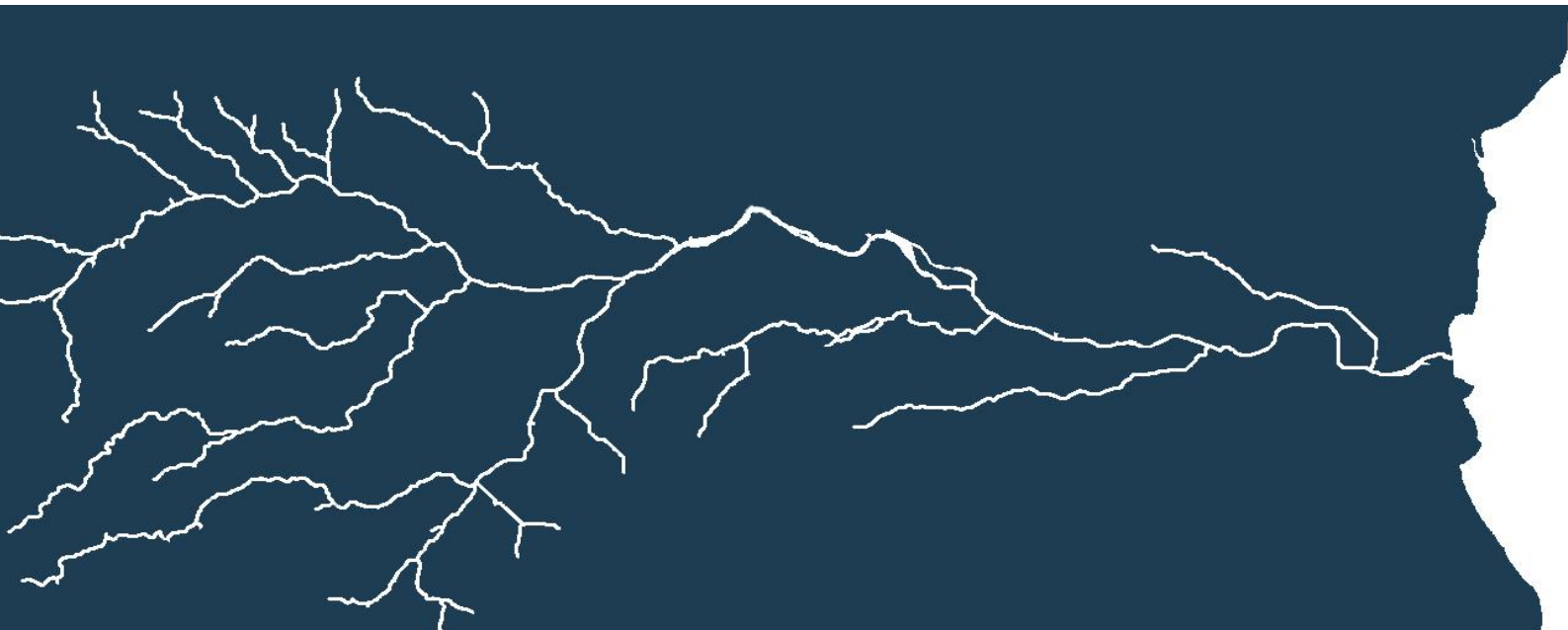
Elaboration des Principes Directeurs du Développement de l'Hydroélectricité

Polynésie française

2015

Rapport d'étude

Service de l'Energie
Polynésie française



Principes Directeurs du Développement de l'Hydroélectricité

Polynésie française

Convention n°	3925/VP/SDE du 08 juillet 2015
Maître d'ouvrage	Vice-Présidence Ministère du budget, des finances et des énergies Service des Energies
Description du dossier	Rédaction des principes directeurs du développement de l'hydroélectricité en Polynésie française.
Date	26/11/2015

Prestation réalisée par

rédacteur : Matthieu Aureau

Vai-Natura
Hydrologie
Hydromorphologie
Hydrogéologie

BP. 83
98735 Uturoa - RAIATEA
Tél +689 40 66 19 32 - **GSM** +689 87 29 16 68

rédacteur : Romain Vivier

Fenua Environnement
Milieux naturels
Environnement

BP. 40136 Fare Tony
98713 Papeete - TAHITI
GSM +689 87 30 12 23

cartographe : Laura Ugolini

ULConsulting
SIG, Carthographie

GSM +689 87 78 01 24

Sommaire

1. Introduction 8

1.1. Avant-propos 8

1.2. Energie hydroélectrique en Polynésie française 9

1.3. Problématique de l'exploitation hydroélectrique 11

1.4. Objectifs et organisation de l'étude 12

2. Hydrologie des îles hautes en Polynésie française 14

2.1. Le cycle de l'eau 14

2.2. Généralités climatiques en Polynésie française 15

2.3. Pluviométrie 17

2.4. Hydrométrie 19

2.5. Exploitation de la ressource en eau 22

2.6. Réglementation 23

3. Aménagements hydroélectriques 24

3.1. Potentiel hydroélectrique 24

3.1.1. Principe général 24

3.1.2. Hauteur de chute 24

3.1.3. Débit d'équipement 25

3.2. Types d'aménagement hydroélectrique 26

3.3. Les différents composants d'un aménagement hydroélectrique 28

3.3.1. Présentation 28

3.3.2. Prise d'eau pour une petite unité production 29

3.3.3. Technologie des barrages 29

3.3.4. Technologies plus spécifiques avec des retenues d'eau 31

3.3.5. Ouvrage d'amenée et canal de restitution 33

3.3.6. Equipement de production 34

3.3.7. Raccordement au réseau de distribution 35

3.4. Protocoles et spécificités techniques 36

3.4.1. Etudes préalables 36

3.4.2. Voies d'accès 37

3.4.3. Ouvrages 38

3.4.4. Transports solides 39

3.4.5. Corps flottants 42

3.4.6. Cours d'eau 42

3.5. Ouvrages annexes....44
3.6. Suivis et contrôles pendant l'exploitation....45

4. Environnement et milieu naturel 46

4.1. Informations préalables....46
4.1.1. Méthodologie de l'approche environnementale....46
4.1.2. Zones d'études (Tahiti, Raiatea, îles Marquises)....46
4.1.3. Occupation des sols (Terres, Lagon, Littoral)....48
4.1.4. Patrimoine naturel....49
4.2. Milieu terrestre....49
4.2.1. Faune....49
4.2.2. Faune d'eau douce....53
4.2.3. Oiseaux....59
4.2.4. Flore....61
4.3. Milieu marin....65
4.3.1. Les espèces....65
4.3.2. Evolution des récifs coralliens....68
4.3.3. Causes de dégradations naturelles....68
4.3.4. Causes de dégradations anthropiques....68
4.4. Rivières et eau douce....72
4.4.1. Caractéristiques physico-chimiques....72
4.4.2. Macrofaune benthique....72
4.5. Espaces d'intérêt écologique....73
4.5.1. Espaces règlementés....74
4.5.2. Les espèces protégés....80
4.6. L'air....80
4.7. Les eaux de baignade....80
4.8. Pressions sur le patrimoine naturel....81
4.8.1. Causes de dégradations naturelles sur le milieu terrestre....81
4.8.2. Causes de dégradations anthropiques....81
4.8.3. Tourisme....82
4.9. Réglementation....83
4.9.1. Généralité....83
4.9.2. Faune et Flore....84
4.9.2. Eau....84
4.9.3. Ouvrage hydroélectrique....84
4.9.4. Les déchets....85
4.9.5. Air, Vibrations et odeurs....85

4.9.6. Bruit 85
4.9.7. Santé et Sécurité 86
4.9.8. Energie 86
4.9.9. Vestiges archéologiques 86
4.9.10. Extraction 86
4.9.11. Evaluation d'impact sur l'environnement 86
4.9.12. Réglementation métropolitaine 87
4.9.13. Spécificité du débit réservé 88
4.10. Impacts des ouvrages hydroélectriques 89
4.10.1. Conséquences à l'amont des ouvrages 89
4.10.2. Effets locaux 90
4.10.3. Effets aval 90
4.10.4. Notion d'impact cumulé 92
4.10.5. Autres considérations 92
4.10.6. Synthèse des impacts potentiels à prendre en compte 92
4.10.7. Mesures compensatoires, réductrices et suppressives 92
4.11. Banques de compensation 94
4.12. Compensation d'un projet hydroélectrique en PF 95
4.13. Etat des lieux initial, une étape clé avant l'autorisation de travaux 96
4.13.1. Où Echantillonner ? 96
4.13.2. Etat initial de la faune et de la flore terrestre 97
4.13.3. Etat initial du milieu marin de l'embouchure 98
4.13.4. Etat de référence de la biocénose et du biotope de la rivière 98
4.13.5. Débit réservé, une mesure indispensable mais mal définie 100
4.13.6. Les dispositifs de franchissement 102
4.13.7. Intégration paysagère 104
4.13.8. Enjeux archéologiques 105
4.13.9. Concertation publique, une phase cruciale 105
4.14. Mesures en phase chantier 106
4.14.1. Démarrage du chantier 106
4.14.2. Mesures compensatoire pendant les travaux 106
4.14.3. Mesures compensatoire en phase d'exploitation du projet 113

5. Questions foncières et accord des riverains et propriétaires 115
5.1. Servitude et droit de passage 115
5.2. Assise foncière du projet 116
5.2.1. Identification du, ou des, propriétaire(s) 116
5.2.2. Maîtrise de l'assise foncière 116

6. Potentiel hydrologique des vallées 119

6.1. Approche préalable 119

6.2. Traitement des données 120

6.2.1. Origines des données 120

6.2.2. Données géomorphologiques et cartographiques 120

6.2.3. Données pluviométriques 124

6.2.4. Données hydrométriques 128

6.2.5. Données environnementales 134

6.3. Stratégie d'évaluation des bassins versants de Tahiti 136

6.3.1. Méthodologie de scoring hydrologique 136

6.3.2. Classement environnemental des vallées 143

6.4. Sélection des vallées de Tahiti 143

6.5. Potentiel hydroélectrique des autres îles polynésiennes 147

6.5.1. Raiatea 147

6.5.2. Îles Marquises 150

7. Conclusions 151

8. Bibliographie 152

9. Annexes 160

9.1. Topographie et géomorphologie des vallées tahitiennes 160

9.2. Pluviométrie 172

9.3. Synthèse des impacts potentiels à prendre en compte 173

Partie 1

INTRODUCTION

1. Introduction

1.1. Avant-propos

La production d'énergie est une problématique constante pour toutes les sociétés qui se développent en s'appuyant sur les nouvelles technologies gourmandes en électricité. La Polynésie française a toutefois vu sa consommation stagner puis légèrement diminuer depuis les années 2010 (Bitot, 2015). En fonction des différents scénarios envisagés, les besoins en électricité sont estimés entre 430 et 580 GWh pour Tahiti à l'horizon 2025 (Bitot, 2015). En comparaison, la consommation de l'île s'élevait à 466 GWh pour l'année 2014.

Sur le territoire polynésien, 70% de la production d'électricité est d'origine thermique (Bitot, 2015). Cette proportion est inégalement répartie en fonction des îles. Le niveau des aménagements hydroélectriques dans les îles hautes, et le potentiel des cours d'eau, participent grandement à cette disparité. Sur l'île principale de Tahiti, la part de la production hydroélectrique est de 38%. Elle oscille entre 10 et 30% dans les îles équipées de l'archipel des Marquises.

Le contexte économique est actuellement favorable sur le marché des hydrocarbures. Le prix du baril est aujourd'hui artificiellement bas en raison d'une stratégie géopolitique agressive de certains pays producteurs. Ces considérations dépasse largement le contexte polynésien mais illustre la dépendance extérieur lié à ce type d'énergie. Quoiqu'il en soit, il semble acquis pour tous les observateurs que le coût des énergies fossiles augmentera inexorablement à plus ou moins long terme.

L'hydroélectricité est une énergie alternative disposant d'atouts important. Son coût d'exploitation est stable, il ne dépendant pas de la fluctuation des prix d'une matière première. Cette énergie est renouvelable et peut être stockée. Elle ne rejette pas de gaz à effet de serre. Pour un territoire tel que la Polynésie française, qui ne dispose pas de ressources minières, l'hydroélectricité est un élément essentiel du mix énergétique qui doit permettre de diminuer la dépendance énergétiques face aux marchés extérieurs. L'autosuffisance énergétique est un objectif essentiel à définir lors de l'élaboration des politiques de développement d'un pays, objectif d'autant plus fondamental dans un contexte géographique d'insularité.

L'énergie hydraulique est exploitée depuis fort longtemps. Les premiers moulins à eau apparurent dans l'antiquité romaine. Bien plus tard, au cours du 19ème siècle, la production d'électricité fut envisagée et les premiers grands projets apparaissent dans les années 1920, 1930. Toutefois, au cours de son développement, l'hydroélectricité fut entachée d'une mauvaise image héritée des impacts écologiques et humains d'autant plus important que l'emprise des installations et la retenue d'eau étaient grandes. Depuis plusieurs années, la gestion des milieux naturels, du patrimoine culturel et le respect des populations sont pleinement intégrés aux projets hydroélectriques.

Les caractéristiques naturelles des cours d'eau (*e.g.*, hydrologie, géomorphologie) des îles hautes polynésiennes sont, la plupart du temps, conformes aux conditions techniques permettant d'envisager la mise en œuvre d'une unité de production hydroélectrique. Toutefois, le dimensionnement des ouvrages et les stratégies de production varient en fonction des conditions naturelles et des politiques énergétiques.

Au même titre que les considérations techniques et économiques, les sujets environnementaux, sociétaux ou culturels sont à prendre en compte dans le processus décisionnel. Ces derniers thèmes ne peuvent plus apparaître comme des contraintes mais comme des atouts essentiels pour engager les futurs projets dans un développement responsable et durable.

Dans le contexte polynésien, il est également indispensable de considérer spécifiquement l'aspect foncier et l'occupation des terres. Le règlement juridique et administratif de cette question est particulièrement sensible en Polynésie et peut ralentir, voir compromettre, le développement d'un projet par ailleurs cohérent.

1.2. Energie hydroélectrique en Polynésie française

Le panorama de l'énergie hydroélectrique en Polynésie française a été dressé en 2012 dans le Schéma Directeur des Energies Renouvelables (Blanc et Bitot, 2012) puis révisé en 2015 (Bitot, 2015). Les rappels présentés ici, sont directement issus de ce travail.

En 2009, la consommation totale d'énergie du pays était de 330 kTEP (kilotonnes d'équivalent pétrole). La production d'électricité représente 44% de la consommation totale. L'hydroélectricité concentre la grande majorité de la production à partir d'énergie renouvelable (EnR). La production d'électricité à partir d'hydrocarbures représente 37% du total énergétique de la Polynésie, en intégrant le transport. Finalement, la dépendance énergétique aux hydrocarbures est très importante. Les données générales de la consommation énergétique totale n'ont pas été actualisées.

Le parc de production est majoritairement thermique, c'est à dire que l'énergie est produite par la combustion d'hydrocarbure. Le ratio « puissance installée / énergie produite » est variable en fonction les archipels. Il est malheureusement impossible de mutualiser les équipements dans les archipels morcelés. Chaque île doit conserver un, ou plusieurs, groupes électrogènes en secours pour garantir une disponibilité constante d'électricité. La règle appliquée par la société Electricité De Tahiti (EDT) dans les îles est celle du PG2 : la puissance doit pouvoir être garantie même si les deux groupes les plus puissants sont indisponibles. La carte présentée sur la Figure 1 résume la répartition géographique du mix énergétique par archipel sur l'ensemble de la Polynésie.

Pour l'année 2014, l'île de Tahiti a produit 466 GWh à partir de deux centrales thermiques et cinq vallées équipées de centrales hydroélectriques (Bitot, 2015). La production photovoltaïque est anecdotique en termes de puissance. Elle se concentre essentiellement dans la zone Nord de l'île autour de l'agglomération de Papeete.

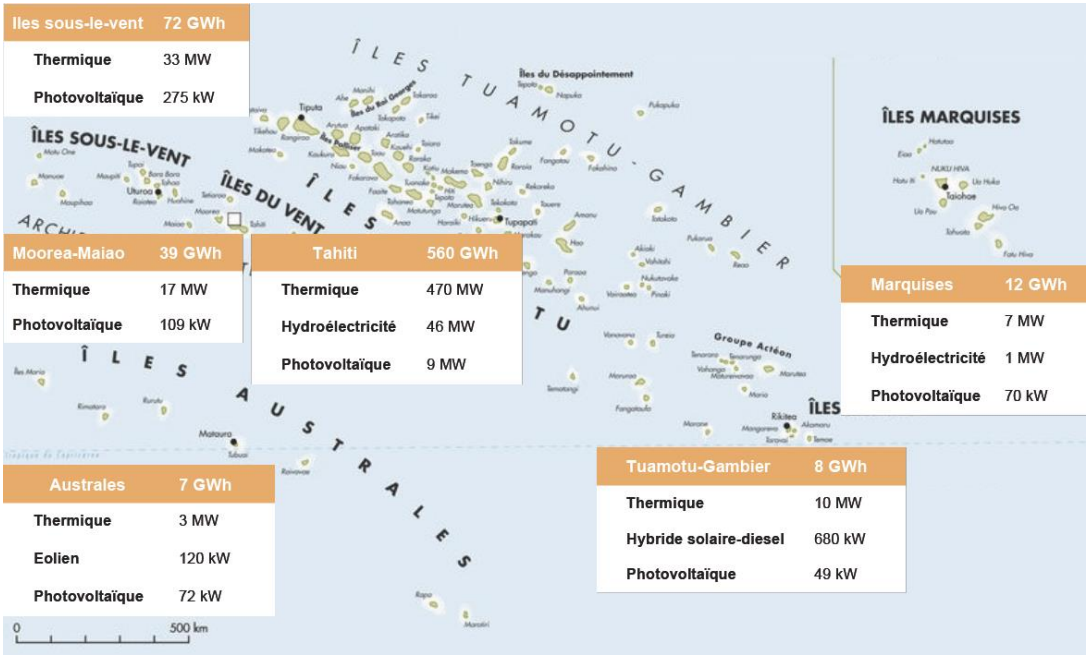


Figure 1 : Répartition des sources de production d'électricité en Polynésie française (Blanc et Bitot, 2012).

En 2010, la part de l'hydroélectricité dans le mix de production de l'énergie électrique polynésien est de 16%. L'île de Tahiti porte 98% de cette production. Les autres îles sont finalement très dépendantes de l'importation d'hydrocarbures. La situation est toutefois variable, avec une contribution non négligeable de l'hydroélectricité dans certaines îles de l'archipel des Marquises. La part d'hydroélectricité pour les îles de Nuku-Hiva et Hiva-Oa s'établit entre 10% et 30%. Il faut également à noter que dans certaines îles peu peuplées, essentiellement dans l'archipel des Tuamotu, l'énergie solaire répond à plus de 70% des besoins à partir de petites installations individuelles.

L'offre en électricité en Polynésie française doit répondre à plusieurs exigences qui expliquent le lent développement des énergies renouvelables :

- l'exigence d'une **Puissance Garantie** : la puissance disponible doit être suffisante pour répondre aux besoins à tout moment et dans toutes les îles ;
- l'exigence de **Coût** : l'électricité doit être produite à un coût acceptable ;
- l'exigence de **Qualité** : la production électrique doit se plier à un certain nombre de règles liées à la stabilité du réseau (minimisation les temps de coupure) ou à la protection des équipements qui en font usage (plages de tension et de fréquence).

Pour ouvrir le mix énergétique, l'une des difficultés à surmonter est la rénovation du système de régulation et de distribution de l'électricité. La gestion des réseaux d'ancienne génération est centralisée et unilatérale. L'électricité est conduite de quelques grandes sources de production et une multitude de consommateurs. Schématiquement, l'électricité est produite à un bout du réseau pour être distribuée à l'autre bout. L'équilibre s'obtient en ajustant la production d'énergie aux besoins. Dans ce cadre assez rigide, la production thermique est la réponse la plus efficace.

L'introduction des énergies renouvelables génère une multiplication des points de production et engendre une variabilité plus importante de la tension et de la fréquence électrique dans le réseau. Pour intégrer ces nouvelles formes de production, c'est l'ensemble du réseau électrique qui doit évoluer et être optimisé. La solution prônée par la plupart des acteurs de la filière est le *SmartGrid*, ou réseau électrique intelligent. Ces nouveaux systèmes de gestion s'appuient sur les technologies de l'information et de la communication pour équilibrer à chaque instant l'offre à la demande avec une réactivité et une fiabilité augmentées.

Dans ce contexte de modèle interconnecté favorisant les EnR, l'hydroélectricité est un des moyens qui peut assurer une régulation du réseau tout en s'affranchissant de la dépendance aux hydrocarbures.

1.3. Problématique de l'exploitation hydroélectrique

L'hydroélectricité est considérée comme une énergie propre et renouvelable. Sa matière première n'est pas polluante et surtout elle n'est pas consommée. C'est la cinétique de l'eau qui permet de produire l'électricité. Malheureusement, les ouvrages permettant de stocker et de produire cette énergie ont une emprise importante et donc des impacts notables sur leurs environnements. L'environnement est ici défini au sens le plus étendu du terme, autant paysager, qu'écologique, sociétal ou culturel. La prise de décision, puis la réalisation d'un ouvrage hydroélectrique doivent donc intégrer l'ensemble de ces problématiques pour juger de l'intérêt et de la faisabilité du projet.

La réflexion énergétique, et hydro-énergétique, en Polynésie française doit s'appréhender à l'échelle de chaque île avant de s'étudier plus localement au niveau de la vallée. L'exemple le plus stratégique est évidemment l'île de Tahiti. Aujourd'hui, la production électrique y est essentiellement d'origine thermique. Le développement du mix énergétique doit permettre de diminuer cette dépendance aux hydrocarbures. Toutefois, le réseau électrique doit pouvoir s'appuyer sur une ressource garantissant une puissance suffisante pouvant répondre aux variations de la demande. L'hydroélectricité est actuellement la seule énergie renouvelable accessible en Polynésie pouvant répondre à cette nécessité de « puissance garantie ». La réserve de puissance dans une centrale hydroélectrique est la retenue d'eau. Même s'il parait trop ambitieux d'envisager concurrencer totalement la production d'un moteur thermique, un réservoir suffisamment grand doit pouvoir participer efficacement à la régulation du réseau. L'inconvénient d'un grand réservoir est son impact important sur la zone d'emprise. L'équilibre entre les préjudices et les bénéfices est l'une des questions essentielles à apprécier pour juger de la pertinence d'un futur projet. Si la nécessité énergétique l'emporte, il est indispensable d'engager des mesures de contrôle et de compensation pour préserver le patrimoine, minimiser les impacts, et convaincre la population du bien-fondé de cette politique.

C'est en s'appuyant sur ce raisonnement que fut élaborée la méthode de classification des différents bassins versants de l'île de Tahiti. Cette méthodologie graduelle et objective fut développée pour juger et comparer le potentiel brut des bassins versants. Encore une fois, le potentiel est étendu globalement, autant dans ses aspects physiques qu'environnementaux.

1.4. Objectifs et organisation de l'étude

Les Principes Directeurs du Développement de l'Hydroélectricité en Polynésie française ont pour vocation d'être un appui technique d'aide à la décision pour les acteurs institutionnels, mais également un outil didactique pour communiquer, expliquer et argumenter autour des atouts, des contraintes et des solutions permettant d'aboutir à un programme consensuel pour le développement de l'énergie hydroélectrique.

Le travail initial a débuté par une approche élargie des différents thèmes ayant trait à l'hydroélectricité. Les constatations induites par cette étude générale et multidisciplinaire ont servi de socle scientifique et contextuel pour élaborer les préconisations développées dans les Principes Directeurs de l'Hydroélectricité en Polynésie française. Les Principes font l'objet d'un document à part entière.

La première partie de ce rapport se présente comme un inventaire, il s'appuie sur une recherche bibliographique s'intéressant aux retours d'expérience des grands projets d'ampleur à travers le monde, comme aux particularités locales. Trois sujets sont plus spécifiquement traités : l'hydrologie et les aménagements hydrauliques, l'environnement et la question foncière.

Une introduction à l'hydrologie des îles hautes polynésiennes précède ainsi la description des aménagements hydroélectriques, leurs caractéristiques et leurs contraintes techniques. Cette partie se poursuit par une approche détaillée des enjeux écologiques, culturels et sociétaux. Une section spécifique est consacrée à la problématique foncière, particulièrement sensible sur le territoire de la Polynésie.

Dans une seconde partie, l'analyse contextuelle explore les données disponibles pour en déduire rationnellement le potentiel hydroélectrique des vallées Polynésiennes. L'objectif au terme de ce travail est de choisir les vallées qui mériterons une expertise approfondie. La démarche adoptée se base sur un processus de sélection progressif qui s'appuie sur des données objectives et cohérentes, données hydrologiques, géomorphologiques et environnementales.

PARTIE 2

ASPECT GENERAUX

2. Hydrologie des îles hautes en Polynésie française

2.1. Le cycle de l'eau

L'hydrologie est une discipline qui s'intéresse aux phénomènes naturels qui interagissent sur la dynamique de l'eau. Dans sa pratique plus quotidienne, l'hydrologie consiste à mesurer, comprendre et définir le mécanisme du cycle de l'eau (Figure 2).

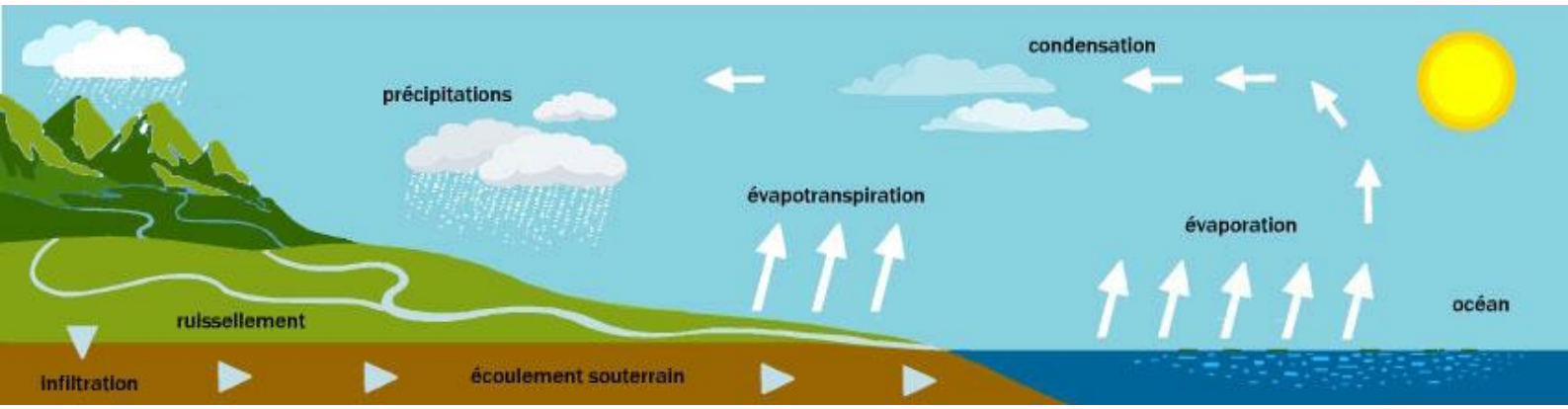


Figure 2 : Schéma du cycle de l'eau.

Une région hydrologique est habituellement délimitée par les frontières du bassin versant ou par la ligne de limite de partage des eaux (e.g., Cosanday et Robinson, 2000). Dans cet espace, le cycle hydrologique s'appréhende quantitativement par la loi de conservation de la masse héritée de la mécanique des fluides. Dans sa formulation la plus simple, elle équilibre les apports, ou entrées d'eau, et les sorties, ou décharges, accompagnées de la variation des réserves dans un espace et un temps délimité :

$$\text{Flux d'entrée} = \text{Flux de sortie} \pm \text{ variation des réserves} \qquad (1.1)$$

Lorsque l'hydrologue étudie un bassin versant et l'équilibre des flux hydriques, les travaux débutent invariablement par l'inventaire des connaissances relatives aux différents paramètres de l'équation de continuité qui décrit plus précisément la loi de conservation à l'échelle du bassin versant :

$$P = Q + E + I \pm \Delta S \qquad (1.2)$$

où P représente l'intensité de la pluie, les apports extérieurs en eau ; Q est l'écoulement de surface ; E décrit l'évapotranspiration (i.e., évaporation et transpiration du couvert végétal) ; I définit les processus d'infiltration de l'eau à travers la surface du sol ; enfin, ΔS exprime la variation des réserves d'eau dans le sol. Chaque élément est défini comme un flux [$L^3/L^2/T$] à l'échelle du bassin versant.

Chacun des éléments du cycle hydrologique fait l'objet de mesures et de méthodologies spécifiques permettant de construire un modèle du bilan hydrique, toujours à l'échelle du bassin versant. Ces modèles peuvent être globaux, spatialisés ou distribués, en fonction des objectifs de l'étude, de la disponibilité des données et de la précision spatio-temporelle qui est envisagée (e.g., Hingray et *al*., 2009).

Avec pour objectif la comparaison du potentiel hydrologique des bassins versants de l'île de Tahiti ou des autres îles hautes polynésiennes, l'étude hydrologique préalable se concentre sur les paramètres les plus accessibles à la mesure, la pluviométrie et l'écoulement de surface résumé par le débit des cours d'eau. Cette simplification se justifie par une accessibilité à l'information et une nécessité de représentativité spatiale.

Les précipitations représentent la presque totalité des apports en eau. Les données de pluie ont également l'avantage de pouvoir être spatialisées à l'échelle d'une île comme Tahiti. Les chroniques de débits sont des données plus parcellaires à l'échelle d'une île, mais doivent permettre de définir une relation entre pluie et débit.

L'approche de l'hydrologue est ici d'essayer dans une première phase de calculer des débits moyens à partir des données pluviométriques sur une échelle de temps suffisamment longue pour gommer l'influence des autres paramètres de l'équation de continuité (Eq. 1.2).

2.2. Généralités climatiques en Polynésie française

La Polynésie française est soumise à un climat tropical de type maritime humide. La caractérisation des climats se base principalement sur des critères de températures, de volumes de précipitations et d'ensoleillement. Deux saisons distinctes sont ainsi définies sur une année climatique :

- une saison humide aux températures élevées accompagnées d'importantes précipitations ;
- et une saison sèche ou « fraîche » où la température moyenne descend et l'humidité est moindre.

Le climat polynésien est conditionné à l'Est par l'anticyclone de Pâques, centré sur l'île de Pâques (28° Sud - 110° Ouest) qui est stable, et à l'Ouest par l'anticyclone de Kermadec (30° Sud - 180° Ouest) qui est plus instable (Figure 3).

Deux zones de convergence des alizés influencent les vents du Pacifique Sud :

- la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) orientée Nord-Ouest/Sud-Est qui, dans le Pacifique Sud, est conditionnée par la rencontre entre l'alizé chaud d'Est, Nord-Est généré par l'anticyclone de l'île de Pâques et par l'alizé de Sud-Est plus frais issu de l'anticyclone de Kermadec. C'est dans cette zone de convergence que se forment et se renforcent les systèmes dépressionnaires façonnant la météorologie de la Polynésie française ;
- la Zone de Convergence du Pacifique Sud (ZCPS) qui résulte de la rencontre des alizés venant de l'hémisphère Nord et des alizés de Sud-Est montant de l'hémisphère Sud. Sa forte instabilité génère les puissants cumulonimbus qui sont associés aux gros épisodes pluvieux accompagnés de vents violents.

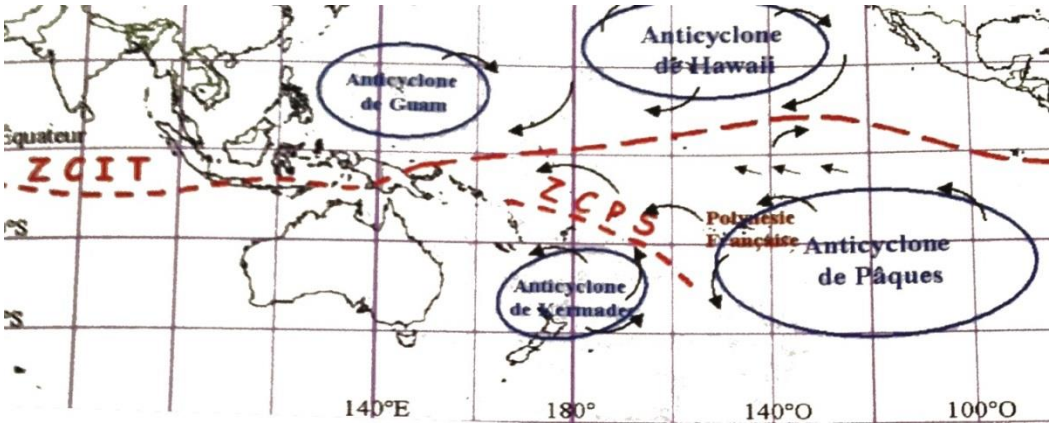


Figure 3 : Anticyclones et zones de convergence conditionnant le climat du Pacifique Sud. (Laurent et *al*., 2004)

D'une manière générale, la Polynésie française est soumise à deux types de temps, celui des alizés qui dessinent des flux d'air relativement stables demeurant dans un seul hémisphère et les perturbations parfois violentes générées sur la ZCPS qui parfois évoluent en dépression tropicale voir en cyclone.

Le régime des alizés diffère en fonction de la saison. En saison humide, ou saison chaude, les vents venant d'Est soufflent sur une mer chaude produisant les conditions d'instabilité favorisant d'importantes zones de mauvais temps. En saison sèche, avec une humidité plus faible et des températures en baisse, les alizés sont beaucoup moins générateurs de perturbations.

2.3. Pluviométrie

Sur ces terres émergées, ces îles au milieu de l'océan Pacifique, l'apport en eau est essentiellement, voir totalement, d'origine atmosphérique. L'étude de la pluviométrie est le paramètre essentiel pour décrire l'hydrologie des bassins versants.

Sous l'influence prépondérante des alizés d'Est/Nord-Est, les courants aériens des systèmes dépressionnaires se heurtent aux reliefs des îles hautes et cherchent à les contourner ou à les surmonter. La topographie joue ainsi un rôle prépondérant dans le déclenchement des épisodes pluvieux. Lorsque les masses d'air humide remontent les pentes du relief (phénomènes d'ascendance), elles rencontrent des températures plus basses en altitude, ce qui favorise la condensation et donc les précipitations (Cauchard et Bergès, 1990).

Les versants Est, au vent, subissent des précipitations beaucoup plus abondantes qu'à l'Ouest, sous le vent. Après avoir franchi les crêtes, les courants aériens redescendent le long des pentes, le vent et les nuages se dissipent alors. En altitude, le cumul annuel de pluie peut dépasser 10 000 mm d'eau, ou 10 000 l/m^2. Dans la partie Ouest de l'île de Tahiti, la pluviométrie annuelle s'établit plutôt entre 3 500 à 4 000 mm. Ces disparités pluviométriques sont dues à l'altitude et à la saisonnalité.

