleurs, il faut noter que c'est l'*Article E.222-1*, du Code de l'environnement qui impose la mise en place d'un « *périmètre de protection immédiate aux premiers abords du site* », « *lorsqu'un intérêt collectif majeur est en jeu, tout particulièrement en matière de captage, stockage ou adduction d'eau destinée à la consommation humaine* » [24]. Une étude de faisabilité de traçage a donc été réalisée en 2014, afin de connaître la vitesse et le sens d'écoulement de la nappe, en vue de définir les périmètres de protection de Wallis. Cependant, elle a révélé que la méthode proposée n'était pas adaptée à la nature des sols du territoire.

Cette même année, un diagnostic du réseau d'adduction d'eau de Wallis a été réalisé. Celui-ci démontre que le réseau pourrait être optimisé et que son rendement actuel n'atteint que 50 % de ses capacités. Par ailleurs, un état des lieux de l'assainissement à Wallis a débuté en 2014 [25].

1.3.3. Les périmètres de protection

Ils sont établis autour des sites de captages d'eau destinée à la consommation humaine afin d'en assurer la protection, et ainsi de préserver la ressource.

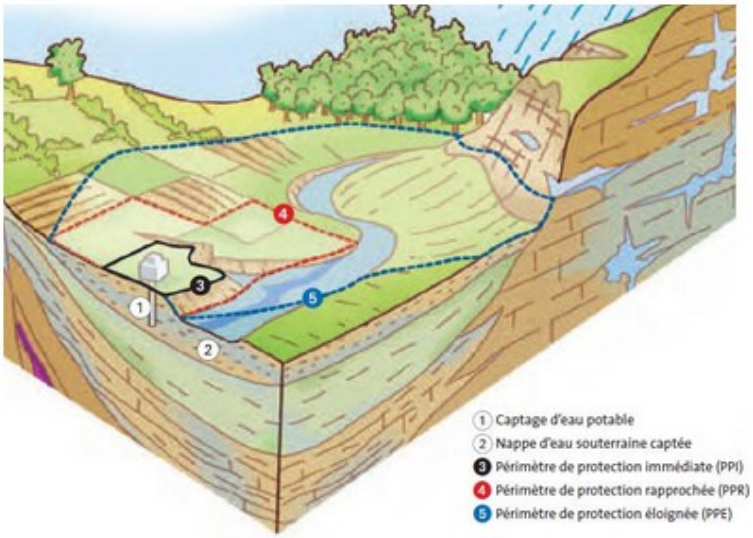
C'est la loi sur l'eau du 03 janvier 1992 qui a rendu obligatoire, en France, la mise en place de protection des captages pour l'ensemble des ouvrages de prélèvement d'eau. Le fait d'extraire de l'eau de la nappe peut modifier l'équilibre de celle-ci et ainsi provoquer un rabattement (baisse du niveau initial de la nappe en forme d'entonnoir autour du forage). Elle peut également engendrer la création d'une zone « d'appel », qui si elle est polluée, pourrait atteindre le forage et ainsi porter préjudice à la santé humaine [27].

Toutes les eaux captées ne sont pas soumises aux mêmes risques. En effet, certaines d'entre elles possèdent des protections naturelles (centre de l'île), en raison de la nature et de l'épaisseur des terres de recouvrements. Mais il existe également des zones plus largement exposées ; comme les nappes superficielles (région du lac Kikila) où les eaux circulent dans des roches fortement fissurées. Afin de faciliter la mise en place de ces périmètres, des guides techniques ont été édités par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et spécifient notamment les acteurs concernés (Annexe 5).

Les périmètres de protection comportent trois niveaux (Figure 15), définis par des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique. Leur détermination passe principalement par l'examen :

- Des formations géologiques qui contiennent la nappe
- Des mesures piézométriques, qui permettent de définir le sens de circulation des eaux souterraines ou sens d'écoulement.
- Du rabattement des forages dont l'importance conditionne la zone d'appel ; plus le rabattement sera important et plus il sera nécessaire d'étendre la zone de protection
- Des limites d'écoulement : la délimitation des périmètres de protection passe par l'utilisation des caractéristiques physiques ou topographiques qui contrôlent l'écoulement ; il s'agit de la ligne de partage des eaux.
- Du pouvoir épurateur des sols.

La délimitation de ces périmètres et les prescriptions adoptées, sont fixées après enquêtes publiques dans un arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique (DUP). Mais pour chaque périmètre il est possible de mettre en évidence certaines spécificités :



PPI -Site ***clôturé*** **-** Ensemble des **activités interdites**
- Empêcher la ***détérioration*** des ouvrages & ***le déversement*** de substances polluantes

PPR - Secteur ***plus vaste***
- Activité susceptible de provoquer une pollution ***interdite*** ou soumise à ***prescriptions***
- Prévenir la migration des polluants

PPE-*Facultatif*
- Créé si activités susceptibles d'engendrer des pollutions importantes

Figure 15 : Les périmètres de protection et leurs spécificités

Sources : Captages.onema.fr et www.eaufrance.fr

En somme, les périmètres de protection constituent le point de rencontre des contraintes liées au milieu naturel et de celles liées aux activités humaines.

1.4. Les indicateurs de pollution au niveau de l'eau

1.4.1. Eaux usées

Afin d'éviter une éventuelle pollution de la nappe, du lagon ou des sources, il est nécessaire que la pollution présente en surface soit limitée. Comme vu en 1.3.2, les eaux usées doivent subir un traitement adapté avant de rejoindre le milieu naturel [18], traitement pouvant notamment être effectué grâce à la mise en place d'un système d'assainissement non collectif. Ainsi, le niveau de pollution des eaux usées en sortie de fosse peut être déterminé afin d'évaluer la qualité du système.

D'après l'article 3 de l'arrêté du 6 mai 1996 et les normes européennes de rejets pour une charge brute de pollution organique inférieure à 1,2 kg/j de DBO_5 (selon la directive européenne 91/271/CEE), il est possible d'établir le tableau 3 suivant :

Tableau 3: Valeurs réglementaires et objectifs pour les paramètres caractéristiques des eaux usées

Paramètre	Unité de mesure	Valeur limite	Valeur guide
Organoleptiques			
Couleur	mg/l ou Pt/Co		
Turbidité	NTU		
Physico-chimiques			
Température	°C		
pH	Unité pH		6,5 - 8
Conductivité	µS/cm		
Matières en suspension	mg/L		< 30
Oxygène dissous	% saturation O_2 ou mg/L de O_2		
DBO_5	mg/L de O_2		< 40
DCO	mg/L de O_2		< 125
Substances indésirables			
Azote total	mg/L		< 20
Nitrates	mg/L		< 1
Nitrites	mg/L		
Ammonium	mg/L		
Phosphates	mg/L		< 2
Bactériologiques			
Escherichia coli	N /100 mL	2 000	100
Entérocoques	N /100 mL	400	100

Dans le tableau 3 sont regroupées des valeurs guides et des valeurs limites. Les valeurs limites sont tirées de la réglementation, et doivent être respectées sous peine de sanctions. A l'inverse, les valeurs guides sont basées sur les normes. Aucune sanction ne peut être mise en place en cas de non respect, mais elles permettent de garantir une certaine qualité de l'eau.

Aucune réglementation concernant les paramètres bactériologiques n'ayant été établie pour les eaux usées, il a été choisi de prendre pour référence la norme appliquée au milieu récepteur qu'est le lagon. Il s'agit dans le cas présent de valeurs dites « objectifs » (valeurs guides) qui devront être respectées dans 90 % des cas, sans que la valeur limite dite « impérative » ne soit jamais dépassée.

1.4.2. Eaux brutes

L'analyse des eaux de forage est un moyen permettant de définir l'état de la nappe phréatique quant aux risques de pollution. Sachant que cette eau est, après traitement, destinée à la consommation humaine, il est nécessaire d'en garantir le caractère potabilisable. Ces eaux sont donc également soumises à des réglementations relativement strictes, notamment à celles de l'arrêté n°2008-003 applicable au territoire de Wallis et Futuna, regroupées dans le tableau 4.

Tableau 4: Valeurs limites pour l'analyse de la ressource profonde

Paramètre	Unité de mesure	Valeur limite
Organoleptiques		
Couleur	mg/L ou Pt/Co	< 200
Turbidité	NTU	< 2
Physico-chimiques		
Température	°C	< 30
pH	Unités pH	6,0 - 9,0
Conductivité	µS/cm	/
Chlorures	mg/L	< 200
Sulfates	mg/L	< 250
Substances indésirables		
Nitrates	mg/L	< 100
Ammonium	mg/L	< 4
Bactériologiques		
Escherichia coli	N/100 mL	20 000
Entérocoques	N/100 mL	10 000

A savoir que ces paramètres ne sont pas les seuls étudiés. Une fois par an, une analyse complète de chaque forage est effectuée par le laboratoire de Nouvelle-Calédonie, avec la recherche de tous les paramètres indiqués dans l'arrêté n°2008-003, comme par exemple les pesticides et les produits toxiques.

1.4.3. Eaux de source

Au même titre que les ressources profondes, les ressources superficielles peuvent être atteintes par la pollution. Les eaux de sources peuvent donc être considérées comme non polluées si elles respectent les valeurs guides et limites imposées par l'arrêté n°2008-003 portant réglementation sur les eaux dans le territoire des Îles Wallis et Futuna. Celles-ci sont synthétisées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5: Valeurs réglementaires et objectifs pour l'analyse des eaux de source

Paramètre	Unité de mesure	Valeur limite	Valeur guide
Organoleptiques			
Couleur	mg/L ou Pt/Co	< 20	
Turbidité	NTU	< 2	
Physico-chimiques			
Température	°C	< 30	
pH	Unités pH	6,0 – 8,5	
Conductivité	µS/cm		1 100
Oxygène dissous	mg/L de O_2 ou % saturation de O_2		
Chlorures	mg/L		< 200
Matières en suspension	mg/L		25
DBO_5	mg/L de O_2		< 3
DCO	mg/L de O_2		
Substances indésirables			
Nitrates	mg/L	< 50	
Ammonium	mg/L		< 0,05
Azote total	mg/L		1
Bactériologiques			
Escherichia coli	N/100 mL		50
Entérocoques	N/100 mL		20
Salmonelles	N/100 mL		Absence dans 5L

1.4.4. Eaux de baignade

Les eaux de baignade, bien que non destinées à la consommation, doivent également faire l'objet de normes et réglementations afin de garantir une qualité de l'eau suffisante pour éviter tout risque sanitaire. Une nouvelle directive (2006/7/CE) à été établie et mise en place. Celle-ci prévoit un classement des eaux de baignade selon leur qualité : insuffisante, suffisante, bonne ou excellente.

Cependant, cette étude se base sur 4 années consécutives d'analyses mensuelles, il n'est donc pour l'heure pas encore possible de l'utiliser sur Wallis. L'ancienne directive (76/160/CEE du 8 décembre 1975) est donc plus adaptée et permet également un classement (Tableau 6) :

Tableau 6: Classement des eaux de baignade selon la directive 76/160/CEE

Paramètre	Unité de mesure	Bon	Moyen	Mauvais
Escherichia coli	N/100 mL	< 100	100 – 2 000	> 2 000
Entérocoques	N/100 mL	< 100	> 100	
Salmonelles	N/100 mL	Absence	Présence	Présence

D'autres paramètres sont également étudiés dans le cadre de l'analyse des eaux de baignade, comme la salinité, la température, ou l'oxygène dissous. Certaines valeurs sont réglementées : le pH doit être compris entre 6 et 9. D'autres sont normées, comme les matières en suspension pour lesquelles la norme impose une valeur entre 80 et 120 mg/L.

2. Matériel et méthodes

2.1. La démarche adoptée

Comme cela a été présenté dans la partie 1.2.1, la lentille d'eau douce est l'unique ressource en eau de Wallis. Elle représente un enjeu majeur, puisque c'est elle qui permet le captage de l'eau brute par l'intermédiaire de quatre forages. Mais aujourd'hui ces derniers sont soumis à un ensemble de risques, et notamment la proximité avec des assainissements autonomes mal conçus et des lisiers de cochons mal dégradés (figure 16).

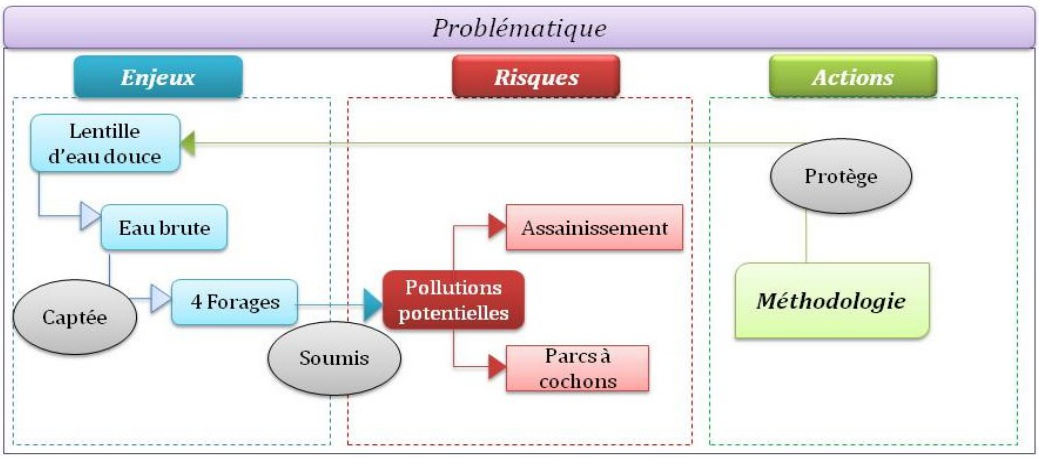


Figure 16: La problématique de contamination de la lentille d'eau douce : Enjeux, risques et actions

Afin de limiter les risques de contamination pour les forages et donc protéger la lentille, il est nécessaire de mettre en place des actions. Afin d'aboutir à ces préconisations, la méthodologie suivante à été mise en place (Figure 17).

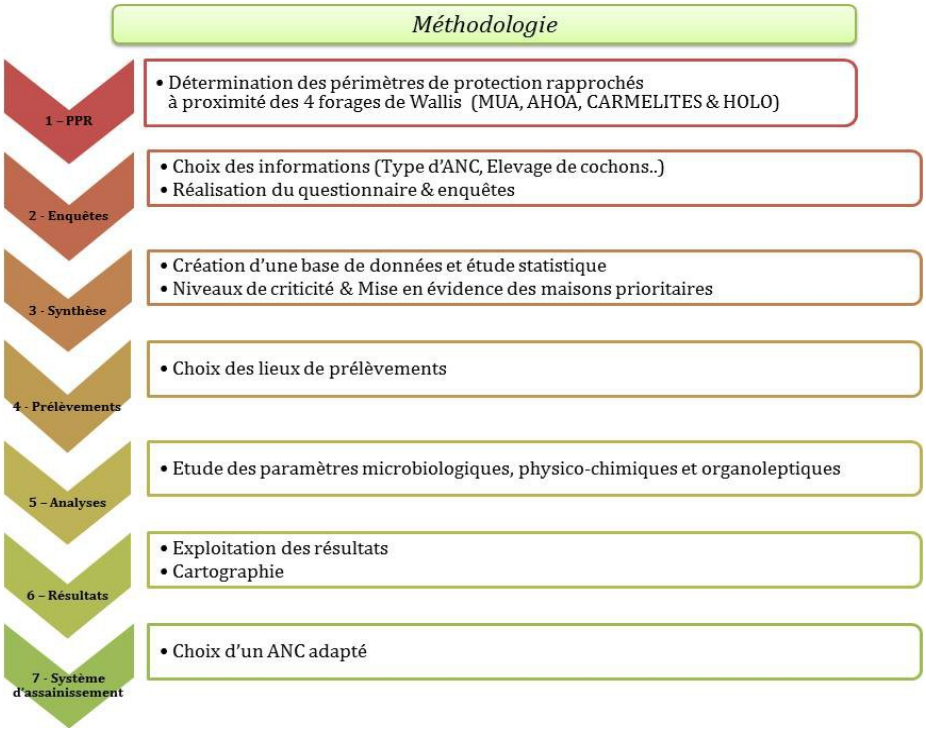


Figure 17: Méthodologie générale

Cette méthodologie s'articule autour de deux jalons principaux :

- La réalisation des enquêtes de terrain permettant de faire un état des lieux de l'assainissement au sein des périmètres de protection des forages.
- Les analyses laboratoires ayant pour objectif de juger de l'état de pollution des eaux usées, ainsi que de leur impact.

En somme, la détermination des périmètres de protection a permis de déterminer les zones d'enquêtes. Une fois les enquêtes réalisées, des lieux de prélèvement ont été choisis. Puis, l'analyse des résultats de terrain et de laboratoire ont permis de mettre en évidence les maisons présentant le plus de risques pour les forages. Enfin, des solutions ont pu être proposées dans le but de limiter ces risques.