Cette description géographique de l'aléa pluviométrique est valable pour la très grande majorité des îles hautes polynésiennes. Seuls les reliefs des plateaux de l'île de Raiatea engendrent une pluviométrique importante dans la zone Sud-Ouest de l'île, en raison du configuration particulière des reliefs.

Les derniers travaux cités dans les études pluviométriques à l'échelle de l'île de Tahiti sont l'Atlas climatologique de la Polynésie française (Laurent et *al*., 2004) et la carte de l'Atlas de la Polynésie française (Lafforgue, 1993), Figures 4 et 5. Pour mémoire, une *isohyète* est une ligne imaginaire sur une carte météorologique reliant les points de mêmes volumes d'eau précipités.

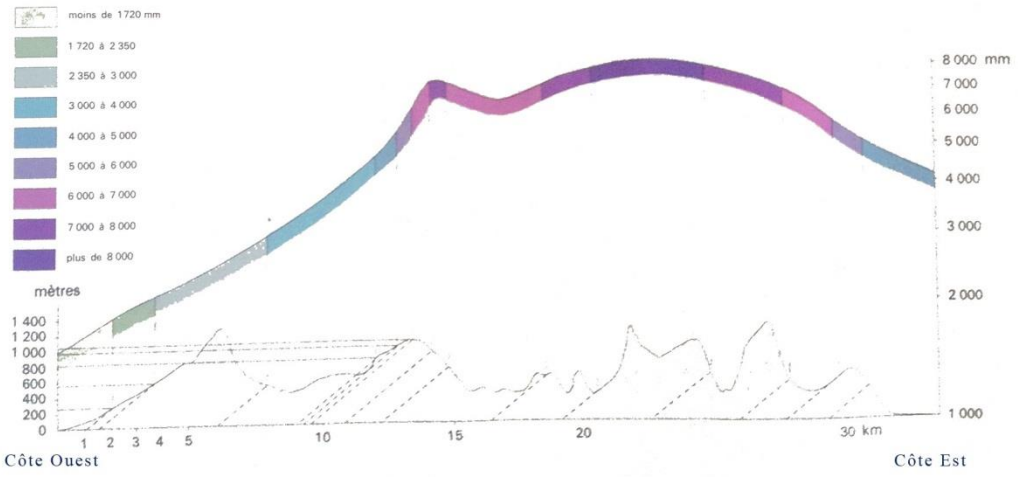


Figure 4 : Isohyètes des précipitations moyennes annuelles de l'île de Tahiti, profil Ouest - Est. (Lafforgue, 1993)

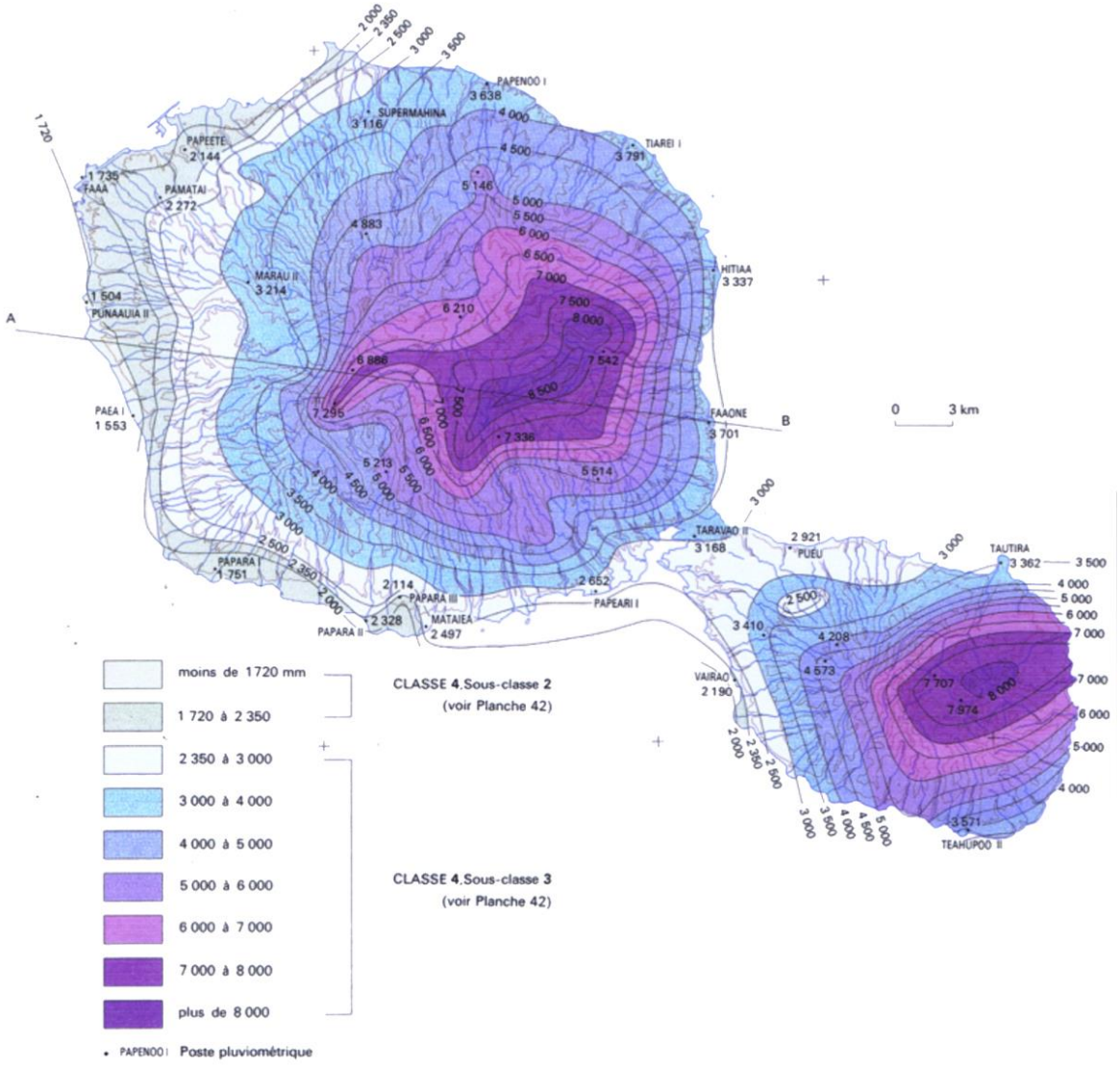


Figure 5 : Isohyètes des précipitations moyennes annuelles de l'île de Tahiti. (Lafforgue, 1993).

Une mise à jour des données pluviométriques à partir de mesures plus récente semble nécessaire. Une nouvelle carte des isohyètes a été produite dans le cadre cette étude. La méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont présentés dans la Section 6.2.3. La distribution spatiale des cumuls pluviométriques annuels est sensiblement la même. La nouvelle carte a surtout l'avantage d'être géoréférencée dans un Système d'Information Géographique (SIG) et de participer aux calculs de statistiques spatiales pour évaluer précisément les volumes d'eau annuels précipités dans chaque bassin versant.

2.4. Hydrométrie

L'hydrométrie est une branche de l'hydrologie qui s'intéresse aux débits dans les cours d'eau, de la mesure à l'analyse des données. En Polynésie française, les données disponibles sont pour l'essentiel tirées des archives de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) et des mesures actuelles produites par le réseau hydrographique géré par la cellule hydrologie du Groupe d'Etude et de Gestion du Domaine Public (GEGDP), sous la tutelle de la Direction de l'Equipement.

Les rivières polynésiennes se caractérisent par un régime fortement torrentiel avec une très grande variabilité entre les débits de base et les débits de crue. La dynamique de l'écoulement dépend de nombreux facteurs dont les plus significatifs sont la taille du bassin versant et son orientation qui le soumettent à une pluviométrie plus ou moins importante. Statistiquement cette variabilité est représentée par une courbe des débits classés largement dissymétrique. L'exemple de la courbe des débits classés journaliers de la rivière de la Punaru'u, orienté vers l'Ouest de l'île de Tahiti, est assez caractéristique (Figure 6). Cette courbe est en quelque sorte la signature hydrologique du cours d'eau. La dissymétrie se mesure par le coefficient de dissymétrie de *skewness*. Il est ici égal à γ_s = 2.28. Dans le cas d'une distribution normale (parfaitement symétrique), le coefficient de dissymétrie serait égal à 0.

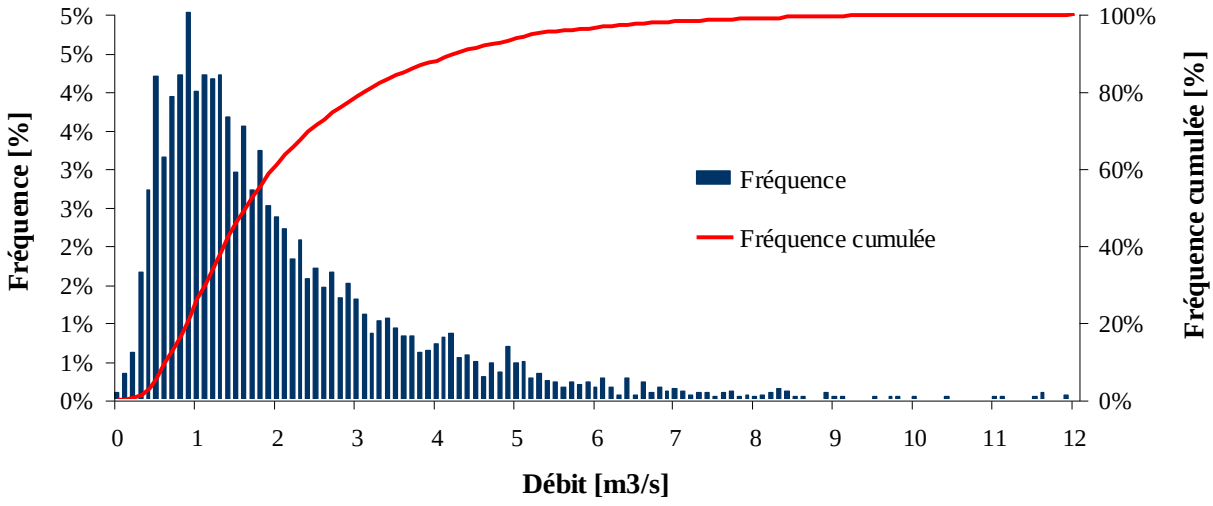


Figure 6 : Courbe des débits classés. Fréquence des débits journaliers observés et fréquence cumulée de débits journaliers dans la rivière de la Punaru'u de 2000 à 2015.

Pour l'île de Tahiti, la caractérisation des relations entre pluie et débit a fait l'objet de plusieurs études dans différentes vallées de Tahiti (e.g., Wotling 2000 ; Vai-Natura, 2011 ; Aureau, 2014). Sur une échelle annuelle, l'évolution des débits est directement liée à la saisonnalité humide puis sèche qui caractérise le climat polynésien.

En dehors de l'île principale, peu de bassins versants des autres îles hautes polynésiennes ont fait l'objet de suivis réguliers. Leur hydrométrie est peu documentée, il existe simplement une littérature relativement ancienne.

Les bassins versants de l'île de Tahiti sont finalement de taille modeste, les réserves d'eau qu'ils peuvent constituer en l'absence de précipitations ne permettent pas d'alimenter les rivières de façon soutenue. En période sèche, les cours d'eau retrouvent assez rapidement leur débit d'étiage qui est trois à six fois plus faible que le débit moyen.

Les données des débits de crues relevées dans la littérature sont soumises à discussion. En effet, il existe un doute sur l'évaluation des valeurs fournies. Les incohérences qui peuvent apparaître sont certainement dues aux problèmes d'extrapolation des courbes de tarage utilisées pour décrire la relation entre la hauteur d'eau mesurée et le débit estimé. Par exemple, pour la rivière de la Punaru'u, dans l'Atlas de la Polynésie (Lafforgue, 1993) le débit de crue maximum est évalué à 383 m^3/s le 10 mars 1981 (lors du cyclone Tahmar) et dans l'Encyclopédie de la Polynésie (Lafforgue, 1990) le débit de la rivière le même jour est calculé à 460 m^3/s. En outre, les Annales Hydrologiques de l'île de Tahiti de 1971 à 1986 (Lafforgue, 1987) fournissent pour chacune des années un débit maximum instantané toujours supérieur à 110 m^3/s. Pourtant, il est précisé que le débit maximum jaugé dans cette rivière ne dépasse pas 20 m^3/s. Le domaine de validité des débits ne peut se rapporter qu'à l'intervalle des jaugeages ponctuels. Au-delà, les conversions de hauteurs d'eau doivent être considérées comme des extrapolations dont les erreurs sont difficilement quantifiables.

Il est néanmoins certain que les cours d'eau des principales vallées de Tahiti réagissent à d'intenses épisodes pluvieux par de très rapides montées de crue. Les volumes d'eau charriés peuvent être spectaculaires. Rapportées à la superficie réduite des bassins versants, les rivières affichent des débits spécifiques maximum qui se rapprochent certainement des valeurs record qui sont mesurées à Hawaii, au Mexique ou à Cuba (Lafforgue, 1990).

Le débit spécifique $[L^3T^{-1}L^{-2}]$, exprimé généralement en litres par seconde par kilomètre carré, est une grandeur qui permet de comparer l'hydrométrie de différentes rivières. Il correspond au débit brut $[L^3T^{-1}]$ rapporté à la superficie du bassin versant $[L^2]$.

Construit à partir de données bibliographiques, le Tableau 1 permet d'appréhender la variabilité hydrologique des principaux cours d'eau de Tahiti. Les rivières orientées vers l'Est, au vent, présentent des débits moyens spécifiques annuels compris entre 150 et 200 l/s/km^2. Pour les rivières orientées à l'Ouest, sous le vent, les valeurs sont comprises entre 60 à 100 l/s/km^2.

Rivière et Station	**Superficie km^2**	**Débit moyen**		**Débits d'étiage**	
		m^3/s	**l/s/km^2**	**m^3/s**	**l/s/km^2**
Versants orientés à l'Est					
Papeiha (côte 10)	30.6	6.31	206	1.11	36.3
Vaitaara (côte 10)	33.4	5.46	231	1.5	63
Papenoo (côte 45)	79.7	11.7	147	1.91	24
Versants orientés à l'Ouest					
Fautaua (côte 92)	19.9	1.34	67	0.4	20.1
Punaru'u (côte 50)	43.2	2.48	63	0.47	11.9
Vaitiu, Orofero (côte 60)	18.4	0.81	44	0.21	11.5
Taharuu (côte 100)	26.3	3.02	115	0.85	32.4

Tableau 1 : Statistique des débits moyens journaliers pour les principales vallées de Tahiti. (tiré de Lafforgue, 1990 et 1993)

2.5. Exploitation de la ressource en eau

Pour leur développement les activités humaines ont nécessairement besoin d'eau douce, pour la boisson, l'agriculture, l'industrie ou encore l'énergie. La production d'eau est réalisée à l'aide d'infrastructures plus ou moins importantes : des puits, des forages, des drainages dans le sol, ou encore par la captation de surface dans une source ou un cours d'eau. Dans une rivière, cette captation peut se faire « au fil de l'eau » par l'intermédiaire d'une buse sans modifier l'écoulement naturel, ou alors dans une retenue d'eau. La retenue prend la forme d'un réservoir de stockage permettant de niveler l'aléa des variations du niveau de l'eau et d'assurer un débit minimum au captage. Dans sa configuration la plus large, la retenue d'eau est un barrage dont la vidange est totalement contrôlée et l'hydrologie de la rivière en aval réellement anthropisée. D'un point de vue général, le choix et le dimensionnement d'un ouvrage de production d'eau dépendent à la fois des besoins en terme de qualité et de volume, du potentiel de la prise d'eau et des contraintes réglementaires.

Pour la production d'énergie hydroélectrique, les choix techniques sont guidés par les notions de puissance garantie et de puissance maximum. Dans ce cas de figure, la puissance est un rapport entre un débit et une hauteur de chute (cf. Section 3.1.). La hauteur de chute est par définition une valeur fixe, la puissance est donc fonction du débit produit par l'ouvrage de captation d'eau. Le régime torrentiel des rivières Polynésiennes engendre une forte variabilité et la puissance garantit dépend à priori des débits d'étiage, ou débits de basses eaux. Il est possible d'atténuer cette variabilité en utilisant une réserve d'eau, c'est-à-dire une retenue d'eau dimensionnée en fonction des apports de la rivière et de la puissance garantie envisagée par le porteur de projet. Evidemment plus la retenue est importante et plus la zone impactée par l'inondation du lac de rétention est large.

2.6. Réglementation

Les réglementations, en Polynésie française, encadrant l'exploitation des eaux douces, de surface ou souterraines, sont assez sommaires. Il n'existe pas spécifiquement de loi sur l'eau. Les services du pays s'appuient essentiellement sur deux arrêtés encadrant les activités d'exploitation de l'eau potable.

Des autorisations sont cependant nécessaires pour capter de l'eau en rivière, ou réaliser un forage. Les dossiers d'occupation du domaine public sont instruis par la Direction de l'Equipement via le service du GEGDP. Les autorisations sont promulguées au cas par cas dans les arrêtés du conseil des ministres. Dans la pratique les agents s'appuient sur les règles métropolitaines mais la décision finale reste soumise à une certaine interprétation.

La délibération n°13/1958 du 7 février 1958, sur le régime des eaux et forêts dans le territoire de la Polynésie française, détermine les zones de protection autour des rivières en interdisant l'arrachage et la coupe des arbres sur une largeur de 20 mètres à partir des bords du lit du cours d'eau. Il est également interdit de construire des bâtiments d'habitation à moins de 50 mètres des bords de la rivière, et des fosses d'aisance à moins de 100 mètres.

L'article 6 de la même délibération interdit de prendre dans le lit des cours d'eau les produits naturels (vase, sable, pierre, etc…) sans autorisation administrative. Autorisation qui se demande au service du GEGDP.

L'arrêté n°585 s, règlementant l'hygiène et la salubrité publique et datant du 9 avril 1954, s'intéresse plus particulièrement aux activités humaines autour des ouvrages d'alimentation en eau potable. Les périmètres de protection des sources d'eau potables sont définis sur une distance de 80 mètres, au moins.

Pour encadrer l'exploitation hydroélectrique, il existe la délibération 84-1049 du 28/12/1984 relative à la demande de concession pour le recours à l'énergie hydroélectrique. Cette délibération encadre les droits et les devoirs des entreprises bénéficiant de l'autorisation d'exploitation d'une concession pour la production d'hydroélectricité. Pour la réglementation environnementale, le texte renvoi au Cahier des Charges (Art. 8) qui doit déterminer :

> « *Le règlement d'eau et, en particulier, les mesures intéressant la protection contre les inondations, la salubrité publique, l'alimentation et les besoins domestiques des populations riveraines, l'irrigation, la conservation et la libre circulation du poisson, la protection des paysages et le développement du tourisme*. »

D'un point de vue réglementaire les directives sont, finalement, assez peu contraignantes. Le travail sur les Principes Directeurs du Développement de l'hydroélectricité est alors une force proposition pour guider la rédaction des futurs cahiers des charges qui devront intégrer des prescriptions pour assurer la protection la plus large possible des milieux naturels autour des aménagements et de définir les mesures compensatoires internes ou délocalisées permettant d'intégrer le projet dans une démarche d'économie écologique positive.

3. Aménagements hydroélectriques

3.1. Potentiel hydroélectrique

3.1.1. Principe général

Le principe de la production d'hydroélectricité s'appuie sur l'énergie transmise par le mouvement de l'eau permettant de faire tourner un moulin, ou plutôt une turbine. La puissance hydraulique est convertie en puissance mécanique. Associé à un alternateur, cette puissance mécanique produit de l'électricité.

Le calcul de la puissance hydraulique s'appuie sur la formule générale :

$$P = Q \cdot H \cdot g \cdot r \qquad (1.3)$$

où *P* est la puissance électrique exprimée en kilowatt [kW] ; *Q* est le débit moyen mesuré [L^3/T], les ingénieurs considèreront plus volontiers un intervalle de débits d'équipement (cf. Section 3.1.3) plutôt d'une valeur unique ; *H* est la hauteur de chute [L] ; et *r* représente le rendement de l'installation de production [-]. Il est compris entre 0.6 et 0.9, en fonction du type de turbine et des pertes de charge dans les aménagements. Le rendement de l'installation de production doit être différencié des pertes de charges engendrées par l'acheminement de l'eau (e.g., conduites forcées) qui, elles, sont incluses dans la notion d'hauteur de chute.

La puissance de l'eau dépend donc du débit de l'eau et de la hauteur de chute. En exploitation, le débit est variable et la hauteur chute est fixe. Dans la phase de conception d'un projet, le choix du lieu d'implantation de la prise d'eau est fonction, en partie, des différentes hauteurs de chute envisageables, et des scénarios de production qui y sont liées.

3.1.2. Hauteur de chute

La hauteur de chute correspond à la différence d'élévation entre le site de captation de l'eau (à l'amont) et l'emplacement de la turbine (à l'aval).

La hauteur de chute « naturelle » est appelée *chute brute*, à différencier de la *chute nette* qui prend en compte les pertes de charge. Ces dernières se rapportent à l'ensemble des discontinuités topographiques et/ou des contraintes techniques de l'ouvrage (e.g., prise d'eau) ou des canalisations qui font diminuer la puissance attendue.

Dans la phase de conception, il est important d'évaluer correctement ces pertes de charge qui ont une influence certaine sur la puissance potentielle de l'ouvrage. C'est en fonction de cette puissance que les seuils de production sont atteints, ou non. La pertinence énergétique et économique du projet peut alors être remise en cause.

La hauteur de chute peut être liée à la topographique naturelle, et dépendre des pentes sur lesquelles sont installées les conduites, ou induite artificiellement par la hauteur du barrage. Cette option dépend des choix techniques du projet dans son ensemble et de la retenue d'eau en particulier.

Le profil en long des rivières polynésiennes est accidenté. Dans le schéma le plus courant, elles prennent leur source en altitude au cœur des anciennes calderas pour s'écouler jusqu'à leur exutoire, au niveau du lagon ou dans l'océan. L'altitude augmente proportionnellement à l'éloignement des côtes, ainsi plus la hauteur d'eau souhaitée est importante plus l'emplacement de la prise d'eau risque d'être éloigné d'infrastructures déjà existantes. Cette indication peut avoir des conséquences substantielles sur les coûts d'un projet dans le cas où une piste d'accès de plusieurs kilomètres devrait être ouverte. Il en est de même pour les canalisations et le réseau de distribution d'énergie.

3.1.3. Débit d'équipement

L'hydrologie d'une rivière peut être résumée en quelques statistiques. Le débit moyen représente, par exemple, le volume d'eau en un point donné, en une période fixe. Le débit moyen annuel est un paramètre couramment utilisé. Il correspond à la moyenne des débits journaliers sur une année. Il est exprimé le plus souvent en m^3/s. D'autres statistiques communes sont le débit de crue, débit maximum, ou le débit d'étiage (débit de basses eaux). Ces informations permettent d'apprécier globalement l'hydrologie d'un cours d'eau mais elles sont insuffisantes pour dimensionner une centrale hydroélectrique.

La dynamique d'écoulement d'une rivière est plus irrégulière. Cette dynamique qui décrit le régime hydraulique s'étudie à partir de la courbe des débits classés (Figure 7). Cette courbe permet de lire la fréquence de dépassement d'un débit particulier.

Dans un contexte de production hydroélectrique, ce sont les débits d'équipement qui sont examinés. Ces débits correspondent à un intervalle entre le débit maximum turbiné et le débit minimum turbinable (Figure 7). Ce débit minimum est directement proportionnel à la puissance garantie de la future centrale. Il est indispensable de ne pas raisonner en termes de débit brut mais plutôt de débit disponible. Cette différence de débits définie l'écoulement résiduel qui assure la continuité du cours d'eau et de l'écosystème biologique, cet écoulement est le débit réservé également nommé débit de vie.

La gamme de ces débits est définie généralement par un compromis entre les choix techniques (dimensionnement, politique énergétique) et les contraintes financières. Il est nécessaire de rappeler ici que les contraintes environnementales doivent, à présent, être intégrées de façon à part entière au processus de décision.

Dans les vallées encaissées des îles hautes, le cours d'eau principal draine le ruissellement du bassin versant. Toutes les valeurs de débits qui sont mesurées, calculées ou estimées dépendent de l'emplacement de la station hydrologique sur le cours d'eau, et de la taille de la surface contributive.

En conséquence, et hors effet anthropique, le débit de la rivière est plus faible en remontant vers l'amont. Cette réalité assez intuitive a une influence importante sur le choix de l'emplacement d'un captage d'eau et d'une retenue. En effet, en remontant le cours d'eau l'altitude augmente, et donc la hauteur de chute, mais le débit diminue. Il s'agit donc de déterminer le bon rapport entre ces deux grandeurs pour optimiser la puissance potentielle du futur ouvrage hydroélectrique.

En s'éloignant des zones urbanisées vers l'amont des cours d'eau, le projet s'éloigne également des infrastructures existantes (voirie, réseau électrique,…), des contraintes techniques et économiques enrichissent alors la discussion menant à une prise de décision.

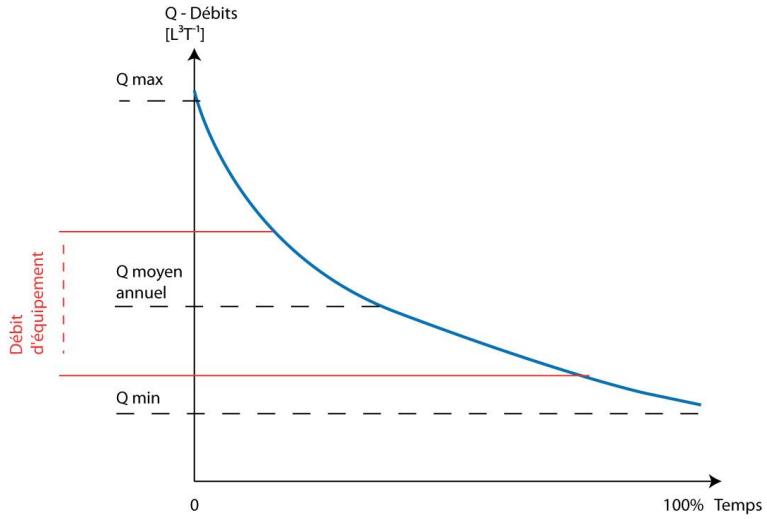


Figure 7: Représentation d'une courbe des débits classés et définition du débit d'équipement.

3.2. Types d'aménagement hydroélectrique

Les aménagements hydroélectriques sont des projets d'envergure qui nécessitent une approche et des techniques bien spécifiques. Deux types d'aménagements sont à distinguer en fonction des spécificités hydrologiques du cours d'eau et des besoins en énergie : les centrales « au fil de l'eau » et les centrales à réservoir.

Deux types d'aménagements sont à distinguer : les centrales « au fil de l'eau » et les centrales à réservoir.

Les **centrales « au fil de l'eau »** sont alimentées par une prise directe dans un cours d'eau. Ces installations ne disposent pas de véritable réserve, elles détournent continuellement une partie de l'eau s'écoulant naturellement dans la rivière. La hauteur de chute est généralement peu élevée et compensée par une vitesse soutenue.

Ce type de centrale est généralement préconisé pour de petites unités de production, les Petites Centrales Hydroélectriques (PCH) ou les Micro Centrales Hydroélectriques.

En Polynésie, cette solution est principalement destinée aux îles hautes, hors de Tahiti, où les bassins versants sont de taille réduite, les besoins en énergie sont raisonnables et les lieux de consommations à proximité du lieu de production.

Si le cours d'eau est d'importance, une centrale « au fil de l'eau » produit beaucoup d'énergie. En période de crue, le réseau électrique doit pourvoir absorber cette puissance supplémentaire par rapport à la puissance installée. Or pour le moment, le réseau interconnecté qui couvre l'île de Tahiti ne dispose pas de cette qualité. En outre, ces petites infrastructures proposent généralement des puissances garanties trop faibles pour participer à la régulation du réseau.

Les **centrales à réservoir** sont des infrastructures plus imposantes. Elles se caractérisent par une retenue d'eau généralement artificielle et soutenue par un barrage. La retenue est une réserve permettant d'amortir les déficits d'écoulements dus à la prolongation de périodes sans précipitations. L'étude des épisodes pluvieux permet de déterminer les fréquences et les durées de ces périodes de basses eaux, pour dimensionner la réserve nécessaire au regard du débit d'équipement minimum souhaité.

Le réservoir d'eau est une réserve d'énergie rapidement mobilisable qui pourrait participer à la régulation du réseau en assurant une stabilité en fréquence et en tension.

In fine, plus le réservoir est important, plus il permet une production énergétique élevée et stable. La zone inondée et l'impact en amont sont parallèlement amplifiés. Le choix du type de centrale doit être guidé par une recherche d'équilibre entre les besoins, le potentiel du cours d'eau, les objectifs de la politique énergétique générale et la préservation de l'environnement.

3.3. Les différents composants d'un aménagement hydroélectrique

3.3.1. Présentation

Les infrastructures autour d'une centrale hydroélectrique sont nombreuses et dépendent en partie du contexte de chaque vallée. L'ambition est ici simplement de décrire les quatre ouvrages indispensables à tout aménagement hydroélectrique :

- l'ouvrage de captation qui regroupe la retenue d'eau (avec le barrage) et la prise d'eau ;
- l'ouvrage de dérivation qui conduit l'eau du captage vers la zone de production. L'écoulement peut être libre ou en charge, il est guidé soit dans un canal d'amenée soit dans une conduite forcée (la seconde solution est plébiscitée en Polynésie française) ;
- les équipements de l'usine de production avec le couple turbine/générateur, le transformateur et la connexion au réseau de distribution ;
- le canal de restitution qui rend à la rivière le débit turbiné.

La Figure 8 permet de situer schématiquement les différents éléments de l'aménagement :

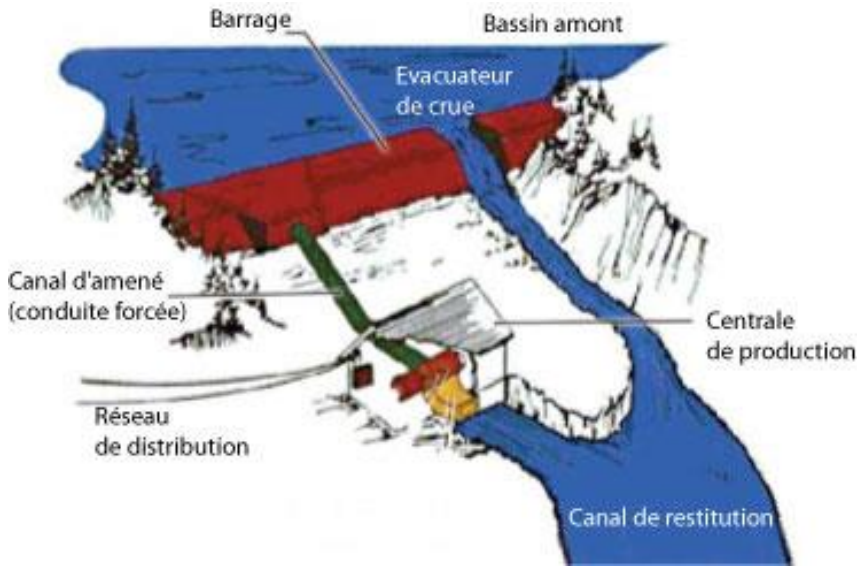


Figure 8 : Représentation schématique des éléments constituant une centrale hydroélectrique (tiré de RETScreen International, 2004).

3.3.2. Prise d'eau pour une petite unité production

L'ouvrage de la prise d'eau est différent en fonction du type d'aménagement choisi. Pour une petite unité de production, une PCH, la captation d'eau se limite généralement à un déversoir qui canalise le cours naturel de la rivière vers la prise d'eau.

La prise d'eau peut être positionnée dans une **chambre de captage** qui est un espace fermé, abrité de l'ensablement et des risques liés au charriage de matières solides.

Une autre solution est **une prise d'eau de type *Coanda*** dont le principe est une canalisation de l'écoulement à travers une grille très fine. L'eau franchit la crête du déversoir en accélérant pour ensuite passer sur la grille avec une trajectoire tangente. Par **effet *Coanda***, l'eau est déviée sous la grille tandis que les matières en suspension poursuivent dans le lit principal (Figure 9). Le système peut être qualifié de « grille auto-nettoyante ».

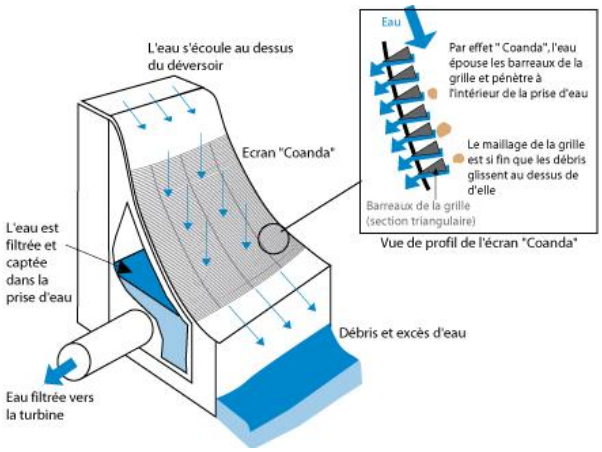


Figure 9 : Schéma de principe d'une prise d'eau Coanda.

Pour des projets plus conséquents entravant totalement l'écoulement naturel de la rivière, la prise d'eau est un élément introduit dans le cœur de l'ouvrage. La conception technique dépend des conditions du site et de la structure du barrage. Le système de captation est alors presque spécifique à chaque ouvrage.

3.3.3. Technologie des barrages

Les barrages sont des ouvrages hydrauliques d'importance qui couvrent la totalité de la section transversale d'un cours d'eau. Ce sont des constructions particulières qu'il convient de traiter comme des systèmes complexes où plusieurs phénomènes interagissent. Les impacts et les risques inhérents à la structure de chaque ouvrage imposent une approche pragmatique et objective des solutions techniques à mettre en œuvre pour répondre aux contraintes physiques et techniques. En ce sens les barrages sont des ouvrages de génie civil singuliers, chacun d'entre eux doit être considéré comme un prototype unique (Schleiss et Pougatsch, 2011).

Une typologie des barrages existe tout de même. Les contraintes du terrain, comme la configuration géomorphologique du fond de la vallée, guideront le choix initial.

Deux directions peuvent être envisagées pour la construction des barrages. L'ouvrage peut être en béton, ou en remblai (terre et enrochement). Dans chaque cas, plusieurs formes géométriques sont envisageables (Figure 10 et 11). Les barrages en béton imposent un socle rocheux très résistant. Inversement, les barrages en remblai offrent une déformabilité convenant mieux aux sols souples. Par contre, les ouvrages en béton ont une emprise en base plus réduite. L'étanchéité y est également réputée plus fiable.

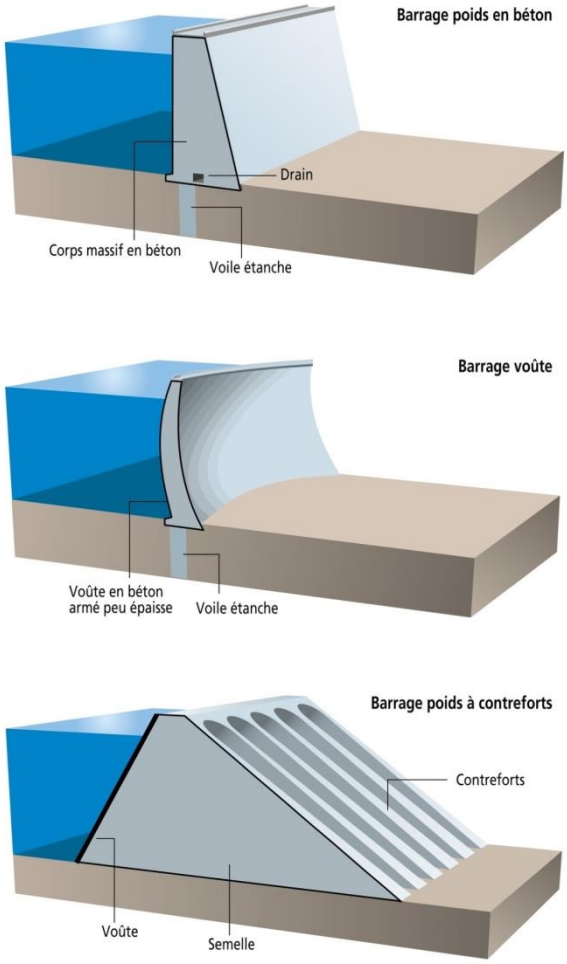


Figure 10 : Barrages en béton

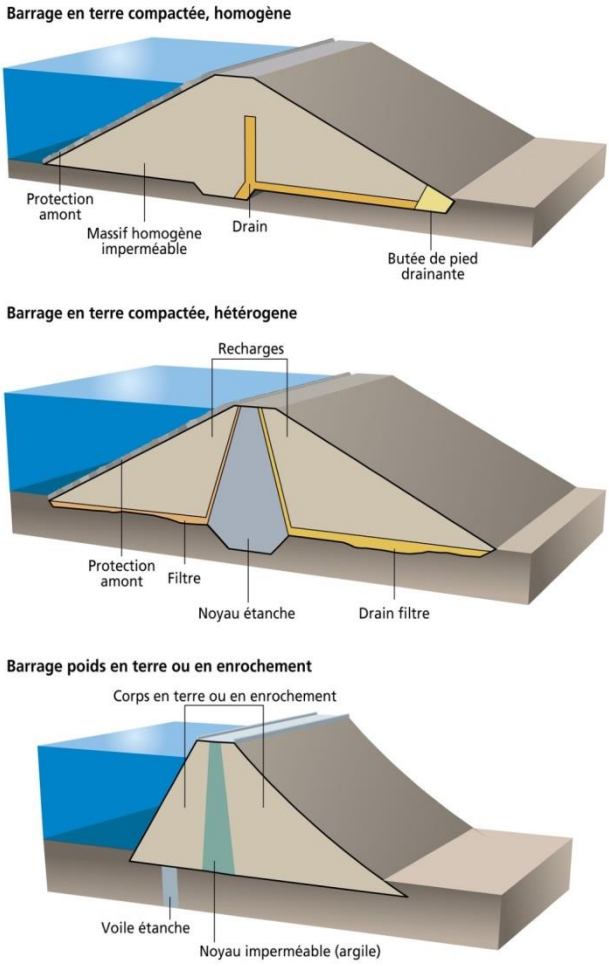


Figure 11 : Barrages en terre et enrochement

Quelques soient le type de barrage envisagé, les volumes de matériaux nécessaires pour la construction sont considérables. Les contraintes pratiques et financières imposent, presque systématiquement, une exploitation des matériaux sur le site, ou à proximité.

Les vallées tahitiennes sont encaissées, leur configuration topographique est la plupart du temps propice à l'aménagement de barrages. Historiquement, les ouvrages en béton n'ont pas été retenus. Il semble tout d'abord difficile de disposer d'un béton en quantité et en qualité suffisante. De plus, la perméabilité des sols et leurs mauvaises qualités mécaniques nécessiteraient de trop profondes fondations. Enfin, les rivières et leurs abords sont riches en blocs de roches basaltiques, roches qui pourrait être plus aisément utilisées dans un ouvrage en remblai (SOGREAH, 1982).

Cette dernière solution fut donc plébiscitée lors de la construction de tous les barrages de l'île de Tahiti (vallées de la Papenoo, Vaite, Vaihiriia et Titavirii). La Figure 12 présente le barrage amont de la vallée de la Titavirii. Bien qu'imposant, il s'intègre correctement dans le paysage. Cet élément complémentaire ne doit pas être négligé pour obtenir le soutien des riverains et des associations.

Figure 12 : Barrage de la Titavirii (Tahiti).

Plus récemment, des solutions avec des ouvrages en béton ont été étudiées. Certains experts considèrent légitimement qu'un barrage en terre impose de tels volumes de matériaux que l'impact sur les zones d'extraction de roches et d'agrégats serait trop important. Le débat de spécialistes autour du type d'ouvrage à élever doit donc être poursuivi en prenant toujours en compte les contraintes financières, techniques et environnementales.

3.3.4. Technologies plus spécifiques avec des retenues d'eau

Un tour complet des technologies envisageables en Polynésie française amène à évoquer les Stations de Transfert d'Energie par Pompage, ou STEP, et les retenues d'altitude.

3.3.4.1. Stations de Transfert d'Energie par Pompage

Le principe des **STEP** (Figure 13) est basé sur un barrage classique accompagné d'un système de pompe qui remonte l'eau d'un bassin inférieur vers le réservoir de stockage. Ce transfert d'eau, et donc d''énergie, est réalisé pendant les heures creuses de consommation

(phase de stockage). Lorsque les besoins augmentent, la station fonctionne classiquement en turbinant l'eau de la retenue (phase de production).

Cette technologie, à priori prometteuse, avait pour objectif initial de ne pas gaspiller d'énergie et présente de fait un bon bilan environnemental. Toutefois, dans un contexte de production trop largement dominé par la combustion d'hydrocarbures, les STEP présentent un bilan mitigé. La remonté de l'eau impose une puissance importante puisée dans le réseau général, le bilan énergétique est alors parfois négatif. La rentabilité économique est discutée (Fontaine G., 2015).

Mais depuis quelques années avec la progression des EnR et le développement des réseaux intelligents, les STEP ouvrent de nouvelles perspectives. Avec un mix énergétique moins dépendant du pétrole, la recharge du réservoir utiliserait l'énergie en surplus des EnR lors des périodes de faibles consommations. Dans une île tropicale, les épisodes de forts d'ensoleillement correspondent la plupart du temps à des périodes de faibles débits dans la rivière. Ainsi l'énergie du soleil pourrait se substituer à l'énergie de l'eau. Inversement, le réservoir d'un STEP peut apparaître pour l'énergie solaire comme une réserve non polluante, une alternative aux batteries au lithium qui sont issues d'un marché d'importation et pour lesquelles se posent la question du traitement des déchets. Cette réserve serait mobilisable rapidement pour répondre aux pics de consommation. En ce sens, les STEP pourraient participer efficacement à la régulation du réseau. Ces hypothèses impliqueraient une gestion interconnectée de toutes les sources de production (technologies SmartGrid).

Quoiqu'il en soit, le principe des STEP nécessiterait une étude approfondie pour en évaluer l'efficacité dans le contexte tahitien. Les contraintes liées à la variabilité saisonnière des régimes hydrologiques, à l'évaporation importante sous les latitudes tropicales et à la pollution terrigène doivent être prise en compte.

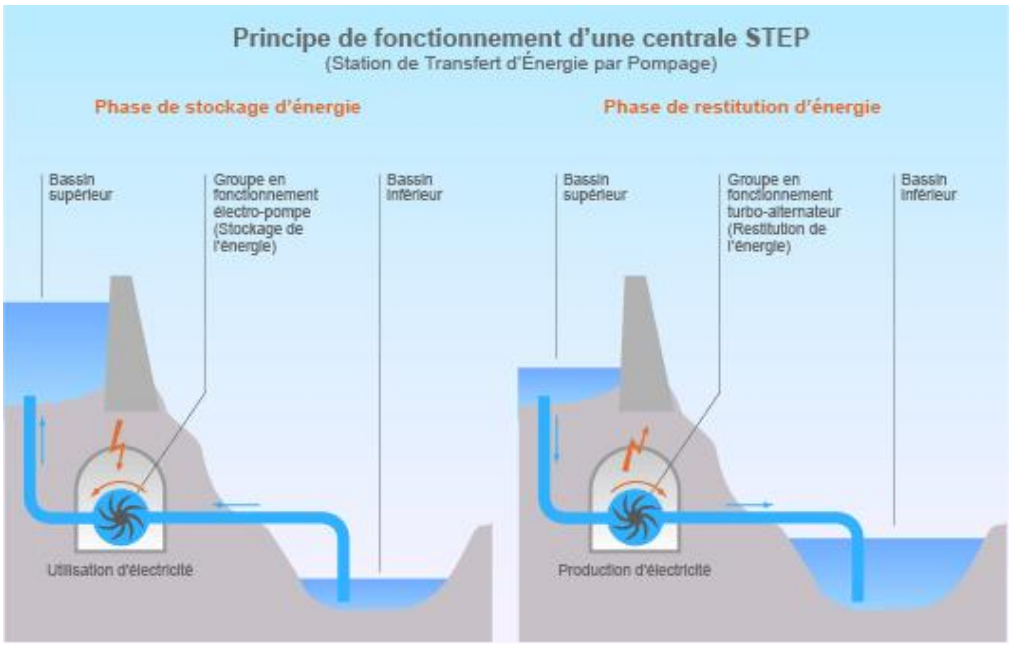


Figure 13 : Principe de fonctionnement d'une STEP

3.3.4.2. Retenues d'altitude

A l'image de certaines centrales hydroélectriques dans les massifs montagneux alpins et pyrénéens, il est techniquement envisageable, en Polynésie française, de construire des **retenues d'altitude** permettant de profiter au maximum des dénivellations offertes par les escarpements importants de certaines cascades (> 200 m). Il est évident que ce type de retenue engendre des travaux difficiles et des impacts environnementaux dans des zones réputées sensibles. Les matériaux ne sont pas forcément disponibles à proximité, les voies d'accès peuvent être difficiles à ouvrir et beaucoup d'autres contraintes sont à évaluer (Peyras et Mériaux, 2009). Ce type de solution ne peut être envisagée que dans des cas de figure bien particuliers.

3.3.5. Ouvrage d'amenée et canal de restitution

L'**ouvrage d'amenée** conduit l'eau de la zone de captation à l'usine de production. Parfois conseillé en écoulement libre cet ouvrage ne peut être qu'une conduite forcée en Polynésie. La chaleur et l'ensoleillement génèrent une évaporation très importante qui diminuerait le potentiel de production dans le cas d'un canal ouvert. L'argument complémentaire est lié au risque d'une pollution terrigène pouvant engendrer un envasement progressif du canal.

Les caractéristiques techniques de la canalisation (e.g., diamètre, épaisseur, matériau) sont définies au cas par cas en fonction des débits de production envisagés (Elie, 2014). Par contre, le positionnement géographique de la conduite est un sujet plus délicat à trancher. L'hydraulicien préconisera la ligne la plus droite possible pour éviter les coudes et minimiser les pertes de charge. Pourtant il parait judicieux d'enterrer la canalisation sous la piste d'accès (la préconisation est d'environ 1.5 m de profondeur) pour réduire les coûts autant que pour protéger les tuyaux et minimiser les impacts. En outre, certaines nécessités écologiques et archéologiques peuvent imposer un détour du tracé pour préserver un site d'intérêt ou une plante protégée.

L'implantation d'une conduite forcée ne constitue pas réellement un défi technique mais son coût peut être important si la distance à parcourir est grande. Cet aspect est à considérer lors des estimations financières.

Une fois turbinée, l'eau est guidée de l'usine de production vers le lit naturel de la rivière par le **canal de restitution**, ou canal de fuite. Ce canal ne court généralement que sur quelques centaines de mètres. Il doit, par contre, être dimensionné pour évacuer le débit maximum que la centrale rejettera, plus d'éventuels ruissellements qu'une pluviométrie importante pourrait engendrer. L'écoulement y est souvent turbulent et dangereux, ses berges doivent alors être protégées pour éviter tout effondrement ou accident.

De la même manière que pour les canalisations forcées, le tracé du canal de restitution doit prendre en compte les zones à protéger dans le cadre de la préservation des patrimoines écologique et archéologique.

3.3.6. Equipement de production

L'équipement de production principal est le couple turbine/générateur. Le transformateur est un équipement complémentaire souvent installé à proximité de l'usine de production. Il existe plusieurs technologies pour la turbine liées à la puissance de production disponible. Les inclinaisons stratégiques relatives à la puissance envisagée, font parties du processus de choix pour l'équipement de production.

Les technologies des turbines sont robustes et largement éprouvées. Deux grandes catégories de turbines sont distinguées (Figure 14) :

- les **turbines à action** (Pelton, Banki) où l'eau est mise en vitesse maximale dans l'injecteur. C'est l'énergie du jet qui entraîne la rotation de la roue ;
- les **turbines à réaction** (Francis, Kaplan) où l'eau est guidée par le distributeur pour rentrer sans choc dans la roue. La vitesse maximale est atteinte en sortie de roue.

Une classification un peu rudimentaire permet d'identifier le type de turbine en fonction de la hauteur de chute :

- basses chutes (entre 2 et 10 m), turbines à hélice ou turbines Kaplan ;
- moyenne chutes (entre 5 et 100 m), turbines Francis ou Banki ;
- hautes chutes (50 à 400 m), turbines Pelton.

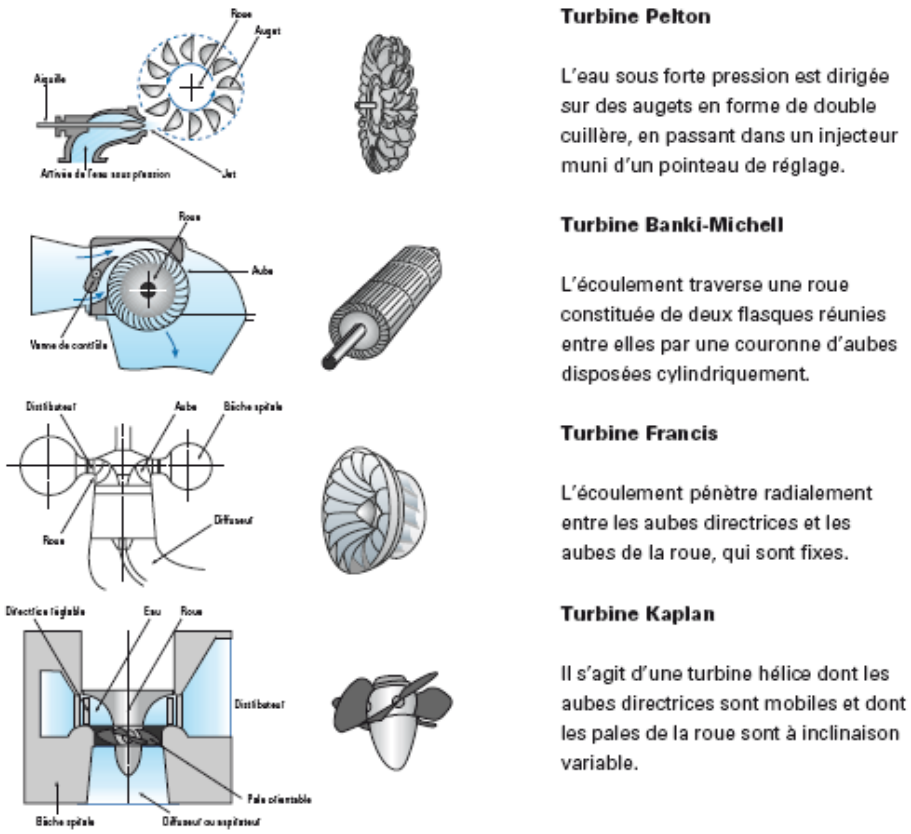


Figure 14 : Les différents types de turbines hydroélectriques.

3.3.7. Raccordement au réseau de distribution

L'électricité est une énergie qui se stocke difficilement. Dans un réseau de distribution, Il est indispensable d'équilibrer en temps réel l'offre et la demande. Le prérequis initial est de répondre à la demande, même au risque de dissiper de l'énergie excédentaire.

Les centrales thermiques sont particulièrement efficaces pour répondre aux variations de la demande. Les centrales hydroélectriques à réservoir peuvent également mobiliser rapidement une puissance supplémentaire lorsque la demande augmente mais également réduire la production lors des périodes de basse consommation. En revanche, la production hydroélectrique à partir d'une captation au fil de l'eau est beaucoup trop irrégulière pour assurer une puissance garantie et pour participer à la régulation du réseau, en fréquence ou en tension.

Une centrale hydroélectrique sous-dimensionnée n'a que peu d'intérêt

L'équilibrage du réseau à partir des différentes centrales de production est supervisé par le gestionnaire du réseau, Electricité de Tahiti (EDT). Actuellement, les réseaux de distribution polynésiens ne sont pas optimisés pour fonctionner avec des sources d'énergie trop intermittentes. Cet état de fait freine notablement le développement des EnR. Ainsi, une centrale hydroélectrique sous-dimensionnée, avec une puissance garantie trop faible, n'a que peu d'impact sur la production thermique à l'échelle énergétique de l'île, et donc peu d'intérêt.

Techniquement, le raccordement d'une usine hydroélectrique au réseau de distribution dépend des caractéristiques du réseau et des dispositifs de production. Le coût du raccordement peut être élevé si la zone de production est éloignée du réseau existant.

Le raccordement au réseau peut-être aérien ou souterrain. Dans le premier cas, l'impact paysager et environnemental est significatif. Dans le second cas, des problématiques liées à la stabilité des sols doivent être prises en compte. L'enfouissement est une solution plus onéreuse mais plus pérenne. Comme pour les conduites forcées, il est conseillé de suivre les pistes d'accès pour minimiser l'impact des travaux sur la vallée.

Finalement, les choix dépendent en grande partie des spécificités du terrain et des conditions du projet. La préservation de l'état naturel du site doit être, encore une fois, un prérequis prépondérant.

3.4. Protocoles et spécificités techniques

3.4.1. Etudes préalables

La construction et la mise en exploitation d'une centrale hydroélectrique est un projet industriel d'ampleur. Projet qui s'impose la plupart du temps dans un milieu naturel où les enjeux sont bien plus larges que le programme de développement énergétique. L'intérêt du projet, son site d'implantation, les caractéristiques techniques sont autant de sujets spécifiques qui imposent des études approfondies. A cela, s'ajoute nécessairement des analyses relatives aux impacts du projet, des impacts sur l'hydrologie de la rivière, les milieux naturels, impacts sociaux, culturels, économiques. Sans être exhaustif, les principaux thèmes imposant une, ou plusieurs, études approfondies sont :

- l'hydrologie pour apprécier le potentiel énergétique exact de la vallée ;
- l'énergie et l'hydraulique, avec pour objectif de décrire les scénarios de production envisageables (situations et dimensionnements des ouvrages) ;
- la géologique pour s'assurer de la stabilité des sols aux lieux des sites proposés par l'étude hydraulique, et sur le tracé des voies d'accès ;
- l'environnement et les milieux naturels (écologie, archéologie, ethnologie) dont le sens est de compenser les impacts négatifs et de préserver le patrimoine commun ;
- le génie civil pour décrire les éléments techniques du projet ;
- l'économique pour évaluer les coûts du projet et sa rentabilité.

L'approche environnementale qui doit être considérée avec un grand intérêt et ses conclusions doivent être mises en œuvre. La préservation du patrimoine commun n'est pas une contrainte mais un atout pour améliorer la technologie humaine et assurer un développement de société durable. Ce sera uniquement dans cette vision positive que les suffrages de la population et des associations pourront être acquis.

3.4.2. Voies d'accès

L'accès aux infrastructures doit être possible à tout instant, quel que soit l'heure ou la saison

Les voies d'accès aux aménagements engendrent des impacts très invasifs à l'échelle de la vallée, surtout lorsque sa géomorphologie est étroite et encaissée. L'objectif est de circonscrire au maximum l'emprise de ces pistes et de préserver le patrimoine naturel et culturel lorsque cela est possible.

Quel que soit l'état initial des routes, servitudes ou chemins, l'ouverture de nouvelles pistes est généralement inévitable. Leur tracé dépend techniquement de l'espace disponible et des conditions topographiques et géologiques. Plusieurs considérations doivent être intégrées pour **que l'accès aux infrastructures soit possible à tout instant, quelles que soient l'heure ou la saison** :

- de nombreux camions et engins de chantier seront amenés à parcourir ces pistes, elles devront alors être convenablement dimensionnées pour soutenir physiquement leur poids ;
- des zones de retournement ou de parking suffisamment larges doivent être aménagées tout au long du parcours pour éviter une situation de blocage due à une panne ou un accident ;
- une attention particulière doit être portée aux éventuels ponts et passages à guet qui émailleront le parcours. Ces points de passage peuvent représenter une faiblesse dans le réseau d'accès.

A ces impératifs techniques, des précautions d'ordre environnemental doivent être ajoutées. Ces préconisations sont d'une importance première autant pour préserver les richesses naturelles que pour obtenir un engagement positif des riverains et de la société civile. La liste suivante est informative, les mesures à considérer doivent être inventoriées à partir d'une approche environnementale plus complète (cf. Section 4). Il est conseillé :

- de réaliser des pistes d'accès solides et de bonnes qualités pour que leur entretient soit minimum. Un revêtement en ciment peut être nécessaire, ainsi qu'un système de caniveaux et d'écoulement des eaux. **Il vaut mieux n'intervenir qu'une seule fois et réaliser une construction pérenne et de qualité** ;
- les zones forestières autour des pistes doivent être préservées pour assurer une intégration paysagère honorable ;
- le tracé d'une piste doit pouvoir contourner un site particulièrement sensible abritant une espèce protégée ou une structure archéologique.

3.4.3. Ouvrages

Les études hydrauliques et de génie civil détailleront les ouvrages composant l'infrastructure de production et des bâtiments annexes (ex : abris à matériel, zone de repos et de restauration). A chaque fois les constructions devront se conformer aux réglementations des codes de l'urbanisme, de l'environnement et du patrimoine.

La structure du barrage, sa géométrie, ses fondations, sa résistance à la pression de l'eau seront les résultats des investigations techniques intégrant l'ensemble des contraintes physiques. L'emprise de la retenue d'eau peut représenter une surface conséquente et engendrer des impacts importants qui ne pourront être corrigés que par des mesures compensatoires.

Au cours de la phase de chantier d'importants volumes de matériaux (e.g., sables, graviers, roches, ciments, bétons) doivent être stockés à proximité du chantier. Ces zones de stockage, même temporaire doivent être choisies, encore une fois, dans le souci prégnant de minimiser les impacts sur l'environnement. A la fin des travaux, il sera nécessaire de réhabiliter ces surfaces en replantant une végétation indigène sous le contrôle de botanistes et de forestiers reconnus.

Il est très fortement conseillé d'utiliser les matériaux présent sur le site ou à proximité. Ces extractions localisées ne dispensent de la mise en place d'un protocole de prélèvement contrôlé. Les matières alluvionnaires et de gros morceaux de roches sont charriés par les cours d'eau torrentiels des îles hautes polynésiennes. Le lit et les abords de ces cours d'eau sont ainsi riches de cette matière première. Plusieurs règles sont à respecter pour ne pas déstabiliser exagérément l'écoulement des eaux et la stabilité des sols :

- les matériaux extraits ne doivent être utilisés que pour la construction des infrastructures de la centrale hydroélectrique et en aucune cas être exportés vers d'autres chantiers ;
- l'extraction dans le lit des cours d'eau doit se limiter à la zone d'impact maximum, c'est-à-dire sur le site du barrage et de la zone qui sera inondée ;
- seules les roches et les cailloux présent en surface peuvent être récupérés, aucune souille d'extraction ne doit être ouverte ; En dehors des risques de pollution des nappes souterraines, c'est la porosité du sol, sa capacité d'infiltration qui ne doit pas être modifiée ;
- la stabilité des berges et du sol doit être assurée après l'extraction.

Sous réserve d'une étude géologique favorable, il est aussi envisageable de prélever de la roche dans des flancs de falaises, c'est-à-dire d'ouvrir une petit carrière à usage unique.

3.4.4. Transports solides

3.4.4.1. Phénomène d'érosion

L'érosion est un processus naturel de dégradation des roches entrainant une modification des reliefs à moyen terme et générant un transport terrigène à plus court terme. L'érosion naturelle est engendrée par le vent, l'eau et les écarts de température. Elle s'accentue lorsque les terrains sont accidentés et présentent des pentes fortes. Texture et structure des sols sont des paramètres conditionnant également le phénomène.

Au-delà des causes naturelles, l'urbanisation a un effet indéniablement aggravant. Plusieurs impacts des actions humaines sur les sols et les paysages sont à considérer :

- le tassement des sols et leur imperméabilisation ;
- le mauvais dimensionnement ou l'absence d'entretien des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux ;
- la disparition des milieux forestiers et de la végétation stabilisatrice pour les sols ;
- la disparition de zones humides qui ralentissaient le ruissellement ;
- la modification du lit des rivières, leur canalisation et la disparition des méandres.

Comme pour les crues, l'érosion par l'eau est avant tout la conséquence de la force et de la vitesse d'écoulement plutôt que des volumes engagés. **Il est certain qu'un projet hydroélectrique est irrémédiablement concerné par l'érosion et le transport terrigène qui en résulte.**

Ce problème d'ampleur est à considérer sous deux angles distincts dans le cas des barrages ou des retenues d'eau :

- les travaux de construction et d'entretien des infrastructures engendrent une érosion mécanique supplémentaire qu'il est indispensable de contrôler ;
- au cours de l'exploitation le transport sédimentaire génère un envasement important et inéluctable au pied amont du barrage. Cette difficulté est inhérente à toute retenue d'eau. Aucune solution pérenne n'est réellement efficace, l'ouvrage peut néanmoins être équipé d'une vanne d'évacuation à sa base pour jouer un rôle de « chasse d'eau ». Lorsque les dimensions de la retenue d'eau le permettent la meilleure réponse reste un curage régulier et complet du réservoir. Cette intervention impose l'arrêt complet de la production pendant l'opération.

3.4.4.2. Etat des connaissances sur l'érosion en Polynésie française

A grandes échelles, de temps et d'espace, l'érosion structure le paysage des îles hautes volcanique :

> « *L'érosion intense de la structure volcanique a été clairement guidée par l'existence des discontinuités géologiques […] influençant le développement des vallées majeures.* »
> (Hildenbrand et *al.*, 2006)

A une échelle humainement plus observable, l'érosion est directement liée à un phénomène d'abrasion des sols sous l'action du vent et surtout des ruissellements de surface lors de forts épisodes pluvieux. Le sujet en Polynésie française est abordé dans la littérature (e.g., Servant, 1974) mais il existe peu de travaux permettant de quantifier le phénomène ou de décrire sa dynamique à l'échelle d'un bassin versant. Aucune modélisation ne permet, par exemple, d'évaluer préalablement l'impact d'un aménagement sur l'érosion dans une vallée.

L'observation subjective permet toutefois de se rendre compte intuitivement de l'impact de l'érosion dans les vallées tahitiennes. La couleur « brune » des cours d'eau, à chaque épisode pluvieux conséquent, en est un exemple particulier.

En dehors des raisons mécaniques (climatique, géologie, pédologique, morphologique), l'érosion est certainement aggravée par les travaux de terrassement sur les crêtes et l'urbanisation des pentes qui entraînent le remaniement de volumes de terre très importants (Oger et Sponti, 2006). Ces impacts anthropiques ont été évalués sur une portion de l'île de Tahiti :

> « *sur la partie Ouest de Tahiti, pour des sols ferrallitiques faiblement désaturés, sous une pluviométrie de 2500 mm/an, l'érosion emporte sur des pentes de 50%, cultivées sans précautions, 80 tonnes/an, ou 1cm de terre, contre 1 tonne/an sous un couvert forestier dans des conditions similaires.* »
> (Servant, 1974)

D'autre part, le développement préoccupant de certaines plantes envahissantes, telles que *miconia calvescens* et *Eperua falcata*, semblent induire un impact également délétère sur la stabilité des sols (Giambellluca et *al*., 2009).

3.4.4.3. Impact des activités humaines sur l'érosion

L'action humaine accentue donc le phénomène d'érosion dans des proportions réellement impactantes pour l'environnement et l'équilibre des milieux. Les dommages et les conséquences sont de plusieurs ordres :

- la dégradation des milieux naturels ;
- un risque accentué des coulées de boue ;
- une augmentation de l'intensité des crues des rivières puisque le sol ne joue plus son rôle de régulation du ruissellement ;
- la pollution terrigène d'origine anthropique est visible jusqu'aux embouchures, même en période de basses eaux. **Ce type de situation polarise le scepticisme des associations et des riverains**.
- les bancs de sables à l'embouchure peuvent être modifiés, la flore et la faune marine inévitablement envasées.

Pour toutes ces raisons, il est indispensable de mener des actions de contrôle et de gestion des travaux et des volumes de terres extraits et déplacés pour diminuer très significativement l'impact de n'importe quel projet.

La pollution terrigène est composée de particules solides de granulométrie très variables. Dans un réservoir d'eau artificiel, le courant d'eau est faible et les sédiments se déposer au fond du lac. Au cours du temps la couche de boue augmente est peu engendrer un envasement de la retenue d'eau. Cet apport terrigène doit être évacué au risque de colmater les prises d'eau. Ces remarques sont valables autant pour les captages d'eau destinés à l'alimentation qu'à la production d'hydroélectricité.

Lors de crues importantes, le phénomène d'envasement peut-être très rapide (Vai-Natura, 2015b). Il convient de le prévenir et d'envisager des solutions efficaces dès la phase de conception des ouvrages.

3.4.4.4. Les solutions envisageables

L'érosion, et le transport terrigène associé, est l'une des problématiques les plus délicates à résoudre dans les vallées polynésiennes. Les solutions à mettre en œuvre doivent privilégier une approche préventive autant que curative. Le but est de préserver au mieux l'équilibre des milieux pour réduire les actions de nettoyage et de contrôle des eaux, dans le lit de la rivière, qui sont coûteuses à long terme. Mais quelques soient les mesures prises, le curage ponctuel restera indispensable, l'objectif est ici d'en réduire la fréquence.

Les solutions présentées cherchent à préserver ou de réhabiliter, autant que possible, l'état naturel de la végétation, des sols et des écoulements. Au regard des connaissances acquises et de l'expérience des projets passés, en Polynésie mais plus largement dans le monde, **ce genre d'entreprise doit être l'occasion d'initier une manière de pensée novatrice et de proposer une véritable stratégie pour la protection des sols et la lutte contre l'érosion**.

Il doit être envisagé :

- de mettre en place un drainage efficace autour des infrastructures et des voies d'accès ;
- de dédier des parcelles de terres à proximité des cours d'eau pour rétablir des zones humides et des bassins de régulation ;
- de re-végétaliser les zones défrichées et les berges des cours d'eau après la phase de construction ;
- d'éviter, autant qu'il est possible, de modifier le tracé naturel des cours d'eau ;
- de traiter les volumes de terre déplacés. Aucun remblai artificiel non stabilisé ne doit être permis aux abords des cours d'eau. Une pluie soudaine pouvant entrainer cette terre vers l'aval.

Pour l'accumulation sédimentaire au fond des bassins réservoirs, deux solutions concomitantes peuvent être mises en place. La première consiste à intégrer une vanne d'évacuation à la basse de l'ouvrage de la retenue pour chasser l'eau et emporter une partie de la couche terrigène accumulée. Cette vidange « automatique » n'est généralement pas suffisante et doit être utilisée avec précaution pour éviter de relâcher vers l'aval des cascades d'eau trop fortement concentrés en sédiment. La seconde action possible est un curage ponctuel avec des engins de chantier. Le cours d'eau d'alimentation est alors détourné pour que le bassin puisse être vidé.

En dehors des impacts financiers induits par l'arrêt de la production d'électricité, les volumes de vase et de terre extraits doivent être traités. Encore une fois, il ne peut être question de stocker ces sédiments sans valorisation. Une surveillance continue de la turbidité peut être un moyen de mieux contrôler l'impact des transports terrigènes. Cette surveillance qui peut être à la charge de l'exploitant doit être nécessairement supervisée par une instance indépendante.

3.4.5. Corps flottants

En période de crues, les cours d'eau transportent des corps flottants, essentiellement du bois ou des végétaux. Ces matériaux suivent le courant et s'accumulent au niveau des ouvrages avec des risques de colmatage partiel ou total des prises d'eau. Des mesures sont à prendre pour assurer un nettoyage efficace et régulier. Des systèmes de piégeage, des collecteurs, peuvent être imaginés mais la récupération des matériaux ne peut être que « manuelle », à l'aide d'engins de chantier. Le stockage et/ou l'élimination des matériaux récupérés doivent souscrire aux règles de gestion des déchets (cf. Section 4.9.4). Une réflexion pourrait également être menée pour envisager une valorisation positive.

Une réflexion doit être menée avec les exploitants pour la mise en œuvre de ces préconisations. Les volumes très importants de déchets végétaux récupérés peuvent compliquer, voir compromettre, des opérations de traitement. Une solution efficace mais réaliste doit encore être trouvée.

3.4.6. Cours d'eau

L'implantation d'une centrale hydroélectrique, et de la retenue d'eau qui lui est le plus souvent associée, dans une vallée à l'état naturel ont un impact incontestable sur les environnements biologiques, culturels et sociaux.

Les conséquences d'ordre écologiques sont en grande partie induites par la modification de de la dynamique hydrologique des cours d'eau. L'anthropisation des écoulements est inévitable, c'est précisément le rôle du réservoir. Toutefois, il est essentiel d'anticiper les effets autant sur la biodiversité que sur l'hydromorphologie de la vallée et sur la stabilité des sols.

Ces derniers aspects ne sont pas toujours traités avec suffisamment d'exhaustivité, ils ont pourtant des conséquences très importantes, sur la préservation des milieux, mais aussi sur la sécurité des biens et des personnes en aval des aménagements, même jusqu'à l'exutoire (e.g., inondations, glissement de terrain, pollution terrigène, risque de sur accident en cas d'évènement climatique d'importance).

Le réseau hydrologique des cours d'eau est un élément central concourant à l'équilibre d'une vallée, équilibres des biotopes et de sa structure inerte (e.g., sols, hydromorphologie, géologie). En modifiant et contraignants ces cours d'eau, l'écoulement est perturbé ce qui peut engendrer des réactions en chaine réellement délétères.