2.2. Détermination des périmètres de protection

Les périmètres de protection ont été déterminés par un bureau d'étude local, spécialisé en eau potable et en assainissement, plus précisément par Mr Claude MIGNARD. Ils ont été définis de manière arbitraire puisque l'étude approfondie est en cours de réalisation, et sera rendue publique fin août. Les principaux critères qui ont orientés ses choix ont été :

- La densité de population
- La pente du terrain

La détermination de ces périmètres a donc constitué le point de départ de l'étude, afin d'avoir un cadre dans le but de démarrer les enquêtes domiciliaires.

Il ne s'agit donc pas d'un périmètre figé et pourra dans le futur être modifié afin de compléter les enquêtes. Il n'y a que trois périmètres de protection à ce jour : un spécifique au forage de Mua (Annexe 6), un second pour le forage des Carmélites et un troisième, commun aux forages de Ahoa et Holo (Annexe 7). Ces derniers se situent en effet à moins de 300 mètres l'un de l'autre et sont donc indissociables.

2.3. Réalisation des enquêtes domiciliaires

2.3.1. Questionnaire

La préparation du questionnaire a été la première étape dans la réalisation des enquêtes. Ce dernier se décompose suivants six items principaux (Annexe 8) :

- « ***Identification générale*** », avec notamment le forage à proximité, les coordonnées GPS et le nom du propriétaire.
- « ***Site*** », qui spécifie les attentes du DTU 64-1, la présence d'une pente, ainsi que d'un forage à proximité.

- « ***Habitation*** », qui permet de prendre connaissance de la consommation d'eau et du nombre de personnes présentes quotidiennement dans l'habitation. La question du nombre de pièces principales est liée au dimensionnement de la fosse septique (cf. 1.3.1).
- « ***Étude de l'ouvrage*** », qui reprend l'ensemble des informations relatives à l'assainissement mis en place (Destination des eaux usées, matériaux et année de construction de la fosse, problèmes majeurs rencontrés).
- « ***Entretien*** », qui permet d'évaluer l'état de la fosse à l'heure actuelle.
- « ***Élevage*** », qui permet de considérer la problématique relative à la gestion des lisiers.

Afin d'une part, de faciliter le traitement des données, mais également de pouvoir associer des notes aux résultats obtenus, il a été décidé de définir des « réponses » par tranche (exemple : « 1980 à 1990 », « 1991 à... »).

2.3.2. Terrain

L'ensemble des enquêtes ont été réalisées en présence de personnes natives de l'île travaillant au sein du Service de l'Environnement (dans un premier temps avec Sosefo MALAU, agent polyvalent, puis avec Roxane BOTTARI et Gabriella VAISALA, stagiaires). D'un point de vu pratique, la traduction des questionnaires en wallisien s'est donc avérée inutile. Par ailleurs, cela a facilité le contact auprès des habitants des maisons visitées.

L'ensemble des informations relatives aux enquêtes ont ensuite été synthétisées au sein d'un même fichier, et triées par périmètre de protection.

2.4. Choix des niveaux de criticité

Après avoir analysé l'ensemble des résultats et mis en évidence les principales tendances caractéristiques de l'assainissement et de l'élevage, il a été possible de fixer les plafonds des niveaux de criticité et de définir les tranches inférieures. Puis, des notes ont été affectées à chaque tranche, l'objectif étant de pouvoir hiérarchiser les enquêtes, en vue de mettre en évidence les habitations présentant le plus de risques pour les forages.

2.4.1. Pour l'ANC

- *Choix des critères et Réalisation d'une* Matrice des criticités

Il a été décidé de traiter séparément les habitations disposant d'une fosse septique de celles étant dépourvues de tout assainissement. La note affectée à toutes les maisons n'ayant aucun moyen de traitement des eaux usées est 110, sachant qu'aucune habitation avec une fosse ne peut atteindre cette note. Dans l'idéal, une hiérarchisation de ces maisons aurait également pu être effectuée, en tenant compte notamment du nombre d'habitants.

Il a été décidé de hiérarchiser les habitations possédant un assainissement en fonction de cinq critères, notés N :

N1 - « **Le devenir des eaux usées** ». Les eaux grises peuvent être dirigées vers la fosse septique, envoyées dans un puisard, être rejetées directement en surface ou subir plusieurs de ces transformations (Figure 18). De même, toutes les eaux usées d'une même habitation ne sont pas forcément dirigées vers la même sortie. Il y a donc un grand nombre de situations possible. Afin de faciliter le traitement des données, il a été choisi d'affecter la *note 1* aux eaux envoyées dans la fosse, qui sont donc pré-traitées. La *note 4* est attribuée à celles envoyées au puisard, permettant une infiltration dans le sol, sans traitement préalable. La *note 10* étant attribuée au cas le plus critique, à savoir, le rejet en surface, qui facilite le déplacement de la pollution par le lessivage des sols.

Figure 18: Les différentes destinations des eaux usées

Dans le pire des cas, une habitation disposant d'une cuisine, d'une douche/salle de bain et d'un lave-linge se verra donc attribuer de la *note 30.*

N2 – « ***Les caractéristiques de la fosse*** ». Afin de pouvoir juger de la performance de la fosse, et donc de la qualité de l'eau en sortie, le « *Matériau* » ainsi que l'« *Age et la condition d'installation* » ont été pris en compte. A Wallis, les fosses septiques peuvent être de trois matériaux différents : en plastique (Figure 19), en béton ou en aggloméré (parpaing).

Figure 19: Fosse septique plastique (Source : Enquête n°50, Holo, 30/06/06)

Idéalement, c'est une fosse en béton armé qui garantirait la meilleure étanchéité. Mais il s'avère que peu de fosses ont bénéficié de ce système et ont été construites en béton classique, moins étanche que le plastique. C'est pourquoi ce sont les fosses en plastique qui sont affectées de la *note 1,* note la moins critique. Suivent ensuite celles en béton, et enfin les moins étanches associées à la note 4, qui sont celles construites à partir d'aggloméré.

Concernant la réalisation de la fosse, deux cas deux figures se présentent : la fosse à été construite et installée par un membre de la famille et donc de manière « privée », ou c'est une « entreprise » qui a effectué les travaux. Il a été décidé de coupler à ce critère l '« Age de la fosse », qui s'échelonne de « 1980 » associé à la *note 5*, pour les plus anciennes, aux années « 2011 » et postérieures affectées de la *note 1*.

Ainsi, une fosse type aggloméré, ayant été réalisée par le propriétaire de la maison, dans les années antérieures à 1980, se verra affectée de la *note 24*, note la plus critique (Figure 20).

N3 - « ***L'entretien*** ». Un système d'assainissement, même bien installé et bien conçu, ne peut garantir une bonne efficacité sans entretien. C'est pour cette raison que la date du dernier entretien à été prise en compte. Idéalement, la vidange d'une fosse s'effectue tous les cinq ans, mais cela varie en fonction de la taille de la fosse ou encore du nombre d'habitants. Pour cette raison quatre cas de figure ont été déterminés : *note 5* pour une fosse septique n'ayant jamais été vidangée et *note 1* pour celle ayant été vidée durant ces cinq dernières années. Les *notes 2* et *4* étant attribuées aux situations intermédiaires.

Afin d'avoir une vision globale, il semblait nécessaire de combiner ce résultat avec l'âge de l'installation. Une fosse ayant été réalisée « avant 1980 », et n'ayant « jamais » été vidangée, sera donc associée à la *note 25*.

N4 - « ***L'habitation et la consommation d'eau*** ». La quantité d'eau usée étant fonction du nombre d'habitants et de la consommation d'eau il a été décidé de considérer ces informations pour ajuster le niveau de priorité. Ainsi, trois tranches ont été définies pour le nombre d'habitants ; les maisons occupées par « plus de 7 » personnes étant associées à la *note 5*.

Bien que la consommation d'eau ne soit pas uniquement due aux activités de l'habitation, mais également à la présence de cochons, il semblait intéressant de pouvoir moduler la *note **N4***, en fonction de ce paramètre. D'après la consultation de factures d'eau, les consommations s'expriment en mètre cube d'eau par trimestre. Par ailleurs, les trois niveaux de consommation ont été définis après une rapide étude des résultats obtus lors de l'enquête domiciliaire réalisée en 2014.

En somme, une habitation de « plus de 7 » habitants consommant « plus de 300 » m³/trimestre se verrait affecter de la *note 10*.

N5 - « ***Le respect du DTU et la nature du terrain*** ». Le DTU 64-1 étant l'outil de référence en matière d'ANC (cf. 1.3.1), il a été décidé de faire intervenir le respect des distances préconisées dans l'étape de notation. Les éléments devant être à distance d'une fosse sont les « captages », les « parcelles » et « habitations voisines » et enfin les « plantations ». La problématique étant la pollution des forages, c'est la non-conformité des 35 m préconisés entre une fosse et un captage d'eau qui a été considérée comme le critère le plus impactant et donc associée à la *note 6*. Un assainissement ne respectant aucune des distances, serait associé à la *note 12*, somme de l'ensemble des notes relatives aux non-conformités.

Enfin, les critères comme la « *Pente* » du terrain et la « *Proximité d'un forage* », sont venus compéter la note ***N5***. Ainsi, en n'étant associée qu'à des non-conformités, et située sur un terrain en pente à proximité d'un forage, la *note critique* pour la fosse aurait été de *15*.

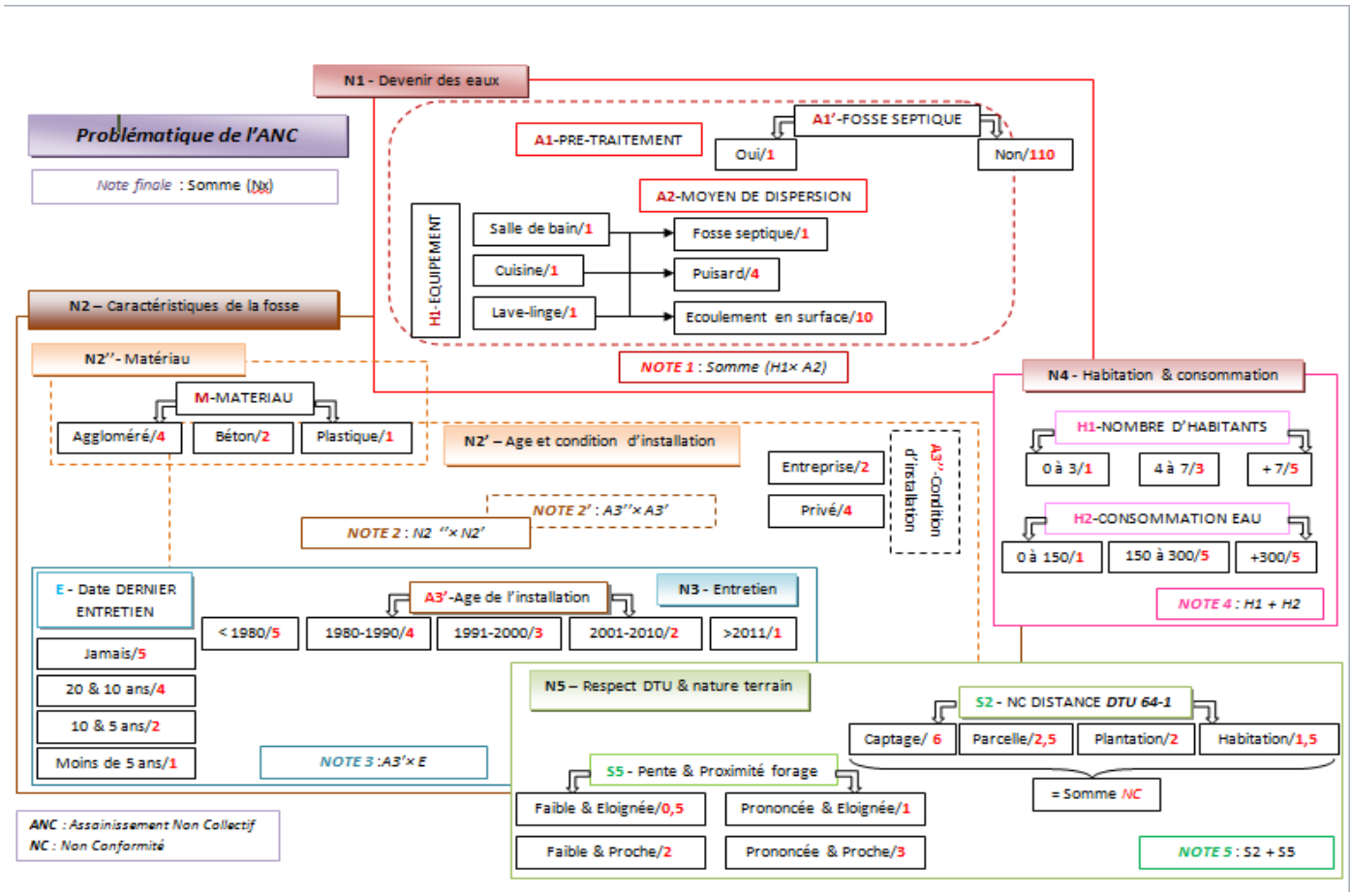


Figure 20: Matrice des criticités ANC ; association d'une note à chaque critère

Pour conclure, un système d'assainissement sera hiérarchisé en fonction de la somme des cinq notes, dite « *Note finale* » (*Figure 20*).

- *Détermination des notes minimales et maximales par critère*

Après avoir réalisé une matrice avec l'ensemble des notes associées à chacune des informations, les résultats minimaux et maximaux de tous les critères peuvent être synthétisés dans le tableau 7.

Tableau 7: Synthèses des notes minimales et maximales pour chacun des critères et mise en évidence de la note finale

Critère de priorité pour l'Assainissement Non Collectif et la présence d'une fosse septique			
Note		***Note minimale***	***Note maximale***
1- Devenir des Eaux Usées	*A1* - Prétraitement	1	
	A2 – Moyen de dispersion	1+0+0	10+10+10
NOTE 1		***2***	***30***
2- Caractéristiques de la fosse	2'- Age *(A3')* et condition d'installation *(A3'')*	1 * 2 =2	5 * 4 = 20
	2''- Matériau	1	4
NOTE 2		***3***	***24***
3- Entretien	*E* - Note dernier entretien	1	5
	A3'-Note âge de l'installation	1	5
NOTE 3		***1***	***25***
4- Habitation et consommation d'eau	*H1*-Nombre d'habitants	1	5
	H2-Consommation d'eau	1	5
NOTE 4		***2***	***10***
5- Respect du DTU & nature du terrain	*S2* – Note DTU	1	6 +2.5+2+1.5 = 12
	S5 – Pente & proximité du forage	0,5	3
NOTE 5		***1,5***	***15***
NOTE FINALE		***10,5***	***104***

D'après le tableau 7, une habitation disposant d'un assainissement pourra avoir un note variant de 10,5 à 104.

- *Définition des niveaux de priorité*

Après avoir défini l'ensemble des critères, y avoir associé des notes et combiné les résultats, il a été possible d'établir cinq niveaux de priorité. Quatre pour les habitations disposant d'un assainissement, le cinquième étant caractéristique des habitations ne disposant pas de fosse septique.

Pour cette raison, et comme le montre le tableau 8, l'ensemble des maisons sans ANC ont été affectées de la *note 110* et du *« Niveau 5 – Absence de fosse septique »*. Le reste des habitations se répartissent entre les *niveaux 1 et 4,* ce dernier caractérisant les assainissements les plus catastrophiques.

Tableau 8: Niveaux de priorité et caractéristique de l'assainissement en fonction de la note finale

Niveau de priorité	1	2	3	4	5
Etat de l'ANC	Très bon	Bon	Moyen	Catastrophique	Absence de FS
Note	0 à 29	30 à 49	50 à 79	80 à 104	110

2.4.2. Pour l'élevage

- *Choix des critères et Réalisation d'une* Matrice des criticités

Il a été décidé de hiérarchiser les élevages en fonction de quatre critères :

C1 - *« **La stratégie d'élevage** »,* combinée pour les parcs tournants à ***C1'*** - *« L'âge du parc ».* En effet, comme cela a été présenté dans la partie 1.2.2, différentes techniques d'élevage peuvent être pratiquées et ne conduisent pas toutes aux mêmes impacts. C'est pour cette raison que la « Dalle en béton » s'est vue affectée de la *note 2*, étant le système le plus contraignant pour l'environnement.

Parc grillagé
Enquête n°111 – AHOA – 12/07/16

Dalle en béton
Enquête n°101 – AHOA – 08/07/16

Figure 21: Les stratégies d'élevages

Le « Parc en terre tournant » pouvant être un atout pour les cultures (Figure 22), il a été affecté de la note 0,5. Mais les bénéfices de ce type de parc sont directement liés à la fréquence de leur rotation. C'est pourquoi un parc ne tournant que tous les quatre ans sera considéré, au final, comme un parc grillagé, et associé à la *note 1*.