Sans préjuger des conditions particulières liées à chaque vallée et donc à chaque projet, il convient tout de même d'observer quelques problématiques récurrentes comme le risque d'inondation ou la gestion des envasements sédimentaires.

Une inondation est une submersion par l'eau liquide d'une zone habituellement sèche. De forts épisodes pluvieux, et les crues qui y sont liées, sont les causes premières et naturelles des débordements. Toutefois, beaucoup de modifications artificielles des milieux ont tendance à amplifier le phénomène et à engendrer des dégâts plus importants.

Lors d'épisodes climatiques violents, les volumes d'eau précipités ne peuvent pas être réellement interceptés ou contenus. Le système de drainage (ruissellement de surface et infiltration) est saturé et le niveau d'eau augmente jusqu'au débordement. L'intervention humaine cherche à contrôler et à contraindre ce drainage naturel.

L'urbanisation s'installe aux abords des cours d'eau, les terres inondables d'autrefois disparaissent au profit de lieux d'habitation ou de zones industrielles. Le tassement des terrains et la présence de bitume sur de grandes surfaces génèrent une imperméabilisation des sols qui favorise le ruissellement de surface au détriment de l'infiltration.

Pour protéger les installations et les lieux de vie, les cours d'eau sont canalisés et leurs berges enrochées. Le but est d'empêcher l'eau de déborder et de s'évacuer sur les zones occupées par l'homme. Or le volume à drainer reste le même. La rivière est canalisée généralement en ligne droite et sa pente longitudinale augmentée. En conséquence l'écoulement s'accélère ce qui apporte plus de puissance à l'eau, son pouvoir érosif croît.

Finalement, les travaux autour des cours d'eau, réalisés avec un objectif légitime, peuvent malheureusement accentuer la force destructrice de l'eau.

Pour limiter les conséquences anthropiques, les solutions se tournent de plus en plus vers une préservation de l'équilibre naturel des cours d'eau (Malavoi et Bravard, 2010). Quelques préconisations d'ordres générales sont à suivre :

- désigner et entretenir des surfaces inondables en amont des zones urbanisées ;
- éviter la canalisation des cours d'eau et préserver les méandres naturels ;
- limiter l'enrochement des berges à de courtes distances et uniquement dans des zones où un danger est avéré ;
- favoriser la présence d'espèces végétales pour soutenir les sols et favoriser l'infiltration ;
- interdire les prélèvements alluvionnaires dans le lit des cours d'eau, sauf autorisation exceptionnelle.

3.5. Ouvrages annexes

En complément des éléments principaux constituants une centrale hydroélectrique, des ouvrages annexes sont indispensables au bon fonctionnement des infrastructures comme pour la sécurité des biens et des hommes. Dans les sections précédentes plusieurs d'entre eux ont été évoqués :

- la **prise d'eau** qui est le lien entre le réservoir et la conduite forcée. En fonction du contexte elle peut être positionnée à différents niveaux sur la hauteur du barrage. Installée trop bas le risque de colmatage par sédimentation est important, trop haut le volume d'eau pouvant être capté se réduit. Il également primordial d'assurer un filtrage efficace des particules à l'entrée de la prise d'eau pour ne pas endommager les installations de production électrique comme la turbine. Une eau trop turbide ayant un réel effet abrasif ;
- les **vannes de vidange** utilisées pour limiter l'accumulation terrigène au fond du réservoir. Leur positionnement et leur mode d'action doivent être étudiés pour éviter tout colmatage.

Un autre ouvrage annexe est de grande importance : **l'évacuateur de crue**. Lorsque la montée des eaux dépasse la capacité de stockage du bassin de rétention, il est indispensable d'évacuer le surplus pour ne pas mettre en danger la structure même de l'ouvrage. Plusieurs solutions techniques sont identifiées, se sont soit des vannes dans le barrage, soit un déversoir sur une partie de la crête du barrage. Des siphons sont également utilisés pour leur capacité à évacuer des débits importants sans perturber le niveau amont du réservoir. Cette solution ne semble pas viable en Polynésie essentiellement à cause des colmatages par des corps flottants.

Quel que soit le choix technique de l'évacuateur de crue, il est préférable d'avoir un système robuste et simple à entretenir. Un dysfonctionnement pourrait avoir de bien graves conséquences, ainsi :

- le système doit être passif, une crue étant par définition imprévisible ;
- il doit être dimensionné pour chasser l'eau des crues exceptionnelles (crues centennales) et ainsi prévenir de tout danger le reste des installations ;
- le canal d'évacuation en sortie doit pouvoir dissiper l'énergie de l'eau pour éviter une érosion des berges en aval. Ce canal peut être construit, par exemple, en escalier et se terminer par une fosse de dissipation.

En dehors des nécessités hydrauliques, des ouvrages annexes doivent également répondre à des problématiques plus environnementales. Par exemple, il est presque indispensable de garantir un débit réservé pour assurer la continuité biologique des cours d'eau, même si la législation polynésienne ne l'impose pas. L'ouvrage correspondant peut être également calibré pour faciliter le passage des poissons et anguilles. Les détails de ces installations et de leurs nécessités sont décrits dans la Section 4 de ce rapport.

3.6. Suivis et contrôles pendant l'exploitation

Les préconisations établies lors des études préliminaires sont généralement suivies pendant les phases de travaux et de mises en charges des turbines. Or l'exploitation d'une centrale hydroélectrique s'étend naturellement sur plusieurs décennies. Au cours de cette longue période il est toujours aussi nécessaire de suivre l'évolution des impacts autour des infrastructures.

Un réseau d'appareil de mesure est nécessairement installé par l'exploitant pour suivre la pluviométrique, le niveau des cours d'eau, l'étanchéité du barrage et le bon fonctionnement des appareils de production. Afin d'assurer une transparence à long terme, il serait bénéfique d'imposer un accès aux données recueillies. Les données brutes devraient pouvoir être utilisées par des experts indépendants ou au moins les services compétents de l'administration (GEGDP, SDE, DIREN). Un rapport annuel devrait également être consultable par le public pour apprécier les efforts réalisés et l'état de la vallée exploitée.

En dehors des points évoqués dans le paragraphe précédent, la surveillance à long terme doit également prendre en compte la stabilité des sols autour de tous les aménagements et en particuliers sur les voies d'accès.

En complément des mesures de débits en continu des cours d'eaux, des sondes de turbidité doivent être installées pour suivre l'évolution des phénomènes érosifs. Idéalement, ces stations de mesures doivent être implantées en amont du barrage, immédiatement en aval et à proximité de l'exutoire de la vallée.

Les données recueillies pourraient être valorisées par des partenariats avec des organismes de recherche pour développer des modèles numériques de prévision en hydrologie ou en érosion, par exemple.

4. Environnement et milieu naturel

4.1. Informations préalables

4.1.1. Méthodologie de l'approche environnementale

L'hydroélectricité est une énergie renouvelable, elle ne produit pas de rejets atmosphériques ou de déchets contaminants. En ce sens, elle est désignée comme une énergie propre, ou « environnementalement » positive. En revanche, ses impacts ne sont pas anodins. Les aménagements nécessaires à son exploitation modifient profondément les milieux naturels, l'aspect paysager et le patrimoine existant.

En raison d'un certain nombre d'appréhensions légitimes liées à l'image des ouvrages et à l'historique d'exploitation de certaines vallées, la population offre un regard suspicieux à l'égard des projets futurs. La modification du cadre de vie, les nuisances occasionnées pendant la phase d'aménagement, l'impact sur la biodiversité et la problématique foncière sont autant de frein à l'aboutissement de tels programmes.

Il apparaît indispensable de fixer un certain nombre de principes encadrant le développement de l'hydroélectricité pour engager une démarche pédagogique et consensuelle. La société Fenua Environnement fut ainsi missionnée par la Vice-Présidence, ministère du budget, des finances et des énergies pour établir ce recueil de connaissances sur les données environnementales disponibles et les enjeux environnementaux causés par les ouvrages hydroélectriques. Cette partie se présente comme une synthèse des connaissances actuelles sur l'environnement des îles concernées et des bonnes pratiques environnementales à adopter lors de la réalisation d'ouvrages hydroélectriques.

Ce document ne présente que les grandes lignes des connaissances actuelles et n'a pas vocation à dresser un état exhaustif de la situation en Polynésie Française. L'objectif de cette synthèse est d'identifier les éléments naturels à enjeux ainsi que les mécanismes qui les encadrent.

4.1.2. Zones d'études (Tahiti, Raiatea, îles Marquises)

4.1.2.1. Ile de Tahiti

Tahiti est une île haute faisant partie du groupe des îles du Vent, et de l'archipel de la Société. Cette île haute et montagneuse, d'origine volcanique, est entourée d'un récif de corail. L'île est composée de deux parties - Tahiti Nui, la plus importante, et Tahiti Iti également appelée la Presqu'île, reliées entre elles par l'isthme de Taravao (Wikipedia, 2015).

Avec 1 042 km^2 et 183 645 habitants en 2012, Tahiti est à la fois la plus grande et la plus peuplée des îles de la Polynésie française. L'île concentre l'essentiel des activités économiques de l'archipel polynésien. La ville de Papeete, située sur la côte nord-ouest de l'île, est la capitale de la Polynésie Française et en abrite toutes les institutions politiques. Le tourisme contribue fortement à l'économie de l'île, d'autant que Tahiti abrite le seul aéroport international de la Polynésie française, lui donnant le statut de porte d'entrée du territoire.

4.1.2.2. Ile de Raiatea

Raiatea est une île de Polynésie française faisant partie des îles Sous-le-Vent dans l'archipel de la Société. Quatrième plus grande île après Tahiti, Nuku Hiva et Hiva Oa, Raiatea est située à 210 kilomètres de Tahiti, entre Huahine et Bora Bora.

Elle partage le même lagon que l'île de Tahaa. Elle a pour ville principale Uturoa, et est divisée en trois communes, Uturoa, Taputapuatea et Tumaraa. Il s'agit de la troisième île de la collectivité par sa population derrière Tahiti et Moorea.

L'île est partagée en trois communes :

- Uturoa (16 km^2) capitale administrative des îles sous le vent;
- Taputapuatea (88 km^2) qui regroupe les districts d'Avera, Ōpoā et Puohine;
- Tumaraa (71 km^2) ou Tumara'a qui regroupe les districts de Tevaitoa, Tehurui, Vaia'au et Fetuna.

La population de l'île s'élève environ à 12 024 habitants, principalement concentrés autour de la ville principale, Uturoa, et dans plusieurs villages ou districts : Avera, Opoa, Tevaitoa ou Vaiaau.

4.1.2.3. Archipel des îles Marquises

Les îles Marquises forment un des cinq archipels de la Polynésie française. D'une superficie totale de 997 km^2, elles forment l'un des archipels les plus étendus de la Polynésie française. Elles se situent entre 600 et 1 000 km de l'équateur à environ 1 600 km de Tahiti.

Elles sont réparties en deux groupes d'îles distincts :

- le groupe septentrional, centré autour de la grande île de Nuku Hiva, les deux plus petites îles d'Ua Pou au sud, et Ua Huka à l'est, et au nord les petites îles d'Eiao, Hatutaa et Motu One ;
- le groupe méridional, centré autour de l'île principale de Hiva Oa, et les plus petites îles très proches de Tahuata et Moho Tani (ou Molopu), et plus au sud l'île de Fatu Hiva et le rocher Motu Nao.

Toutes les îles des Marquises sont d'origine volcanique à l'exception de Motu One, et ont été formées par le point chaud des Marquises. Elles présentent un relief escarpé et ne sont pas protégées par un récif de corail (sauf Fatu Hiva et quelques vallées comme Anaho à Nuku-Hiva). Les sommets peuvent atteindre les 1 100 mètres d'altitude. Les falaises plongent dans la mer jusque dans les fonds marins et sont constamment érodées par les courants du Pacifique-Sud. Les côtes ont l'aspect d'une muraille coupée de profondes crevasses et de quelques plages. Quelques vallées profondes et isolées barrent les chaînes de montagnes.

En 2012, l'archipel abritait 9 264 habitants. Au Nord, se trouvent les communes les plus peuplées :

- Nuku Hiva : 2 966 habitants. C'est l'île principale du groupe septentrional, et le siège dans le village de Taiohae du chef-lieu des Marquises ;
- Ua Pou : 2 173 habitants ;
- Ua Huka : 621 habitants.

et au Sud les communes de :

- Hiva Oa : 2 190 habitants (l'île principale du groupe méridional, et la plus célèbre) ;
- Tahuata : 703 habitants ;
- Fatu Hiva : 611 habitants.

4.1.3. Occupation des sols (Terres, Lagon, Littoral)

L'intérieur des terres des îles hautes de Polynésie Française est difficile d'accès et présente des caractéristiques contraignantes en termes de développement (fortes pentes, terrains instables…). On estime ainsi la proportion de sol naturel à 70% en 2015, à l'exclusion de la bande côtière littorale concentrant les zones urbanisées (Artzner et Avagliano, 2015[1]). Ces données sont cependant difficiles à confirmer et quantifier.

4.1.3.1. Surfaces agricoles et forestières

Des recensements de l'activité agricole ont été effectués en 1987, 1995 et 2012. Les résultats dernièrement obtenus mettent en évidence une réduction de la surface agricole de près de 45% entre 1995 et 2012. Les plantations forestières représentent près de 9 570 ha (seulement 70 ha de plus qu'en 2005) (Créocéan[2], 2015).

4.1.3.2. Occupation du Domaine Public Maritime (ODPM)

Les demandes d'occupation du domaine public maritime sont aléatoires et principalement catégorisées par les remblais (50% des demandes actuelles) condamnant ainsi des sections de récifs frangeants (22% du rivage de Moorea a ainsi disparu en 15 ans) (Créocéan, 2015). Le reste des demandes d'ODPM sont notamment caractérisées par les bungalows sur pilotis, les concessions perlicoles, les parcs à poisson…

4.1.3.3. Plans d'aménagement

Divers plans d'aménagement guident l'occupation des espaces. Parmi ceux-ci on note notamment la dominance des PGA ou Plans Généraux d'Aménagement dont sont munis 18

[1] Plusieurs données présentées dans ce rapport sont issues des travaux d'Artzner et Avagliano, 2015. Ces travaux dont la référence est citée en annexe contiennent toutes les sources bibliographiques ayant permis d'élaborer les synthèses présentées dans ce rapport.

[2] De nombreuses données de ce dossier sont issues du rapport intitulé « L'état de l'environnement de la Polynésie Française » élaboré en 2015 par le bureau d'études CREOCEAN. La totalité des sources des données présentées dans le cadre de ce rapport sont accessibles ici : http://www.environnement.pf/sites/default/files/diren-etat/diren-etat-environnement-biblio.pdf

communes (d'autres PGA sont en cours d'étude). Deux Plans de Gestion de l'Espace Maritime (PGEM) sont également entrés en vigueur (communes de Moorea et Fakarava) ainsi qu'un Plan d'Aménagement de Détail (PAD) sur la vallée de la Papenoo et divers Plans d'Aménagement Forestier (PAF) sur Raiatea et Nuku Hiva.

Notons enfin l'importante dans la société traditionnelle polynésienne de la terre qui est un bien inaliénable réservé à quelques familles et dont on ne transmet que des droits d'usage. Elle a un rôle social et politique très important. La propriété individuelle domine à Tahiti, et dans certaines zones touristiques ou rurales. Ailleurs, c'est l'indivision qui l'emporte y compris en zone urbaine constituant ainsi une contrainte importante pour le développement (Gabrie et al., 2006).

4.1.4. Patrimoine naturel

La Polynésie Française dispose d'une faible surface émergée et d'un âge géologique récent (30 000 ans et 30 millions d'années pour les îles émergées) ainsi que d'un isolement géographique extrême (plus de 5000 à 6000 km des continents les plus proches). Ces caractéristiques ont engendré une richesse et une originalité indéniable en termes de biodiversité (Meyer, 2005).

Le nombre d'espèces végétales et animales endémiques, rapporté à la superficie exiguë du Pays, est remarquable et la Polynésie est un territoire d'intérêt majeur sur le plan biogéographique et en terme l'évolution :

- Oiseaux terrestres : 86 % d'endémisme à la Polynésie française ;
- Flore vasculaire : 63 % (71 % chez les plantes à fleurs et 40 % chez les fougères) ;
- Poissons d'eau douce : 40 % ;
- Escargots terrestres : 95 % ;
- Arthropodes : 57 %`.

Avec plus de 128 espèces éteintes (17 plantes, 37 oiseaux, 61 partulidés) et 316 espèces menacées d'extinction actuellement proposées ou déjà inscrites sur la liste rouge de l'UICN (25 oiseaux, 277 plantes ; 14 partulidés), la Polynésie française est la collectivité française d'outre-mer comportant le plus grand nombre d'espèces éteintes ou menacées de toutes les collectivités de l'outre-mer (Créocéan, 2015).

4.2. Milieu terrestre

Contrairement aux milieux marins et lagonaires qui bénéficient d'une attention plus importante en termes de recherche, la connaissance de la biodiversité des forêts polynésiennes naturelles et secondaires est encore limitée et sous-estimée.

4.2.1. Faune

La faune terrestre Polynésienne contrairement à la faune marine est caractérisée par une faible diversité d'espèces aussi bien pour les vertébrés qu'invertébrés (hors avifaune). Ce constat s'explique notamment par l'isolement géographique.

Flore vasculaire	Mollusques terrestres	Araignées	Insectes	Crustacés	Poissons	Reptiles	Oiseaux terrestres
Environ 900	525	337	2049	78	37	12	64

Tableau 2 : Nombre d'espèces terrestres présente en Polynésie (Créocéan, 2015)

A ce jour, seuls les poissons d'eau douce (Keith, Vigneux et Marquet, 2002), les oiseaux (Gouni et Zysman, 2007) et les insectes de Tahiti (Paulian, 1998) ont bénéficiés d'ouvrages les recensant.

4.2.1.1. Molusques

La malocaufaune de Polynésie française mérite une attention particulière tant celle-ci est diversifiée et riche en termes d'endémisme (525 espèces et sous espèces décrites dont 95% sont endémiques) (Coote et *al*, 2006). Les gastéropodes terrestres sont présents en Polynésie avec 525 espèces d'escargots décrites et un endémisme exceptionnel de plus de 95%. Chaque île, chaque vallée, possède une faune particulière et souvent endémique (Artzner et Avagliano, 2015).

Les escargots arboricoles ont notamment des taux de spéciation très importants. Ceci est probablement dû à des phénomènes d'extinctions locales et de fragmentation de populations lors d'écroulements de caldeira, variations du niveau de la mer ou encore disparition d'îles hautes. Ces aspects ont particulièrement été étudié sur les escargots arboricoles du genre *Partula*.

Peu de familles sont représentées et la plupart ont des taux de spéciation impressionnants, à l'instar des *Partulides*, des *Achatinellides*, des *Endodontides*, des *Euconulides*, des *Succineides*, des *Helicinides* et des *Assimineides* dont 26 sont endémiques de Polynésie française.

Ces espèces souffrent cependant de nombreuses pressions notamment de l'introduction d'escargots devenus envahissants tels l'*Euglandine* ou l'*Achatine* (Gargominy et Bocquet, 2013).

Des programmes de conservation de ces mollusques ont donné lieu à des sanctuaires pour escargots en vue de pouvoir les réintroduire dans leur milieu naturel. Toutes les espèces de *Partulidae* de Polynésie française ont été déclarées comme « espèces protégées » (arrêté n°1332 CM du 03/12/1997).

4.2.1.2. Artropodes

Les arthropodes terrestres et d'eau douce de Polynésie française sont répartis en 4 grands groupes taxonomiques (*arachnides*, *crustacés*, *myriapodes* et insectes au sens large) et sont synthétisés d'après les travaux de Gargominy et Bocquet (2013), Ramage (en prep) et IUCN (liste rouge de 2013)) (Figure 15 et 16).

		Nombre de taxons décrits et connus (sp et ssp)					
	Classe ou sous-embranchement	E Endémique de PF	Taux d'endémisme (%)	S Subendémique *(endémique de PF et P orientale)*	P Indigène strict ou cryptogène	I Introduit	Total
Gastéropodes	Terrestres	499	95			26	525
	D'eau douce	9	60			6	15
Arthropodes	Insectes	1 380	57	11	757	261	2 409
	Arachnides	119	35	2	200	16	337
	Myriapodes	4	21		15		19
	Crustacés (terrestres et eau douce)	20	26	1	57		78
Total des invertébrés décrits et connus		2 031	294	14	1 029	309	3 383

Figure 15: Nombre d'invertébrés connus de Polynésie française. (Créocéan, 2015)

ARTHROPODES	NBRE DE TAXONS TOTAL
Arachnides	
• Acari (Mites)	227 (32%)
• Araneae (Araignées)	104 (44%)
• Pseudoscorpionida (Pseudoscorpions)	4 (0%)
• Scorpiones (Scorpions)	2 (0%)
Insectes	
• Blattes (blattes et termites)	28 (39%)
• Coleoptera (scarabées)	770 (61%)
• Collemboles	33 (39%)
• Dermaptères (perce-oreilles)	9 (11%)
• Diptères (mouches)	323 (61%)
• Embioptères	1 (0%)
• Hemiptères (punaises)	387 (55%)
• Hymenoptères (fourmis, abeilles & guêpes)	173 (36%)
• Lepidoptères (papillons et papillons de nuit)	494 (72%)
• Neuroptères (chrysopes et fourmillons)	14 (50%)
• Odonates (libellules & demoiselles)	19 (42%)
• Orthoptères (criquets, grillons et sauterelles)	32 (50%)
• Phasmes	2 (0%)
• Phthiraptères (poux)	18 (0%)
• Psocoptères (psoques, poux des livres)	38 (24%)
• Siphonaptères (puces)	3 (0%)
• Thysanoptères (thrips)	59 (15%)
Crustacés terrestres et d'eau douce	
• Amphipodes (puces de mer)	11 (45%)
• Copépodes	3 (0%)
• Décapodes (chevrettes & crevettes, crabes)	34 (6%)
• Isopodes (cloportes)	28 (43%)
• Ostracodes	2 (50%)

Figure 16 : Arthropodes indigènes et introduits. (Créocéan, 2015)

L'entomofaune de Polynésie française qui comprend les insectes au sens strict ainsi que les collemboles, est représentée par 2 409 espèces et sous-espèces (Créocéan, 2015).

4.2.1.3. Petite Fourmis de Feu (PFF)

Wasmannia auropunctata, connue plus communément sous le nom de Petite Fourmi de Feu (PFF) en Polynésie française, n'est à ce jour présente que sur les îles de Tahiti, Moorea et Rurutu. La Direction de l'environnement a découvert cette espèce sur Moorea en août 2011 à Atiha. Depuis, trois autres colonies ont été découvertes en 2013 à Vaiare, Temae et Afareaitu. La présence de la PFF à Rurutu a également été confirmée à Moerai, en juin 2014. La PFF est connue pour son impact sur la biodiversité (prédation), sur l'agriculture (élevage d'Hémiptères piqueurs-suceurs et piqûres) ainsi que sur la santé des animaux de compagnie (Kératite de Floride). Cette espèce a été classée dans le top 10 mondial des espèces envahissantes, notamment à cause de :

- sa vitesse de reproduction faramineuse ;
- son adaptation extraordinaire aux milieux perturbés par l'homme ;
- sa résistance presque absolue à toutes les méthodes de lutte, physiques ou chimiques ;
- aucun prédateur ni parasite ne lui est connue ;
- son venin est particulièrement violent et destructeur ;
- la destruction ou chasse de presque tous les êtres vivants à proximité des colonies de PFF (modifiant ainsi le bon fonctionnement de l'écosystème).

W. auropunctata a fait l'objet d'une attention particulière ces dernières années de la part de la DIREN. Depuis 2009, une cartographie des colonies connues est mise à jour régulièrement. Entre 2009 et 2013, le nombre de colonies connues sur l'île de Tahiti a été multiplié par deux.

Cadre réglementaire

Arrêté 1301 CM du 15 novembre 2006, paru au JOPF du 23 novembre 2006 (pp.4033-4034) et modifiant le Code de l'Environnement : Art. A. 123-10. - Régime particulier applicable à la petite fourmi de feu :

Le transfert intentionnel et en connaissance de cause de tous matériaux divers infestés tels que les déchets verts, la terre et autres débris, les plantes, depuis les zones infestées vers les zones indemnes est strictement interdit.

Les engins lourds travaillant dans les zones infestées sont désinsectisées par l'application d'un produit de traitement adapté à la lutte contre les fourmis de feu, en fin de travaux et avant tout mouvement vers d'autres zones. Une facture attestant du service fait ou de l'achat du produit de traitement est produite à la demande de l'administration chargée du contrôle, par les responsables, utilisateurs et/ou propriétaires de ces engins.

Pour faciliter la lutte et le repérage des colonies, les propriétaires ou locataires des terrains infestés par la petite fourmi de feu, dès qu'ils en ont connaissance, en font la déclaration à la direction de l'environnement, en précisant, par tout moyen, la position de leur terre (nº de parcelle, voie, etc.). Les propriétaires des terrains infestés prennent toutes mesures économiquement et écologiquement appropriées pour traiter leurs terrains.

Les propriétaires ou locataires des terrains, infestés ou non, sont tenus de laisser le passage aux agents publics et à leurs équipes chargées de la lutte contre la petite fourmi de feu.

Autres textes réglementaires à prendre en compte :

- Art. A. 123-12 : Les infractions aux dispositions précitées sont passibles des sanctions prévues au livre 1er, titre 3 du présent code ;
- l'introduction de nouvelles espèces, absentes du territoire est interdite (Code de l'Environnement, Art LP. 123-1.) ;
- le transfert inter insulaire d'espèces menaçantes pour la biodiversité animale et végétale (plant, bouture, graine) est interdit (Code de l'environnement, Art. LP. 123-3) ;
- le non-respect de ces règles est puni d'une peine d'emprisonnement de trois mois et d'une amende de 1 000 000 F CFP, ou de l'une de ces deux peines (Art. LP. 124-81*.- 1).

4.2.1.3. Mammifères

Les mammifères terrestres Polynésiens furent introduits (chiens, chats, cochons, chèvre) et cette classe est dominée par les rats réputés invasifs et nuisibles pour la biodiversité.

4.2.1.4. Reptiles

La Polynésie compte à ce jour 12 espèces de scincidés et une tortue d'eau douce invasive (*Trachemys scripta*, la tortue de Floride). Aucune de ces espèces n'est protégée. Parmi les lézards, aucune espèce n'est endémique et deux espèces ont été récemment introduites: le Gecko pantropical *Hemidactylus frenatus*, le Gecko *Phelsuma laticauda*.

4.2.2. Faune d'eau douce

Les peuplements d'eau douce sont peu abondants et diversifiés en raison de l'isolement insulaire et du régime torrentiel des rivières (Gleizal, 1986). Les cours d'eau de Polynésie peuvent être découpés en 4 zones caractéristiques selon l'altitude et la vitesse du courant (Keith et *al*, 2002). De manière générale on distingue ainsi :

- la zone des sources au-delà des 800m d'altitude ;
- le cours supérieur entre 300 et 800m d'altitude caractérisé par une forte pente souvent de plus de 10% et au courant élevé ;
- le cours moyen entre 50 et 300m d'altitude ;
- le cours inférieur entre 0 et 300m d'altitude.

Au sein de chacune de ces zones, il existe des relations entre le faciès d'écoulement et les espèces. Ainsi, la majorité des espèces sont présentes dans les faciès en escalier ou caractérisés par un fort courant. Les espèces y étant inféodées présentent souvent des adaptations spécifiques (certains *goobidés* disposent par exemple d'une ventouse ventrale pour franchir les obstacles et parois rocheuses verticales).

La Figure 19 présente une répartition des poissons dans les eaux intérieures de la Polynésie Française (Marquet et Galzin, 1992). La liste n'est pas à jour mais elle permet néanmoins d'avoir un bon aperçu des familles de poissons potentiellement affectées.

Dans cet inventaire, ce sont 12 espèces de poissons qui sont susceptibles d'être affectées par les ouvrages hydroélectriques. Parmi ces 12 espèces, seule une *Kuhlia Marginata* (communément appelé Nato) est inapte à franchir des obstacles conséquents. Cette espèce est généralement confinée aux cours inférieures dans des zones dont le courant est compris en 10 et 30 cm/s (Keith et *al*., 2009).

Le plus souvent, la première chute d'eau importante constitue un facteur déterminant pour la zonation des espèces dans la rivière.

	Iles hautes				
	Eaux courantes				Eaux « stagnantes » du littoral
	Cours inferieur		Cours moyen	Cours supérieur	
	estuaire	amont			
POISSONS SECONDAIRES					
Oreochromis mossambicus	+	-	-	-	+
Poecilia reticulata	+	-	-	-	-
Poecilia mexicana	+	-	-	-	-
POISSONS VICARIANTS					
Kuhlia marginata	+	+	+	-	-
POISSONS DIADROMES					
Aunguilla marmorata	+	+	+	+	+
Anguilla megastoma	-	-	+	+	-
Anguilla obscura	+	+	+	-	+
POISSONS COMPLEMENTAIRES					
Awaous ocellaris	+	+	-	-	+
Lentipes rubrofasciatus	-	-	+	-	-
Sicyopus bitaeniatus	-	+	+	-	-
Sicyopterus caudimaculatus	-	+	+	+	-
Sicyopterus taeniurus	-	+	+	+	-
Sicyopterus pugnans	-	+	+	-	-
Stenogobius genivittatus	+	+	-	-	+
Stiphodon elegans	-	+	+	-	-
Stiphodon stevensoni	-	+	+	-	-
Eleotris fusca	+	+	+	-	+
POISSONS SPORADIQUES					
Moringua sp.	+	+	-	-	-
Lamnostoma orientalis	+	-	-	-	-
Lamnostoma Polyophtalma	+	-	-	-	-
Microphis brackyarus	+	+	-	-	+
Kuhlia mugil	+	-	-	-	-
Chaenomugil teuciscus	+	-	-	-	-
Mugil cephalus	+	-	-	-	-
Valamugil engeli	+	-	-	-	-
Liza Alata	+	+	-	-	-
Caranx sexfasciatus	+	+	-	-	-
Caranx papuensis	+	+	-	-	-
Caranx melampygus	+	+	-	-	-
Lutjanus fluvius	+	-	-	-	-
Siganus spinius	+	-	-	-	-

Figure 17 : Répartition des poissons dans les eaux intérieures de la Polynésie Française
(+ = présence, - = absence)
(tiré de Marquet et Galzin, 1992).

Les gobies *amphidromes* et les crustacés décapodes ont une distribution longitudinale spécifique. Les *Lentipes* sont généralement les espèces qui se retrouve le plus en amont. Les *Eleotris*, les *Awaous* et les *Stenogobius* ne dépassent pas, en général, le cours inférieur et la première chute d'eau (Keith et *al*. 2002) ; Les *Stiphodons* ne dépassent pas les grandes chutes de 5 à10 m. Les *Sicyopus* montent un peu plus haut; les *Sicyopterus* franchissent de grosses chutes et

peuvent monter jusqu'au cours supérieur où ils côtoient les *Lentipes* (Keith et *al*. 2000 ; Keith et *al*., 2002 ; Keith et *al*., 2006).

Les gobies, les crustacés *Palaemonidés* du genre *Macrobrachium* ou les *Atyidés* sont souvent plus abondants dans les zones situées au-dessus des cascades où les prédateurs sont moins nombreux.

Généralement, le type d'habitat (radier, plat…) et le type de substrat déterminent la distribution des espèces et leur abondance. La corrélation positive entre la densité des *gobies* et le pourcentage de substrat dur sur les stations est le résultat du régime alimentaire herbivore de ces espèces. Ces *gobies* se nourrissent en raclant les *diatomées* ou les algues qui poussent sur les surfaces dures dans la rivière.

Un autre facteur important pour l'habitat des *gobies* est celui du pourcentage de la couverture végétale sur les berges. La densité de poissons est la plus forte au lieu où la couverture végétale est grande sur les berges mais ne couvrant pas la totalité de la rivière et laisse ainsi des secteurs ensoleillés. La cause en est probablement un plus grand développement de la productivité primaire sur les rochers et donc des algues dont se nourrissent les *gobies*, dans les secteurs ensoleillés. Mais ce n'est peut-être pas la seule raison ; il existe l'hypothèse d'un rôle de la lumière dans la propagation des couleurs irisées des mâles en parade (Keith, 2002). Ce facteur parait contribuer à la distribution. La connaissance de ces 2 facteurs (densité/couvert végétal et densité/substrat dur) est une première étape pour déterminer les facteurs d'habitat prépondérants pour les *gobies amphidromes*, comme pour prédire les effets écologiques de toute perturbation ou toute modification de milieu.

4.2.2.1. Poissons

Les rivières de Polynésie sont surtout colonisées par des espèces *diadromes* et *amphidromes* (cycle eau douce, eau de mer). Ils sont dominés par deux familles, les *Gobiidae* et *Eleotridae* dont la répartition dépend directement du type de courant et altitude. Les trois quarts des espèces de rivières sont cantonnées aux cours d'eau inférieurs et parties basses du cours moyen. Le nombre d'espèces de poisson diminue ainsi fortement depuis l'embouchure vers l'amont avec une diminution souvent brutale dès l'apparition de cascades. Au total, la Polynésie héberge 37 espèces de poissons (Tableau 3), dont 16 espèces endémiques et 3 introduites et acclimatées (Keith et *al*, 2002).

Actuellement, 3 poissons d'eau douce sont menacés d'extinction et inscrits sur la liste rouge internationale : 1 endémique des Australes (CR) et 2 endémiques de Rapa (EN).

Nombre total de poissons d'eau douce indigènes et endémiques décrits	37
Nombre de poissons d'eau douce endémiques PO (%)	16 (40%)
Nombre total de poissons d'eau douce menacés (CR, EN, VU) inscrits sur la liste rouge internationale	3

Tableau 3 : Les poissons des cours rivières polynésiennes

4.2.2.2. Anguilles

Les anguilles d'eau douce, *Anguilla spp*, sont des espèces *diadromes catadromes* (Figure 20), c'est-à-dire qu'elles passent leur vie en rivière, mais vont se reproduire et pondre dans l'océan (Aoyama, 1999 ; Kuroki, 2009). La première larve, ou *leptocéphale*, éclot dans l'océan, puis effectue une migration larvaire de l'océan vers des eaux douces côtières (Kuroki, 2009). Là elle se métamorphose en civelle, une larve transparente, pour traverser l'interface océan-continent (Lecomte-Finiger, 2000). Pendant la transition en estuaire, les civelles sont en phase de jeûne (De Casamajor, 2003) pour la réorganisation du système digestif qui se spécialise pour l'eau douce. Puis la larve se pigmente, complète sa métamorphose pour devenir une anguille jaune (Edeline, 2009). Cette dernière colonise ensuite la rivière, c'est la montaison. Quand elles approchent de la maturité, les anguilles effectuent une troisième métamorphose, c'est l'argenture (Lecomte-Finiger, 2000). Cette transformation n'intervient pas au même âge chez tous les individus (Gascuel, 1994), et c'est à ce stade qu'a lieu la différenciation sexuelle. Le diamètre oculaire augmente jusqu'à tripler pour s'adapter aux grandes profondeurs océaniques durant la migration (Sasal, com. pers.), les nageoires pectorales s'allongent pour la nage dans l'océan et leur physiologie s'adapte à l'eau de mer (Sasal, com. pers.). Au stade d'anguilles argentées, elles arrêtent de s'alimenter pour migrer vers leur aire de reproduction dans l'océan, celle-là même où elles sont nées (Lecomte-Finiger, 2000). Elles s'y reproduisent et meurent. Ce sont les larves qui retourneront vers les eaux douces, portées par les courants océaniques (Miller, 2009).