Figure 22: Ancien parc en terre

Source : Enquête 89, Ahoa, 06/07/16

C2 - *« **La superficie** » des parcs.* Bien que la superficie des parcs n'indique pas forcément le nombre d'animaux présents au moment de l'enquête, c'est un critère qui permet de juger de la capacité d'accueil d'animaux potentiels. Il a été nécessaire de définir des superficies différentes en fonction de la stratégie d'élevage. En effet, les dalles en béton s'étendent sur des surfaces plus réduites que les parcs en terre : certains parcs en terre peuvent faire « plus de 1500 m^2 » et seront alors associé à la *note 4*. Mais une dalle en béton, fera classiquement entre 20 et 40 m^2. C'est pourquoi ce sont les dalles faisant « plus de 50 m^2 » qui seront considérées comme les plus critiques avec la *note 2*.

C3 - *« **Le nombre total de cochons** ».* Il s'agit d'un élément essentiel dans la hiérarchisation des élevages, puisque plus le nombre de cochons sera élevé, plus la quantité de lisier sera importante et la contrainte environnementale forte. D'après les enquêtes réalisées en 2014, les wallisiens possèdent, dans la plupart des cas, entre un et dix cochons. Rares sont ceux qui possèdent plus de 20 cochons, mais des cas existent. Pour cette raison, ce sont ces exploitations qui seront considérées comme les plus à risque et donc associées à la *note 8*.

C4 - *« **La destination des lisiers** ».* La problématique de l'élevage étant par finalité liée à la gestion des lisiers, il était nécessaire de considérer ce critère. Trois situations peuvent être rencontrées : les lisiers s'écoulent au sein d'un sol nu, au niveau de plantations ou dans une fosse à lisier (Figure 23). Comme les plantes sont douées d'une capacité épuratoire, l'impact des lisiers sur le sol est limité. Mais cela n'est vrai que si l'engrais est sous forme soluble et donc directement assimilable par la plante. Il doit notamment participer à l'un des grands cycles biochimiques comme celui du carbone, de l'azote, du phosphore ou du soufre. L'écoulement au sein d'un sol nu aura donc plus d'impact et engendrera un risque plus élevé pour la lentille d'eau douce. La *note 2*, note maximale, lui est donc associée. Dans les cas les plus favorables, les lisiers sont collectés.

Figure 23: Fosse à lisiers

Source : Enquête n°115, Ahoa, 12/07/16

La figure 24, permet de synthétiser l'ensemble des critères et les notes associées, afin d'aboutir à une criticité maximale par type d'élevage.

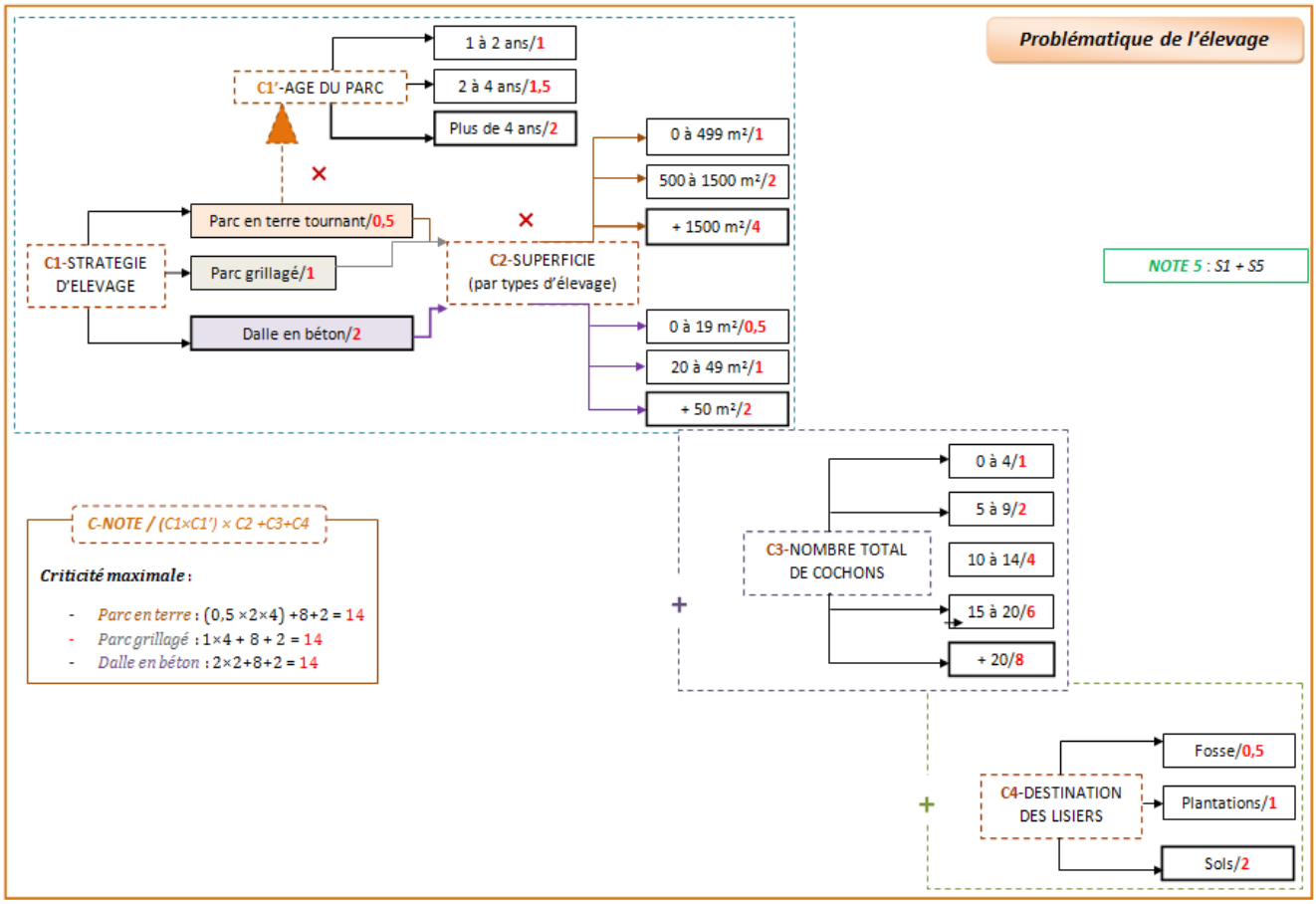


Figure 24: Matrice des criticités de l'élevage ; association d'une note à chaque critère

- *Détermination des notes minimales et maximales par critère*

D'après le tableau 9, toutes les stratégies d'élevage ont la même criticité maximale, à savoir « *14* ». Ce résultat a été voulu afin de pouvoir effectuer un classement commun aux trois types d'élevage, et ainsi ne pas avoir des notes trop éloignées. Il a donc été considéré qu'un élevage type « dalle en béton », sur une surface de « + de 50 m^2 » impactait l'environnement de manière similaire à un élevage type « Parc en terre tournant », ayant une fréquence de rotation de « Plus de 4 ans », et occupant une superficie de « + de 1500 m^2 ».

Tableau 9: Détermination de la criticité maximale, en fonction du type d'élevage

Résultat 1

Stratégie d'élevage	Note	Age du parc	Note	Superficie (m²)	Note	Nombre total de cochons	Note	Destination des lisiers	Note	Note maximale par stratégie d'élevage
Parc en terre tournants	0,5	Plus de 4 ans	2	1500	4	Plus de 20	8	Sol	2	14
Parc grillagé	1			1500	4					14
Dalle en béton	2			50	2					14
									Note maximale par habitation	42

- *Définition des niveaux de priorité*

D'après le tableau 9, il est possible d'observer que la note maximale attribuable à une habitation pour son élevage est *42* (combinaison des trois types d'élevage). Mais dans les faits et après analyse des résultats, les notes ne dépassent jamais *13*. C'est pour cette raison, que les trois niveaux de priorité définis, ne sont pas découpés de manière homogène.

Tableau 10: Niveaux de priorité et caractéristiques de l'élevage en fonction de la note finale

Niveau de Priorité	1	2	3
État de l'élevage	Bon	Moyen	Catastrophique
Note	0 à 4,5	4,6 à 10,5	10,6 à 42

2.5. Prélèvements et préparation du matériel

2.5.1. Choix des lieux de prélèvements

Dans le but d'appuyer l'étude terrain menée, il a été choisi de réaliser différents types de prélèvements. Tout d'abord, des prélèvements d'eaux usées afin de vérifier l'efficacité des fosses septiques, mais aussi afin d'avoir un aperçu de la pollution engendrée par le mauvais état global de l'assainissement sur Wallis. L'idée générale était d'effectuer les prélèvements aux endroits les plus à risque, déterminés par les enquêtes domiciliaires. Cependant, au regard des nombreuses contraintes évoquées en figure 25, la stratégie adoptée a dû être modifiée :

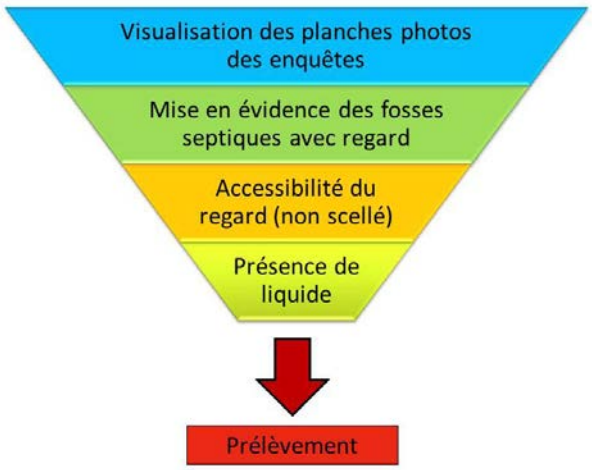


Figure 25: Étapes permettant le choix des lieux de prélèvement pour les eaux usées

En effet, d'après les planches photos établies pour chaque enquête, il a été possible de mettre en évidence les fosses septiques possédant un regard en sortie. Les eaux présentes devant donc avoir subi le prétraitement nécessaire à leur rejet dans le milieu naturel.

Cependant, sur le territoire, la majeure partie des regards situés après la fosse sont scellés et donc inaccessibles sans casser la dalle de béton, ce qui aurait engendré des coûts de réparation trop élevés. Ainsi, le choix s'est limité aux regards non scellés. Puis, une mission de terrain a été effectuée afin de déterminer la possibilité effective de prélèvement, conditionnée par la présence ou non de liquide dans le regard. En effet, un certain nombre de regards sont à sec, laissant à penser que l'étanchéité de la fosse pose problème. Finalement, le propriétaire de chaque maison choisie a également dû donner son accord. Ainsi, sur toutes les enquêtes réalisées, seules 10 maisons ont été retenues pour les prélèvements d'eaux usées : 1 dans le périmètre des Carmélites, 4 dans celui de Mua, et finalement 6 dans le périmètre de Ahoa et Holo (Annexe 9).

D'autres analyses ont été menées en parallèle, permettant d'évaluer l'état de pollution général du milieu naturel. Comme établi en 1.2.2, l'assainissement et l'élevage peuvent être des facteurs de risque pour les forages au sein des périmètres de protection. Cependant, ils peuvent également constituer une menace aussi bien pour les eaux de baignade que pour les ressources superficielles, comme les résurgences d'eau douce. Pour cela, des analyses ont été effectuées sur les forages encore en activité, à savoir ceux de Ahoa, Holo, Mua et Carmélites (Annexe 10). De même, les sources peuvent être destinées à la consommation humaine en cas de problème technique avec les forages ou de contamination de la nappe. Ainsi, il est important que leur niveau de contamination reste le plus faible possible. Les prélèvements ont été effectués majoritairement sur les sources situées à l'est de l'île car les risques y sont plus importants (cf. 1.1.3). Cependant, l'analyse des sources de Loma, à l'ouest permet également d'avoir un point de comparaison (Annexe 11). Finalement, les eaux de baignade ont été analysées sur l'ensemble de la zone côtière (Annexe 12), afin de prévenir un éventuel risque sanitaire.

Au total, 34 prélèvements ont été effectués sur le territoire et répartis de la manière suivante (Annexe 13) : 10 sites d'eaux usées, 4 sites de forage, 14 sites d'eaux de baignade et 6 sites d'eaux de sources.

2.5.2. Réalisation des prélèvements

Afin de réaliser des analyses représentatives, deux types de prélèvements sont à faire. Tout d'abord, les prélèvements relatifs aux analyses chimiques ne nécessitent aucune précaution particulière, sauf dans le cas des forages pour lesquels ils s'effectuent au robinet. Celui-ci doit alors être ouvert pendant 3 minutes afin que l'eau stagnante soit évacuée. Pour la microbiologie, les prélèvements doivent impérativement être effectués en conditions stériles, de manière à éviter toute contamination par les micro-organismes présents dans l'air par exemple. Sur le terrain, la stérilité est assurée par flamme pour les eaux de forage. Dans les autres cas, la stérilité est assurée par l'ouverture du flacon sous le niveau d'eau.

Certaines conditions de prélèvement et de sécurité doivent également être respectées (Annexe 14) :

- *Pour les eaux brutes* : les prélèvements doivent être effectués directement au niveau de la nappe après pompage par le forage et avant traitement au chlore (seul traitement employé sur l'eau provenant de la nappe, visible en figure 26).

- *Pour les eaux usées* : les prélèvements sont effectués en sortie de fosse, dans un regard. Afin d'éviter au maximum les contacts avec ces eaux présentant des risques, le port de gants et l'utilisation d'une perche sont nécessaires.

Figure 26: Electrolyseur permettant le traitement de l'eau au chlore

- *Pour les eaux de sources* : il faut prélever au niveau de l'arrivée d'eau afin d'évaluer l'eau qui vient régénérer la source et non celle qui stagne depuis plusieurs jours.

- *Pour les eaux de baignade* : les conditions de baignade doivent être respectées. Ainsi, les prélèvements doivent être effectués à marée montante et à 10-15 mètres du bord.

Une fois les prélèvements effectués, les flacons sont annotés (date et lieu) et conservés dans une glacière jusqu'au retour en laboratoire où ils sont analysés de suite. Si cela n'est pas possible, les échantillons peuvent être conservés à 4°C environ pendant 24h maximum.

2.5.3. Préparation des analyses

Chaque analyse nécessite une phase de préparation du matériel. En effet, il s'agit d'utiliser de la verrerie propre en chimie, permettant une analyse précise qui ne sera pas faussée par des résidus. Concernant la microbiologie, il est nécessaire d'utiliser de la vaisselle stérile (Boîte de Pétri, tube à essai contenant de l'eau distillée stérile). Pour cela, le matériel doit être passé à l'autoclave, qui est un appareil permettant la stérilisation (figure 27) :

Figure 27: Autoclave du laboratoire de Wallis

Le travail en laboratoire nécessite également de connaître les bases de sécurité, et notamment les pictogrammes associés aux divers produits utilisés (Annexe 15). En effet, certains produits doivent être manipulés sous hotte ou avec des gants, d'autres encore ne peuvent être rejetés dans la nature sans traitement.

2.6. Les mesures In-Situ

2.6.1. Les paramètres communs à tous types d'eaux

- *pH*

Le pH détermine le degré d'acidité ou de basicité d'une eau. Il correspond à la concentration en ions hydrogène présents dans la solution testée. Il dépend de la nature de l'eau, et donc de son origine : par exemple, pour la majeure partie des eaux brutes, le pH est compris entre 6,5 et 8,5. Lors des différents prélèvements, la mesure est réalisée sur le terrain de manière à avoir la valeur réelle. Elle est effectuée grâce à l'électrode combinée du pH-mètre visible en figure 28 : elle évalue une différence de potentiel entre une électrode indicatrice en verre et une électrode de référence (fil de platine). Le résultat est donné en unité pH.

Figure 28: pH mètre du laboratoire de Wallis

Le pH mètre doit être ré-étalonné tous les mois, selon le protocole disponible en Annexe 16.

- *Température*

La température de l'eau n'induit pas directement un risque sanitaire, cependant c'est un paramètre à prendre en compte car certaines températures peuvent favoriser un développement bactérien. Dans cette étude, il a été choisi de toujours relever la température à l'aide du pH-mètre (Figure 28) de manière à avoir des résultats comparables.

- *Conductivité*

La conductivité représente la teneur en sels dissous de l'eau et dépend de la température. Elle n'a pas d'influence particulière sur la santé mais peut potentiellement donner à l'eau un goût salé. Le problème réside plutôt dans l'accélération du phénomène de corrosion et de dépôts dans les tuyauteries [28].

La conductivité est mesurée grâce à un conductimètre (Figure 29), qui mesure la conductivité en µS/cm ou mS/cm selon la teneur. L'appareil est équipé d'une sonde qui mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre ses deux électrodes métalliques.

Figure 29: Conductimètre, laboratoire de Wallis

- *Oxygène dissous*

La teneur en oxygène dissous permet de déterminer si le milieu est anaérobie ou aérobie. Si cela n'a aucun effet sur la santé, une baisse importante en oxygène peut entraîner une altération des paramètres organoleptiques de l'eau. De plus, une faible teneur en oxygène dans certaines réserves d'eau peut mettre en évidence une trop forte teneur en nutriments permettant le développement d'algues. Ainsi, il est préférable d'avoir des ressources les plus proches de la saturation en oxygène possible.

Pour mesurer la teneur en oxygène dissous, l'utilisation d'une sonde est une méthode efficace. Elle est composée d'une électrode de travail en or (cathode) et d'une contre électrode en plomb (anode). La valeur peut être donnée en % de saturation ou en mg/L de O_2. Les valeurs rencontrées dépassent rarement 10 mg/L [28].

2.6.2. Paramètres spécifiques à certaines eaux

- *Salinité*

La salinité n'est étudiée que pour les eaux de baignade. Elle est mesurée à l'aide de l'appareil visible en figure 29. La salinité est directement liée à la conductivité qui mesure la teneur en sels dissous (2.6.1).

- *Profondeur*

La profondeur est un paramètre analysé uniquement pour les eaux de forage afin de vérifier le niveau de la nappe phréatique. En effet, celui-ci peut varier selon les précipitations par exemple.

Elle est mesurée grâce à un piézomètre (Figure 30).

Figure 30: Piézomètre permettant également la mesure de la conductivité

Une sonde est reliée au mètre, ainsi il est possible de mesurer à la fois la profondeur, la conductivité et la température. Pour cela, la sonde est introduite dans le trou permettant l'accès à la nappe, et descendue jusqu'à ce qu'un signal sonore continu se fasse entendre : cela signifie que la nappe est atteinte. La profondeur peut alors être relevée. Puis la sonde doit être légèrement remontée jusqu'à avoir des signaux sonores entrecoupés, et les mesures de conductivité et température peuvent être relevées.

2.7. Analyses en laboratoire

2.7.1. Paramètres organoleptiques

- *Turbidité*

Une eau turbide est une eau troublée par la présence de matières en suspension. Ce n'est pas un facteur de risque direct pour la santé de l'Homme, mais cela a un impact sur l'aspect de l'eau. En effet, au-delà du trouble, l'eau peut également avoir une saveur ou une odeur désagréable. Un risque peut cependant provenir des bactéries et virus pouvant se fixer aux particules en suspension et se protéger de la désinfection. De plus, le désinfectant peut réagir avec les particules organiques et ainsi créer des sous-produits dangereux (*Exemple* : Formation de chloramines lors du traitement au chlore).

La turbidité se mesure grâce à un turbidimètre optique, qui donne une valeur en NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique). L'eau est dite claire si la valeur est inférieure à 5 NTU. Le protocole détaillé se trouve en annexe 17.

- *Couleur*

La couleur peut être due aux métaux ou aux matières organiques colorées. Elle influe surtout sur l'aspect visuel de l'eau et peut, dans des cas extrêmes, réduire l'effet de certains traitements de désinfection [28].

Deux mesures sont à effectuer : une pour l'échantillon brut (couleur apparente) et une autre pour l'échantillon filtré (couleur vraie). La mesure de la couleur est donnée en PCU et se calcule de la manière suivante (Annexe 18) :

Couleur (PCU) = Couleur apparente – Couleur vraie

PCU = Unité Cobalt Platine

2.7.2. Paramètres physico-chimiques

Pour les analyses chimiques, les mesures sont effectuées par photométrie avec l'appareil Photolab S6 (figure 31). La photométrie repose sur l'absorption de la lumière par l'échantillon à analyser. L'appareil émet un faisceau lumineux en partie absorbé par la solution, à une longueur d'onde spécifique. Il se règle automatiquement sur la bonne longueur d'onde afin de lire la concentration en élément recherché.

Figure 31: Appareil Photolab S6, laboratoire de Wallis

- *Matières en suspension*

Les matières en suspensions, ou MES, sont des particules solides visibles à l'œil nu, représentant la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Elles peuvent être naturellement décantables par le biais de la gravité, ou trop fines pour décanter seules (matières colloïdales).

Si ces particules n'ont pas d'influence directe d'un point de vue sanitaire, il est tout de même bon d'en avoir une concentration limitée dans l'eau, car elles peuvent réduire l'efficacité du traitement de désinfection et nuire au développement de la vie aquatique [28].

La technique utilisée pour la détermination des matières en suspension dans un échantillon est la filtration sur rampe (figure 32).

Figure 32: Dispositif de filtration sur membrane
(Source : Sartorius)

Tout d'abord les filtres en microfibres de verre sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 1h. Ils sont ensuite pesés afin d'obtenir la masse du filtre sec et à vide M_0. Puis, un volume V exact d'échantillon est filtré. Le filtre est de nouveau séché à l'étuve pendant 1h30 à 105°C, puis pesé (M_1). Le protocole détaillé est disponible en annexe 19. La différence de masse entre M_1 et M_0 représente la masse des matières en suspension qui, ramenée au volume filtré, permet d'obtenir un résultat pour les MES en mg/L d'après le calcul suivant :

$$\text{MES (mg/L)} = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

Les matières en suspensions peuvent être éliminées par coagulation-floculation si leur concentration est trop importante.

- *Demande chimique en oxygène*

La demande chimique en oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières organiques par voie chimique, qu'elles soient biodégradables ou non. La DCO étant une mesure relativement imprécise, elle est souvent liée à la mesure de la demande biologique en oxygène. Le protocole de mesure de la DCO se trouve en annexe 20 (Référence norme : NF 173702).

- *Demande biologique en oxygène*

La demande biologique en oxygène est de manière générale calculée sur cinq jours, par la méthode OxiTop, à 20°C et dans l'obscurité (Annexe 21). Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation et la stabilisation des matières organiques de manière biologique, c'est à dire par l'action des micro-organismes. Cela permet d'évaluer la fraction biodégradable de la pollution organique. Ainsi, le rapport DCO/DBO_5 est un indicateur de biodégradabilité : s'il est inférieur à 3, un traitement biologique devrait suffire à l'élimination de la majeure partie de la pollution.

- *Chlorures*

Les chlorures sont présents dans tous types d'eau à concentrations variables, et peuvent venir de l'environnement mais aussi des diverses pollutions. Ils sont peu présents dans les eaux de surface, avec des teneurs souvent inférieures à 10 mg/L. Les chlorures sont présents dans l'alimentation humaine, et ne sont donc pas toxiques pour l'Homme sauf en cas de maladies rénales ou cardiaques [28]. Il s'agit surtout d'éviter les risques de corrosion dans les réseaux de distribution ou les désagréments au niveau de la saveur de l'eau. La mesure est effectuée par photométrie à l'aide de tests en tube : les ions chlorures réagissent avec le thiocyanate de mercure (II) pour donner le chlorure de mercure (II) peu dissocié. Le thiocyanate ainsi libéré forme avec les ions fer (III) le rouge thiocyanate de fer (III) (Référence norme : NF 114730). Protocole en annexe 22.

- *Sulfates*

Les sulfates peuvent provenir des sols, de l'activité agricole ou encore des déchets industriels. Ils représentent peu de risques pour l'Homme et sont d'ailleurs naturellement présents dans l'eau. Ils sont soumis à des réglementations car ils peuvent causer des problèmes de corrosion ou donner un goût amer à l'eau.

Lors de leur mesure, les ions sulfates forment avec les ions baryum du sulfate de baryum qui est difficilement soluble. Cela forme donc un trouble mesuré à l'aide du photomètre (Référence norme : NF 114548). Protocole en annexe 23.

2.7.3. Paramètres indésirables

- *Azote total*

L'azote total (NT) est composé de différentes formes d'azote : l'azote Kjeldahl (NTK), les nitrates et les nitrites (Figure 33). L'azote constitue un risque pour le milieu car il intervient dans le phénomène de l'eutrophisation.

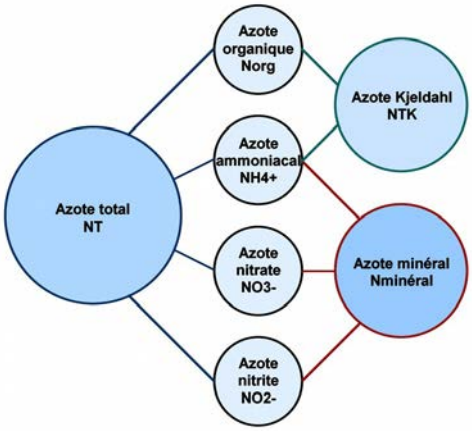


Figure 33: Schéma représentatif des différentes formes de l'azote.

Pour la mesure de l'azote total, les composés azotés organiques et inorganiques sont transformés en nitrates selon la méthode de Koroleff à l'aide d'un oxydant dans un thermoréacteur. Dans l'acide sulfurique concentré, les nitrates forment avec un dérivé de l'acide benzoïque un composé nitré rouge qui est dosé par photométrie. La minéralisation est analogique à DIN EN ISO 11905-1 (référence norme : NF 114537). Protocole en annexe 24.

- *Nitrates et nitrites*

Les nitrates NO_3^- et nitrites NO_2^- sont présents de manière naturelle dans les sols, l'eau et les plantes. Leur concentration est toujours relativement faible dans les eaux. Cependant, cette teneur peut être amenée à augmenter en cas de pollution par des effluents ou des déjections. C'est l'oxydation de l'azote Kjedahl qui conduit à la formation de nitrites puis de nitrates (Figure 35).

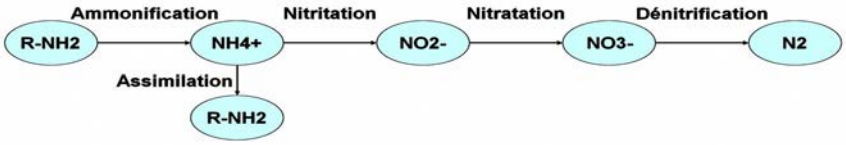


Figure 34: Schéma du processus de traitement de l'azote.

Les nitrates ne constituent pas un risque pour la santé. La menace est liée à leur transformation en nitrites, potentiellement toxiques une fois ingérés, notamment chez les nourrissons. En effet, ils réduisent la faculté de transport de l'oxygène de l'hémoglobine. En large excès, les nitrates peuvent également conduire à l'eutrophisation des eaux superficielles [28].

Pour la mesure des nitrates (Annexe 25), l'échantillon est introduit dans de l'acide sulfurique concentré, où les ions nitrates forment avec un dérivé de l'acide benzoïque, un composé nitré rouge qui est dosé par photométrie (référence norme : NF 114 542).

Pour la mesure des nitrites (Annexe 26), l'échantillon est introduit dans une solution acide. Les ions nitrites forment avec l'acide sulfanilique un sel de diazonium qui réagit avec le N-(naphtyle-1)-éthylène diamine dihydrochlorure pour donner un colorant azoïque rouge violet. Ce colorant est dosé par photométrie (référence norme : NF 173704).

- *Ammonium*

L'azote ammoniacal se présente en partie sous la forme d'ions ammonium et en partie sous la forme d'ammoniac. Pour des eaux dont le pH est compris entre 6,5 et 8,5, la plus grande partie est sous forme d'ammonium ou ions NH_4^+. Ces derniers ne sont pas toxiques et représentent surtout un risque pour l'environnement. En effet, ils peuvent créer un déséquilibre du milieu, pouvant aller jusqu'à une réduction de la faune et de la flore. Ils peuvent également être à l'origine d'un phénomène de corrosion des réseaux ou de réduction du traitement de désinfection. C'est un excellent indicateur de pollution par rejets agricoles, domestiques ou industriels.

Dans une solution fortement alcaline ne contenant pratiquement que de l'ammoniac, ce dernier réagit avec les ions hypochlorites pour donner de la monochloramine. En raison de la coloration jaune des réactifs, la solution à mesurer apparaît en jaune-vert à vert (référence norme : NF 114739). Protocole en annexe 27.

- *Phosphates*

Les phosphates sont présents dans l'eau de manière naturelle sous plusieurs formes : les orthophosphates, les polyphosphates et les organophosphates. Cependant, l'utilisation d'engrais riches en phosphates a considérablement élevé leur teneur dans les sols et les eaux. Or, une dose trop importante de phosphates peut conduire à des problèmes de santé, rénaux notamment. Les phosphates constituent un risque pour l'environnement également car ils sont acteurs du phénomène d'eutrophisation.

Pour la mesure de la teneur en phosphate, la solution est introduite dans une solution sulfurique. Les ions orthophosphates forment avec les ions molybdates l'acide phosphomolybdique. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphomolybdène (« PMB ») qui est dosé par photométrie (référence norme : NF 173705). Protocole en annexe 28.

2.7.4. Paramètres microbiologiques

Au niveau microbiologique, il n'est pas nécessaire de faire des analyses pour chaque micro-organisme. En effet, certains peuvent être qualifiés d'indicateurs. C'est à dire qu'ils induisent la présence d'autres contaminants qu'il est alors inutile de rechercher. Dans le cadre de cette étude, et selon les normes en vigueur, les paramètres microbiologiques analysés sont les *Escherichia coli*, les Entérocoques et les Salmonelles.

- *Entérocoques*

Les entérocoques, bactéries d'origine intestinale, sont indicateurs d'une contamination fécale ancienne. Ils se retrouvent chez l'Homme à plus faible dose que *E. coli*, mais de manière plus importante chez le porc [28].

Pour dénombrer ce type de micro-organisme ,il est possible d'utiliser une microplaque MUD/SF (Figure 35) qui est un dispositif équipé de 12 colonnes de 8 puits. Les puits contiennent un substrat fluorogène : le MUD (4-méthylumbelliféryl-β-D-glucopyranoside). S'il y a présence d'entérocoques, ceux-ci vont alors hydrolyser le MUD en glucose. La réaction produit du 4-méthylumbelliférone qui donne une fluorescence bleue sous une lampe UV à 366 nm. La lecture du nombre de puits fluorescents donne une estimation du nombre de bactéries par mL grâce aux tables fournies par le fournisseur.

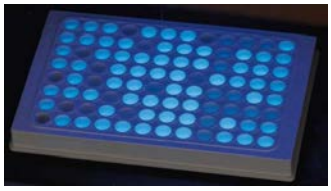


Figure 35: Exemple de lecture d'un microplaque MUD/SF (Source : Biokar diagnostics)

Le protocole est détaillé en annexe 29 pour les eaux de baignade. Il s'agit alors d'un protocole en deux dilutions dans un diluant spécial. Le même protocole est mis en place pour les eaux de sources et de forage, cependant, pour celles-ci, les dilutions sont faites uniquement dans de l'eau distillée stérile.

Pour les eaux usées, beaucoup plus chargées, le protocole est établi sur 6 dilutions (du 1/2 au 1/200000). Pour l'estimation du nombre de bactéries il faut alors passer par un nombre caractéristique qui pourra ensuite donner le nombre le plus probable (NPP). Ce nombre caractéristique est choisi de manière, si possible, à avoir deux chiffres non nuls puis un 0. Si aucun zéro n'apparaît, on choisit le nombre caractéristique correspondant aux plus grandes dilutions. Le NPP est alors lu dans les tables et correspond à une estimation du nombre d'entérocoques par millilitre d'eau. Il est ensuite multiplié par le facteur de la plus petite dilution du nombre caractéristique et par 100 afin de ramener à un nombre de bactéries sur 100mL :

Nb bactéries/100mL = NPP * d * 100

- *Escherichia coli*

Les *Escherichia coli* sont de la famille des coliformes fécaux. Ce sont plus particulièrement des coliformes thermotolérants, c'est à dire qu'ils se cultivent à 44°C. Ils sont indicateurs d'une contamination fécale récente par les animaux à sang chaud (homme, porcs). Pour l'estimation du nombre d'*Escherichia coli*, le principe est le même que pour les entérocoques. Seul le substrat contenu dans la microplaque (MUG/EC) change : il s'agit du MUG, ou 4-methylumbelliferyl-β-D-glucoronide.

- *Salmonelles*

Les Salmonelles sont présentes dans les intestins de la plupart des animaux et notamment des oiseaux. Ces derniers peuvent alors contaminer le milieu naturel via leurs matières fécales. La contamination peut aussi s'effectuer par ingestion d'aliments d'origine animale. Elle est à l'origine de la Salmonellose qui se caractérise par des douleurs abdominales, de la fièvre, des vomissements et des nausées. C'est une bactérie résistante qui a la capacité de survivre plusieurs semaines dans un environnement sec et plusieurs mois dans l'eau.

Pour les Salmonelles, l'objectif n'est pas de les quantifier mais de juger de leur présence ou absence. En effet, les normes imposent une absence totale de Salmonelles dans l'eau. Deux tests ont été effectués : le premier, RAPID'Salmonella, qui permet une analyse rapide (Annexe 30) et un second, plus long, nécessitant une confirmation (Figure 36).

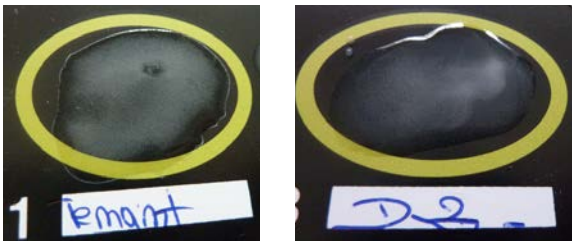


Figure 36: Test de confirmation pour la présence de Salmonelles

3. Résultats et discussions

3.1. Enquêtes domiciliaires : *Étude statistique*

Après avoir réalisé les enquêtes, les résultats ont été étudiés afin de mettre en évidence les principales caractéristiques de l'assainissement. Ces résultats sont établis sur l'ensemble des maisons enquêtées afin d'avoir un point de vue global. Cependant, l'objectif étant l'étude de l'assainissement au sein des différents périmètres de protection, des diagrammes spécifiques à chacun d'entre eux sont disponibles en annexes 31 à 33.