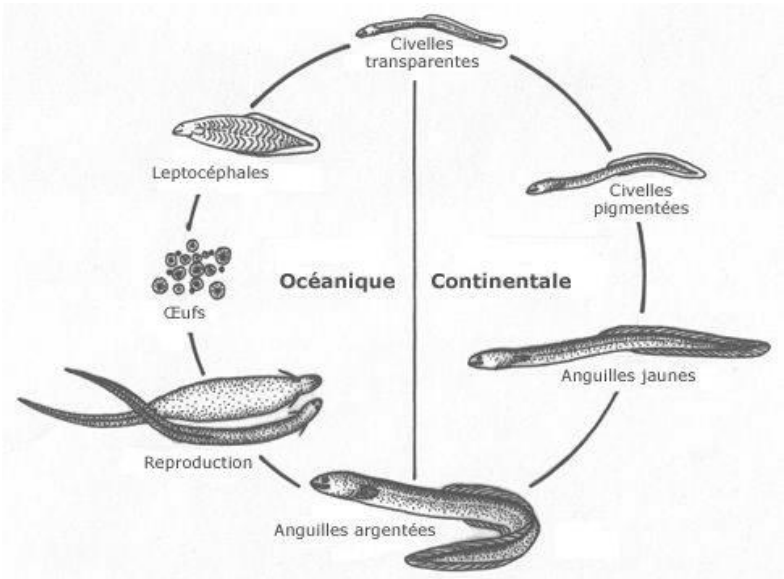


Figure 18 : Le cycle de vie des anguilles (Vecchio, 2010)

Pour se guider dans leur migration, les civelles utilisent des facteurs environnementaux (Elie, 1994 ; Edeline, 2006). Elles suivent un gradient de salinité décroissant (Edeline, 2009) pour repérer un apport d'eau douce dans la mer indiquant l'embouchure d'une rivière. Ce flux d'eau douce en mer module l'attrait exercé par le bassin versant sur les civelles. L'eau douce est donc liée à une forte locomotion pour la colonisation (Edeline, 2005), l'odeur des eaux intérieures apportant un signal déclenchant le début de la nage. Cette attraction est due à plusieurs composants terreux, indicateurs de la production primaire de l'habitat, mais aussi à l'odeur des conspécifiques, probablement à travers les composants du mucus épidermique (Edeline, 2009 ; Elie, 1994). Une baisse de température ralentit la métamorphose et la locomotion (Edeline, 2009), ainsi que leur préférence pour l'eau douce (Edeline, 2006). En revanche, une trop forte température est défavorable à la vie aquatique.

Les anguilles de Polynésie sont sacrées de par les histoires et légendes de la tradition polynésienne ancestrale, comme la légende de *Hina*, mais aussi par la place qu'elles tiennent dans la culture et la vie des populations locales qui les protègent et les nourrissent. Elles sont étroitement liées à l'homme (Pickering, 2013) et l'on dit en Polynésie qu' « *une rivière sans anguille est une rivière morte* » (La Dépêche de Tahiti, 7.10.14).

4.2.2.3. Crustacés d'eau douce

Les crustacés terrestres et d'eau douce/saumâtre sont représentés par 78 espèces et sous-espèces, réparties comme suit :

- 11 espèces d'amphipodes terrestres et d'eau douce, dont cinq espèces sont endémiques ;
- 34 espèces de décapodes terrestres et d'eau douce et saumâtre, dont deux espèces de décapodes d'eau douce sont endémiques, respectivement des îles Marquises (*Macrocrachium feunteuni*) et des Australes (crevettes *Caridina rapaensis*). Le Crabe de cocotier *Birgus latro* est un des décapodes terrestres indigènes. Les populations de ce dernier ont fortement régressé sur les atolls et il n'est commun que sur les atolls soulevés de Makatea, Niau et Anaa dans les Tuamotu. Les autres décapodes terrestres sont les Cénobites tranquilles (*Coenobita* sp.) et les Crabes de terre (*Cardisoma* sp.), vulnérables aux aménagements de la frange littorale ;
- 28 espèces d'isopodes dont 12 endémiques - les isopodes n'ont plus été observés depuis 1940 ;
- 3 espèces de copépodes et deux espèces d'ostracodes, toutes espèces d'eau douce (Créocéan, 2015).

4.2.2.4. Gastéropodes

Les gastéropodes d'eau douce sont représentés en Polynésie française par 15 espèces dont 9 sont endémiques (dont la majorité se trouvant aux Australes).

4.2.2.5. Migrations et reproduction

Le Tableau 4 est une synthèse des différents stades importants dans le cycle de vie des principales espèces d'eau douce polynésiennes. La période couvrant les mois de septembre et octobre est écologiquement la moins sensible, elle pourrait faire l'objet d'une préférence dans l'organisation de travaux dans le lit des rivières.

	Activité	**Début**	**Durée**	**Fin**	**Jan.** 1	**Fév.** 2	**Mars** 3	**Avr.** 4	**Mai** 5	**Juin** 6	**Juil.** 7	**Août** 8	**Sep.** 9	**Oct.** 10	**Nov.** 11	**Déc.** 12	**Jan.** 13	**Fév.** 14	**Mars** 15	**Avr.** 16
Anguille	Migration des anguilles	5	4	8																
	Arrivée à maturité sexuelle	5	4	8																
	Montaison	12	2	13																
	Saison des pluies	11	6	16																
	Saison sèche	5	6	10																
Gobiidae	Ponte et dévalaison	11	2	12																
	Regroupement des alevins en embouchure et remontée	12	2	13																
	Ponte et dévalaison	5	3	7																
	Montaison	7	2	8																
Eleotridae	Ponte et dévalaison	2	5	6																
	Montaison	11	4	14																
Chevrette	Reproduction	11	2	12																
	Ponte et dévalaison	12	3	14																
	Montaison	2	3	4																

Tableau 4 : Périodes particulière dans le cycle de vie des grandes classes de poissons et crustacés de Polynésie française.

4.2.3. Oiseaux

Bien que l'avifaune Polynésienne soit relativement pauvre d'un point de vue quantitatif, l'avifaune terrestre actuelle comprend 62 espèces et sous espèces, dont 43 sont considérées endémiques et sous endémiques soit un taux d'endémisme de 86% (Figure 21 et Tableau 5). Certaines de ces espèces sont d'ailleurs très menacées et en danger critique d'extinction telle que le Monarque de Tahiti (*Pomarea nigra*). Cinq espèces terrestres sont à large répartition et 13 espèces, toujours terrestres, sont introduites (Artzner et Avagliano, 2015). L'avifaune marine compte quant à elle 29 espèces marines, dont deux endémiques. Entre 2006 et 2014, quatre espèces ont vu leur statut dans la liste de l'UICN à la hausse à cause d'une diminution dans le nombre d'individus et trois ont vu leur statut à la baisse pour la raison contraire.

Ce sont 38 espèces d'oiseaux qui sont protégés en Polynésie française :

- 5 espèces d'oiseaux marins menacés ;
- 1 espèce d'oiseau migrateur menacé ;
- 28 oiseaux terrestres endémiques dont 20 espèces qui sont menacées selon les classifications de l'UICN, 8 autres espèces terrestres endémiques de Polynésie française qui, même si elles ne sont pas directement menacées, présentent une valeur patrimoniale indiscutable ;
- 4 espèces terrestres non endémiques à vaste répartition dans le Pacifique, mais dont les effectifs sont faibles en Polynésie française.

L'avifaune menacée fait l'objet de nombreuses actions de conservation notamment par le biais de l'association SOP Manu.

Oiseaux			
Nombre total d'espèces d'oiseaux terrestres indigènes et endémiques PF		32	34
Nombre d'oiseaux terrestres endémiques PO (%)		27 (84 %)	31 (91 %)
Nombre d'oiseaux marins nicheurs indigènes et endémiques (taxons)		28	32
Nombre d'oiseaux marins nicheurs endémiques PO (%)		3	3 (9 %)
Nombre total de taxons menacés (CR, EN,VU) inscrites sur la liste rouge internationale		23	25
Nombre de taxons protégés (code de l'environnement)		26	38
Nombre de taxons éteints (EX, EW)		18	37**
Nombre d'espèces bénéficiant de plan et/ou d'actions de conservation		7	
Évolution des effectifs (nombre d'individus) des populations de taxons protégés (menacés d'extinction) Gallicolombe érythroptère Carpophage des Marquises Monarque de Tahiti Monarque de Fatu Hiva Martin-Chasseur des Marquises Martin-Chasseur des Gambier (à Niau)		 150 185 30 - 40 200 - 400 695 en 2003 50 - 70	 63 en 2014 +/- 300 34 en 2010, 53 en 2014 41 en 2010, 29 en 2013 335 125 en 2012
Nombre de ZICO protégée/nombre de ZICO total		4 / 32	4/32
Nombre d'oiseaux marins récupérés (programme de sauvetage des oiseaux marins)			> 637
***taxons subfossiles issus de fouille archéologique, mort il y a plus d'un siècle.*			

Figure 19 : Intérêt de l'avifaune en Polynésie (Créocéan, 2015)

Ordre	Famille	Espèce	Nom français
Charadriiformes	Scolopacidae	Prosobonia parvirostris	Chevalier des Tuamotu
Columbiformes	Columbidae	Gallicolumba erythroptera erythroptera	Gallicolombe érythroptère
Columbiformes	Columbidae	Alopecoenas rubescens	Gallicolombe des Marquises
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus huttoni	Ptilope de Hutton
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus purpuratus purpuratus	Ptilope de Tahiti
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus purpuratus frater	Ptilope de Moorea
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus chrysogaster	Ptilope des îles-sous-le-Vent
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus coralensis	Ptilope des Tuamotu
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus chalcurus	Ptilope de Makatea
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus dupetithouarsii dupetithouarsii	Ptilope Dupetit-Thouars
Columbiformes	Columbidae	Ptilinopus dupetithouarsii viridior	Ptilope Dupetit-Thouars
Columbiformes	Columbidae	Ducula aurorae	Carpophage de la Société
Columbiformes	Columbidae	Ducula galeata	Carpophage des Marquises
Psittaciformes	Psittacidae	Vini kuhlii	Lori de Kuhl
Psittaciformes	Psittacidae	Vini peruviana	Lori nonnette
Psittaciformes	Psittacidae	Vini ultramarina	Lori ultramarin
Apodiformes	Apodidae	Aerodramus leucophaeus	Salangane de la Société
Apodiformes	Apodidae	Aerodramus ocistus ocistus	Salangane des Marquises (nord)
Apodiformes	Apodidae	Aerodramus ocistus gilliardi	Salangane des Marquises (sud)
Coraciiformes	Alcedinidae	Todiramphus veneratus	Martin-Chasseur vénéré
Coraciiformes	Alcedinidae	Todiramphus youngi	Martin-Chasseur de Young
Coraciiformes	Alcedinidae	Todiramphus tutus tutus	Martin-Chasseur respecté
Coraciiformes	Alcedinidae	Todiramphus godeffroyi	Martin-Chasseur des Marquises
Coraciiformes	Alcedinidae	Todiramphus gertrudae	Martin-Chasseur de Niau
Passeriformes	Monarchidae	Pomarea nigra	Monarque de Tahiti
Passeriformes	Monarchidae	Pomarea iphis	Monarque iphis
Passeriformes	Monarchidae	Pomarea mendozae motanensis	Monarque des Marquises
Passeriformes	Monarchidae	Pomarea mira	Monarque de Ua Pou
Passeriformes	Monarchidae	Pomarea whitneyi	Monarque de Fatu Hiva
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus atyphus atyphus	Rousserolle des Tuamotu
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus atyphus eremus	Rousserolle des Tuamotu
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus atyphus niauensis	Rousserolle des Tuamotu
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus atyphus palmarum	Rousserolle des Tuamotu
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus caffer	Rousserolle de Tahiti
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus mendanae mendanae	Rousserolle des Marquises du sud
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus mendanae consobrinus	Rousserolle des Marquises du sud
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus mendanae dido	Rousserolle des Marquises du sud
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus mendanae fatuhivae	Rousserolle des Marquises du sud
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus percernis percernis	Rousserolle des Marquises du nord
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus percernis aquilonis	Rousserolle des Marquises du nord
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus percernis idae	Rousserolle des Marquises du nord
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus percernis postremus	Rousserolle des Marquises du nord
Passeriformes	Sylviidae	Acrocephalus rimitarae	Rousserolle de Rimatara

Tableau 5 : Les oiseaux terrestres endémiques de Polynésie (tiré de Raust, Sop Manu, 2007).

4.2.4. Flore

Les formations végétales d'îles de Polynésie diffèrent selon les caractéristiques écologiques et climatiques de chaque île. La flore vasculaire compte environ 900 plantes indigènes (Florence, 2003) dont environ 570 espèces sont endémiques (et 11 genres endémiques), soit un taux d'endémisme de 64%, atteignant 70% si l'on ne considère que les plantes à fleurs (Angiospermes). Ce taux d'endémisme est l'un des plus forts pour les îles océaniques au niveau mondial (Hawaii arrivant en première place avec 89%) et dépasse celui des îles Galapagos et des Fidji (Océan Pacifique), ou des Mascareignes (Océan Indien).

À ce jour, des cartes de végétation entières ou partielles précisant les espèces dominantes existent pour 17 îles hautes et 10 atolls de Polynésie française (Créocéan, 2015). Une synthèse des formations végétales déjà recensées de 28 îles et îlots a été effectuée en 2010 à la demande du Service de l'Urbanisme pour étudier l'influence de la végétation sur la stabilité des terrains (Sedan et al. 2013). La synthèse a recensé 190 unités de végétation sur 28 îles dispersées entre les Marquises, la Société et les Australes-Gambier. Ces travaux ont permis de mettre en évidence des espèces dominantes récurrentes et des taxons endémiques spécifiques à chaque archipel pour ce qui est du sous-bois.

4.2.4.1. Formations végétales des îles hautes

Les archipels de Polynésie Française possèdent une biodiversité leur étant propre avec la présence de nombreux taxons endémiques. Dans les îles basses (700m max), les formations primaires ont quasiment toutes disparues ou sont confinées à des zones difficilement accessibles (sommets notamment). Les îles hautes présentent quant à elles une zonation végétale similaire. On y distingue ainsi de l'aval vers l'amont (Figure 22) :

- une zone littorale urbanisée et dominée par des espèces introduites et/ou envahissantes associée à des espèces indigènes. Ces plaines côtières jointent aux basses vallées, collines et plateaux sont majoritairement utilisées à des vocations agricoles et d'habitat. Cette zone est qualifiée de xérophile à semi-xérophile à savoir bénéficiant d'une pluviosité inférieure à 1500 mm/an ;
- une zone de forêt dite mésophile souvent colonisée de *Puarata* (*Metrosideros* sp.), de landes à *Anuhe* (*Dicranopteris linearis*) et de savanes à *Aeho* (*Miscanthus floridulus*).Ces formations végétales inégalement réparties s'implantent souvent sur les sols remaniés et occupent les crêtes, les croupes de plateaux de basse et moyenne altitude et les croupes sèches des flancs des grandes vallées humides ;
- les forêts humides de moyenne altitude (dites hygrophile car leur pluviosité est supérieure à 3000mm) et les fonds de vallée à *Mara*, *Neonauclea forsteri* et la fougère *Nahe*, *Angiopteris evecta* jusqu'à 900 m d'altitude dans les secteurs Sous-le-Vent. Aux Marquises et à la Société, les fonds de vallées ont été recolonisés par une forêt peu diversifiée à *Purau-fau*, *Hibiscus tiliaceus*, notamment après abandon des cultures (Artzner et Avagliano, 2015) ;
- la zone des forêts ombrophiles de haute altitude ou zone dite de « forêts de nuages » (dominées par des complexes à *Weinmannia parviflora-Alstonia costata* et à

Ilex anomala-Streblus anthropophagorum) et caractérisées par la présence de fougères arborescentes endémiques notamment le *Mama'u*, (*Cyathea* spp.) ;

- Ces forêts sont les plus sensibles d'un point de vue écologique car elles renferment une flore complexe et peu perturbée (Meyer, 2010). On note toutefois l'impact de certains ouvrages hydroélectriques et routes traversières sur ces communautés floristiques. Malheureusement celles-ci sont menacées par l'arbre envahissant *Miconia calvescens* sur Tahiti, Moorea et Raiatea.
- Les maquis sommitaux sont présents sur toutes les crêtes et les pics d'altitude des îles hautes de la Société, des Marquises et de Rapa (Australes), avec une zone subalpine au-dessus de 2 000 mètres uniquement présente à Tahiti. L'importance des maquis sommitaux en termes d'enjeux environnementaux est énorme. Ces derniers (notamment sur les îles hautes de la Société, Marquises et de Rapa) sont en effet riches en espèces endémiques.(Meyer et Taputuarai, 2006). La flore y est caractérisée par une végétation orophile adaptée aux basses températures et stress hydrique (dominance de *Weinmannia- Vaccinium- Leptophylla* et herbacée à *Astelia- Machaerina*).

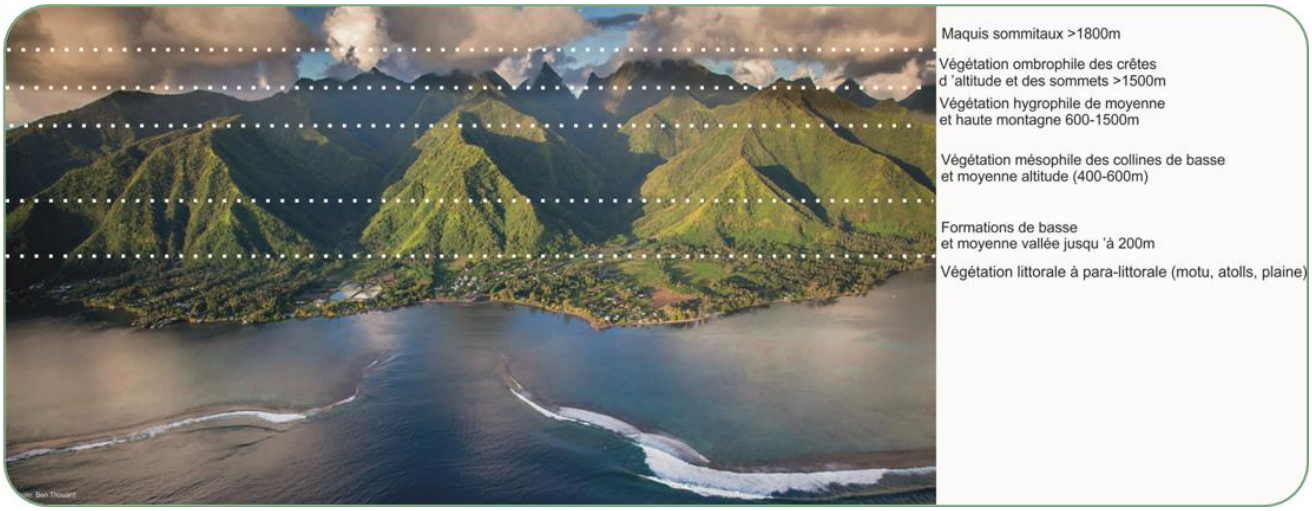


Figure 20 : Répartition de la flore des îles hautes de Polynésie française.

4.2.4.2. Flore envahissante

Certaines espèces viennent perturber l'équilibre des écosystèmes insulaires. Ces espèces, principalement introduites par l'homme depuis l'étranger, se sont adaptées aux conditions climatiques de Polynésie française et se sont multipliées et dispersées par leurs propres moyens.

Toutes les espèces introduites ne deviennent pas envahissantes. Mais certaines prolifèrent jusque dans les milieux naturels. Une fois installées dans ces milieux fragiles, elles vont interférer avec les espèces indigènes naturellement présentes en limitant leur reproduction et leur développement. En Polynésie, 46 espèces sont ainsi été classées menace pour la biodiversité par la Direction de l'Environnement (Figures 23 et 24). Le Code de l'Environnement interdit leur multiplication, leur transport, leur commercialisation et autorise leur élimination.

Nom scientifique	Famille botanique	Nom commun
Acacia farnesiana	Légumineuses	Mimosa de Farnèse, Cassie jaune, Acacia, jaune, Mimosa bush
Antidesma bunius	Euphorbiacées	Arbre qui pue, Laurier de Chine
Ardisia elliptica	Myrtacées	Ardisia, Ati popa'a
Castilla elastica (syn. Castilloa elastica)	Moracées	Arbre à caoutchouc, Mexican rubber tree
Cecropia peltata	Cécropiacées	Parasolier, Faux-ricin, Arbre trompette, Bois-canon
Chrysobalanus icaco	Chrysobalanacées	Coco plum, Pomme-icaque, Prune coton
Cinchona pubescens (syn. C. succirubra)	Rubiacées	Quinquina, Arbre à quinine, Quinine tree
Egeria dansa (syn. Elodia densa)	Hydrocharitacées	Elodée du Brésil, Brasilian waterweed
Eugenia uniflora	Myrtacées	Cerisier de cayenne, Pitanga, Surinam cherry
Falcataria moluccana (syn. Paraserianthes moluccana, albizia falcataria)	Légumineuses	Falcata, Molucca albizia
Flemingia strobilifera (syn. Moghania strobilifera)	Légumineuses	Queue de crevette, Sainfoin du Bengale, Luck plant
Furcraea foetida	Agavacées	Aloes vert, Choca vert, Sisal, Mauritius hemp
Kalanchoe pinnata	Crassulacées	Herbe tortue, Air Plant
Lantana camara	Verbénacées	Tarataramoa, Lantana
Leucaena leucocephala	Légumineuses	Leucaena, Faux-acacia
Melinis minutiflora	Graminées	Mélinis, Herbe collante, Molasses grass
Merremia peltata	Convolvulacées	Pohue
Miconia calvescens	Mélastomatacées	Miconia, Pa'a honu, Velvet tree
Mikania micrantha (syn. M. scandens)	Composées	Mile-a-minute weed
Mimosa diplotricha (syn. Mimosa invisa)	Légumineuses	Sensitive géante, giant sensitive plant
Passiflora maliformis	Passifloracées	Pomme calebasse, Barbadine sauvage, Sweet calabash
Passiflora rubra	Passifloracées	Passiflore à fruit rouge, Red passion fruit
Passiflora suberosa	Passifloracées	Passiflore grain d'encre, Corky barked passion fruit
Pluchea symphytifolia (syn. P. carolinensis)	Astéracées	Pluchea, Sourbush
Psidium cattleianum	Myrtacées	Goyavier de Chine, Goyavier fraise, Tuava tinito
Rhodomyrtus tomentosa	Myrtacées	Myrte-grosseille, Rose myrtle, Downy myrtle, Féjoi
Rubus rosifolius	Rosacées	Framboisier, Thimbleberry
Schefflera actinophylla (syn. Brassaia actinopphylla)	Araliacées	Arbre-ombrelle, Arbre-pieuvre, Octopus tree
Schinus terebinthifolius	Anacardiacées	Faux-poivrier, Poivrier du Brésil, Christmas berry
Spathodea campanulata	Bignoniacées	Tulipier du Gabon, Pisse-pisse, African, tulip tree, Flam tree
Syzygnium cumini (syn. Eugenia cumini ou jambolana)	Myrtacées	Faux-pistachier, Jamelonguier, Pistache, Jambolana
Syzygnium jambos	Myrtacées	Jambosier, Pommier rose, Ahi'a popa'a, Kehika haoi
Tecoma stans	Bignoniacées	Tecoma, Yellow bells, Piti
Triplaris weigeltiana (syn. T. surinamensis)	Polygonacées	Triplaris, Long John
Waterhousea floribunda (syn. Syzygium floribundum)	Myrtacées	Waterhousea, Weeping myrtle

Figure 21 : Liste des espèces végétales envahissantes en Polynésie française.

- *Pycnonotus caffer* : bulbul à ventre rouge
- *Acridoteres tristis* : merle des Molluques
- *Circus approximans* : busard de Gould
- *Bubo virginiatus* : Grand duc de virginie
- *Euglandina rosea* : Escargot carnivore
- *Wasmannia auropunctata* : Petite fourmi de feu
- *Rattus exulans* : rat Polynésien
- *Rattus rattus* : rat noir
- *Rattus norvegicus* : rat surmulot
- *Mus musculus* : souris commune
- *Trachemys scripta* : tortue de floride

Figure 22 : Liste des espèces animales menaçant la biodiversité.

Les espèces exotiques envahissantes partagent généralement des caractéristiques communes qui les rendent difficiles à contrôler et à contenir, notamment :

- des taux de reproduction élevés, par exemple un *miconia* fertile produit des millions de graines chaque année ;
- l'absence de prédateurs naturels, en milieu insulaire les espèces indigènes ont évolué sans prédation ;

- une grande capacité d'adaptation leur permettant de se développer dans des environnements différents. Les plantes s'adapteront aux conditions climatiques, les animaux adapteront par exemple leurs régimes alimentaires.

Certaines espèces introduites ont été classées « menaçant la biodiversité » car elles avaient un impact avéré ou potentiel important sur la biodiversité. En poussant plus vite et en formant des populations importantes, les plantes envahissantes entrent en compétition avec les plantes indigènes vis-à-vis des ressources naturelles, telles que la lumière, l'eau et les nutriments du sol. Peu à peu les plantes indigènes n'ont plus assez de ressources pour se développer et se reproduire (former des fleurs puis des graines), les graines n'ont pas les conditions favorables pour germer, et les plantules n'ont pas assez de ressources pour croître. Petit à petit, le nombre de plantes de cette espèce diminue jusqu'à la quasi-disparition voire l'extinction.

La modification de la composition en espèces des différents écosystèmes va nuire aux petits animaux tels que les insectes et indirectement par effet de chaîne, aux oiseaux qui consomment les insectes, etc… La perte de sous-bois en forêt peut également influencer les propriétés du sol et notamment augmenter le ruissellement et l'érosion du sol.

Les animaux envahissants vont quant à eux nuire de plusieurs manières :

- par compétition pour la nourriture avec les espèces indigènes ;
- par prédation des espèces indigènes ;
- par transfert de maladies aux espèces indigènes.

Dans la nature, tout est lié, la modification d'un élément modifie toute la chaîne alimentaire et parfois même le fonctionnement de l'écosystème. Ces espèces peuvent également avoir un impact sur l'homme et ses activités. Ainsi les espèces envahissantes peuvent avoir des conséquences économiques et sanitaires importantes.

4.3. Milieu marin

Les récifs ont un rôle majeur de protection des côtes et, particulièrement en Polynésie, un intérêt socio-économique absolument vital pour les principaux secteurs économiques (tourisme, pêche et perle noire du Pacifique) (Gargominy et Bocquet, 2013).

Le milieu marin Polynésien dispose d'un taux d'endémisme relativement faible mais est l'objet de nombreux suivis et recherches. Globalement, près de 5 500 espèces marines ont été répertoriées à ce jour en Polynésie française parmi la flore, les invertébrés et les vertébrés. Les mollusques, les crustacés et les poissons sont les groupes avec le plus grand nombre d'espèces sachant que les niveaux d'inventaires sont inégaux selon les groupes de faune et de flore (Tableau 6). Les groupes les mieux inventoriés sont les poissons et, parmi les invertébrés, les coraux et les mollusques.

Algues	Coraux	Mollusques	Crustacés	Poissons	Tortues	Mammifères marins	Oiseaux marins
309	190	2325-2414	1013-1124	1214	5	16	28

Tableau 6 : Nombre d'espèces marines connues en Polynésie française

4.3.1. Les espèces

4.3.1.1. Flore

La flore marine est composée d'au moins 309 espèces d'algues indigènes (N'Yeurt et Payri 2006, 2007, 2009 et 2010).On note une grande disparité de la richesse d'un archipel à l'autre; l'archipel de la Société, renfermant une grande variété d'habitats, héberge la majeure partie des espèces. Concernant l'archipel des Marquises, la flore marine de cet archipel comptait jusqu'à l'expédition « *Pakaihi i te Moana 2011* » une dizaine d'espèces. Depuis cette date, 144 (à l'exclusion des *Corallinales* et des *Peyssonnelia*) ont été identifiées dans les neuf îles étudiées. Parmi ces espèces, on compte 94 *Rhodophyta* (algues rouges), 38 *Chlorophyta* (algues vertes) et 12 *Phaeophyceae* (algues brunes) avec plusieurs espèces nouvelles pour la science (Payri et *al*. 2015).

4.3.1.2. Coraux

Les coraux ou faune madréporique (les *scléractiniaires*) comprend à minima 48 genres et 190 espèces (Gargominy et Bocquet 2013). Aucune espèce n'est endémique de la Polynésie et la faune, typiquement Indo-Pacifique, est pauvre par rapport à d'autres pays insulaires, qui peuvent présenter jusqu'à 700 espèces au maximum (Créocéan, 2015).

4.3.1.3. Molusques

On distingue aujourd'hui en Polynésie française entre 2325 (Tröndle et Boutet, 2009) et 2 414 espèces de **mollusques** (Gargominy et Bocquet, 2013). Les îles de la Société et des Tuamotu présentent une richesse en espèces élevée, accompagnée par un faible taux d'endémisme. Aux Marquises, les recherches menées à ce jour laissent présager environ 500 espèces littorales et 200 profondes, une richesse probablement encore sous-estimée. Toutes les espèces de *conidae* endémiques de Polynésie sont hébergées aux Marquises.

4.3.1.4. Crustacés

Avec plus de 500 taxons, les crabes représentent en effet à eux seuls près de la moitié des crustacés *décapodes* et *stomatopodes*. Environ 1120 espèces ont été recensées dans les eaux Polynésiennes. Ce chiffre sera sûrement ramené à la hausse en fonction de l'effort de prospection. L'endémisme dans ce taxon est surtout présent aux Marquises et concerne majoritairement de petites espèces de cénobites et crabes, souvent très vulnérables aux altérations de leur milieu. Beaucoup d'espèces sont très vulnérables aux aménagements du littoral. Certains crabes, comme le *Popoti'*, sont aussi très sensibles à la pollution des rivières.

4.3.1.5. Poissons côtiers

Les poissons côtiers et récifaux peuvent être classés selon trois cortèges basés sur des indices de présence et absence. Ceux-ci sont le cortège Société, Tuamotu, Marquises et Australes-Gambier (Tableau 7).

Archipel	N espèces côtières (0-100m)	N espèces récifales	N espèces endémiques/ côtières	% endémisme	N espèces inconnues (en attente de détermination)	% endémisme possible	N sp endémiques/sp côtières
Tuamotu	619	579	2	0,5	3	0,8	2
Société	767	702	6	1,2	9	2,0	6
Gambier	259	245	0	0	1	0,4	0
Marquises	489	445	37	7,9	17	11,0	37
Australes	351	329	2	0,6	2	1,1	2
Rapa	417	382	9	2,2	7	à 7 *	9

Tableau 7 : Caractéristiques des groupes d'espèces de poissons côtiers de Polynésie française (Brugneaux et *al.*, 2010, d'après Kulbicki, 2007)

L'archipel de la Société présente une richesse majeure par rapport à l'archipel des Tuamotu en raison des apports terrigènes de ses îles hautes et de la diversité d'habitats, bien que la zone soit homogène en termes de composition des peuplements. L'endémisme est faible et ces espèce sont souvent cryptiques et de petites taille. Aux Marquises, la richesse spécifique est élevée chez les carangidés, alors que les scaridés et les acanthuridés sont moins représentés. L'endémisme est cependant très élevé (Artzner et Avagliano, 2015).

4.3.1.6. Requins

Dans les eaux de la Polynésie française, 21 espèces de requins ont été observées. On observe trois types de peuplements différents : ceux des îles hautes (12 espèces pour la Société, 11 pour les Australes et 10 pour les Marquises) ; des atolls (12 espèces) et le peuplement pélagique (7 espèces).

4.3.1.7. Mammifères marins

21 espèces de cétacés sont présentes en Polynésie française : 5 espèces de baleines à fanons, 5 de baleines à dents et 11 espèces de dauphins. La plus grande abondance de dauphins est rencontrée aux Marquises, alors que la diversité de dauphins est similaire dans les archipels des Marquises et de la Société (Poole M., comm. pers. 2015 lu dans Artzner et Avagliano, 2015).

L'archipel de la Société comporte 14 espèces (13 espèces d'odontocètes et une espèce de mysticète). Le peuplement de *delphinidae* est abondant et principalement localisé dans les eaux côtières, avec une dominance de *stenos*. Aux Marquises, 11 espèces ont été observées, dont 10 de *delphinidae* avec une faible présence de mégaptères.

Les eaux de Polynésie française sont classées depuis 2002 « sanctuaire des mammifères marins ».

4.3.1.8. Reptiles

La Polynésie est l'hôte de cinq tortues marines: la Tortue verte *Chelonia mydas,* la Tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata,* la Tortue luth *Dermochelys coriacea,* la Tortue caouanne *Caretta caretta* et la Tortue olivâtre *Lepidochelysolivacea*. Les deux premières espèces sont les plus répandues en Polynésie (Brugneaux et *al*. 2010). Un programme pluriannuel d'inventaire de sites de pontes a été engagé ; deux centres de soins sont en place (Bora Bora et Moorea); des projets de renforcement des connaissances, de protection des sites de ponte et de formation des référents sont en place.

4.3.2. Evolution des récifs coralliens

En 2014, on compte 8 réseaux actifs de suivi des récifs coralliens (suivi du *benthos*, des poissons et de la qualité des eaux) permettant de suivre les modifications de la faune, de la flore marine et des conditions environnementales (Créocéan, 2015). Ces suivis ont démontré que les récifs de Polynésie française se portaient relativement bien, exception faite des zones fortement soumises aux activités anthropiques notamment dans les îles hautes densément peuplées.

4.3.3. Causes de dégradations naturelles

Il est estimé que les peuplements des récifs coralliens forment une mosaïque spatiale et temporelle, avec des cycles qui, sur la Polynésie, s'étaleraient sur une fréquence de l'ordre de 15 à 20 ans (Adjeroud et *al*, 2009).

La période 2006-2013 a été marquée par deux évènements naturels majeurs : une infestation *d'Acanthaster plancii* (Taramea) entre 2006 et 2010 et le cyclone Oli en janvier 2010. Ces 2 évènements ont contribué à la chute brutale du recouvrement corallien (taux de recouvrement historiquement le plus faible sur Moorea après Oli). Les coraux sont également soumis au stress (et donc blanchiment) causé par l'acidification des océans et augmentation des températures bien que ce dernier avis soit désormais partagé parmi la communauté scientifique.