3.1.1. Informations générales

Lors de cette étude, 115 enquêtes ont été réalisées au sein des trois périmètres et répartit comme suit : 40 à Mua (Annexe 31), 8 à Carmélites (Annexe 32), 49 à Ahoa et 18 à Holo (Annexe 33).

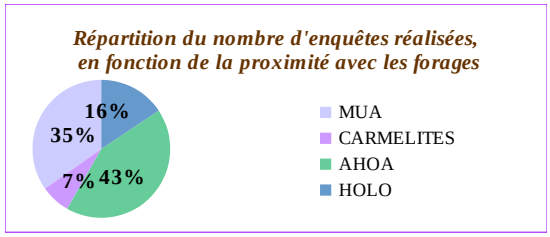


Figure 37: Pourcentage d'enquêtes réalisées en fonction de la proximité avec les forages (Mua, Carmélites, Ahoa et Holo)

Du fait d'une urbanisation plus importante à proximité des forages de Ahoa et de Holo, près de 80 % des enquêtes ont été réalisées dans les périmètres de protection rapprochée associés (Figure 37). Lors de ces enquêtes près de 105 fosses septiques ont été recensées.

Afin de respecter le principe de propriété privée et de disposer des informations les plus justes possible, il a été décidé de réaliser les enquêtes en présence du locataire et/ou du propriétaire. Il est important de souligner cette distinction puisqu'il est apparu que les locataires ne disposaient généralement pas des informations concernant les caractéristiques de l'assainissement. Une partie des enquêtes a également été réalisée dans des maisons inhabitées dans le cas où elles seraient habitées dans le futur (Figure 38)

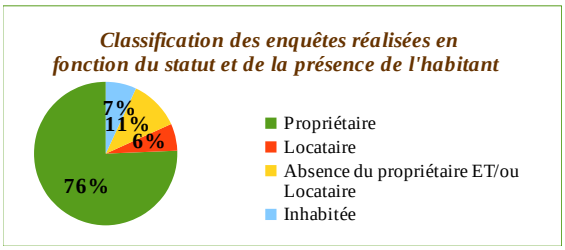


Figure 38: Pourcentages des enquêtes réalisées en fonction du statut et de la présence de l'habitant

3.1.2. Respect des distances préconisées par le DTU 64-1

Lors des enquêtes, il a été décidé de mettre en évidence les habitations non conformes aux prescriptions du DTU 64-1 (Figure 39). Sur l'ensemble des enquêtes réalisées c'est la distance vis-à-vis des plantations qui est la moins respectée. En effet, 55 % des habitations ont leurs fosses septiques situées à moins de 3 mètres. Cela s'explique notamment par le contexte local. En effet, la majeure partie de la population cultive et possède des arbres fruitiers.

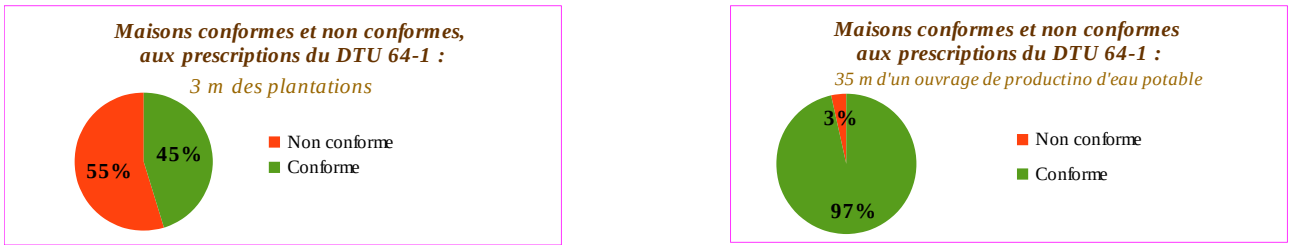


Figure 39: Pourcentage des maisons conformes et non conformes aux prescriptions du DTU 64-1

La problématique étant la contamination des forages, il faut souligner que 3 % des fosses septiques se trouvent à moins de 35 m d'un ouvrage de production d'eau potable. Par ailleurs, 13 % de la population possède un assainissement à moins de 3 m des parcelles voisines (Annexe 34). Et dans 10 % des cas, il est situé à moins de 5 mètres des autre habitations (Annexe 34).

3.1.3. Destination des eaux vannes

Trois situations sont à distinguer quant au traitement des eaux usées : les habitations ne disposant pas de système d'assainissement, celles ayant une fosse présentant des dysfonctionnements, et finalement celles possédant un dispositif en apparence fonctionnel. Enfin, lors de certaines enquêtes, il n'a pas été possible de déterminer comment étaient traitées les eaux usées (Propriétaire absent).

Sur les 40 enquêtes réalisées au sein du périmètre de protection de Mua, 34 fosses septiques ont été identifiées (Figure 40). Ce qui revient à dire que 5 % des habitations ne sont pas équipées de système d'assainissement. Sur les huit enquêtes réalisées dans le périmètre de protection des Carmélites, 7 fosses septiques ont été recensées. C'est pour cette raison que, proportionnellement, 13 % des habitations ne sont pas équipées d'assainissement. Sur les 49 maisons prospectées à proximité du forage de Ahoa, 48 possèdent une fosse septique. Ce qui signifie que 6 % des habitations ne sont pas équipées de système d'assainissement. Enfin, sur les 18 enquêtes réalisées à proximité du forage de Holo, 11 % ne sont pas équipées de système d'assainissement (Annexe 35)

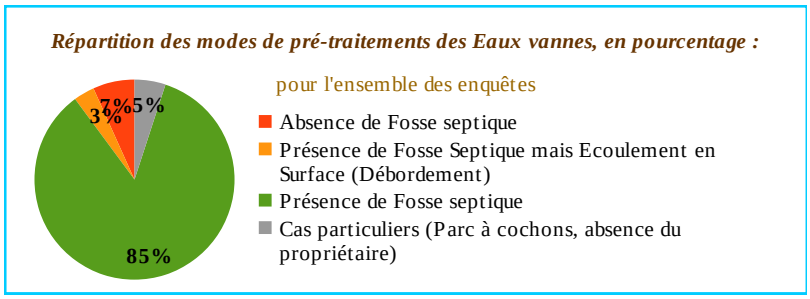


Figure 40: Pourcentage des modes de pré-traitements des eaux vannes, pour l'ensemble des maisons visitées

En somme, sur les 115 maisons visitées et comme le montre la Figure 40, 88 % sont équipées de fosses septiques, dont 3 % n'assurent pas un écoulement sous-terrain des eaux usées (fosse septique pleine). 5 % des visites n'ont pas permis d'identifier le système d'assainissement mis en place et 7 % des habitations ne disposent d'aucun système d'assainissement. Afin de juger de l'impact de ces dernières, il peut être intéressant de considérer le nombre de personnes résidant dans la maison (Figure 41). Dans 38 % des cas, il s'agit de familles peu nombreuses ou de personnes seules. Mais dans près de 50 % des cas, il s'agit de familles moyennes ou de familles nombreuses, ayant plus de 7 membres.

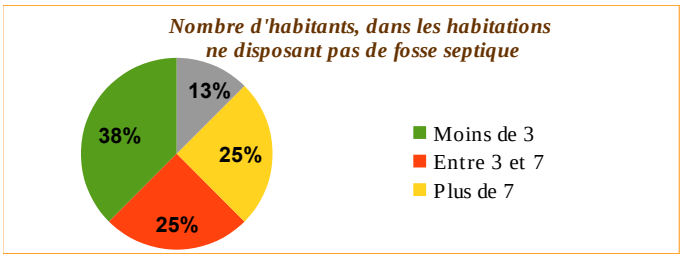


Figure 41: Nombre d'habitants dans les habitations ne disposant pas de fosse septique

3.1.4. Destination des eaux grises

Les eaux vannes représentent la plus grande problématique puisque ce sont elles qui génèrent le plus de pollution et qui représentent donc le plus grand risque. Cependant, il est également nécessaire de savoir comment sont traitées les eaux ménagères (Annexe 36).

D'après les enquêtes réalisées dans le périmètre de protection de Mua, il apparaît que plus de 20 % des habitations ne disposent d'aucun système pour traiter les eaux grises et les rejettent donc en surface. Plus de la moitié des habitations utilisent le système de puisard pour éliminer les eaux. Seuls 5 % des habitations rejettent leurs eaux grises dans la fosse septique, suivie soit d'un puisard, soit d'un système d'épandage. Enfin 10 % des habitations ne disposent pas des équipements type salle de bain, cuisine ou/et lave-linge.

Les enquêtes menées à proximités du forage des Carmélites mettent en évidence une proportion de rejet en surface comparable, soit 25 %. La part des habitations utilisant un puisard unique est réduit, au profit des habitations dirigeant les eaux usées dans la fosse, puis dans le puisard. Enfin, plus de 20 % des enquêtes indiquent que les habitations ne possèdent pas l'ensemble des équipements types.

Ce sont les enquêtes réalisées à proximité du forage de Holo qui mettent en évidence une prédominance des rejets en surface, en comparaison avec le reste des enquêtes. En effet, presque la moitié des habitations rejettent leurs eaux usées directement en surface. Cela explique donc que le pourcentage associé à l'utilisation du puisard soit moins important, et ne représente que 30 % des modes de traitement. Enfin, près de 10 % des habitations ont raccordé leurs eaux grises à la fosse septique et 6 % des habitations ne sont pas équipées de l'ensemble des équipements.

Sur les 49 enquêtes réalisées à Ahoa, les deux tiers sont répartis entre le rejet en surface et l'utilisation directe du puisard. Près de 15 % des habitations rejettent d'abord les eaux usées dans la fosse. Les résultats se caractérisent par une part importante d'habitations ne disposant pas d'équipement soit 15 %.

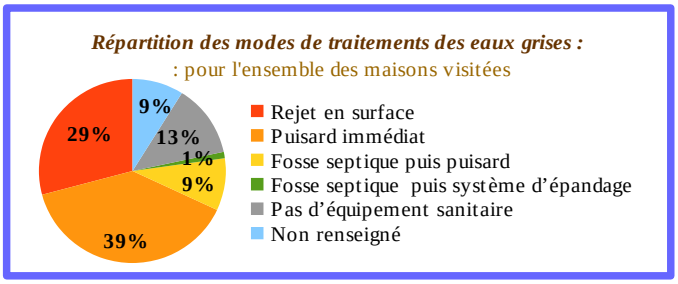


Figure 43: Mode de traitement des eaux grises, pour l'ensemble des maisons visitées

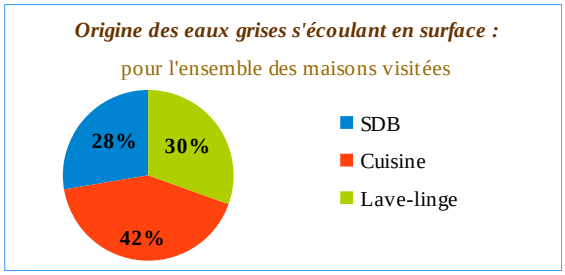


Figure 42: Origine des écoulements de surface, pour l'ensemble des maisons visitées

En somme, d'après la figure 43, les enquêtes réalisées sur l'ensemble des habitations mettent en avant la tendance suivante : les eaux grises vont majoritairement au puisard. Mais il apparaît également que près de 30 % des habitations visitées rejettent tout ou une partie des eaux grises en surface. Ces dernières proviennent dans plus de 40 % des cas des eaux de la cuisine (Figure 42). Le reste des eaux provenant de manière équivalente de l'utilisation de la salle de bain et du lave-linge. L'utilisation de la fosse septique suivi d'un système de puisard ou d'un système d'épandage est très largement minoritaire puisqu'elle ne représente que 10 % des modes de traitements. Enfin, sur l'ensemble des enquêtes réalisées, un équipement est manquant pour 13 % des habitations, à savoir la cuisine, la salle de bain ou le lave-linge. Il est à noter que généralement c'est ce denier équipement qui fait défaut.

3.1.5. Caractéristiques des fosses septiques

Sur les 105 fosses septiques identifiées un tiers ont été construites entre 1991 et 2000. Plus de 20 % ont été fabriquées entre 2001 et 2010. 20 % des fosses ont été mises en place avant 1990 et 10 % ont été réalisées ces cinq dernières années (Figure 44). Il apparaît également qu'un propriétaire sur 10 ne sait pas en quelle année sa fosse a été construite.

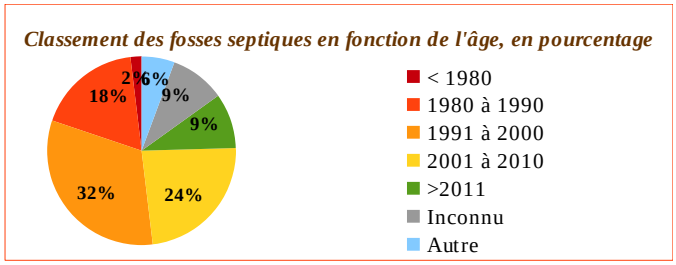
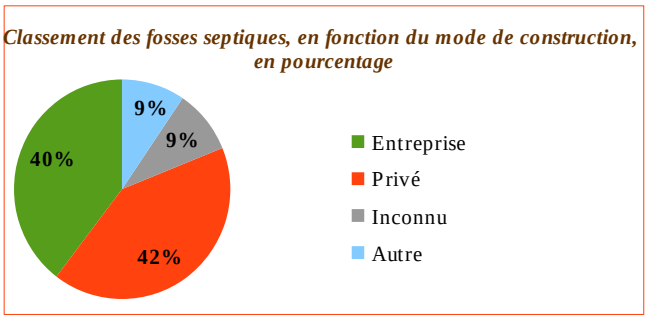


Figure 44: Classement des fosses septiques en fonction de la date de leur construction

Les fosses septiques ont été réalisées autant par des entreprises que par des membres de la famille, comme le montre la Figure 45.



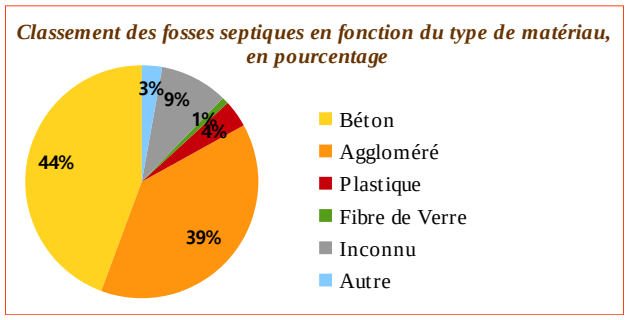


Figure 45: Classement des fosses septiques en fonction de leur mode de construction et du type de matériau

Différents matériaux ont pu être utilisés lors de la construction des fosses septiques (Figure 45). Elles sont dans 45 % des cas en béton. Malheureusement, il n'a pas été possible de différencier béton et béton armé.

Or, ces dernières seront beaucoup plus étanches que celles en béton. Un point à mettre en évidence est l'utilisation d'aggloméré, qui est un matériau peu étanche et qui ne garantit donc pas l'efficacité du traitement des eaux usées. Par ailleurs, seuls 4 % des habitants ont choisi d'utiliser des fosses septiques en plastique, qui est le matériau garantissant la meilleure étanchéité.

Afin de garantir le bon fonctionnement de la fosse septique et ne pas nuire à l'environnement, il est nécessaire de réaliser un entretien régulier de la fosse septique. Cet entretien est très variable et peut s'effectuer aussi bien tous les cinq ans que tous les dix ans. Il apparaît que la moitié des fosses septiques étudiées n'ont pas été vidangées au cours des dix dernières années (Figure 46).

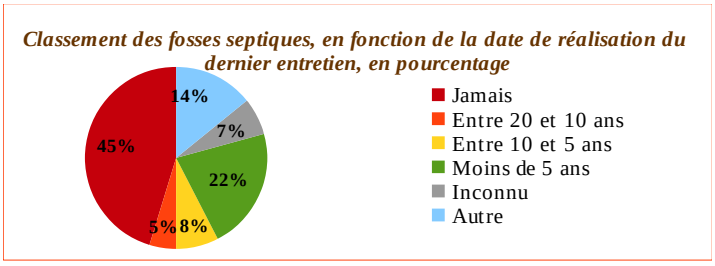


Figure 46: Classement des fosses septiques en fonction de la date de réalisation du dernier entretien

Or, d'après les enquêtes, très peu d'habitants ont signalé des problèmes type débordement de la fosse septique. Il est donc probable que certaines ne soit pas étanches, qu'elles ne se remplissent pas et qu'elles ne nécessitent donc pas de vidange. Pour conforter cette hypothèse, il est intéressant de signaler que lors de la deuxième enquête réalisée afin de juger de l'accessibilité des regards des fosses pour réaliser les prélèvements, la moitié des regards accessibles étaient secs. Ce qui signifie bien que l'écoulement se fait ailleurs, et donc probablement par le fond de la fosse septique.