Notons également les évènements sporadiques de proliférations phytoplanctoniques comme agressions envers les récifs coralliens. Ces proliférations arrivent lorsque des conditions climatiques exceptionnelles se produisent à savoir un hydrodynamisme réduit en l'absence de houle et vent. Cette situation provoque alors des conditions anaérobiques conduisant à la mortalité massive de benthos et poissons. Bien que ce phénomène soit surtout observé dans les lagons des Tuamotu, ce dernier a aussi été observé dans certains lagons de la Société.

4.3.4. Causes de dégradations anthropiques

Les dégradations du milieu marin sont caractérisées par les aménagements littoraux, la sédimentation terrigène, les extractions, les pollutions liquides, la surexploitation des ressources. La résilience des communautés coralliennes dépend de la durée et de l'intensité des perturbations ainsi que de l'état initial du récif. Notons d'ailleurs qu'une perturbation ponctuelle est souvent moins dommageable pour le milieu qu'une pollution plus chronique et diffuse ne laissant pas le temps à l'écosystème de se reconstruire.

4.3.4.1. Hyper-sédimentation

L'urbanisation d'un terrain naturel et le défrichage a pour conséquence, l'augmentation du coefficient de ruissellement, du débit d'eau en sortie de site et de l'érosion des sols vers l'océan. Ces matières en suspension dites « MES » sont des matières insolubles, minérales ou organiques. Elles proviennent de l'érosion terrigène et des détritus d'origine organique. Dans les milieux aquatiques, elles se déposent au fond sous l'action de leur poids. Lorsque leur taux devient trop important, la sédimentation devient excessive : on parle alors d'hyper sédimentation. Ce surplus de matière terrigène est une perturbation naturelle commune aux écosystèmes lagonaires d'îles hautes en saison des pluies. Cependant, avec une urbanisation en hausse constante, les volumes de terre mis en jeu augmentent considérablement. De plus, la nature des sols en Polynésie rend cet impact d'autant plus important. En effet, le mamu souvent meuble s'érode facilement et se retrouve rapidement en suspension dans les eaux de ruissellement/lagon.

G. Wötling (2000) avait déjà clairement démontré l'impact de l'urbanisation et surtout l'impact des travaux de terrassement sur les bassins versants. Pour les bassins versants étudiés, les apports en matière en suspension relevés étaient les suivants :

Bassin versant/Commune	Surface	Type	Apport (t/km^2/an)	Apport Annuel (t)
Matatia - Punaauia	8,61	Peu urbanisé	60	517
Vaiami - Papeete	2,60	Très urbanisé	140	364
Atiue - Punaauia	0,85	En cours d'urbanisation	700	595

Tableau 8 : Estimation de volume terrigène pour 3 bassins versant de Tahiti (Wötling, 2000).

L'impact des travaux (terrassement et défrichage) sur l'hyper-sédimentation lagonaire est donc considérable. Signalons toutefois que les apports terrigènes importants, en période de dépressions sont moins conséquents que des apports en faible quantité en période d'eau calme, ces derniers étant plus difficilement évacués par l'hydrodynamisme des lagons.

Le seuil de pollution par hyper-sédimentation dépend de plusieurs facteurs :

- la couverture du sol : Le sol peut être recouvert de végétation (couverture naturelle ou plantée), recouvert de béton (sol urbanisé) ou nu (zone agricole, surface en travaux, etc.). Ces 3 types de recouvrement n'ont pas les mêmes conséquences sur le coefficient de ruissellement des eaux pluviales ;
- le taux d'urbanisation en aval des travaux ;
- le type d'aménagement de la parcelle concernée ;
- la pente qui définira la vitesse de ruissellement des eaux pluviales et qui influera sur la capacité érosive de la parcelle ;
- la pluviométrie de la zone (Contrairement aux attentes, les fortes pluies des périodes dépressionnaires ne sont pas les plus néfastes pour le lagon car elles sont généralement accompagnées de vents et courants suffisamment importants pour évacuer les coulées de

boues du lagon (ensachage)). Le risque est plus important lors de pluies moyennes régulières, par temps calme, déversant alors des tonnes de particules qui restent alors sur place ;

- la pédologie, la nature des sols (composition, degré d'érosion, friabilité, degré de perméabilité) influençant directement la quantité des départs de terre, car elle détermine la facilité de détachement des particules ainsi que la capacité d'absorption du sol ;
- l'hydrodynamisme du milieu récepteur : Les courants circulant à l'intérieur du lagon auront un effet sur le transport des sédiments. La courantologie est un facteur majeur dans la capacité « d'auto-épuration » du lagon.

Dans un milieu lagonaire/corallien, les MES ont des impacts d'une part physiques et d'autre part physiologiques.

Les impacts physiques sont très variés :

- un envahissement de toutes les anfractuosités du récif et piégeage des organismes qui y vivent ;
- la baisse de la biomasse par diminution de la complexité structurale du substrat ;
- le colmatage des zones de ponte des poissons ;
- le colmatage des branchies des poissons ;
- blocage de l'expansion du récif, due à une baisse de la fixation des larves de coraux sur un substrat trop mou.

Et les impacts physiologiques également importants : Les coraux vivent en symbiose avec des algues unicellulaires et photosynthétiques, les *zooxanthelles*. Les coraux utilisent l'énergie produite par ces algues, ainsi qu'une partie de leur production calcaire pour leur propre croissance. La modification des conditions de luminosité provoque un déséquilibre profond de l'écosystème récifal qui se manifeste par un changement de dominance parmi les espèces du récif. Cela se traduit par la présence d'espèces de fond, adaptées à vivre dans des conditions de luminosité réduite, à de faibles profondeurs.

A cela s'ajoute un facteur aggravant nommé la cohésion. Ce phénomène est caractérisé par l'agglomération/cohésion de petites particules. Lors de leur décantation, celles-ci s'accumulent sur le benthos, générant une couche difficilement destructurable. Sous ces couches de sédiments difficiles à remettre en suspension, se développent ensuite souvent des zones anoxiques défavorables au développement de la biodiversité (Weber et *al*, 2006).

4.3.4.2. Extractions

L'extraction et l'exploitation de granulats est un enjeu très fort en Polynésie Française. Les extractions sont centrées sur les sables de lagon, roches de rivières, matériaux coralliens et carrières terrestres. Ces extractions engendrent des impacts environnementaux indéniables qui contribuent à détruire/appauvrir les milieux biologiques. Les extractions sont responsables des :

- modifications morphologiques et de conditions hydrodynamiques ;
- hausses de la turbidité et impacts conséquents sur les écosystèmes notamment récifaux ;
- paysages altérés, notamment sous-marins ;
- hausse de foyers de développement de la ciguatera ;
- amplifications du phénomène d'érosion ;
- modifications du trait de côte.

4.3.4.3. Contaminations diverses

Le lagon est surtout soumis à contaminations telles :

- les pesticides ;
- les hydrocarbures ;
- la pollution bactérienne ;
- l'apport en sels nutritifs ;
- les métaux lourds.

Depuis 2007, le Réseau de Surveillance de Tahiti (RST) a pour objectif principal d'établir un bilan global de l'état de santé de la zone lagonaire et côtière entourant l'île de Tahiti. La qualité de l'eau et des sédiments est un des descripteurs retenus, analysée sur chacune des 32 stations réparties tout autour de l'île, tant sur les récifs frangeants que barrières. En 2011, le RST a conclu à un écosystème général de l'île de Tahiti satisfaisant.

4.4. Rivières et eau douce

Un rapport de 2009 élaboré pour le compte de la DIREN par le Bet Ethyc'o (N. Mary) a permis de dresser un bilan de certaines qualités biologiques et physico-chimiques de quelques rivières de Tahiti et Moorea. Les conclusions principales sont ici reprises.

4.4.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les **températures** relevées dans les sites d'étude se sont situées en général entre 20 et 27 °C. A Moorea, le pH de l'eau aux sites d'étude a été mesuré entre 7 et 7,5. Il est plus élevé à Tahiti où la majorité des stations d'étude échantillonnées présentent des eaux à pH compris entre 7,5 et 8,5.

La **conductivité** des eaux des rivières s'est située entre 100 et 176 µS/cm à Moorea et entre 100 et près de 300 µS/cm à Tahiti.

Les **teneurs en matières organiques** mesurées au moyen de l'oxydabilité au KMnO4 et de la DCO sont relativement faibles dans la majorité des stations d'étude (en général inférieures à 1 mg/l pour l'indice permanganate et 6 mg/l pour la DCO). Les valeurs les plus hautes sont retrouvées en aval de la Tipaerui et Punaru'u, ces vallées hébergent les deux plus grandes zones industrielles de l'île.

Les sites localisés dans les zones peu perturbées ou dans un environnement préservé présentent une très faible contamination fécale d'origine humaine ou animale. Certains sites échantillonnés en aval présentaient cependant des taux élevés traduisant l'apport de rejets d'eaux usées.

4.4.2. Macrofaune benthique

Au total, respectivement 34 600 et 19 700 invertébrés benthiques ont été prélevés au cours des campagnes d'échantillonnage réalisées de mai à octobre 2009 (Tableau 9).

La faune collectée se rapporte à une soixantaine de taxons différents. Les insectes dominent les peuplements, représentant plus de 50% et 80% des invertébrés collectés sur la période d'échantillonnage. Les insectes sont représentés par les 6 ordres suivants : les *odonates*, les *hétéroptères*, les *diptères*, les *coléoptères*, les *collemboles* et les *lépidoptères*. Les peuplements benthiques des milieux dulçaquicoles des îles de Tahiti et Moorea sont largement dominés par les *diptères* (91 à 99% des individus collectés). Le taux d'endémicité des taxa reste cependant difficile à évaluer étant donné qu'il n'a pas été encore possible d'identifier à l'espèce une partie des taxons récoltés.

Il est nécessaire de signaler que parmi les crustacés décapodes de Polynésie se trouve une espèce endémique des Marquises (*M. feunteuni*, famille des *Palaemonidae*).

Les mollusques sont faiblement représentés. Une synthèse de la biodiversité malacologique de la Polynésie Française a été réalisée par Pointier et Marquet (1990). Les auteurs répertorient 16 espèces appartenant à 6 familles dont la présence de *Neritina tahitensis*, endémique de l'archipel de la Société.

	Campagne de mai 2009						Campagne d'octobre 2009					
	Moorea		Tahiti		Total		Moorea		Tahiti		Total	
	Nomb indiv.	Abond. rel. (%)	Nomb indiv.	Abond. rel. (%)	Nomb indiv.	Abond. rel. (%)	Nomb indiv.	Abond. rel. (%)	Nomb indiv.	Abond .rel. (%)	Nomb indiv.	Abond. rel. (%)
Annélides (oligochètes, achètes et polychètes)	870	11,42	3791	14,05	4661	13,47	582	7,41	790	6,63	1372	6,94
Mollusques	248	3,26	245	0,91	493	1,42	44	0,56	583	4,89	627	3,17
Crustacés décapodes	157	2,06	185	0,69	342	0,99	90	1,15	123	1,03	213	1,08
Divers (cnidaires, planaires, nématodes, némertiens, micro crustacés, amphipodes, isopodes)	959	12,59	5755	21,32	6714	19,40	15	0,19	137	1,15	152	0,77
Acariens (Oribatidae)	1913	25,11	3003	11,13	4916	14,20	692	8,82	248	2,08	940	4,75
Insectes	3471	45,56	14012	51,91	17483	50,52	6426	81,87	10043	84,23	16469	83,29
TOTAL individus	7618		26991		**34609**		7849		11924		**19773**	
Richesse taxonomique totale	37		49		**56**		31		39		**47**	
Nombre de sites prospectés	4		13		**17**		4		14		**18**	

Tableau 9 : Macrofaune benthique collectée dans les eaux douces de Tahiti e tMoorea

4.5. Espaces d'intérêt écologique

La Polynésie Française dispose de nombreux mécanismes et plans de gestion assurant une protection totale ou partielle de certains espaces à haute valeur écologique. Ceux-ci se présentent sous diverses formes récapitulées ci-après. Notons avant tout que la Polynésie s'est dotée en 2006 d'une stratégie visant à protéger sa biodiversité à travers :

- la création de sites protégés en milieu terrestre et lagonaire ;
- la recherche continue ;
- les actions spécifiques de sauvegarde d'espèces menacées ;
- assurer le financement durable d'actions de conservation ;
- la réglementation de l'accès et la partage des avantages issus de la biodiversité.

4.5.1. Espaces règlementés

4.5.1.1. Protection des oiseaux à travers les ZICO, ZOE et AZE

Les populations des espèces les plus menacées sont les mieux connues et bénéficient d'un suivi régulier. Au total 32 zones importantes pour la conservation des oiseaux ont été décrites et 4 zones d'oiseaux endémiques, dont 3 critiques et 1 urgente, et 10 sites AZE (Alliance for Zero Extinction) ont été identifiées. La révision de la liste rouge de l'UICN fait état de 25 oiseaux menacés soit 2 de plus qu'en 2006.

4.5.1.2. Aires marines protégées et PGEM

La Polynésie comporte plusieurs espaces maritimes protégés et/ou gérés (Tableau 10). Les réserves naturelles marines qui ont été mis en place suivant le Code de l'Environnement sont constituées par la réserve intégrale de Scilly Bellinghausen, dont le plan de gestion n'a jamais été terminé, et le Fenua Aihere (Teahupoo) à la Presqu'île de Tahiti, qui bénéficie d'un comité de gestion. Des Aires de Gestion des Habitats ou des Espèces non gérés (catégorie IV selon le code de l'environnement) ont été créés dans quatre zones des Marquises : Motu One, Eiao, Hatutu et Mohotani.

Las aires marines gérées les plus notables et connues de la population sont les Plan de Gestion Espace Maritime (PGEM), qui relèvent du Code de l'Aménagement et qui fixent de façon concertée les règles d'occupation et d'utilisation des espaces maritimes d'une commune. A ce jour, les PGEM actifs concernent uniquement les îles de Moorea et Fakarava.

En résumé les zones de PGEM en Polynésie française sont :

- *adoptées* : Moorea (2004), Fakarava (2007) ;
- *à l'étude* : Tahaa, Faaa, Rangiroa, Fangatau ;
- *arrêtées* : Makemo, Bora-Bora, Anaa, Tairapu Ouest ;
- *en attente* : Punaauia, Papara, Teva i uta, Paea, Tumara.

S'additionne aux PGEM les Zones de Pêche Réglementées (ZPR) qui dépendent du Service de la Pêche et de la Direction des Ressources Marines dont les dernières ont été désignées en 2015 pour Teva I Uta et Punaauia, sur l'île de Tahiti. La plupart de ZPR ne possède pas de comité de gestion. Selon la règlementation, la pêche peut être totalement interdite comme à Faa'a (Tahiti), ou bien uniquement un certain type de pêche est proscrit (la pêche au filet n'est pas autorisée à Mahina, Tahiti) ou d'une seule espèce de poissons (*ature* à Arue, Tahiti).

Archipel	Ile(s)	Nom de la (les) zone(s) protégée(s)	Date de création	Statut	Catégorie Code de l'Envir.	Gestion	Surface marine [ha]	Surface terrestre [ha]
Société	Manuae (Scilly)		1972 (lagon) 1977 (atoll)	Reserve intégrale et zone de nature sauvage	I	non	12 041	978
Société	Motu One (Bellinghausen)		1971 (lagon) 1992 (atoll)	Reserve intégrale et zone de nature sauvage	I	non	704	0
Société	Moorea	Motu Ahi, Maatea, Taotaha, Tiahura, Tetaiuo, Pihaena, Aroa, Nuarei	2004	PGEM	II, IV, VI	oui	968,7 (8 sites)	0
Société	Maiao			*rahui* (non reconnu juridiquement)				1641
Société	Tahiti	Fenua Aihere (Teahupoo)	2014	*rahui* (reconnu juridiquement) : aire protégée de ressources naturelles gérées	VI	oui	767,6	
Société		Mahina Muriavai	1997	ZPR		non	777	0
Société		Fa'a Moana Nainai	2006	ZPR		non	60	0
Société		Arue Matavai	2007	ZPR		non	140	0
Société		Pirae Taaone	2003	ZPR		non	60	0
Société		Mahina Hotu Ora	2014	ZPR				0
Société		Teva I Uta	2015	ZPR				0
Société	Tetiaroa		2014	ZPR		non	1076	0
Société	Huahine	Lagune	1970	ZPR				0
Tuamotu	Commune de Fakarava	Fakarava, Kauehi, Aratika, Niau, Raraka, Taiaro, Toau	2006 (Réserve de Biosphère) 2007 (PGEM)	Reserve Biosphère et PGEM, *rahui*	PGEM : II, IV, VI		278 077	
Australes	Rapa		1980	*rahui* (non reconnu juridiquement)				
Australes				Projet de grande aire marine protégée en cours				
Marquises	Eiao			Aire de gestion des habitats et des espèces	IV			
Marquises	Hatutu			Aire de gestion des habitats et des espèces	IV			
Marquises	Motu One			Aire de gestion des habitats et des espèces	IV			
Marquises	Mohotani			Aire de gestion des habitats et des espèces	IV			
Marquises				Projet de grande aire marine protégée en cours				
Toute la ZEE de Polynésie				Sanctuaire mammifères marins, requins, tortues				

Tableau 10 : Récapitulatif des Aires Marines Protégées existantes en Polynésie française en 2015.
(d'après Brugneaux et al. 2010, Créocéan, 2015)

4.5.1.3. Milieu terrestre

Sur un total de 350 000 ha de terres émergées, les 19 aires terrestres protégées au titre du Code de l'Environnement (hors catégorie III) (Tableaux 11, 12 et 13) couvrent 14 236 ha, soit 4% de la surface totale terrestre de Polynésie française (Artzner et Avagliano, 2015). La surface protégée est repartie en 11009 ha pour les réserves naturelles (I), parcs territoriaux (II) et aires de gestion (IV), et plus de 3 227 ha pour les paysages protégés (V). Les aires protégées concernent 13 îles ainsi réparties : 11 dans l'archipel de la Société, 7 aux Marquises et un seul dans l'archipel des Tuamotu. Les 12 monuments naturels classés ne concernent que les îles de Moorea et Tahiti. A l'heure actuelle, l'archipel des Australes ne possède aucun espace protégé terrestre (Créocéan, 2015). Mis à part le plateau du Temehani Ute Ute a Raiatea et le parc Te Faaiti sur Tahiti, ces aires manquent de surveillance et sont peu ou pas gérées. De plus, il s'agit de milieux souvent dégradés par les espèces introduites (moutons à Mohotani et Eiao aux Marquises, par exemple) (Gargominy et Bocquet, 2013).

Nombre de sites	Catégorie Aire protégée	Dénomination des sites classés	Espaces concernés
3	Ia Ib	Réserve naturelle intégrale Zone de nature sauvage	l'atoll privé de Taiaro et les atolls de Scilly et Bellinghausen
2	II	Les parcs territoriaux	- Parc de Te Faaiti - Papenoo - Vaikivi sur l'île de Ua Huka
12	III	Monument naturel	Les 12 monuments naturels de Polynésie sont tous des sites privés et se composent de 3 cascades, huit grottes et une source
5	IV	Aires de gestion des habitats ou des espèces	Quatre AGHE se trouvent aux Marquises sur les îles inhabitées de Hatutaa, Eiao et Motane et le Motu One et une sur Raiatea (Plateau Temehani)
9	V	Paysage protégé	- plateau Tamanu à Punaauia - Te Pari, Taiarapu - motu Tapu à Bora - pointe Hotuarea à Tahiti - site de Hanavavae – Fatu Hiva - baie de Hohoi – Ua Pou - lac Vaihiria Tahiti - pointe Venus - Tahiti
-	VI	Aire protégée de ressources naturelles gérées	

Tableau 11 : Nombres de sites classés par catégorie selon le Code de l'environnement (article D.111-2)

4.5.1.4. Zones clés pour la biodiversité

Les zones clés pour la biodiversité présentées dans le Tableau 14 ont été sélectionnées par le comité de l'IUCN en Polynésie en fonction de leur importance biologique, degré de menaces et facilité de gestion du site. Seuls les Marquises et la Société sont ici proposées.

Archipel	Ile(s)	Nom du site	Classements Code de l'Environnement (DIREN)	Classements selon le code de l'aménagement (SAU)
Société	Manuae, Scilly		Réserve naturelle (I) depuis 1992 sur 3013 ha	PGA : zone naturelle de moyenne montagne
	Motu One Bellinghausen		Réserve naturelle (I) depuis 1992 sur 680 ha	PGA : zone naturelle de moyenne montagne
	Maupihaa Mopelia			PGA : zone naturelle de moyenne montagne
	Maupiti			PGA (qui intègre Bellinghausen, Scilly et Maupelia)
	Raiatea	Te Mehani 'ute 'ute	Aires de gestion depuis 2010 catégorie IV	
	Taha'a			PGA
	Huahine			PGA : zone naturelle de haute montagne ; zone naturelle de moyenne montagne
	Moorea	Moorea		PGA: zone naturelle de moyenne montagne, zone naturelle de haute montagne
	Bora-Bora	Motu Tapu	Paysage protégé depuis 1964 sur environ 11 ha	
	Tahiti	Orofero, Punnauia, Paea, Papehue		PGA (2006) : zone de protection (captage et haute montagne)
		Paea		PGA : zone naturelle de haute montagne ; zone naturelle de moyenne montagne
		Papara		PGA : zone naturelle de haute montagne ; zone naturelle de moyenne montagne
		Vallée de la Papenoo		PAD (qui comprend Te Faaiti)
		Pirea		PGA : zone naturelle de moyenne montagne
		Mahina		PGA
		Te Faaiti et Tupa	Parc naturel territorial (II) depuis 1989 sur 728 ha	
		Te Pari	Paysage protégé (V) depuis 1962-1964 sur environ 1006 ha	
		Lac Vahiria	Paysage protégé (V) sans délimitation officielle. Date : 1952	
		Pointe Hotuarea	Paysage protégé (V) sans délimitation officielle. Date : 1953	
		Belvédère de Tahara	Paysage protégé (V) sans délimitation officielle. Date : 1954	Intégré partiellement dans le PGA de Mahina
		Pointe Venus	Paysage protégé (V) sans délimitation officielle. Date : 1955	
		Plateau de Tamanu	Paysage protégé (V) sur environ 608 ha	PGA de Punaauia intègre le plateau de Tamanu

Tableau 12 : Espaces terrestres protégés, Code de l'Environnement (hors catégorie III : monuments protégés) et Code de l'Aménagement. Archipel de la Société. (adapté de Artzner et Avagliano, 2015)

Archipel	Ile(s)	Nom du site	Classements Code de l'Environnement (DIREN)	Classements selon le code de l'aménagement (SAU)
Marquises	Eiao	Eiao	Aire de gestion catégorie IV sur 3917 ha	
	Motu One	Motu One	Aire de gestion catégorie IV	
	Hatutu	Hatutu	Aire de gestion catégorie IV sur 661 ha	
	Mohotani	Mohotani	Aire de gestion catégorie IV, PGA (2011), sanctuaire, sur 1278 ha	PGA (2011) : sanctuaire, intégré dans le PGA de Hiva Oa
	Nuku Hiva	Toovii et Tekao		PGA (2008) : zone de protection (rurale, haute montagne, captages)
		Terre déserte		PGA (2008) : zone protégée (rurale, haute montagne et littorale)
		Hatuta'a	Aire protégée sur 661 ha	
	Hiva Oa	Temetiu et Feani		PGA (2011) : zone de protection de haute montagne sur environ 6600 ha
	Ua Huka	Vaikivi	Vaikivi : Parc territorial (II) date: 1997 sur 240 ha	
		îlots rochaux de Ua Huka		Arrêté communal sur 15 ha
	Ua Pou	Baie de Honoi	Paysage protégé (V) sur 729 ha	
		Poumaka, Poutetainui, Poumaka		PGA : zone de site protégé (sommets, pics, crêtes sommitales et contreforts)
	Fatu Hiva	Baie de Hanavave ou baie des vierges	Paysage protégé (V) sur 823 ha	

Tableau 13 : Espaces terrestres protégés, Code de l'Environnement (hors catégorie III : monuments protégés) et Code de l'Aménagement. Archipel des Marquises.
(adapté de Artzner et Avagliano, 2015)

ZCB	Classement ou système de gestion	Importance biologique	Degré de menaces	Facilité gestion du site	ZCB prioritaire BEST
TAHITI - *Marin*	Six Zones de Pêche Réglementées (ZPR) autour de l'île crées entre 1997 et 2015 - code de la pêche, (sites de Fa'a Moana Nainai, Arue Matavai, Pirae Taaone, Mahina Hotu Ora, Teva I Uta). *Rahui* (reconnu juridiquement) à Teahupoo (presqu'île de Tahiti): aire protégée de ressources naturelles gérées - cat. VI Code de l'Environnement	++	+++	+++	X
TAHITI - *Terrestre* Te Faaiti et Tupa	Parc naturel territorial - cat. II Code de l'Environnement depuis 1989 - 728 ha	+++	+++	++	X
TAHITI - Terrestre Aorai	Privé	+++	+++	++	X
TAHITI - Terrestre Mont Marau	Projet de classement en espace naturel protégé suspendu 2012; une partie du Mont Marau est domaine communal.	+++	+++	++	X
TAHITI - Terrestre Maraeti'a (Punaruu)	-	+++	+++	++	X
TAHITI - Terrestre Orofero (Paea), Papehue (Punnauia)	En partie privé et en partie classé PGA -Code de l'Aménagement en 2006 : Zone de protection - captage et haute montagne	+++	+++	++	X
TAHITI - Terrestre Te pari	Paysage protégé (cat. V Code de l'Environnement) depuis 1962-1964 - 1006 ha environ	+++	+++	++	X
RAIATEA-TAHAA Marin	-	++	+++	+++	X
RAIATEA - Terrestre Te Mehani ('ute 'ute, rahi, vallons perchés)	Te Mehani 'ute 'ute : Aires de gestion – cat. IV Code de l'Environnement depuis 2010 - 69 ha	+++	+++	++	X
NUKU HIVA	Proposition de classement en espace naturel. PGA (2008) : zone de protection (rurale, haute montagne, captages) : terre domaniale affecté au SDR	+++	++	+++	X
FATU HIVA	-	+++	++	++	X
HIVA OA	PGA (2011) : zone de protection de haute montagne. Site de Temehtiu-Feani (forêt de nuages) mis sur la liste des sites à inscrire à l'UNESCO pour la demande des Marquises	+++	+++	++	X
UA HUKA	Vaikivi : Parc territorial (cat. II Code de l'Environnement) depuis 1997 (240 ha) Hitikau : domaine privé du Pays, projet d'extension de la réserve naturelle de Vaikivi.	++	++	++	

Tableau 14 : Liste des Zones Clés pour la Biodiversité (ZCB) pour les Marquises et la Société et degrés d'importance fournis par les acteurs. (adapté de Artzner et Avagliano, 2015)

4.5.2. Les espèces protégés

Selon le Code de l'Environnement :

> « *après avis de la commission des sites et des monuments naturels, le conseil des ministres fixe par arrêté une liste des espèces animales et végétales en danger, vulnérables, rares ou d'intérêt particulier dont la conservation présente un intérêt conformément aux principes énoncés à l'article LP. 100-2* ».

Les espèces protégées sont classées selon deux catégories :

- catégorie A : les espèces considérées comme vulnérables ou en danger ; L'inscription d'une espèce dans la catégorie A s'appuie sur des éléments scientifiques permettant d'évaluer le statut de l'espèce : vulnérable ou en danger. Ces éléments scientifiques sont consultables par le public à la direction de l'environnement ;
- catégorie B : les espèces considérées comme rares ou d'intérêt particulier (dont les espèces dites « patrimoniales » qui ont un aspect culturel important).

La liste des espèces protégées a été modifiée et mise à jour. La catégorie A comprend :
- 167 plantes protégées, seule la synonymie a réduit le nombre d'espèces par rapport à 2006 ;
- tous les escargots terrestres de la famille des Partulidés, dont 14 espèces sont encore vivantes en Polynésie française ;
- 38 espèces d'oiseaux, soit 12 nouvelles espèces inscrites par rapport à la liste de 2006 ;
- 4 espèces de tortues marines ;
- 4 espèces de mollusques marins (2 espèces de casques, le triton conque et la moule géante) ;
- la raie Manta.

La catégorie B comprend les mammifères marins, la tortue verte, les requins et le santal.

4.6. L'air

La Polynésie Française ne dispose pas de réseau de suivi de la qualité de l'air mais l'absence d'industrie très fortement polluantes, l'isolement géographique et la faible part des émissions issues des transports à l'échelle du territoire laisse supposer que cette qualité est relativement bonne, exception faite pour les zones industrielles et le centre-ville de Papeete.

4.7. Les eaux de baignade

La qualité des eaux de baignade est suivie sur plusieurs îles de Polynésie. La qualité d'eau y est généralement bonne exception faite pour les embouchures de rivière sont les plus problématiques avec des eaux de souvent mauvaise à très mauvaise qualité (seulement 35% des embouchures de Tahiti et Moorea propres à la baignade en 2013).

4.8. Pressions sur le patrimoine naturel

4.8.1. Causes de dégradations naturelles sur le milieu terrestre

La Polynésie est soumise à divers risques et dégradations naturelles. Celles-ci sont principalement :

- les cyclones ;
- les tsunamis et la surcôte marine ;
- les mouvements de terrain ;
- les inondations ;

Un outil appelé plan de prévention des risques a permis d'identifier les zones les plus à risque face à ces aléas.

4.8.2. Causes de dégradations anthropiques

4.8.2.1. Les déchets

La problématique des déchets est rendue très complexe au regard de la configuration géographique des îles et de leur géomorphologie. 70% du gisement est produit aux IDV et de nombreuses îles restent dépourvues de centres d'enfouissement normalisés. Tahiti dispose d'un CET dont la qualité du milieu récepteur est soumise à suivis environnementaux.

4.8.2.2. Le bruit

Le bruit est une nuisance récurrente notamment en zone urbaine mais aussi dans les vallées ou se réunissent souvent des adeptes de musique la diffusant à très fort volume.

4.8.2.3. Contamination directe

La majorité des atteintes à l'environnement des installations industrielles sont des pollutions du sol et de l'eau qui proviennent des dépôts et des enfouissements sauvages de déchets en tout genre ou des rejets industriels, sans traitement, dans le milieu naturel. Plusieurs de ces industries font l'objet d'un suivi en tant qu'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et sont soumises à autorisation auprès de la DIREN.

En outre, l'impact de l'extraction de granulats divers qui suscitent de plus en plus d'inquiétudes auprès de la population Polynésienne. Les granulats marins constituent 10 % des granulats extraits, les extractions fluviales 30 % et les extractions terrestres 60 % (Créocéan, 2015).

Les extractions de soupe de corail sont depuis peu beaucoup plus encadrées et rares étant donné les impacts qu'elles causent sur le milieu (fonds vaseux, destruction d'habitats, turbidité accrue, milieu favorable aux foyers de ciguatera).

En 2013, la demande en électricité s'élevait à 663 GWh dont 80% étaient destinés à Tahiti. Cette production est toujours dominée par l'énergie fossile (74%) suivies des centrales hydrauliques (24%). L'énergie renouvelable la plus répandue est l'hydroélectricité avec 160 GWh fournis annuellement.

Le solaire et éolien bien que présents sont minoritaires. Notons également le succès démontré en Polynésie des SWAC qui permettent des économies considérables en termes d'énergie dépensée pour la climatisation. Des projets d'OTEC, houlomoteurs et hydroliens sont également au stade d'études.

4.8.3. Tourisme

L'industrie touristique génère divers impacts tels :

- L'impact visuel notamment sur le DPM malgré de gros efforts de valorisation paysagère ;
- La modification du littoral (creusement de chenaux, lagunes, apport de sable…) ;
- Rejets divers et impacts sur les communautés marines ;
- Impact sur les accès publics ;
- Impact sur les déplacements lagonaires et perturbation de la circulation ;
- Une forte demande en énergie et matériaux ;

De nombreux programmes et plans de gestion/développement ont cependant pour objectif de minimiser au mieux ces impacts (labels, chartes, plans de gestion divers).

4.9. Réglementation

4.9.1. Généralité

En Polynésie française, la conservation de la biodiversité fait partie des compétences locales depuis le statut d'autonomie interne de 1984, permettant aux autorités territoriales d'adopter leurs propres instruments et lois. (Commission européenne, 2015).

Le texte fondateur sur la protection de la nature a été adopté en 1995 (délibération relative à la protection de la nature n° 95-257 AT du 14 décembre 1995). Ce texte traite notamment des espaces naturels protégés, de la protection de la faune et de la flore et des espèces menaçant la biodiversité.

Le **Code de l'Environnement** rassemble les textes juridiques relatifs au droit de l'environnement. Il regroupe, par un arrêté du 15 décembre2003, les lois spécifiques sur l'environnement depuis1 995. Depuis 2014 il existe une version consolidée.

Ce code sert également de base pour la protection des espèces de catégorie A et B et de lutte contre les espèces envahissantes (Arrêtés n.65 CM du 23/01/2006 et n.1301 du 15/11/2006). Rappelons d'ailleurs que la destruction, l'altération, la modification ou la dégradation des habitats sensibles des espèces appartenant à la catégorie A (espèces vulnérables ou en danger) est interdite, et il est possible de créer des réserves temporaires pour les habitats sensibles des espèces appartenant à la catégorie B (espèces rares ou d'intérêt particulier).

Le Code de l'Environnement répertorie également les espaces protégés (JOPF du 17 novembre 2014).

Le **Code de l'Aménagement** de la Polynésie française quant à lui date de 1964 et garde l'empreinte du modèle français. Il règle l'utilisation de l'espace du Pays, dont certaines mesures offrent des outils de gestion de l'environnement.

Les deux principaux dispositifs du Code de l'Aménagement sont le Plan de Gestion de l'Espace Maritime (PGEM) pour l'espace maritime et le Plan Général d'Aménagement (PGA) pour l'espace terrestre.

Ils ont été rendus volontairement similaires et c'est le Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme qui en a la compétence administrative.

Le **PGEM** est introduit dans le Code de l'Aménagement par la délibération n° 92-221 AT du 22 décembre 1992, art. D 133-1 et suivants et A 133-1 et suivants.

Le **PGA** détermine les zones naturelles, dites « zones N » (art. A 111-3 du Code de l'Aménagement), parmi lesquelles : les zones de protection de captage d'eau (NCE), les zones de site protégé (ND), les massifs forestiers (NDF) et les zones de risques ou de nuisances (NR) (art. A 111-5 du Code de l'Aménagement).

4.9.2. Faune et Flore

L'arrêté n° 1301 CM du 15 novembre 2006 concernant la faune introduite menaçant la biodiversité indigène/endémique de Polynésie Française.

La délibération n° 1995-257/AT du 14 Décembre 1995 concernant les espèces végétales nuisibles (liste des espèces végétales menaçant la biodiversité).

La Loi du pays n°2013-12 APF du 6 mai 2013 réglemente les domaines liés à l'introduction, l'importation, l'exportation et le transport interinsulaire des organismes vivants et de leurs produits dérivés aux fins de protection en matière de biosécurité.

L'arrêté n°296CM du 18 Mars 1996 inscrivant certaines espèces sur la liste des espèces protégées de catégorie A complété par l'arrêté N°355 CM du 20 mars 2013.

La délibération 88-184 AT du 8 décembre 1988 concernant la protection de certaines espèces marines.

La délibération 74-96 du 3 juillet 1917 concernant l'abattage des arbres.

La délibération n°13/1958 du 7 février 1958 interdisant l'arrachage et la coupe des arbres sur les rives d'un cours d'eau, et cela sur une largeur de 20 mètres à partir des bords du lit du cours d'eau.

La réglementation sur les techniques de pêche (interdiction des techniques destructrices : chimiques, explosifs ; des techniques qui entraînent une dégradation des milieux coralliens, scaphandres autonomes, la pêche au filet, …). Les techniques de pêche lagonaires sont encadrées par la délibération n°88-183 AT du 8 décembre 1988 modifiée.

La réglementation sur les espèces péchées avec une taille minimale de capture : délibération n°88-184 AT du 8 décembre 1988 modifiée par la délibération 2002-76 APF.

4.9.2. Eau

Les articles D311-1, D311.5, D333-1 et D333-2 du code de l'aménagement stipulant les modalités à respecter concernant les eaux pluviales au niveau des voies publiques, privées et des constructions.

La délibération 78128 du 3/08/1978, portant règlementation en matière d'occupation du domaine public fluvial modifié par la délibération 85-1107AT du 31/10/85.

4.9.3. Ouvrage hydroélectrique

La délibération 84-1049 du 28/12/84 relative à la demande de concession pour le recours à l'énergie hydroélectrique.

L'arrêté de concession valant autorisation de travaux immobiliers et d'occupation temporaire du domaine public fluvial (art 19 de la délibération 84-1049 AT).

4.9.4. Les déchets

Le Code de l'Environnement définit à l'article D. 212-2, trois catégories de déchets :

1. Les déchets de catégorie 1 ou déchets à risques : « Tous résidus de produits ou mélanges de produits et matériaux ayant pour propriétés d'être nocifs ou toxiques, corrosifs, explosifs, combustibles, comburants, résultant de tout emploi dont le rejet dans le milieu naturel est de nature à induire un risque, à court moyen ou long terme, pour la santé de l'être humain et son environnement ». La commune ne procède pas au ramassage de déchets à risques ;

2. Les déchets de catégorie 2 ou déchets non dangereux : « les déchets ne relevant ni de la classification des déchets à risque, ni de celle des déchets inertes » ;

3. Les déchets de catégorie 3 ou déchets inertes : « tous déchets qui, une fois déposés dans un C.E.T, ne subissent aucune transformation physique, chimique ou biologique, susceptible de porter atteinte à la santé de l'être humain et à son environnement ». Les déchets de catégorie 3 collectés par la commune sont essentiellement des encombrants.

L'arrêté D135-3 du Code de l'Aménagement et la délibération 97-90APF du 29 Mai 1997 régulent la gestion des déchets de chantier.

A noter que les communes sont désignées compétentes en matière de collecte et évacuation des déchets verts et ménagers.

4.9.5. Air, Vibrations et odeurs

Absence de réglementation stricte.

4.9.6. Bruit

Absence de réglementation stricte par rapport aux bruits de chantier. Seuls les arrêtés types d'ICPE peuvent servir de références par rapport aux nuisances sonores.

4.9.7. Santé et Sécurité

Délibération 91-013AT du 17/01/91 (Chap VIII Titre II Livre 1) de la loi n° 86-846 du 17/07/86 relative aux conditions d'hygiène et de sécurité dans les conditions de travail.

4.9.8. Energie

La loi de Pays 2013-27 du 23/12/13 relative aux principes directeurs de la politique énergétique de la Polynésie Française.

La loi de Pays n°2013-28 du 23/12/13 relative à la production d'énergie électrique.

4.9.9. Vestiges archéologiques

Loi n° 56-1106 du 3 novembre 1956 ayant pour objet, le classement des objets historiques, scientifiques ou ethnographiques et la réglementation des fouilles (Arrêté de promulgation n° 1648 APA du 8 décembre 1956). Toute découverte de vestige potentiel doit être signalée au service de la culture et du patrimoine.

4.9.10. Extraction

Délibération N° 2004-34 APF du 12/02/2004, portant composition et administration du domaine public en Polynésie Française.

Délibération N° 68-136 APF du 12/12/1968, portant réglementation de l'extraction de sable, des roches et des cailloux dans les rivières, cours d'eau et sur les bords de mer.

Délibération N° 77-142 APF du 16/09/1982, portant réglementation des carrières à Tahiti, Moorea et Raiatea avec interdiction d'extraction dans les lits des rivières et les bords de mer.

Les extractions dans les îles autres que Tahiti, Moorea et Raiatea sont régies par la délibération 68-136 du 12/12/68.

Arrêté type d'autorisation d'extraction : Arrêté N° 39-44 du 15/07/2009, portant autorisation d'extraction de matériaux sur le domaine public fluvial.

4.9.11. Evaluation d'impact sur l'environnement

Selon le Code de l'Environnement de la Polynésie Française, ces travaux nécessitent une Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE), Art D 231-1 à D239-9.

Les articles D 171.1 à D 171.9 du premier Code de l'Aménagement définissent les modalités et procédures d'instruction des Etudes d'Impact sur l'Environnement.

Les articles A 171.1 à A 171.4 du second code de l'aménagement fixent la liste des seuils des travaux et projets devant faire l'objet d'une étude d'impact environnementale.

Ces délibérations sont complétées par l'arrêté d'application n°722 CM du 27 Mai 1998 fixant les seuils de travaux devant faire l'objet d'une étude d'impact environnementale.

En outre, tout projet hydroélectrique selon les procédés employés peut être soumis à la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Un projet d'ouvrage contenant des centrales à béton ou stockages d'hydrocarbures conséquents pour les besoins du chantier peut par exemple être soumis à autorisation d'exploitation d'une ICPE par la DIREN.

4.9.12. Réglementation métropolitaine

Dans l'esprit de la loi Grenelle 1, les procédures de décision publique doivent désormais permettre de « privilégier les solutions respectueuses de l'environnement, en apportant la preuve qu'une décision alternative plus favorable à l'environnement est impossible à coût raisonnable ». L'approbation ou l'autorisation d'un projet ne peut donc intervenir que si aucune autre alternative réalisable moins pénalisante pour l'environnement n'est possible au regard des enjeux en présence. Compte tenu des connaissances scientifiques et techniques déjà acquises, il est désormais admis que « tout n'est pas compensable ». Les atteintes aux enjeux environnementaux majeurs doivent donc être, en priorité, évitées.

Les installations hydroélectriques relèvent de deux principales législations :

- Loi du 16 octobre 1919 sur l'utilisation de l'énergie hydraulique, codifiée au livre 5 du code de l'énergie ;
- Loi sur l'eau du 3 janvier 1992, codifiée au titre I du livre 2 du code de l'environnement et constituant la base juridique de la « police de l'eau ».

Par ailleurs, la Directive Cadre Européenne sur l'Eau établit un cadre pour la protection des eaux intérieures de surface, des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines, qui :

- prévienne toute dégradation supplémentaire, préserve et améliore l'état des écosystèmes aquatiques ainsi que, en ce qui concerne leurs besoins en eau, des écosystèmes terrestres et des zones humides qui en dépendent directement ;
- promeuve une utilisation durable de l'eau, fondée sur la protection à long terme des ressources en eau disponibles.

Le recueil de textes métropolitains pour l'hydroélectricité est accessible à partir du lien :
http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/REC_hydroelectricite_maj_septembre_2014.pdf

4.9.13. Spécificité du débit réservé

Aucune réglementation relative à la notion de débit réservé n'est applicable en Polynésie française pour les ouvrages modifiant l'écoulement d'un cours d'eau.

Usuellement, c'est un article du Code de l'Environnement de métropole qui est cité, article L. 214-18 du 30 décembre 2006. Ce texte prévoit que :

> « *Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite* »

Le texte apporte également une limite applicable à ce débit réservé. Ce débit ne doit pas être inférieur au dixième du module interannuel du débit moyen à l'endroit de l'ouvrage. Le débit moyen interannuel doit pouvoir être calculée à partir de mesure sur une période minimal de cinq années.

Le débit (moyen) interannuel, ou module interannuel, est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels sur une période de *n* années.

Une dérogation est apportée pour les cours d'eau dont le module interannuel dépasse 80 m^3/s. Cette valeur est très largement supérieure au régime des cours d'eau Polynésien. A titre de comparaison, le débit moyen du plus large cours d'eau de la Polynésie, la rivière de la Papenoo, est de 12 m^3/s.

Pour certain cours d'eau le régime hydrologique présente une très forte variabilité entre les débits moyens et les débits d'étiage. Cette variabilité peut apparaître « atypique » au regard des variations moyennes d'une rivière française. Il est alors possible de déroger à la limite planché en ne considérant plus le débit réservé mais un « régime hydraulique réservé » en modulant le débit réservé en fonction de la période de l'année. Toutefois ces dérogations ne seront appliquées qu'au cas par cas et à la lecture d'une étude complémentaire et spécifique, réalisée par l'exploitant, la compatibilité entre le régime réservé proposé et l'obligation de garantir en permanence la circulation et la reproduction des espèces vivants dans les eaux.

En cas d'étiage exceptionnel, le préfet, le représentant de l'état, peut ponctuellement fixer le débit réservé en dessous du minimum légal.

Les obligations relatives au minimum légal prévues à l'article L. 214-18 s'appliquent aux ouvrages existants, lors du renouvellement de leur titre d'autorisation.

4.10. Impacts des ouvrages hydroélectriques

Les barrages et les seuils en rivières sont des infrastructures qui intrinsèquement modifient les flux liquides, les flux solides, les flux de matières et d'organismes et le régime thermique des cours d'eau sur lesquels ils sont implantés.

Les fonctions générales de ces cours d'eau, liées avec les services écosystémiques (régulation des flux sédimentaires, hydriques, organiques, régulation thermique, dépollution, biodiversité, équilibres dynamiques des zones aval fluviales et côtière), sont irrémédiablement modifiées.

Ces transformations peuvent générer des altérations dont l'importance est évidemment fonction de la taille des ouvrages (hauteur du barrage, configuration de la retenue, des prises d'eau et de restitution, des modalités d'exploitation) ainsi qu'à leurs localisations et emprise totale au sein du réseau hydrographique.

Les impacts générés par ces structures sont généralement des distorsions des cycles hydro-sédimentaires et thermiques ainsi que des effets dits « barrière » vis-à-vis des différents habitats nécessaires à l'accomplissement des cycles vitaux des organismes aquatiques.

Les différents impacts potentiels de l'implantation d'un barrage peuvent se décomposer entre compartiments abiotiques (débits, sédiments, chimie et thermie) et biotiques (organismes aquatiques).

Evidemment, l'influence des barrages ne se limite pas à leur seule emprise sur le lit d'un cours d'eau, mais entraînent des modifications en amont et en aval de l'ouvrage.

4.10.1. Conséquences à l'amont des ouvrages

Il convient surtout de considérer les conséquences biotiques, particulièrement les migrations de faune d'eau douce qui ne peuvent être fragmentées. L'écosystème connaît une transformation due aux modifications d'habitats induites par l'implantation d'un ouvrage. Et les espèces usuelles sont souvent modifiées.

S'engage alors une multiplication d'habitats lentiques, avec une variété d'espèces réduite et une biodiversité très diminuée dans les zones impactées (Nicolas et Souchon, 2011).

Un autre risque d'impact à l'amont d'un aménagement est lié au développement toujours possible dans la retenue (et berges) d'espèces exotiques. Certaines de ces espèces sont particulièrement envahissantes et peuvent engendrer des effets irrémédiables de la faune et de la flore indigènes, allant jusqu'à l'extinction d'espèces endémiques. Il est primordial de prévenir l'introduction de ces pestes biologiques.

4.10.2. Effets locaux

Il est important de considérer dans cette section :

Les **effets abiotiques** (sur les composants non biologiques) en appréciant le taux de renouvellement des masses d'eau, les risques éventuels de stratification thermique, d'accumulation de sédiments, d'enrichissement en nutriments et/ou d'éléments toxiques dans les sédiments fins.

Les **effets** dits **biotiques** qui impacteront plutôt les populations de macro invertébrés et poissons qui seront alors modifiées. Dans la plupart des cas ne s'installeront que certaines espèces propres aux milieux lents et leur nombre sera réduit (perte de biodiversité et banalisation du peuplement).

La nouvelle composition faunistique dépendra ainsi des nouvelles conditions chimiques, thermiques, et de la nature des habitats. Du point de vue des habitats, il conviendra d'évaluer les risques d'ennoiement de zones remarquables (e.g., zones de repos ou d'alimentation d'espèces protégées, frayères, zones humides)et la fonctionnalité du nouveau plan d'eau créé.

Il est à noter que la faune d'eau douce en Polynésie est adaptée à des régimes torrentiels mais peu diversifiée. Les récentes observations et études sur les anguilles (vallées de la Papenoo et de la Punaru'u) ont permis de constater qu'elles arrivent à franchir des ouvrages de retenue conséquents en les contournant par la terre ferme ou en empruntant des canaux de fuite.

Il en est de même pour les *goobidés* et certains crustacés type chevrette qui arrivent à contourner ces ouvrages grâce à leur morphologie adaptée. Sur la Punaru'u cependant, les tendances après 1 an d'échantillonnages laissent suggérer que malgré cette capacité de franchissement, les anguilles sont plus nombreuses à l'aval du captage avec une biomasse importante à l'embouchure.

4.10.3. Effets aval

4.10.3.1. Effets abiotiques

C'est à l'aval de la retenue d'eau que les conséquences seront véritablement conséquentes. Le premier effet abiotique à étudier est évidemment le régime hydrologique devenu artificiel qui régit l'ensemble des dynamiques d'écoulements (durée, intensité, fréquence et saisonnalité).

De nombreuses tentatives de réhabilitation des cours d'eau prouvent que les essais « périphériques », comme l'ajout de substrat déficitaire, la facilitation du franchissement pour les poissons sont majoritairement réalisés à des échelles très locales et ne suffisent pas à restaurer convenablement des équilibres biologiques (Kondolf et *al*. 2008). Seules des opérations ayant une action sur le débit, son volume et sa variabilité pourrait avoir un effet.

Parallèlement, il ne faudrait pas occulter les paramètres de qualité physico-chimiques et écologiques du milieu :

- la température qui conditionne la vitesse des réactions chimiques et biochimiques ;
- les modifications de qualité physico-chimique de l'eau ;
- la dynamique des sédiments. Le piégeage des matériaux dans la retenue peut conduire à un déficit sédimentaire grossier à l'aval d'un ouvrage et généralement à l'incision du lit mineur, à l'augmentation de la taille du substrat et au phénomène de pavage.

Rappel : la composante fine de sédiment stockée par l'ouvrage peut aussi s'avérer problématique lorsqu'elle est rejetée à l'aval, cela dépendant des modalités de gestion des ouvrages : il faudra s'intéresser aux solutions envisagées pour le curage du réservoir et au devenir des boues extraites. Il conviendra d'être attentif aux éventuels problèmes toxiques ou organiques pouvant se surajouter.

4.10.3.2. Effets biotiques

Les impacts sur les transformations d'habitat et compartiments structurants sont capitaux dans l'appréciation de la sévérité des altérations induites par un ouvrage.

S'agissant des impacts sur les composantes floristiques et faunistiques, ils résultent de l'interaction complexe entre les différents paramètres abiotiques mentionnés précédemment et leur degré de modification, et des interactions biotiques nouvellement créées.

L'impact écologique est très corrélé à l'amplitude de modification des débits. La littérature emploie de plus en plus le terme d'homogénéisation des biocénoses (banalisation des biotopes) pour qualifier la conséquence de ces débits modifiés sur les habitats.

Les études menée par Brasher (1997) sur l'île Hawaïenne de Molokai sur deux cours d'eau (l'un naturel et l'autre comportant une série de déviations dans sa partie supérieure) a ainsi montré que la disponibilité des habitats était largement réduite dans le cours d'eau détourné.

Cette réduction dans la disponibilité des habitats se traduit par une plus faible densité de poissons indigènes et un plus grand chevauchement des habitats utilisés par les différentes espèces (goobidés notamment). Ces conclusions ont également été vérifiées par Kinzie et *al.* (2006) sur une prise d'eau de la rivière Wainiha sur l'île de Kaua'i (Hawaii).

4.10.3.3. Effets distants

Les modifications des différents flux évoqués peuvent avoir des répercussions lointaines qu'il faut analyser. Ce peuvent être des effets sur la morphologie, par manque de renouvellement et d'apport de substrat grossier (Il semblerait d'ailleurs à ce sujet que le littoral de Papenoo régresse depuis l'apparition de barrages et opérations importantes d'extractions en rivière (phénomène accentué par les ouvrages de protection récents de la route)) (Créocéan, 2015).

Les effets doivent ainsi également être appréhendés au niveau côtier et dans les estuaires. En effet, il faudrait apprécier en quoi les nouvelles configurations d'aménagement jouent sur les différents bilans de flux et de concentrations pour ces milieux récepteurs, avec une attention toute particulière à apporter au bilan sédimentaire (notion d'apport suffisant à raisonner), aux périodes éventuellement critiques (ex. bouchon vaseux) avec leur durée associée et au bilan chimique.

Ici encore, tout est question de proportion, d'intensité d'altération, qu'il convient d'apprécier par un raisonnement plus global que celui communément appliqué.

4.10.4. Notion d'impact cumulé

D'un point de vue écologique, les situations avec plusieurs ouvrages sur un bassin s'accompagnent d'une fragmentation des habitats, dont les effets peuvent se traduire par l'élimination des certaines espèces de poissons de toute une partie du linéaire, par la fragmentation des populations en plusieurs sous-populations s'isolant génétiquement, ou par la réduction de la taille des stocks résiduels et plus généralement par une perte de résilience (Gosset et *al*., 2006)

Notons également l'altération des capacités optimales de transformation de la matière organique des bassins versants interceptés qui en fonctionnement normal peuvent fournir une eau de qualité utilisée pour la potabilisation.

4.10.5. Autres considérations

Dans le cas où des impacts négatifs résiduels demeurent après les phases d'évitement et de réduction pour l'implantation de nouveaux aménagements, le projet ne pourra être approuvé ou autorisé que s'il est démontré que le projet justifie une raison impérative d'intérêt public majeur.

Cette notion d'intérêt public majeur renvoie à un intérêt à long terme du projet, qui apporte un gain significatif pour la collectivité, du point de vue socio-économique ou environnemental. Pour que la raison impérative d'intérêt public majeur du projet puisse être retenue, l'intensité du gain collectif doit être d'autant plus importante que l'atteinte aux enjeux environnementaux est forte.

4.10.6. Synthèse des impacts potentiels à prendre en compte

Le tableau complet des impacts potentiels à prendre en compte et renseigné dans l'Annexe 3 de ce document.

4.10.7. Mesures compensatoires, réductrices et suppressives

L'étude d'impact d'un projet hydroélectrique se doit d'avoir une approche écosystémique du projet dans laquelle les hommes, les terres, l'eau et les ressources vivantes sont intégrées afin de favoriser la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles.

Un impact sur l'environnement peut se définir comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains), en comparaison de la situation probable advenant la non-réalisation du projet.

Une mesure compensatoire est une « action écologique visant à compenser, restaurer ou recréer un milieu en contrepartie d'un dommage à l'environnement naturel provoqué par un projet ou un document de planification ».

En règle générale, trois types des mesures sont proposés pour pallier aux impacts identifiés de tels projets:

- les mesures suppressives visant à supprimer l'impact ;
- les mesures réductrices visant à réduire l'impact ;
- les mesures compensatoires, recommandées pour compenser les dommages d'un impact inévitable.

Ces compensations peuvent par exemple être :

- des travaux de restauration de milieux ou d'espèce (réintroduction d'espèce, confortements de populations) ;
- des opérations de gestion (conservatoire et/ou restauratrices) ;
- des processus immatériels (ex : formation ou sensibilisation des usagers ou gestionnaires des sites) ;
- des opérations de protection (ex : création d'une réserve naturelle).

Elles doivent théoriquement rétablir une situation d'une qualité globale au moins proche, si ce n'est meilleure, de la situation antérieure, ou un état de l'environnement jugé fonctionnellement normal ou idéal (La directive cadre sur l'eau métropolitaine a par exemple comme objectif le "bon état écologique" des milieux aquatiques).

Il existe divers types de compensation écologique : la compensation exigée dans le cadre réglementaire d'un pays (inapplicable en PF), et la compensation issue d'un engagement volontaire du maitre d'ouvrage comme c'est actuellement le cas en PF.

Dans ce deuxième cas, ces actions de compensation écologique volontaires entrent dans le cadre de la mise en œuvre de « bonnes pratiques » pour leur stratégie de conservation / valorisation de la biodiversité et des communautés.

4.11. Banques de compensation

Les banques de compensation sont un système de gouvernance décentralisé assez récent et souvent controversé. Ce système n'a jamais à notre connaissance été appliqué en Polynésie et n'en est qu'à ses débuts en métropole (malgré la directive européenne établissant un cadre de responsabilité environnementale fondé sur le principe "pollueur-payeur" de 2004).

Le principe de l'offre de compensation est d'anticiper la demande en créant un stock permanent de compensation (ou de projets de compensation) que ces aménageurs pourront acheter, parfois sous forme d'unité de biodiversité au lieu de s'occuper eux-mêmes de les mettre en œuvre.

Des actions de conservation (de zones humides surtout) puis des "unités de biodiversité" peuvent ainsi être achetées par des maîtres d'ouvrage en guise de mesure compensatoires (obligatoire ou volontaires).

COMPENSATION UNIQUE	BANQUES DE COMPENSATION	FONDS DE COMPENSATION
Mise en œuvre au cas par cas	Mécanisme basé sur l'échange de crédits de compensation	Mécanisme basé sur la collecte de fonds
Réalisation au cas par cas directement par le maître d'ouvrage ou un sous-traitant des mesures compensatoires	Achat de crédit de compensation à une tierce partie (la banque de compensation) qui se charge de la mise en œuvre des mesures compensatoires	Participation financière à des programmes de restauration ou de conservation

Figure 23 : Les différents mécanismes de compensation dans le monde

Plusieurs effets pervers ou collatéraux sont possibles :

- risque de déresponsabilisation partielle, quand il y a déconnexion spatiotemporelle de la compensation de l'impact réel ; en effet, dans ce système l'achat d'une unité de biodiversité vaut acquittement d'obligations de compensation, alors qu'en réalité, souvent les fonctions écosystémiques du milieu dégradé ne seront pas compensées localement ou typologiquement ;
- les acteurs les plus riches peuvent se permettre de détruire plus de milieux naturels, et des milieux plus précieux, tout en évitant d'avoir à proposer une « juste compensation » c'est-à-dire des mesures compensant les services écosystémiques détruits ou dégradés par l'aménagement, là où ils l'ont été ou le seront ;
- un risque existe de laisser croire que tout est compensable, or certaines pertes (un taxon, une espèce, une diversité génétique disparues par exemple) ne sont pas compensables.

Une véritable compensation ne peut donc être évaluée qu'avec ces équipes d'écologues compétents travaillant en toute transparence et disposant d'une maîtrise parfaite de l'historique du projet de la valeur écologique de la zone affectée.

4.12. Compensation d'un projet hydroélectrique en PF

La compensation doit se retrouver dans les exigences imposées aux porteurs de projets sollicitant des financements auprès des bailleurs. Nous pouvons ainsi prendre en exemple le standard du BBOP ou de la société financière internationale (SFI) dont la norme de performance PS6 assurant équité sociale et environnementale fut reprise par plusieurs institutions financières dans un cadre de référence appelé Principes de l'Equateur.

Ainsi, sous l'impulsion des institutions financières, l'obligation de compensation des impacts résiduels des projets acquiert désormais une place importante dans la prise de décision des aménageurs (on parle alors de compensation volontaire quand elle n'est pas imposée par la règlementation comme c'est toujours le cas localement).

En effet, en Polynésie Française, le système de compensation local le plus fréquent est celui de la compensation unique. Il s'agit d'une mesure compensatoire sur mesure, adaptée aux impacts résiduels de chaque projet.

Dans ce contexte, les risques d'ingérence sont cependant nombreux et il conviendra donc de veiller à ce que la compensation n'accélère pas le désengagement du territoire et de l'Etat notamment en matière de financement des aires protégées. Afin de prévenir ces risques, le pays a ainsi intérêt à formuler des politiques locales à même de rendre possible le financement d'actions de restauration et de conservation de la biodiversité par le secteur privé.

Suite à nos discussions avec plusieurs écologues et experts du milieu naturel dans le cadre de ce rapport, il fut porté à notre attention que l'apport de fonds permettant de créer et/ou gérer des espaces naturels protégés serait en effet une idée judicieuse permettant de compenser les dommages environnementaux d'un projet hydroélectrique.

Ainsi, allouer une part du budget d'un tel projet à la conservation d'espaces naturels permettrait d'assurer la mise en place de sanctuaires et d'actions concrètes permettant de sauvegarder des espaces et/ou une biodiversité en péril.

Sans bien sûr renier les mesures simples de chantier vert que nous présenterons ci-après, nous insistons donc surtout sur l'adoption de stratégies alternatives en complément d'une simple stratégie d'atténuation.

Le succès d'un tel mécanisme de compensation est néanmoins subordonné à des conditions rigoureuses qui comprendront :

- une bonne base d'information et un personnel qualifié disponible pour formuler des choix complexes pour les décideurs ;
- un cadre juridique adéquat et des mécanismes de conformité ;

- un processus coopératif avec l'équipe projet et les acteurs ;
- le contrôle des réactions et l'évaluation de la mitigation mise en place ;
- des ressources financières et institutionnelles adéquate.

Les chapitres suivants présenteront les mesures concrètes à mettre en place :

- avant l'obtention de permis de travaux (l'état initial de l'environnement) ;
- pendant le chantier ;
- en phase d'exploitation.

4.13. Etat des lieux initial, une étape clé avant l'autorisation de travaux

L'étude d'impact doit nécessairement préciser les modalités essentielles et pertinentes qui permettront d'assurer un suivi des impacts. Pour cela, il conviendra de préciser les protocoles et indicateurs pressentis pour mesurer les impacts résiduels des aménagements.

Un recensement initial est donc nécessaire pour établir un état de référence permettant d'évaluer et adapter les modalités de gestion ultérieures.

Ce chapitre se veut être un listing simplifié des études préliminaires à effectuer afin de réaliser l'état initial de la zone d'étude et réaliser un « point zéro » de l'environnement naturel, physique et humain.

Les points suivants seront ainsi abordés :

1. Où échantillonner ?
2. Réalisation d'un état de référence de la faune et flore terrestre de la zone d'étude
3. Etat de référence du milieu marin de l'embouchure
4. Etat de référence de la biocénose et du biotope de la rivière
5. La notion de débit réservé
6. Quels dispositifs de franchissement pour quels poisons?
7. L'intégration paysagère
8. L'archéologie et sa cartographie
9. La communication auprès du public et le recueil de doléances

4.13.1. Où Echantillonner ?

La position des stations d'étude pour la réalisation de l'étude d'impact sur les milieux aquatiques d'eau douce est cruciale et est déterminante pour la fiabilité de l'analyse et le suivi sur le long terme du biotope et de la biocénose.

L'échantillonnage et le suivi des paramètres devra se concentrer à minima sur :

- les linéaires de référence ;
- les linéaires court-circuités ;
- les linéaires influencés ;

- l'emplacement et l'objectif des stations à mettre en place dans chaque type de linéaire sont ainsi récapitulés :

Le linéaire de référence

Description	Le linéaire de référence est un site hors de toute influence de l'aménagement considéré (sans impact anthropique).
Station obligatoire	**Où?** : Le linéaire de référence doit avoir une typologie identique au cours d'eau affecté et recenser les données relatives à l'hydrologie, les propriétés physico-chimiques sur un cycle annuel les peuplements aquatiques….

Le linéaire court-circuité

Description	Il s'agit du linéaire le plus modifié et le plus sensible. Une définition argumentée du régime réserve auquel ils seront soumis est indispensable. Ces stations seront en effet essentielles pour corriger d'éventuels impacts dus à la mise en débit réservé.
Station obligatoire	**Où ?** sur le tronçon court-circuité

Aval/Restitution

Description	Les stations aval permettent d'apprécier les impacts des eaux dérivées en termes physicochimiques et biologiques.
Station obligatoire	**Où ?** En aval de la restitution/ à l'embouchure

4.13.2. Etat initial de la faune et de la flore terrestre

Chaque vallée est sensible et dispose de ses propres caractéristiques. La vallée de la Papeiha en est un exemple parfait. Celle-ci dispose de nombreuses espèces de plantes endémiques protégées et remarquables.

Les espèces d'oiseaux, escargots, plantes ainsi que leurs habitats de prédilection devront être recensés et cartographiées. Les cartes de sensibilité écologique basées sur les données de végétation/habitats devront permettre de cibler les zones à enjeux principaux.

Les prospections de terrain à mettre en œuvre sont classiques et porteront sur l'ensemble de la zone d'étude définie, en particulier sur la zone vouée à être inondée et/ou altérée pour les besoins du projet (piste d'accès inclues).

Nous rappelons également lors de cette phase de pré-travaux l'importance :

- d'obtenir les dérogations nécessaires relatives à la destruction potentielle de plantes protégées si celles-ci sont avérées ;
- de créer un plan de prévention environnemental des travaux avec pénalités applicables en cas de manquement.

4.13.3. Etat initial du milieu marin de l'embouchure

Les ouvrages hydroélectriques sont susceptibles d'affecter les communautés marines en aval.

L'objectif est de caractériser le milieu marin selon les méthodes les plus adaptées au type de milieu et d'en établir une base de référence dans le cadre d'un suivi sur le long terme.

Il conviendra de se rapprocher d'un bureau d'études spécialisé qui établira les modalités de suivi en prenant notamment en compte : les peuplements ichtyologiques, récifaux et benthiques, la courantologie et les profils sédimentaires.

4.13.4. Etat de référence de la biocénose et du biotope de la rivière

L'écosystème aquatique entretient de nombreuses relations avec les milieux alentours (forêts rivulaires, plages, rives et au-delà) et développe en son sein des rapports et échanges très complexes : chaînes trophiques, échanges gazeux, transformation de la matière, production de biomasse.

La qualité et la nature de ces échanges ainsi que la composition de l'écosystème sont fortement dépendants des conditions altitudinales, climatiques, hydrauliques et géologiques. Elles dépendent aussi, et parfois à défaveur, des activités anthropiques.

La description de ces milieux naturels doit être basée sur un niveau d'investigation adapté des différents compartiments de l'Ecosystème de la rivière afin de caractériser l'état de ses fonctionnalités et en établir un état de référence précis.

Ce sous-chapitre est ainsi scindé en deux composantes à caractériser :

- le **biotope** qui est constitué des éléments relatifs à l'hydrologie, la morphologie du lit, la ripisylve et la qualité physico-chimique de l'eau ;
- la **biocénose** qui est composée de la végétation et espèces aquatique, notamment les peuplements piscicoles et des Marco invertébrés benthiques.

Caractérisation du biotope
Morphologie et hydrologie

La morphologie du cours d'eau correspond à la forme qu'adopte une rivière en fonction des conditions climatiques et géologiques. Leur aspect évolue ainsi d'amont en aval mais également de façon transversale. On parle alors de faciès découlement.

De manière générale, nous avons l'impression que les rivières ont un cours dont le tracé évolue peu. Cela s'explique par le fait que les cours d'eau sont en perpétuelle recherche d'un équilibre entre la forme de leur lit et leurs débits. Les dépôts de sédiments tendent à compenser les arrachements. Il s'agit en fait d'un équilibre dynamique.

Naturellement, et lorsque des ouvrages hydrauliques ne perturbent pas leur fonctionnement, les cours d'eau se composent d'une mosaïque de faciès dont la diversité conditionne la richesse de la faune et de la flore. Ces différents visages que prend la rivière ne sont pas figés dans le temps ; ils sont en perpétuelle mutation.

Il conviendra alors de bien catégoriser les aspects suivants afin d'établir le profil morphologique du cours d'eau affecté :

- la sectorisation
- la pente
- la géométrie et granulométrie du lit mineur
- le faciès d'écoulement
- les mesures hydrodynamiques
- la nature du transport solide
- la géométrie des berges
- la structure des berges
- l'érodabilité des berges
- les zones humides annexes
- la connectivité
- le colmatage

La **ripysilve**, partie intégrante de la morphologie d'une rivière devra également être catégorisée/cartographiée. En effet, elle exerce un contrôle important sur les conditions physiques du milieu aquatique et est directement impliquée dans la structure, le métabolisme, la productivité et l'évolution des Ecosystèmes d'eau courante. Il conviendra ainsi de renseigner :

- le type de ripisylve
- la diversité
- les espèces y compris invasives (faune et flore)
- l'état général et son évolution la nature du transport solide
- le % d'occupation sur chaque tronçon étudié
- le recouvrement du lit mineur
- son "épaisseur"
- les profils en travers

Mise en place d'un suivi de la qualité des eaux

Tout projet hydroélectrique à venir doit mettre en place des suivis des paramètres physico-chimiques de l'eau notamment des matières en suspension dans la rivière et l'embouchure afin d'obtenir des données de référence sur la charge solide du cours d'eau (sur un cycle hydrologique complet).

Les données physico-chimiques renseignent sur la qualité de l'eau, son évolution et sa compatibilité avec les usages. Elles constituent un paramètre prépondérant de la répartition des espèces et sont un indicateur du fonctionnement de l'écosystème aquatique. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont obtenues à partir d'analyses de prélèvements d'eau. Elles constituent une information indispensable mais généralement instantanée.

NB : Pour aller plus loin, ces analyses d'eau peuvent éventuellement être utilement complétées par des analyses physico-chimiques sur les sédiments ou les bryophytes qui, en fixant de façon continue les éléments toxiques susceptibles d'être présents dans l'eau, intègrent les variations spatio-temporelles des teneurs de ces différents éléments.

La définition d'un protocole d'étude de la qualité physico-chimique de l'eau doit reposer sur une bonne connaissance du bassin versant, de l'hydrologie du cours d'eau et des rejets existants. C'est la sensibilité du milieu, la complexité et l'importance des problèmes posés, qui permettront de déterminer les sites et nombre de campagnes d'études.

La biocénose

La biocénose est composée de la végétation aquatique, des peuplements de macro invertébrés benthiques et des peuplements piscicoles. Ils sont communément utilisés comme indicateurs intégrateurs du fonctionnement du milieu aquatique.