3.1.6. Caractéristiques de l'élevage

- *Types d'élevage*

Afin de protéger au mieux la ressource en eau, il a été décidé d'étudier l'état de l'élevage présent au sein des périmètres de protection. D'après les résultats obtenus, il est possible de dire que sur l'ensemble des maisons visitées plus de 60 % possèdent des cochons, soit près de 69 habitations. Mais afin d'avoir une vision précise, le type même des parcs à cochons au sein de chaque habitation a été étudié. Ainsi, 155 parcs à cochons ont été resencés. L'objectif des diagrammes présentés ci-dessous est donc de mettre en évidence les principales tendances concernant l'élevage.

Dans un premier temps, il est intéressant de considérer le type d'élevage. En effet, d'après 1.2.2, l'impact d'un élevage sur dalle en béton sera plus élevé que celui d'un parc en terre tournant. Les figures 47 et 48, mettent en évidence que les cochons sont élevés aussi bien sur dalle en béton, que sur parcs en terre, avec une légère prédominance de ce deuxième modèle, qui comptabilise 51 % des cochons dénombrés.

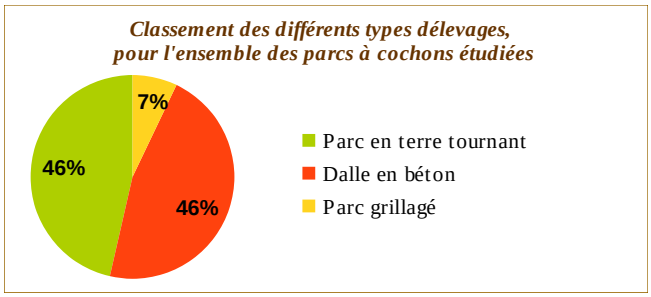


Figure 47: Classement des différents types d'élevages pour l'ensemble des parcs à cochons recensés

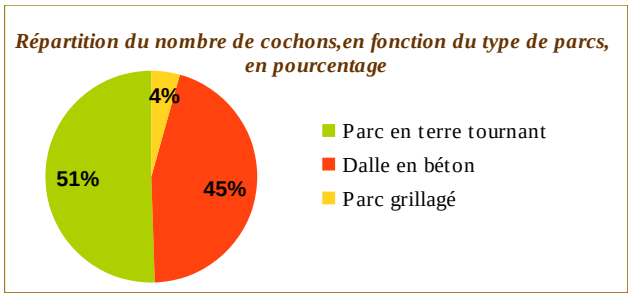


Figure 48: Répartition du nombre de cochons en fonction de la stratégie d'élevage, pour l'ensemble des parcs à cochons recensés

D'après la Figure 49, il est possible d'observer que plus de la moitié des parcs en terre tournants sont déplacés tous les ans. Ce mode d'élevage permet donc une épuration naturelle par le sol des lisiers. Mais il faut noter que dans près de 20 % des cas, les parcs restent à la même place, ce qui engendre une concentration des lisiers et limite donc l'épuration. Par ailleurs 15 % des personnes interrogées n'ont pas su répondre. En effet, ce sont généralement les hommes qui s'occupent des parcs à cochons, et certaines femmes n'ont donc pas su répondre à cette question.

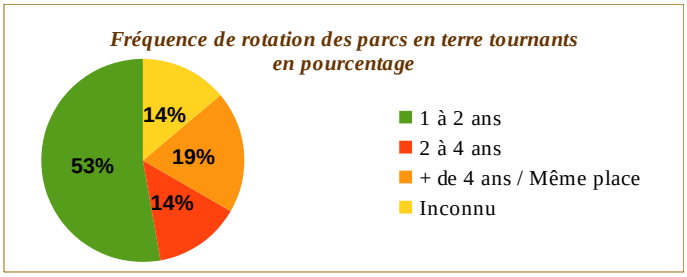


Figure 49: Fréquence de rotation des parcs en terre tournants

- *Gestion des lisiers*

Afin de pouvoir juger de l'impact de la présence des élevages, la problématique de la destination des lisiers à été prise en compte. Et comme le suggère la figure 50, plus de 80 % des lisiers s'écoulent et s'infiltrent dans les plantations. Seulement 7 % des cas présentent une infiltration directe dans un sol nu, à distance des plantations. Cela reste donc une tendance minoritaire, les habitants utilisant souvent les lisiers de cochons purs à titre d'engrais pour les plantations proches des parcs.

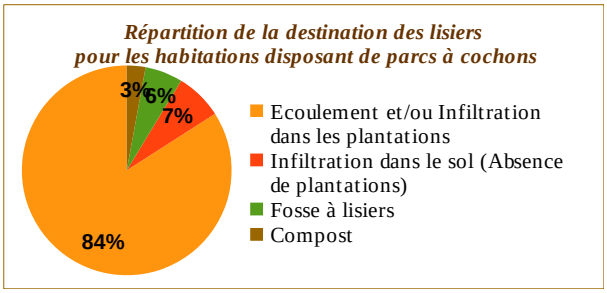


Figure 50: Destination des lisiers pour les habitations possédant des parcs à cochons, en pourcentage

Figure 51: Photographies d'un système de récupération de lisiers et de la fosse pleine (Enquêtes n°115)

La récupération et l'utilisation des lisiers pour en faire du compost et réaliser par la suite un épandage agricole est une pratique qui est presque inexistante, puisqu'elle ne représente que 3 %. Enfin, seuls 6 % des élevages possèdent une fosse à lisiers (Figure 51). Cette faible proportion s'explique par le fait que les fosses à lisiers ne peuvent être présentes que pour des parcs sur dalle en béton, mais également parce que cela représente un coût financier non négligeable.

Comme cela a été expliqué précédemment, le type d'élevage va impacter de manière plus ou moins significative l'environnement. Mais le nombre de cochons par habitation est également important (Figure 52). Il est possible d'observer que rares sont les élevages de plus de 10 cochons. En effet, presque la moitié des habitations possèdent entre un et quatre cochons, un tiers des élevages sont composés de 5 à 9 cochons et 13 % des habitations en possèdent entre 10 et 14. Les 10 % restants sont associés aux très gros élevages avec des parcs pouvant accueillir plus de quinze cochons.

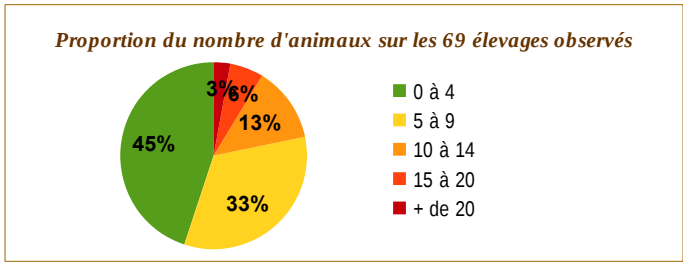


Figure 52: Nombre d'animaux par habitations possédant des parcs à cochons, en pourcentage

En somme, d'après les résultats présentés, il est possible de dégager plusieurs tendances :

- Pour l'assainissement, la grande majorité des habitants possèdent une fosse septique, bien qu'au sein d'un périmètre de protection rapprochée, il ne soit pas acceptable que certaines habitations n'en soit pas équipées. Sur l'ensemble des eaux usées, ce sont le rejet en surface et l'utilisation d'un puisard qui sont les principaux modes de traitements, bien que trop peu efficaces. Enfin, concernant les caractéristiques de la fosse ; le béton est le matériau le plus utilisé, bien que l'aggloméré représente également une part importante, malgré sa faible étanchéité. Mais le point le plus critique est lié à l'entretien, inexistant pour la moitié des installations.
- Pour élevage, la plupart des wallisiens possèdent moins de 10 cochons et les élèvent aussi bien sur parcs en terre que sur dalles en béton. Dans ce cas, les lisiers s'écoulent directement dans les plantations puisque leur valorisation est aujourd'hui une pratique qui n'est pas développée.

3.2. Mise en évidence des maisons prioritaires

Comme cela a été présenté dans le 2.4.1, différentes notes ont été définies afin de mettre en évidence les maisons présentant le plus de risques, aussi bien du fait d'un mauvais assainissement que d'un élevage mal géré. Mais cette hiérarchisation n'a pas été possible pour l'ensemble des habitations. En effet, lors de certaines enquêtes, l'ensemble des informations relatives à l'habitation n'ont pas pu être collectées. Ainsi, les questionnaires incomplets n'ont donc pas été pris en compte lors de l'étape de priorisation. D'après le tableau 11, il est possible de noter que sur les 115 enquêtes réalisées, 81 ont pu être classées, soit 70 %.

Tableau 11: Synthèse du nombre de maisons enquêtées et du nombre de maisons priorisées en fonction des périmètres de protection

Périmètre	*Nombre de maisons **enquêtées***	*Nombre de maisons **priorisées/ANC***
MUA	40	24
CARMELITES	8	6
AHOA	49	41
HOLO	18	10
Total	115	81

3.2.1. Mise en évidence des habitations prioritaires

- *En fonction de l'assainissement*

Les résultats présentés ci-dessous sont axés sur les maisons présentant les risques les plus élevés, à savoir les habitations possédant les niveaux de priorité 3 à 5. Les cartographies mettant en évidence ces niveaux sont présentées en annexe 37 pour Mua et annexe 38 pour Carmélites, Ahoa et Holo. Ainsi, d'après le tableau 12, il apparaît que sur les 81 maisons qui ont pu être classées :

- 6 sont situées en ***Niveau5*** : elles ne possèdent donc pas d'assainissement et doivent être traitées en priorité.

Deux sont situées dans le périmètre de ***Mua***, et comme le montre la cartographie, il apparaît que l'enquête n°2 se situe à moins de 35 mètre du forage. La seconde habitation (enquête n°16) étant plus éloignée, c'est l'assainissement de l'enquête ***n°2*** qui devra faire l'objet d'une réhabilitation prioritaire.

Trois de ces habitations sont situées dans le périmètre d'***Ahoa*** mais sont relativement éloignées du forage. C'est l'enquête n°***86*** qui possède le moins d'habitants mais qui est la plus proche du forage de Holo. Pour cette raison, elle pourrait faire l'objet de la première réhabilitation au sein de ce périmètre. Mais une étude des courbes de niveaux et des pentes pourrait également orienter le choix de la maison la plus à risque.

Enfin, c'est dans le périmètre des ***Carmélites*** qu'est localisée la dernière maison ne disposant pas d'ANC. Il s'agit de l'enquête n°***44*** qui se situe relativement proche du forage.

- 3 ont été associées au ***Niveau 4***, caractéristiques d'un assainissement catastrophique et des situations suivantes : ensemble des eaux grises envoyées en surface, fosse septique pleine.

L'une de ces habitations (enquête ***n°22***) se localise dans le périmètre de ***Mua***, relativement proche de la fin du périmètre de protection. Les deux autres se trouvent dans le périmètre commun de Holo et Ahoa. Mais c'est l'enquête n°***73*** qui s'avère être la plus rapprochée du forage de ***Holo***. Par ailleurs, il faut noter que cette fosse septique est en aggloméré, l'étanchéité est donc probablement très insuffisante.

- 36 ont été classées dans le ***Niveau 3***

17 sont présentes au sein du périmètre de Ahoa et Holo, 6 dans celui de Mua et 2 au sein du périmètre des Carmélites. Dans le périmètre de Ahoa et Holo se sont les enquêtes n°***92*** et ***70*** qui possèdent les notes les plus élevées (74,5 et 70). Ces dernières ont été déterminées lors de l'étape de hiérarchisation avec la détermination de la « Note Finale » (cf. 2.4). Par ailleurs, l'habitation associée à l'enquête n°***70*** se trouve être le plus proche du forage. A Mua c'est l'enquête n°***35*** la plus à risque, puisque sa note s'élève à 68. Enfin pour Carmélites, c'est l'enquête n°***46*** qui, associée de la note 55.5, est la plus critique.

Finalement 39 maisons disposent d'un assainissement « moyen » puisque associées au ***Niveau2***, et 13 disposent d'un moyen de traitement qui semble efficace et ne pas induire de risque pour les forages ***(Niveau1)***.

Tableau 12: Synthèse du nombre d'habitations en fonction du niveau de criticité, pour l'ANC et N° des enquêtes à traiter en priorité

Périmètre	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5	Total
MUA	1	***14***	6 – N°35	1 – N°22	2 – N° 2 et 16	15
CARMELITES	1	***2***	2 – N° 46	0	1 – N°44	3
AHOA	5	***18***	14 – N° 92	1 – N°50	**3 –** N°86, 98 et 93	23
HOLO	1	***5***	3 – N° 70	1 – N°73	0	6
Total	***13***	***39***	***36***	***3***	***6***	47

En somme la majorité des maisons enquêtées possèdent des assainissements qui pourraient être améliorés, mais qui ne sont pour autant pas catastrophiques.

Cependant, il faut noter que lors de cette étude, il n'a pas été possible d'ouvrir les fosses. Cela implique donc, que dans la majorité des cas, il n'est pas possible de savoir si les eaux des fosses étaient réellement traitées. Ainsi, la hiérarchisation qui a été réalisée a permis de mettre en évidence les situations les plus critiques, en l'occurrence pour les habitations ne disposant pas de fosse septique. Mais la détermination des notes ayant permis cette classification reste discutable et une notation différente aurait pu conduire à un classement très différent.

- *En fonction de l'élevage*

D'après le tableau 13, 69 habitations possédant des élevages ont pu être hiérarchisées, ce qui correspond à l'ensemble des habitations enquêtées possédant des élevages. Les cartographies mettant en évidence les niveaux de priorité relatifs à l'élevage sont présentées en annexe 39 pour le périmètre de Mua et annexe 40 pour ceux de Carmélites, Ahoa et Holo.

Ainsi, 4 élevages doivent être traités en priorité puisqu'ils ont été classés ***Niveau 3*** : 2 dans le périmètre de Mua (Enquêtes n°***37*** et ***14***) et 2 à proximité du forage de Holo (Enquêtes n°***96*** et ***89***). Ce qui représente 6 % des élevages (Figure 53).

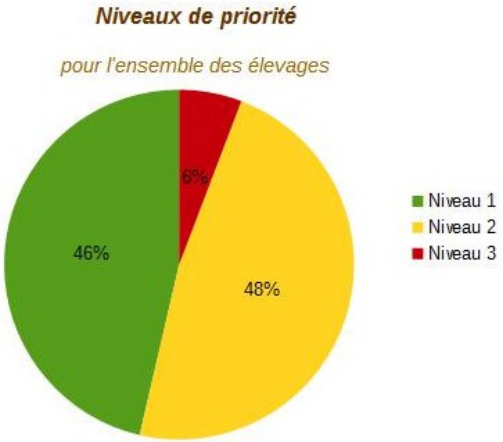


Figure 53: Répartition des élevages en fonction du niveau de priorité associé

Il est en outre possible de souligner que la moitié des élevages présents au sein du périmètre de Mua doivent être surveillés, puisqu'ils appartiennent au ***Niveau 2.*** Il est possible de citer les élevages mis en évidence lors des enquêtes n° ***35*** et 25 (Note : 10 et 9,5) pour le périmètre de Mua, n° ***100*** et 115 (Note : 9 et 8,5) pour le périmètre de Ahoa, n°***50*** (Note : 8) pour celui de Holo et n°***46*** (Note 5,5), pour Carmélites. Autrement dit, 48 % des élevages doivent être surveillés, et une modification des techniques d'élevage utilisées pourraient considérablement réduire les facteurs de risques.

Enfin, il est possible d'estimer que sur l'ensemble des élevages, 46 % ne semblent pas porter préjudice aux forages en appartenant au ***Niveau 1***.

Tableau 13: Synthèse du nombre d'habitations en fonction du niveau de criticité, pour l'élevage

Périmètres	*Niveau 1*	Niveau 2	Niveau 3	***Total***
MUA	9	***12***	2	23
CARMELITES	***2***	1	0	3
AHOA	***18***	12	0	30
HOLO	3	***8***	2	13
Total	32	***34***	4	69

3.3. Les analyses laboratoires

3.3.1. Eaux usées

Les résultats des analyses d'eaux usées ont démontré un net dysfonctionnement du système d'assainissement. En effet, pour les paramètres les plus impactants, comme les indicateurs de pollution bactérienne ou les matières en suspension, tous les échantillons ou presque sont au dessus des normes, les dépassant même de manière non négligeable (Annexe 41). Les seuls facteurs de pollution semblant être relativement bien traités, ou du moins étant trouvés en faibles proportions, sont les nitrates et l'azote total qui, même lorsqu'ils dépassent la norme, restent assez proche de celle-ci.

Ainsi, sachant que tous les prélèvements ont été effectués en sortie de fosse septique, il est évident que ces dernières n'assurent pas assez leur fonction de prétraitement. Cela implique des conséquences directes pour le sol qui reçoit une charge de pollution considérable. Or, comme vu en 1.1.3, le sol est capable d'épurer une partie de la pollution mais pas nécessairement la totalité. Ainsi, si la charge est trop importante, le risque encouru concerne également la lentille d'eau douce, qui pourrait être touchée par une infiltration de ces eaux usées.

Afin d'établir un classement des habitats analysés présentant le plus de risques pour la nappe, il est nécessaire de prioriser les paramètres selon leur impact éventuel. Ainsi, la hiérarchisation des habitations par niveaux de risque sera notamment fonction de la concentration en micro-organismes, de la DCO et de la DBO, puis dans un second temps une analyse des matières en suspension viendra confirmer ou non l'ordre établi. En effet, les nitrates et l'azote ne sont ici pas considérés car ils respectent globalement la norme. Enfin, à des concentrations relativement faibles, les phosphates ne représentent pas un danger immédiat pour l'Homme. De ce fait, ils ne sont pas considérés comme paramètre prioritaire.

Les échantillons ont donc été classés par périmètre. Puis pour chaque périmètre, ils ont été triés : en fonction de la teneur en *Escherichia coli* et de celle en entérocoques, et en fonction de la DCO et de la DBO_5. Cela donne les résultats suivants (Tableau 14) :

Tableau 14: Classement des enquêtes pour différents paramètres

Ahoa et Holo							
DCO (mg/L de O_2)		DBO_5 (mg/L de O_2)		*E. coli* (N/100 mL)		Entérocoques (N/100 mL)	
Enquête	Valeur	Enquête	Valeur	Enquête	Valeur	Enquête	Valeur
50	608	69	340	69	116 000	69	>82 994 000
69	531	50	180	50	116 000	111	26 649 00
95	402	105	160	111	5 800	50	1 858 000
111	370	95	140	105	2 550	95	39 900
105	340	101	120	101	2 312	101	23 981
101	307	111	80	95	0	105	9 817
Mua							
DCO (mg/L de O_2)		DBO_5 (mg/L de O_2)		*E. coli* (N/100 mL)		Entérocoques (N/100 mL)	
Enquête	Valeur	Enquête	Valeur	Enquête	Valeur	Enquête	Valeur
23	698	23	340	23	723 100	23	92 000
39	443	39	240	41	4 669	39	46 690
41	174	41	65	39	2 312	41	4 093

Les habitations sont ensuite hiérarchisées en faisant une synthèse globale des classements établis pour les différents paramètres. Il apparaît donc évident que dans le périmètre de Ahoa et Holo, la maison correspondant à l'enquête n°***69*** soit considérée comme la plus à risque (Annexe 42), du fait notamment de sa concentration en entérocoques. Pour le périmètre de Mua, c'est l'enquête n°***23*** qui représente la plus grande menace pour la lentille d'eau douce (Annexe 43). Elle présente en effet le degré de pollution le plus élevé pour les paramètres étudiés. Enfin, pour le périmètre des Carmélites, une seule maison ayant été analysée (Enquête 49), elle ne peut pas être réellement classée. Il est cependant à noter qu'au vu des résultats, son assainissement pourrait être amélioré.

Après avoir mis en évidence l'habitat le plus à risque dans un périmètre donné, il est nécessaire de hiérarchiser le reste des enquêtes analysées au sein du même périmètre. Pour cela, il a été choisi de considérer en premier lieu la teneur en bactéries, et surtout en entérocoques. Ces derniers témoignent d'une contamination fécale ancienne, pourtant toujours présente. Ainsi, pour le classement des enquêtes 50 et 111 par exemple, c'est l'enquête 50 qui a été placée en tête car elle présente un taux en *Escherichia coli* 14 fois plus faible que la 111, mais une teneur en entérocoques 20 fois plus élevée.

Le classement final des eaux usées analysées en fonction du risque potentiel qu'elles induisent est donc présenté en figure 54 :

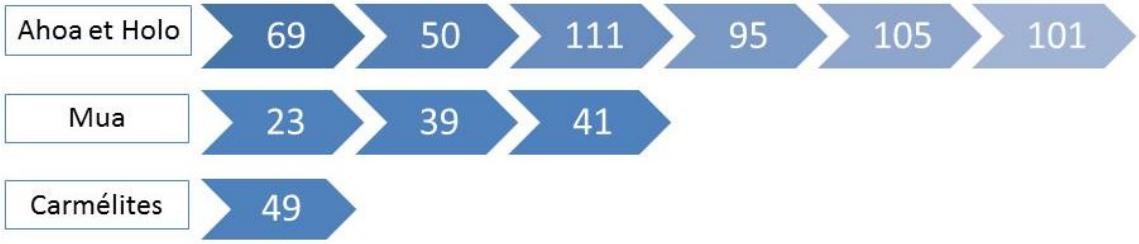


Figure 54: Classement des enquêtes, après analyses laboratoire, en fonction de l'état de pollution des eaux usées (de la plus polluée à la moins polluée)

Cependant, un autre paramètre entre en compte de manière non négligeable dans la priorisation des habitations. En effet, la profondeur de la nappe est un facteur majeur dans le risque de contamination. D'après l'annexe 3, un même périmètre est globalement situé dans une même zone de risque. Ainsi, le classement par périmètre reste inchangé. Cependant, il est important de noter que si les périmètres de Ahoa, Holo et Carmélites se situent dans des zones de faibles risques, le périmètre de Mua se situe dans la zone de risques modérés à intermédiaires. La nappe étant très peu profonde au niveau du forage de Mua (cf. 1.2.1), les habitations à risques repérées au sein de ce périmètre devraient donc être analysées en priorité et améliorées au plus vite.

Il pourrait être intéressant de comparer la hiérarchisation établie grâce aux analyses laboratoire avec celle des enquêtes domiciliaires (Figure 55). Les priorisations établies ne peuvent être comparées que pour le périmètre de Ahoa et Holo, le manque d'informations concernant les enquêtes 39, 41 et 49 empêchant la recherche de leur niveau de criticité.

Figure 55: Classement des enquêtes par niveau de criticité d'après les enquêtes domiciliaires

D'un point de vue général, les analyses laboratoire, basées sur des critères quantifiables caractérisant l'état de pollution, ne viennent pas confirmer l'ordre établi d'après l'étude de l'assainissement. Cette dernière étant plus visuelle et faisant intervenir le jugement de l'observateur, il était difficilement imaginable d'aboutir à un classement similaire.

3.3.2. Eaux brutes

L'analyse des eaux brutes montre que la pollution n'a pas encore atteint la nappe au point de la contaminer. En effet, tous les paramètres analysés sur les échantillons prélevés au niveau des forages respectent les normes imposées (Annexe 44). Il faut cependant noter la présence d'*Escherichia coli*, au niveau du forage de Ahoa. Cette présence n'est pas dangereuse d'un point de vue sanitaire, car la proportion est faible et s'élimine donc facilement lors de la chloration. Mais elle peut être le marqueur de l'arrivée de la pollution au sein de la nappe, car lors des analyses de 2015 sur les forages, aucune bactérie n'avait été retrouvée. Ainsi, il est important de maintenir des analyses fréquentes au niveau des forages et de mettre en place des actions de protection de la lentille avant d'avoir une pollution généralisée.

La qualité des eaux de forage reste pour autant très bonne. La majeure partie des résultats donnant des valeurs bien en dessous des normes. Les eaux sont claires et contiennent très peu d'ammonium, de nitrates, de sulfates et de chlorures. La désinfection appliquée actuellement est donc adaptée, mais une augmentation de la concentration en paramètres indésirables pourrait, à terme, nécessiter la mise en place d'un mode de traitement plus complet.

3.3.3. Eaux de baignade

Les analyses des eaux de baignade montrent une qualité relativement bonne de la majeure partie du lagon (Annexe 45). Le classement des eaux de baignade s'effectue selon la directive décrite en 1.4.4. Pour les 14 lieux de prélèvements réalisés sur l'ensemble du littoral, les résultats suivants sont obtenus (Tableau 15) :

Tableau 15: Résultats des analyses effectuées sur les eaux de baignade

Lieu	MES (mg/L)	*Escherichia coli* (N/100 mL)	Entérocoques (N/100 mL)
Mala'efo'ou	38,46	46	0
Halalo	4,43	0	0
Lausikula	4,1	30	144
Utuloa	4,58	0	0
Gahi	7,09	20 795	1 633
Ha'afuasia	14,6	15	0
Kanahe	15,46	93	0
Tepa	4,81	61	0
Liku	5,28	0	0
Aka'Aka	17,09	0	0
Falaleu	56,63	0	0
Mata'Utu	5,33	0	0
Vailala	10,55	408	0
Vaitupu	13,82	0	0

Seul Gahi présente des résultats relativement élevés pour la concentration en *Escherichia coli* et en entérocoques, dépassant de loin les limites imposées. La qualité de l'eau de mer y est donc considérée comme mauvaise. C'est un cas unique pour cette étude, menée par temps sec et ne considérant pas l'impact de la pluviométrie. Il peut être corrélé avec le mauvais état de l'assainissement mais aussi et surtout avec le nombre de parcs à cochons situés près du littoral dans cette zone (Annexe 3).

Lausikula et Vailala montrent également des teneurs supérieures à la norme pour l'un des deux paramètres microbiologiques. Cependant, ces deux lieux de baignade restent de qualité moyenne. A Vailala, la densité de population est faible mais pas inexistante (Annexe 1), cependant les habitants ont une moyenne de 3 ou 4 porcs par élevage. Ainsi, les risques sont limités mais tout de même présents, ce qui pourrait expliquer la pollution des eaux de baignade. Pour Lausikula en revanche, les densités de population et de porcs sont très limitées et n'expliquent pas la qualité moyenne de l'eau. Une étude des courants à proximité de Wallis pourrait mettre en évidence un éventuel déplacement de la pollution.

Les autres lieux de baignade étudiés présentent des résultats leur permettant de se classer comme eaux de bonne qualité (Annexe 46).

Les prélèvements ayant été effectués par temps sec, il est intéressant de comparer les résultats obtenus avec ceux de l'étude menée en novembre 2015 dans les mêmes conditions (Annexe 47). Ainsi, il est possible de mettre en avant une amélioration de la qualité du lagon pour la majeure partie des sites, à l'époque considérés de qualité moyenne. Cela permet d'affirmer que le lagon possède une faculté de régénération non négligeable. Cependant, les sites de Vailala et de Gahi, alors considérés respectivement comme « bon » et « moyen », sont aujourd'hui marqués par une pollution plus importante. Or, l'étude réalisée par le laboratoire d'analyses Labocea en février 2015 (Annexe 48) a permis de déterminer l'origine de ces pollutions fécales à l'aide de marqueurs spécifiques (Pig-2-bac pour une pollution d'originie porcine). Ils ont notamment mis en évidence une pollution généralisée pour Vailala, et confirmé l'origine porcine de la pollution à Gahi. Il serait donc nécessaire de protéger ce dernier site de l'impact de l'élevage.

3.3.4. Eaux de sources

Les résultats mis en évidence après analyses des eaux de sources sont contrastés. En effet, aucune des sources ne présente de pollution généralisée, cependant il est possible de mettre en évidence pour chacune d'entre elles, des paramètres ne respectant pas les normes (Annexe 49).

Le paramètre prioritaire dans cette étude est la présence de salmonelles. Ces dernières sont des bactéries résistantes pouvant transmettre des maladies à l'Homme. Il est donc nécessaire de n'en trouver aucune trace dans l'eau. Or, l'analyse de la source de Vaitauolo a permis de mettre en évidence la présence de Salmonelles, ce qui en fait la source la plus à risque.

La suite de l'étude et l'étape de priorisation se base sur les paramètres bactériologiques, la DCO et la DBO_5. Les nitrates, les matières en suspension et l'azote respectant les normes imposées, ils ne sont donc pas pris en compte dans le classement des eaux de sources.

Concernant la microbiologie, seule une source dépasse les normes sur la concentration en *Escherichia coli* : celle de Tufunui. De plus, elle présente des valeurs en DCO et DBO_5 relativement élevées. Elle est donc également considérée comme polluée, mais de manière moins importante que Vaitauolo. Cette pollution peut s'expliquer par la présence de parcs à cochons aux abords de la source.

Les autres sources respectent les normes imposées en microbiologie, cependant la source de Vai présente des concentrations en entérocoques et en *Escherichia coli* se rapprochant des valeurs limites. Ainsi, cette source reste à surveiller. De même pour la source de Nihuna qui présente des valeurs de DCO et DBO_5 élevées, bien que les teneurs en micro-organismes restent nulles. Cela induit la présence de bactéries autres que celles recherchées et à la pathogénicité non déterminée, l'eau n'étant pas destinée à la consommation humaine.

Les sources de Loma, quant à elles, ne dépassent les normes que dans la recherche des chlorures, de la turbidité et de la couleur, paramètres ayant un impact réduit sur la santé si l'eau est bien traitée. Ainsi, ces sources sont classées comme non polluées, bien que la seconde source analysée soit presque quatre fois plus turbide que la première (Annexe 50).

En somme, les eaux de sources subissent déjà des dégradations qui risqueraient de s'aggraver dans le cas où aucune mesure ne serait mise en place. Cependant, l'utilisation de certaines sources en cas de problème avec la nappe reste possible, à condition d'effectuer un traitement adapté et d'éviter celle de Vaitauolo.

3.3.5. Synthèse sur l'état des lieux de la pollution

D'après les résultats des analyses, il apparaît que la pollution reste relativement localisée, et ne touche le lagon et les sources que partiellement. Il est possible de noter une concentration de la pollution surtout au Sud-Est et au Nord de l'île (Annexe 51). Ainsi, mis à part Gahi pour les eaux de baignade et Vaitauolo pour les eaux de sources, aucun risque majeur n'a été mis en évidence. La nappe reste à ce jour une ressource sûre et de très bonne qualité, bien qu'un risque de contamination reste présent.

3.4. Les solutions envisagées

Différents systèmes d'assainissement existent et certains d'entre eux ont été installés à Wallis. Malheureusement sur l'ensemble des projets, peu ont été menés à terme, avec pour motifs récurrents, un dysfonctionnement des installations et une réglementation trop imprécise. Pour faire face aux problématiques de santé publique et environnementale que cela engendre, il est donc impératif de mettre en place un système adapté aux contextes économique et culturel, approuvé par l'ensemble de la communauté, et qui pourra être facilement entretenu. Pour cela des solutions techniques peuvent être proposées, en s'appuyant sur des outils réglementaires adaptés, et en renforçant les missions de sensibilisation pour la population, et de formation, à destination des agents concernés.

3.4.1. Des solutions techniques

- *Pour l'assainissement*

La mise en place sur le territoire d'un système de traitement de type collectif, n'est aujourd'hui pas envisageable. D'une part, parce que l'ensemble des habitations sont actuellement équipées de système non collectifs et d'autre part à cause des problématiques de foncier. Le choix s'est donc porté sur la mise en place d'un système autonome.

L'utilisation d'un massif filtrant à base de sable pourrait être envisagée. Bien que son utilisation soit réglementée par le code de l'environnement (Article E. 321-3), cette ressource a longtemps été exploitée dans le bâtiment. Cela en fait donc une ressource limitée. Par ailleurs, les noix de coco étant très abondantes sur le territoire il pourrait être intéressant d'étudier l'utilisation de l'exocarpe de coco (Figure 56), qui constitue un filtre organique assurant le traitement biologique, la filtration et la rétention des polluants. Par exemple, les matières en suspension sont retenues en surface, et la matière organique est décomposée par des bactéries aérobies se trouvant dans le filtre.

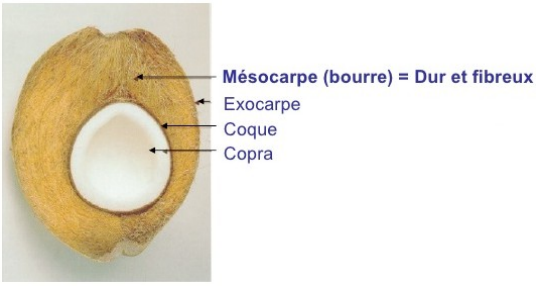


Figure 56: Composition d'une noix de coco

La bourre de coco constitue la première couche du média filtrant (Figure 57), suivi par des graviers, à la granulométrie variable et définie en fonction du niveau de pollution. Le dernier étage est constitué d'un système de drainage qui permet l'écoulement des eaux au sein d'un deuxième média ou vers un système d'épandage.

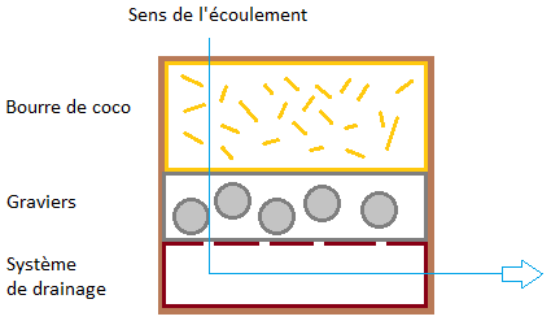


Figure 57: Schématisation d'un média filtrant

Cependant, ce dispositif ne peut être utilisé de manière identique pour chaque habitation et doit être adapté aux différents cas rencontrés, à savoir des habitations avec ou sans fosse. Il est à noter que quelque soit le système d'assainissement déjà en place, le dimensionnement des médias filtrants dépend de la charge polluante entrante et de l'objectif de traitement. Pour 1 équivalent/habitant, il est préconisé de disposer d'une surface de 0,92 m² de fibre de coco sur 80 cm d'épaisseur, ce volume devant permettre d'avoir un temps de séjour suffisamment important.

- *Habitation ne disposant pas d'un système d'assainissement*

Dans ce cas, il s'agit de mettre en place un système permettant le traitement des eaux usées de manière efficace. Pour cela, deux médias filtrants sont utilisés [29] (Figure 58).

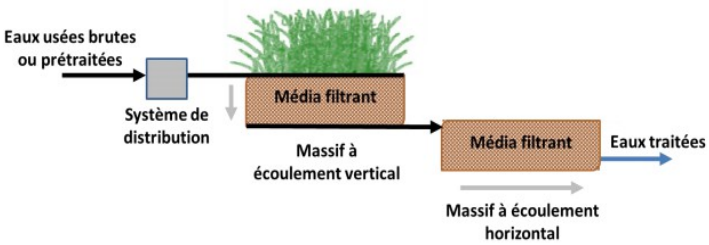


Figure 58: Système d'assainissement proposé pour les habitations ne disposant pas d'une fosse septique

Le premier, à écoulement vertical, permet une filtration gravitaire des particules. Ce dispositif assure le traitement des eaux usées selon le principe de la culture fixée de roseaux sur des supports filtrants. Il en existe de nombreuses espèces dont *Pragmites australis*, présent sur le territoire de Wallis. Ils n'ont pas de rôle épurateur en tant que tel mais permettent de garantir un décolmatage et une aération suffisante, grâce à leurs racines. Pour être efficace, il est nécessaire de disposer d'au moins cinq roseaux par m² [30].

La charge polluante étant importante du fait de l'absence de fosse septique, il peut être nécessaire de mettre en place un second module, en finition, afin de garantir l'objectif de traitement. La présence de roseaux est facultative, les eaux usées ayant déjà été pré-traitées. Dans ce second module, l'écoulement horizontal est réalisé par effet piston. Il s'y développe des mécanismes épuratoires aérobies et anaérobies (respectivement en présence et absence d'oxygène).

Les eaux usées traitées sont ensuite acheminées vers un système de lit d'épandage constitué de drains permettant l'infiltration des eaux traitées dans le sol.

- *Habitation disposant d'une fosse septique*

Dans le cas où l'habitation est déjà raccordée à une fosse, il apparaît délicat de proposer au propriétaire sa destruction, bien que presque toutes les fosses présentent un sur-dimensionnement ou des dysfonctionnements. L'objectif serait donc de réhabiliter et d'améliorer le système déjà existant.

Une des solutions techniques serait de mettre en place une géomembrane au fond de la fosse afin de limiter les risque de fuites et de rajouter un système de finition à base de bourre de coco. Cependant, dans le cas d'une fosse septique, seule les eaux vannes sont traitées, alors que les eaux grises sont, pour une partie, rejetées en surface. Ainsi, deux solutions se présentent : la mise en place de systèmes de filtration individuels pour les eaux grises ou le raccordement des eaux grises à la fosse.

A noter que, quelque soit la solution choisie, la mise en place d'un bac à graisse raccordé aux eaux sales provenant de la cuisine serait recommandée.

- *Validation de la solution technique*

Avant de mettre en place ce système, il pourrait être intéressant de développer un pilote et réaliser des tests laboratoire, afin de déterminer la hauteur de coco nécessaire à un abattement réglementaire. Par exemple en mesurant la charge polluante en entrée et en sortie.

Tableau 16: Avantages et inconvénients du système cocolit

Avantages		***Inconvénients***	***Solutions ?***
Non bruyante & sans consommation électrique		Effluents à l'air libre	
Écologique		Mauvaises odeurs (Hydrogène sulfureux)	Tourbe (support bactérien)
Peu d'entretien	Roseau :1 coupe/an Raclage de la croûte : Tous les 10 ans		
Innovation technologique			

Il est également indispensable de disposer de l'appui de la population wallisienne sur cette démarche de réhabilitation, et notamment sur le système préconisé. En effet, l'écoulement des eaux entrant dans le média s'effectue en surface et est donc visible, ce qui pourrait causer une gêne pour les habitants qui abandonneraient le dispositif mis en place. De plus, l'efficacité d'un système d'assainissement dépend de l'entretien qui lui est accordé, il est donc nécessaire de s'assurer de la bonne information de la population afin qu'elle puisse être pleinement impliquée et surtout qu'elle soit actrice de la préservation de son environnement.

- *Pour l'élevage*

De nombreuses solutions techniques existent afin de gérer l'élimination des lisiers, mais elles ne sont pas toujours adaptables au contexte wallisien. Pour cette raison, certaines techniques sont davantage à préconiser, telles que :

- *Parc en terre tournants*

Cette stratégie d'élevage ne présente pas de risques dans le cas d'une rotation régulière des parcs. Cependant, sachant que la ressource en espace est limitée, une alternative doit être trouvée afin d'avoir des cycles de rotation suffisamment courts pour permettre au sol d'assimiler les lisiers, mais suffisamment longs pour limiter la contrainte sur l'éleveur.

- *Dalle en béton*

Dans un premier temps, comme il a pu être observé lors des enquêtes, de nombreuses habitations disposent de plusieurs dalles en béton qui pourraient être rassemblée en une seule. Ainsi, un système de drainage (type rigole en béton) pourrait être mis en place afin d'acheminer les lisiers au sein d'une cuve. Les caractéristiques de cette dernière (volume, étanchéité, fréquence de vidanges), devront être définies au préalable afin de garantir l 'efficacité du système. Les lisiers récoltés dans la fosse pourraient alors être directement valorisés à travers la méthanisation (biogaz), l'épandage, ou le compostage. Sachant que, dans le cadre du projet INTEGRE, l'utilisation du lisier à des fins domestiques a déjà été proposée [31].

3.4.2. Des missions de sensibilisation

La mise en place de solutions techniques n'est pas le seul garant d'une limitation des risques. En effet, l'information et la formation de la population est indispensable pour accompagner l'ensemble de ces solutions et garantir leur pérennisation.

En outre, comme cela a été présenté en 1.2.2, une des problématiques de l'élevage réside dans la sur-consommation d'eau et une sur-exploitation de la nappe phréatique. Pour limiter cet impact, la récupération de l'eau de pluie serait une alternative à renforcer.

Dans cet objectif de sensibilisation, et dans le cadre de cette étude, un livret « ANC » (Annexe 52) et un livret sur la récupération des eaux de pluie (Annexe 53) ont été créés.

3.4.3. Un appui réglementaire et financier

- *Généralités*

Afin de pouvoir mettre en application l'ensemble des préconisations précédentes, le territoire de Wallis et Futuna devra mettre en place une réglementation associée, garantissant la légitimité des actions menées sur le terrain. La publication d'un arrête suivant le processus ci-dessous, s'inscrirait dans cette démarche (Figure 59).

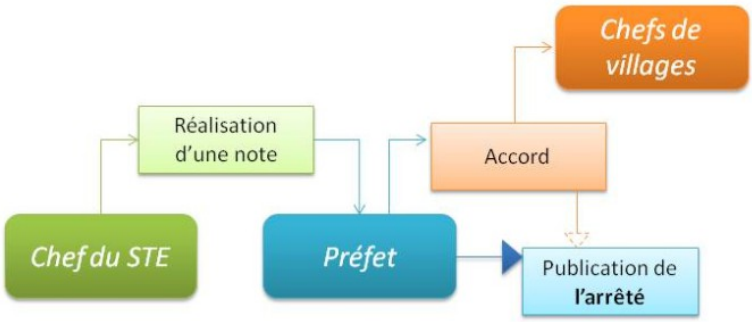


Figure 59: Étapes nécessaires à la publication d'un arrêté

En terme de financement nécessaire à la réhabilitation des fosses septiques, et à la mise en place de fosse à lisiers, différentes sources pourraient être identifiées. En effet, il apparaît nécessaire d'apporter une aide extérieure à la réalisation de ces travaux car les particuliers ne pourront en assurer seuls le coût.

Ainsi, après définition préalable des besoins par les différents services concernés (Direction des services de l'Agriculture et Service Territorial de l'Environnement), un accompagnement de l'état ou du territoire pourrait être envisagé. Afin d'en garantir l'utilisation, ces fonds pourraient être confiés aux services en ayant fait la demande, qui s'assureront de la mobilisation des entreprises spécialisées pour la réalisation des travaux et du suivi sur le long terme.

Une première enveloppe financière a déjà été débloquée, et a notamment servi au financement d'une étude de l'assainissement au niveau du littoral. Bien qu'insuffisante pour réhabiliter l'ensemble de l'assainissement du territoire, elle permettra également de réhabiliter deux fosses septiques, mises en évidence grâce à cette étude. Cette démarche devra donc être rééditée dans le but de continuer à améliorer l'existant.

- *Application des périmètres de protection à l'élevage*

Le zonage est une action légale qui impose la délimitation de deux types de zones : les zones « restrictive » et les zones « permissives ». Dans la première, l'élevage des porcs est interdit, la seconde permet l'élevage de porcs, mais idéalement à l'écart des points sensibles de pollution. Cette pratique pourrait donc être imposée avec la mise en place d'un arrêté, mais pour ce faire, cette législation devrait être entérinée par les autorités traditionnelles.

CONCLUSION

L'assainissement sur Wallis tend à se généraliser, mais certaines habitations restent encore dépourvues de système de traitement des eaux usées. Il est nécessaire de mettre en place des actions pour ces maisons, notamment au sein des périmètres de protection, et surtout celui de Mua, pour lequel la nappe reste relativement haute et accessible.

En second lieu, les assainissements en place présentent souvent des dysfonctionnements. En effet, la réalisation des fosses par les particuliers eux-mêmes, l'utilisation de matériaux inadaptés ou encore le manque d'entretien ne permettent pas un pré-traitement efficace. Mais le peu de personnel qualifié sur l'île et l'absence de textes normatifs compliquent d'avantage la mise en place de systèmes d'assainissement performants.

Bien que la lentille d'eau douce soit, pour le moment, encore saine, la mise en évidence d'un marqueur de contamination fécale pourrait annoncer un début d'une pollution, à confirmer par de nouvelles analyses. Le lagon n'est quant à lui, touché que partiellement et possède une faculté de régénération non négligeable. Cependant, il est à noter que les risques sont importants sur le littoral, autant pour le lagon que pour la nappe qui y est affleurante. Aussi, la zone côtière devrait être considérée comme zone de risques majeurs, et l'élevage devrait y être limité.

Face à ces résultats, des actions doivent être développées à court terme afin d'empêcher une généralisation de la pollution. La formation d'ouvriers et la mise en place d'arrêtés, favoriseraient de manière pratique, la réhabilitation des systèmes de traitements existants et faciliteraient les actions de contrôle. En outre, il serait nécessaire de sensibiliser la population aux risques engendrés par des contaminations fécales et insister sur les actions à mettre en place afin d'entretenir au mieux la fosse.

Concernant l'élevage, des moyens de récupération et de valorisation des lisiers doivent être mis en place, afin d'empêcher notamment une saturation du sol par les polluants. Pour cela, il serait possible d'encourager la rotation de parcs en terre, de préconiser l'installation de fosses à lisiers et de développer la pratique du compostage.

Mais face à ces deux menaces, la mise en place d'un système de traitement efficace n'est pas suffisante. La gestion des effluents devra également être prise en compte. Pour cela, les missions afférentes à la Circonscription devront être définies, afin qu'elle soit plus investie et que les boues puissent être gérées au mieux.

Cependant, plusieurs facteurs compliquent la mise en place de ces préconisations. En effet, le régime foncier ne permet pas, actuellement, d'imposer à un particulier, la réalisation de travaux. De plus, même si la mise en place d'un arrêté semble être une démarche aisée, dans les faits, il est nécessaire que les institutions coutumières y soit favorables. Ainsi, sans leur accord, aucun changement ne pourra être envisagé.

En somme, l'assainissement déjà présent sur l'île d'Uvea constitue une base intéressante, puisque l'essentiel des travaux réside dans la réhabilitation et non pas dans la construction. La difficulté majeure est finalement liée à la mobilisation de l'ensemble des acteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- **[1] Présentation des îles Wallis et Futuna,** http://www.wallis-et-futuna.pref.gouv.fr/, visité le 11/07/16
- **[2] Présentation de Wallis et Futuna**, http://www.outre-mer.gouv.fr, visité le 18/07/16
- **[3] Etude approfondie des sols et sous-sols de Wallis et Futuna, pouvoir épurateur des sols**, Burgéap, novembre 2000
- **[4] Étude de faisabilité des traçages et compléments d'étude pour la définition des PPE sur l'ile d'Uvea**, MICA Environnement NC, Mai 2014 »
- **[5] Wallis et futuna a perdu près d'un cinquième de sa population en 10 ans**, http://www.insee.fr, 2013, visité le 08/07/16
- **[6]** Atoloto MALAU, Novembre 1997, **L'élevage porcin à Wallis, entre traditions et changements**, Master Européen d'Etudes professionnelles : vulgarisation et organisations professionnelles agricoles
- **[7] Loi n° 61-814 du 29 juillet 1961**, JORF 30 juillet 1961, article 3, p. 701
- **[8] L'élevage des porcs à Wallis**, http://orioai.univ-nc.nc, 2001, Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
- **[9] Rapport annuel 2015**, Wallis et Futuna, http://www.ieom.fr, visité le 09/08/16.
- **[10] L'AFD à Wallis et Futune,** http://www.afd.fr, visité le 09/08/16
- **[11] L'ile de Wallis et son lagon**, http://integre.spc.int, visité le 11 juillet 2016
- **[12]** P.D. Gessel, N.C. Hansen, S.M. Goyal, L.J. Johnston, J. Webb, 2004, **Persistence of zoonotic pathogens in surface soil treated with different rates of liquid pig manure. Applied Soil Ecology**, page 237-243
- **[13]** Peggy GUNKEL-GRILLON, Christine LAPORTE-MAGONI, Estelle ROTH-VIGNON, Lilian JOLY, Octobre 2013, **Etude des lisiers des élevages porcins : mesure des risques de pollution des sols et de l'eau en vue d'une proposition de gestion des déchets d'élevage de Wallis**, page 6, Projet de recherche financé par le Secrétariat de l'Outre-mer, Université de Nouvelle Calédonie
- **[14] L'elevage des porcs à Wallis : Risques de pollutions et propositions d'aménagements**-Suva, Fiji 2001-Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, Service régional de santé animal.
- **[15] Assainissement non Collectif ; Règles et bonne pratiques à l'intention des installateurs**, Octobre 2015, ministère de l'écologie et du développement durable
- **[16] « Rhône, le département, Assainissement autonome, ANC les 24 fiches »**
- **[17] Fiche technique d'ANC n°1**, Service public d'assainissement non collectif, satese37, novembre 2014
- **[18] Article 3- Arrêté du 6 mai 1996**, abrogé par l'Arrêté du 7 septembre 2009
- **[19] Code de l'environnement de Wallis et Futuna**, Livre deuxième. Ressources naturelles – Titre2. Eaux et milieux aquatiques - Chapitre 2 ; Qualité de la ressource en eau, Article E.113

- **[20] Code de l'environnement de Wallis et Futuna**, Livre premier .Dispositions générales - Titre1.Principes - Chapitre 3.Pollueur-payeur, Article E.113]
- **[21] Code de l'environnement de Wallis et Futuna**, Livre premier. Dispositions générales – Titre2.Evaluation environnmentales - Chapitre 1.Etude d'impact,]
- **[22] Code de l'environnement de Wallis et Futuna**, Livre premier. Dispositions générales – Titre 2 – Chapitre 2 et 3 - Article E. 223-3 et Article E, 222-5]
- **[23] SAGE Wallis, Etat des lieux**, mai 2012, Pascal IRZ, Aline MEUNIER, Nina BLAUWART
- **[24] Code de l'environnement** - Livre deuxième. Ressources naturelles - Titre 2. Eaux et milieux aquatiques - Chapitre 2. Qualité de la ressource en eau - Section 1. Périmètres de protection - Article E. 222-1]
- **[25] Institut d'Emission d'Outre-Mer**, Wallis-et-Futuna, Rapport annuel 2014
- **[26] NF DTU 64,1, L'essentiel à connaître et à appliquer**, Version 2013, Dispositifs d'assainissement non collectif]
- **[27] Périmètre de protection et aire d'alimentation de captage**, http://captages.onema.fr, visité le 09/08/16
- **[28]** Patrick SAVARY, **Guide des analyses de la qualité de l'eau**, Territorial éditions, 2010
- **[29] ANC, Guide d'information sur les installations,** Ministère de l'écologie et du développement durable, 02/10/12
- **[30] Assainissement individuel par filtres plantés**, Les 8 Conseils d'Architecture d'Urbanisme et de l'Environnement de Midi-Pyrénées, juillet 2012
- **[31] "Amélioration de la conduite d'élevage pour une meilleure gestion des effluents d'élevage"**, Chambre de Commerce et de l'Industrie des Métiers et de l'Agriculture de WF CCIMA