Parmi ce compartiment on retiendra la nécessité :

- d'obtenir des données sur la végétation aquatique (macrophytes) ;
- d'obtenir des données sur les macroinvertébrés benthiques (voir notamment les guides techniques IBGN et les travaux de N.Mary sur Tahiti et Moorea) ;
- d'effectuer des campagnes d'inventaires piscicoles part échantillonnage ponctuel d'abondance, ce volet étant souvent un enjeu majeur. Ces campagnes permettront d'estimer des biomasses et de mieux connaitre la dynamique des populations potentiellement affectées. Nous disposons par exemple aujourd'hui de techniques de pêches électriques et marquage-recapture qui ont été employées avec succès sur des anguilles de Tahiti (Punaruu, Papenoo et Opunohu notamment). Ces anguilles sont ainsi marquées puis relâchées afin d'être recapturées plus tard, permettant ainsi de suivre leur dynamique de population et migration/évolution en fonction des ouvrages hydrauliques créés.

4.13.5. Débit réservé, une mesure indispensable mais mal définie

La ressource en eau est fragile et sa mauvaise exploitation ne peut garantir des écosystèmes sains et fonctionnels. Bien que la gestion qualitative de l'eau soit au centre des préoccupations actuelles, les aspects quantitatifs demeurent souvent écartés, notamment en ce qui concerne les corrélations entre flux et bon équilibre de la biocénose.

Par conséquent, il convient de s'assurer lors de la réalisation de tout ouvrage impactant la dynamique des cours d'eau de maintenir un régime réservé communément appelé débit réservé.

Pour de nombreux spécialistes, la notion de débit réservé n'est d'ailleurs plus d'actualité car elle ne se réfère qu'à des notions purement hydrauliques. Le concept d'« écohydraulique », qui intègre la dynamique du milieu dans sa globalité en prenant en compte les aspects biologiques, est aujourd'hui préféré.

Ce régime réservé a pour fonction de maintenir les services écosystémiques de la rivière et de préserver la biodiversité en aval de l'ouvrage.

La diversité des communautés biologiques concernées en Polynésie

Les habitats aquatiques sont façonnés par les régimes hydrologiques à travers deux composantes principales :

La morphologie et l'hydraulique. La première permet d'établir la forme des berges, du lit et ainsi le support des habitats de la faune. La seconde agit directement sur les organismes aquatiques en fonction de leur capacité de nage.

Selon les caractéristiques hydrauliques de tronçons de cours d'eau, les espèces seront ainsi réparties en fonction de leurs traits biologiques (fécondité, aptitude à franchir les obstacles, taille adulte, longévité, capacité de nage, position dans la colonne d'eau).

En Polynésie, les gobies d'eau douce et leur ventouse ventrale en sont un parfait exemple. On retrouve en effet ces derniers dans des zones très escarpées et difficilement franchissables. Leur ventouse centrale et leur permet d'endurer des courants puissants et franchir des obstacles considérables.

De manière générale, les peuplements des eaux douces de Tahiti sont peu abondants et peu diversifiés, principalement en raison notre isolement insulaire et du régime torrentiel des rivières qui créent des conditions environnementales très particulières.

Les végétaux aquatiques, essentiellement benthiques sont dominés par les algues microscopiques, les animaux sont surtout représentés par les poissons et crustacés.

La composition faunistique des rivières évolue de l'amont vers l'aval. Dans la zone aval, les poissons prédateurs et les anguilles constituent l'essentiel de la biomasse.

Au-delà d'une certaine altitude, et particulièrement si des cascades sont présentes, les crevettes sont dominantes en association avec quelques anguilles (*A. megastoma*) et des *Goobidés* du genre *sicyopterus* qui franchissent les obstacles grâce à leur ventouse centrale.

La majorité de la faune d'eau douce Polynésienne est *amphidrome/diadrome* (cycle eau douce/eau salée) et effectue des dévalaisons de cours d'eau pour se reproduire en mer (voir partie 1 du rapport sur les poissons, crustacés, gastéropodes et anguilles).

Les poissons y sont dominés par deux familles, les *Gobiidae* et *Eleotridae* dont la répartition dépend directement du type de courant et altitude. Les trois quart des espèces de rivières sont cantonnées aux cours d'eau inférieurs et parties basses du cours moyen. Le nombre d'espèces de poisson diminue ainsi fortement depuis l'embouchure vers l'amont avec une diminution souvent brutale dès l'apparition de cascades. Au total, la Polynésie héberge 37 espèces de poissons (dont 16 espèces endémiques et trois introduites et acclimatées) (Keith et al 2002).

Ces observations mènent à quelques principes essentiels à respecter :

- il est primordial d'assurer la libre circulation des espèces dans la rivière tant amont-aval, pour les migrations trophiques, gamiques ou la dévalaison des larves, mais aussi aval-amont pour la colonisation des rivières par les post-larves et juvéniles. Assurer la libre circulation signifie, soit de ne pas barrer la rivière soit d'en assurer le franchissement par des ouvrages qui permettent de passer dans les deux sens (nécessité de bien étudier les caractéristiques écologiques et biologiques de tous les amphidromes) ;
- les différents profils écologiques réalisés nous montrent qu'il est nécessaire de maintenir un débit minimum permettant de maintenir les zones rhéophiles (à courant fort et forte oxygénation de l'eau) dans les rivières, afin que les espèces inféodées à ces milieux puissent boucler leur cycle biologique. Les débits doivent être importants et suivre les variations saisonnières : le flot d'eau douce arrivant en mer « appelle » les post-larves pour la colonisation des rivières. La disparition des zones rhéophiles, entraînerait rapidement celle des espèces endémiques ;
- enfin, les estuaires, zones de passages de différentes espèces et zones d'entrées et sorties des larves et juvéniles assurant la colonisation des bassins doivent être préservés. Il faut éviter leur artificialisation, la multiplication de conduites forcées, longues et obscures (les espèces aquatiques ne franchissent pas les zones sombres si elles sont trop importantes) sous les routes côtières et préférer les ponts classiques. Il faut aussi éviter la multiplication des seuils ou de tout aménagement modifiant l'hydraulique de la rivière.

4.13.6. Les dispositifs de franchissement

La fragmentation des milieux naturels est l'une des principales causes d'érosion de la biodiversité. Au sein des écosystèmes aquatiques, les obstacles à l'écoulement constituent un risque majeur de rupture de la continuité écologique. Comme énoncé précédemment, la faune des eaux intérieures de la Polynésie ne peut donc pas être considérée comme une faune d'eau douce classique, puisque la majorité des espèces possède des stades larvaires marins ou au moins d'eaux saumâtres.

Le fait que les conditions écologiques deviennent de plus en plus contraignantes avec l'altitude (fort courant, rareté, indisponibilité de la nourriture) explique que près des trois quarts des espèces soit cantonnées à une seule zone (le cours inférieur), tandis que seulement quelques-unes (*Anguilla marmorata*, *Sicyopterus spp*, *Macrobrachium lar*,…) peuvent être trouvées depuis le cours inférieur jusqu'au cours supérieur de la rivière et que très peu vivent seulement(à l'état adulte) dans le cours supérieur.

Le nombre d'espèces de poissons d'eau douce diminue donc progressivement de l'embouchure vers l'amont des rivières. Cette diminution est brutale après le franchissement d'une cascade. En revanche, elle est moins nette pour les crustacés, plus aptes à franchir ce type d'obstacle. Un diagnostic de la franchissibilité à la montaison devra ainsi être effectué pour chaque projet.

Une espèce (*Khulia Marginata*) communément appelée Nato est quant à elle incapable de franchir les obstacles avec aisance. Cette espèce se reproduit en estuaire, entre Janvier et Avril et affecte principalement les cours d'eau inférieurs.

Quels dispositifs ?

De nombreux exemples permettent de démontrer que les passes à poissons avaient besoin d'être modifiées en vue de répondre aux besoins de chaque espèce et à la situation particulière de chaque ouvrage. Il n'est tout simplement pas possible de les considérer comme une technologie facilement transférable.

Nous présenterons ci-après les dispositifs que nous jugeons être les plus adaptés à la faune d'eau douce de Polynésie Française sachant bien sûr que chaque cas peut en effet être complexe et nécessitera un examen approfondi des meilleures solutions envisageables. Nous tenons encore une fois à préciser la relative aisance des poissons Polynésiens à franchir les obstacles.

En montaison

Les cas des passes à anguilles

Pour permettre aux anguilles de franchir l'obstacle (Cooksley, 2006), des passes à anguilles avec des rampes humides couplées à des substrats de reptation peuvent être mises en place pour permettre la montaison. Le revêtement des prises d'eau pourrait être plus favorable à la migration de la faune s'il était en géotextile plutôt qu'en béton. La pente peut être relativement importante, de 5 à 45% (MIGADO 2008, SOMIVAL 2013), voire plus selon le substrat. La partie inférieure doit être immergée, et un dévers latéral doit être prévu pour remédier aux variations du niveau en amont.

Les **rampes à balai brosse** sont des plaques lisses sur lesquelles sont fixées des brosses synthétiques avec des densités de filaments variables selon la taille des anguilles susceptibles de remonter. Si la hauteur de l'obstacle est grande, des bassins intermédiaires de repos peuvent être aménagés.

Les **rampes à plots « evergreen »** sont des plaques en béton moulées formant des renflements disposés en ligne face à l'écoulement pour réduire la vitesse du courant. L'espacement des plots dépend de la taille des anguilles migrantes.

Pour permettre aux civelles en montaison de passer les barrières, il y a 3 moyens (Lafaille, 2006) :

- les civelles peuvent être capturées en aval du barrage et relâchées en amont ;
- des passes spécifiques à civelles peuvent être installées.

La structure ou la gestion de ces opérations peuvent être conçues pour maximiser leur passage.

Les passes type rivière artificielle

Ce type d'ouvrage consiste à relier amont et aval par un chenal creusé dans l'une des rives reconstituant un cours d'eau naturel. La vitesse est réduite par la rugosité du fond, et par une succession de gros blocs, d'épis ou de seuils en enrochements plus ou moins régulièrement répartis.

La pente ne peut dépasser quelques pour cent et du fait de sa longueur, l'installation de ce type de dispositif se révèle souvent problématique. Il s'intègre en revanche très bien dans le paysage et peut être franchie par la majorité des espèces migratrices.

Lors de la dévalaison

Le choix du dispositif de dévalaison à installer sur un site donné dépend du site et des espèces considérées. Ainsi, sur certains ouvrages, dont les turbines induisent de forts risques de mortalité, des grilles fines et un exutoire efficace sont nécessaires.

Le choix et le dimensionnement d'un dispositif de dévalaison, spécifique à chaque site, demeure à ce jour du domaine de l'expertise.

Ce choix implique une évaluation préliminaire des dommages potentiels lors du transit par les turbines, une bonne connaissance des caractéristiques de la prise d'eau ainsi que des conditions de vitesses et de courantologie dans le canal d'amenée à l'amont de la prise d'eau. Il convient par ailleurs de ne pas traiter chaque site isolément mais de le remettre dans le contexte plus général du bassin ou de l'axe de migration pour définir des objectifs en termes d'efficacité.

4.13.7. Intégration paysagère

L'aspect paysager d'un ouvrage est l'un des enjeux à traiter avec attention. En effet, les ouvrages créent souvent un contraste important avec l'aspect charismatique de la vallée.

L'optimisation paysagère d'un ouvrage devra ainsi prendre en compte :

- la possibilité d'enfouissement des conduites ;
- les revêtements et aspect des barrières des ouvrages et des barrières de protection ;
- la végétalisation des sites et pistes

4.13.8. Enjeux archéologiques

Les vallées Polynésiennes regorgent de diverses sites culturels dont la majorité n'ont pas fait l'objet d'études et de recensements approfondis. A titre d'exemple, la vallée de la Papeiha en contient plus d'une centaine (au sein d'une emprise limitée).

Dresser un inventaire des structures archéologiques s'avère alors indispensable pour adapter le projet (déviation de route, mise en valeur de sites, archéologie préventive…).

4.13.9. Concertation publique, une phase cruciale

L'accord du public sur les principales décisions est essentiel pour un développement équitable et durable des ressources en eau et en énergie. Le rapport de la commission internationale sur les barrages précise ainsi que :

L'accord du public sur les principales décisions est essentiel pour un développement équitable et durable des ressources en eau et en énergie. L'accord découle de la reconnaissance des droits, de la prise en compte des risques et de la sauvegarde des droits de tous les groupes des populations affectées.

Cette notion et notamment l'importance des comités techniques de suivi est exposée en détail à travers le cahier des principes directeurs joints à ce rapport.

4.14. Mesures en phase chantier

Les mesures abordées dans ce chapitre correspondent aux thèmes les plus importants. Il faut garder à l'esprit que tout ouvrage est au minimum concerné par une Notice d'Impact sur l'Environnement (NIE). Les mesures qui en découlent sont adaptées au contexte spécifique de chaque projet.

4.14.1. Démarrage du chantier

Tout chantier ayant des répercussions environnementales conséquentes devra à minima être encadré par un plan de prévention environnemental (PRE) à travers lequel seront décrits de manière synthétique (et grand public) les enjeux principaux du chantier et les manières d'y remédier. Un coordinateur PRE devra alors être nommé afin d'effectuer ce travail de sensibilisation auprès des parties prenantes.

En parallèle, il conviendra de s'assurer d'avoir :

- obtenu les autorisations relatives à la destruction/déplacement d'espèces protégées ;
- balisé les zones d'intérêt archéologiques et écologiques importantes afin de les préserver au mieux ;
- effectué la demande de déclaration d'utilité publique et rencontré les riverains et parties prenantes afin de les informer sur le projet

4.14.2. Mesures compensatoire pendant les travaux

4.14.2.1. Impacts sur le milieu physique

Les mesures compensatoires à appliquer répondent aux impacts engendrés sur différents aspects du milieu physique. Les paragraphes suivant listent les mesures compensatoires en fonction des types d'impact.

Sur la qualité des eaux de surface, il convient :

- d'effectuer les plus gros terrassements hors saison des pluies ;
- au niveau de l'accès, de ne pas permettre le ruissellement des eaux pluviales ;
- que les eaux de ruissellement du chantier et des zones défrichées soient dirigées vers un(des) bassin(s) décanteur(s), temporaire en phase chantier, avant rejet dans le milieu naturel ;
- de détourner du chantier les eaux de ruissellement en amont des zones découvertes (drains de ceinture) afin de limiter le ruissellement sur les zones terrassées ;
- que les pentes transversales des pistes et routes soient inclinées vers le talus au pied duquel un caniveau de pied devra recueillir les eaux et les canaliser vers le bassin décanteur. Chaque traversée de piste devra être aménagée de dispositifs de ralentissement des eaux pluviales, garantissant l'intégrité de la piste et la stabilité de l'exutoire naturel ;

- d'installer lors du chantier des barrières et pièges à sédiments type géotextile en contrebas des talus ;
- qu'en complément de bassins écrêteurs et barrières physiques à sédiments, empêcher les eaux de ruissellement de rejoindre le milieu récepteur en retenant le plus de particules sur site, au plus près de la source d'émission par des boudins absorbants type coco (coir logs en anglais) ;
- d'éviter la construction d'infrastructures temporaires ou permanentes sur les sols de forte pente et de créer des ruptures de pente ;
- aux endroits sensibles, de stabiliser le sol mécaniquement pour réduire le potentiel d'érosion ;
- de mettre en place un programme de revégétalisation des rives et des berges pour contrer l'érosion dans les zones affectées ;
- de respecter les mesures de l'étude géotechnique en termes de terrassement.

Au cours d'un chantier, en l'absence de précautions particulières, diverses substances polluantes peuvent être déversées sur le sol et s'écouler vers les milieux hydriques, peut-être s'infiltrer dans le sol vers la nappe phréatique, générant des pollutions souvent difficiles à résorber. Les impacts potentiels sur les milieux hydriques récepteurs en phase chantier sont généralement temporaires. Ils peuvent toutefois avoir des conséquences à plus long terme si ces derniers ne sont pas maîtrisés.

Ces impacts sont principalement dus à :

- des opérations de stockage et d'utilisations inadéquates de produits polluants ;
- des opérations de remplissage des engins non sécurisées ;
- l'utilisation de matériel défectueux ;
- des accidents ou des actes de malveillance ;
- des rejets dans les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées, de solvants et autres produits dangereux.

Les mesures d'ordre général à prendre sont :

- interdire les vidanges de véhicules sur site ;
- ne pas vider de résidus de produits dangereux dans les talus avoisinants ;
- couper les moteurs des véhicules en stationnement sauf obligation ;
- disposer de kits anti-pollution adéquats permettant de réagir rapidement sur des pollutions localisées (boudins absorbants, buvards).
- entreposer les machines et véhicules sur des eaux désignées à cet effet, loin de toutes eaux.

Les mesures réductrices applicables aux eaux de lavage sont :

- délimiter une aire pour le rinçage / lavage du matériel loin de tout talweg, réseau EP ;
- mettre en place des bacs de rétention pour récupérer les eaux de lavage des outils et bennes et dans ce cas, ne pas rejeter les eaux de lavage dans la nature ou dans les réseaux de collecte EP/EU ;

- interdire le lavage des toupies de bétons sur le chantier et mettre en place des installations fixes de récupération des eaux de lavage des bennes à béton : après une nuit de sédimentation, chaque matin, rejeter l'eau claire et jeter le dépôt de béton extrait des cuves de décantation dans la benne à gravats inertes.

Les mesures réductrices applicables au stockage des produits et des hydrocarbures sont :

- si des hydrocarbures sont stockés sur site, prévoir leur stockage de préférence dans une cuve aérienne équipée d'une cuvette de rétention capable de retenir 100% du volume stocké ;
- les huiles neuves et usagées doivent être stockées dans des fûts au sein d'une cuvette de rétention dans un local aéré, frais et fermé à clé. Ce local doit être hors zone inondable ;
- limiter au maximum le stockage des hydrocarbures, ne stocker que le strict nécessaire ;
- toutes opérations de remplissage doivent s'opérer sur une zone prévue à cet effet, éloignée de toute habitation et cours d'eau.

Les mesures réductrices liées à la manipulation de produits dangereux sont de prendre les dispositions nécessaires pour limiter les risques liés à l'utilisation des produits dangereux c'est à dire :

- assurer la lisibilité des étiquetages de tous les emballages de ces produits pendant toute la phase chantier ;
- établir une liste de tous les produits utilisés sur le chantier avec les fiches de sécurité correspondantes ;
- lorsque cela est possible, remplacer les produits nocifs par des alternatives moins dangereuses ;
- tout produit dangereux doit être disposé sur caillebotis avec bac de rétention de capacité adéquate ;
- ne jamais stocker côte à côte des produits pouvant réagir entre eux.

Les mesures relatives à la gestion des pollutions diffuses sur l'eau sont :

- pour l'huile de décoffrage (si utilisée), utiliser de l'huile végétale et limiter au strict nécessaire les quantités utilisées afin de limiter les pollutions diffuses ;
- l'utilisation de lubrifiants et béton/ mortiers non nocifs pour la vie aquatique ;
- placer un kit anti‑pollution dans chaque véhicule ou dans un local bien identifié sur le chantier en cas d'épandage de produits polluants ;
- former les ouvriers de chantier à la mise en œuvre de ce kit antipollution ;
- délimiter une aire pour le rinçage du matériel à distance;
- les eaux de laitances de bétons doivent être rejetées une fois claires, à terre sur un site de préférence déjà altéré et dépourvu de flore. Les gravats rejoindront la benne à gravats.
- prévoir l'instauration d'un plan d'urgence pour le cas d'un déversement accidentel de contaminants. Placer à la vue des travailleurs une affiche indiquant les noms et les numéros de téléphone des responsables et décrivant la structure d'alerte.

Pour la protection des sols et la structure des talus il convient de respecter scrupuleusement les préconisations issues des études géotechniques et validées par le Service de l'Urbanisme en charge des autorisations de travaux.

4.10.2.2. Impacts sur le milieu naturel

Les impacts sur le milieu naturel sont multiples et les mesures compensatoires nécessairement importante. Les inventaires permettant de catégoriser le milieu nécessiteront notamment l'étude du cas spécifique de la petite fourmi de feu dont un régime particulier est applicable, Arrêté 1301 CM du 15 novembre 2006, paru au JOPF du 23 novembre 2006 (pp.4033-4034) et modifiant le Code de l'Environnement :

« Le transfert intentionnel et en connaissance de cause de tous matériaux divers infestés tels que les déchets verts, la terre et autres débris, les plantes, depuis les zones infestées vers les zones indemnes est strictement interdit.

Les engins lourds travaillant dans les zones infestées sont désinsectisées par l'application d'un produit de traitement adapté à la lutte contre les fourmis de feu, en fin de travaux et avant tout mouvement vers d'autres zones. Une facture attestant du service fait ou de l'achat du produit de traitement est produite à la demande de l'administration chargée du contrôle, par les responsables, utilisateurs et/ou propriétaires de ces engins.

Pour faciliter la lutte et le repérage des colonies, les propriétaires ou locataires des terrains infestés par la petite fourmi de feu, dès qu'ils en ont connaissance, en font la déclaration à la direction de l'environnement, en précisant, par tout moyen, la position de leur terre (nº de parcelle, voie, etc.). Les propriétaires des terrains infestés prennent toutes mesures économiquement et écologiquement appropriées pour traiter leurs terrains ;

Les propriétaires ou locataires des terrains, infestés ou non, sont tenus de laisser le passage aux agents publics et à leurs équipes chargées de la lutte contre la petite fourmi de feu. »

Les mesures proposées liées à la perte de biodiversité suite aux opérations de terrassement et de défrichage sont :

- de définir clairement les aires de coupe afin de restreindre les déplacements de la machinerie et le déboisement aux superficies qui seront inondées ;
- de revégétaliser rapidement du site des zones hors d'eau altérées, par des espèces indigènes ;
- d'opter pour un défrichage unidirectionnel ;
- de valoriser les déchets verts (compostage, mulch…) ;
- de proscrire la plantation de toute espèce végétale à caractère envahissant ;
- lors des travaux de déboisement de la zone à inonder, de restreindre les activités à l'intérieur des limites projetées du réservoir ;
- de s'assurer de l'absence de petite fourmi de feu à la réception du chantier.

Les mesures relatives à la faune de la rivière sont :

- de prévoir la mise en place d'ouvrages de franchissement pour les poissons ;
- d'élaborer un calendrier des travaux qui tient compte des utilisations du territoire par la faune (migration, période de reproduction se référer au chapitre sur la faune d'eau douce récapitulant les connaissances actuelles à ce sujet).

La **gestion des déchets** est une problématique indispensable à gérer avant la phase de chantier mais pendant toute la durée de l'exploitation et éventuellement dans une période postérieure.

Les mesures d'ordre général relatives à la gestion des déchets de chantier sont :

- de s'assurer de l'élimination correcte des déchets produits par le personnel sur site ;
- de revaloriser au mieux tous déchets recyclables ;
- de ne pas brûler sur site ;
- de ne pas enfouir de déchets sur site ;
- de tenir les voies d'accès dans de bon état de propreté ;
- d'exporter les déchets de chantier vers des zones de dépôt autorisées ;
- d'installer des toilettes de chantier pour les ouvriers ;
- de stocker tous déchets sur la zone prévue à cet effet en contrebas du site, bâcher les déchets pour limiter tout envol ;
- de mettre en place des poubelles et bennes sur le site du chantier, adaptées aux besoins et à l'avancement du chantier ;
- de stocker tous déchets volatiles à l'abri du vent ;
- de détailler dans le PRE/PAQ les filières de traitement et valorisation des déchets ;
- de définir l'entreprise en charge de l'évacuation des déchets pendant le chantier. Déterminer la fréquence, destination (attribution des charges au prorata).

Les mesures relatives à la limitation des déchets à la source :

- d'utiliser la juste quantité de bois de coffrage ;
- de choisir des fournisseurs proposant des emballages réduits ou consignés.

Les mesures relatives à la modalité de collecte sont :

- définir des modalités de collecte lors de la préparation du chantier ;
- de prévoir des bennes et points de stockage (à faire apparaitre sur le plan général d'organisation du chantier) ;
- de s'assurer du respect des modalités de collecte par les entreprises en tenant un registre des déchets de chantier précisant la nature, le volume ainsi que la date de transport des déchets exportés. Conserver tous justificatifs de dépôt/valorisation des déchets ;
- de s'assurer de la compréhension de tout le personnel concernant les modalités de tri notamment pour l'utilisation des bennes (formations nécessaires) ;
- de rechercher à l'échelle locale la valorisation des déchets :

- bétons, gravats inertes par concassage, triage, calibrage ;
- bois par tri et recyclage des bois non traités ;
- déchets verts par compostage/mulch ;
- peintures et vernis par tri et traitement par une entreprise spécialisée ;
- divers par mise en Centre d'Enfouissement Technique (CET) agréé ;

4.14.2.3. Impacts sur le milieu humain

D'un point de vue physique ou écologique un projet hydroélectrique modifie nécessairement la structure naturelle du bassin versant. Mais il y a également une modification de l'organisation sociale de la vallée. L'occupation humaine est forcément impactée. Ces changements ou au moins l'appréhension de ces changements induisent, à tort ou à raison, une sentiment de suspicion chez une partie des riverains, dans les milieux associatifs et dans la société civile. Quelques soient les argumentations, il est important donc d'informer la population et d'ouvrir le dialogue de façon transparente en amont des prises de décisions techniques. Dans ce cadre les mesures conseillées sont :

- de mettre sur pied un programme de communication pour informer la population des travaux prévus ;
- de mettre en œuvre les mesures adéquates pour réduire les nuisances causées par les travaux de construction faire adhérer les entreprises à des chartes de chantier verts ;
- d'opter pour des choix architecturaux intégrant correctement les bâtiments ;
- de s'entendre avec la population sur les modalités relatives à la relocalisation (mise à disposition de terres, terrains agricoles, réseaux routiers…) ;
- de négocier, s'il y a lieu, l'acquisition de terrain ou le droit de passage et prévoir les compensations adéquates ;
- de s'assurer de l'accès aux propriétés privées, ainsi que la sécurité des résidents et passants lors des travaux, en appliquant des mesures appropriées
- de respecter la capacité portante des routes et réparer les dégâts causés aux routes à la fin des travaux ;
- d'éviter d'obstruer les accès publics ;
- de contourner les lieux de rassemblement ;
- de choisir de tracés discrets pour les lignes d'évacuation de l'énergie.

Les mesures relatives aux poussières sont :

- pratiquer des arrosages réguliers des sols afin d'éviter la production de poussières ;
- recouvrir les matériaux volatiles par une bâche (notamment lors des transports) ;
- stocker tous dépôts temporaires de terre de préférence à l'abri du vent ;
- lorsque cela est possible, conserver des franges de strates hautes en périphérie du site et ne les défricher qu'en fin de chantier si nécessaire.

Les mesures relatives au bruit sont :

- effectuer les travaux uniquement lors des jours et heures ouvrables, et conformément aux arrêtés municipaux ;
- limiter au mieux les rotations de camions, grouper les opérations ;
- prévenir les riverains du chantier des nuisances occasionnées ;
- sensibiliser les riverains aux périodes dites bruyantes, avec mention de la durée de celle-ci ;
- le bruit, souvent élevé sur un chantier, présente un danger non négligeable pour l'ouïe et ce dès 80 dB(A) - Mettre à disposition du personnel présent sur le chantier des protections auditives adaptées ;
- rendre obligatoire ces protections quand le niveau sonore risque d'atteindre ou de dépasser 90 dB(A) (Obligation du code du travail) ;
- utiliser du matériel insonorisé et récent dans la mesure du possible ;
- baliser les zones de circulation ;
- identifier et utiliser les systèmes et méthodes constructifs les moins agressifs auditivement ;
- privilégier le raccordement au réseau électrique plutôt que l'utilisation de groupe électrogène ;
- prévoir des aires de retournement pour les engins qui éviteront ainsi les marches arrières ;
- entretenir le matériel pour assurer son isolation acoustique, et vérifier son capotage le cas échéant ;
- réduire la durée totale d'émission des postes bruyants
- mettre en place une organisation interentreprises pour concentrer les phases bruyantes sur la même période.

La perturbation des activités agricoles doit être compensée en proposant :

- d'effectuer les travaux de construction de façon à nuire le moins possible aux cultures et aux pratiques culturales existantes (durée, période étendue) ;
- de minimiser les superficies agricoles qui seront inondées et compenser pour les pertes encourues ;
- d'ameublir les sols compactés par la machinerie pouvant être successible d'être réoccupé par des activités agricoles.

Pour les activités forestières, il est préconisé de :

- prévoir des mécanismes de concertation entre les autorités concernées pour l'écoulement du bois marchand récolté sur les terrains concernés.

Pendant la phase de travaux les activités d'accueil du public, touristiques et/ou récréatives, impose un encadrement et des mesures visant à sécuriser les personnes. D'un point de vue général, il doit être envisagé :

- d'éviter d'obstruer les zones récréatives et touristiques ;
- de favoriser le développement d'activités récréatives et touristiques associées au réservoir.

L'ampleur d'un projet de centrale hydroélectrique peut et doit avoir des retombées socio-économiques locales en :

- favorisant l'emploi et la main d'œuvre locale ;
- favorisant l'achat de biens et services locaux ;
- améliorant les services existants en eau potable et en approvisionnement énergétiques des populations concernées.

Au niveau de la préservation du patrimoine historique et archéologique, il convient de :

- procéder à un inventaire par des relevés cartographiques et photographiques si la zone est mal connue ;
- de mettre en place des fouilles archéologiques des sites potentiels identifiés et favoriser l'analyse et la mise en valeur des vestiges :
- mettre en place une surveillance archéologique des travaux et lors de découvertes fortuites, il faudrait suspendre toutes activités et aviser les autorités concernées ;
- dans un souci de protection et de préservation du patrimoine, il est important de travailler avec le Service de la Culture pour ne pas obligatoirement divulguer au grand public l'emplacement exact des sites archéologiques et/ou exceptionnels.

4.14.3. Mesures compensatoire en phase d'exploitation du projet

La gestion hydraulique de l'aménagement doit être correctement corrélée aux objectifs de production électrique et ainsi garantir au mieux les fonctionnalités écologiques de la vallée. Le but est ici d'attirer l'attention sur l'importance des suivis environnementaux et d'une pédagogie en amont pour une population polynésienne très méfiante autour des projets d'aménagement des cours d'eau.

Le programme de suivi doit permettre de vérifier l'efficacité des mesures de protection de l'environnement prévues dans le contexte de l'EIE, notamment lorsque sont mis en évidence des impacts importants qui comportent des aspects de risque et d'incertitude.

Le suivi environnemental permet d'établir d'une manière souvent quantitative, l'impact réel d'un projet sur certaines composantes de l'environnement et, à ce titre, contribue à améliorer les connaissances sur les effets de certaines activités de l'homme sur son environnement. Il peut servir à adapter ou proposer de nouvelles actions en faveur de l'environnement et permettre également d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation et de fournir, à l'intérieur de la période de suivi, des enseignements pour améliorer les méthodes de prévision des impacts.

Un programme rigoureux et inventif peut aboutir à un impact positif de l'homme sur un environnement actuellement fragilisé et en voie de dégradation.

Dans le cadre d'un projet hydroélectrique, le programme de suivi devra s'attarder à documenter l'évolution de l'état des communautés et paramètres décrits à travers l'état initial. Une attention particulière doit être portée :

- à la qualité physico-chimique des eaux du réservoir et aval (lagon inclus), particulièrement dans les 20 premières années suivant la mise en eau ;
- à l'évolution des phénomènes d'érosion sur les rives et les berges du plan d'eau et les cours d'eau et les rives exondés ;
- aux volumes de sédiments transportés et déposés annuellement dans le réservoir ;
- aux processus de décomposition de la matière organique et la production de gaz à effet de serre associée à l'inondation de milieux terrestres ;
- à l'implantation du couvert végétal dans les milieux perturbés et en bordure du nouveau plan d'eau et dans le lit des cours d'eau exondés ;
- à l'évolution et la productivité des communautés piscicoles dans le réservoir et en aval (lagon inclus) ;
- à l'application et l'adéquation des mesures compensatoires liées au plan de réinstallation des populations déplacées ;
- à l'effet à moyen et long termes sur le développement régional et le devenir des populations humaines déplacées ou affectées d'une manière significative ;
- à l'effet à moyen et long terme sur la biodiversité et l'utilisation des ressources fauniques à des fins commerciales et de subsistance par les populations locales.

NB : Une démarche qualité à travers l'adhésion à un label ou une certification environnementale pourrait permettre de communiquer sur les performances environnementales du projet et suivre ces dernières d'années en année.

5. Questions foncières et accord des riverains et propriétaires

Comme pour tout projet de construction, l'aménagement d'une centrale d'hydroélectrique impose une emprise foncière importante. Des terres doivent être rendues disponibles pour l'assise du projet en lui-même, mais également pour l'accès aux sites. La maitrise foncière est étape incontournable dans la réalisation du projet.

Ce chapitre explore les différents cas de figure juridique qui peuvent être rencontrée dans ce type de projet et propose les voies de résolution que la législation permet. Dans le cadre d'un projet d'hydroélectricité l'aspect juridique se confronte à deux difficultés :

- le droit de passage et le problème de l'accès au site ;
- le droit de propriété ou le droit d'usage aux lieux des aménagements.

5.1. Servitude et droit de passage

L'accès aux différentes infrastructures s'effectue généralement par une piste ou un chemin de servitude nécessitant l'autorisation d'un droit de passage.

Juridiquement, les droits de passage sont régis par l'article 682 du Code civil qui dispose :

> « *Le propriétaire dont les fonds sont enclavés et qui n'a sur la voie publique aucune issue, ou qu'une issue insuffisante, soit pour l'exploitation agricole, industrielle ou commerciale de sa propriété, soit pour la réalisation d'opérations de construction ou de lotissement, est fondé à réclamer sur les fonds de ses voisins un passage suffisant pour assurer la desserte complète de ses fonds, à charge d'une indemnité proportionnée au dommage qu'il peut occasionner.* »

En pratique, la constitution d'une servitude se réalise soit, par la voie amiable, soit par la voie judiciaire mais se fera « *du côté où le trajet est le plus court du fonds enclavé à la voie publique. Il doit être fixé dans l'endroit le moins dommageable à celui sur le fonds duquel il est accordé* » (article 683 du Code civil).

Par la voie amiable ou judiciaire, l'intervention d'un géomètre est nécessaire pour d'une part, fixer l'assise de la servitude, d'autre part, fixer l'indemnité due par le propriétaire du fonds dominant au propriétaire du fonds servant.

En cas d'échec de la voie amiable, la servitude étant un droit réel immobilier, accessoire, indivisible et perpétuel, par application des dispositions de l'article 38 I de la loi n°96-609 du 05 juillet 1996, la saisine de la commission obligatoire en matière foncière est un préalable à la saisine du juge du tribunal de première instance, chambre des terres.

À défaut de conciliation ou d'examen du dossier par la commission dans le délai de 6 mois (article 38 VII), la partie la plus diligente peut solliciter la transmission du dossier au tribunal.

Devant le tribunal et compte tenu de la surcharge du travail du seul magistrat chargé des affaires dites « de terres » pour la Polynésie française, le délai pour obtenir la constitution de la servitude de passage est d'au moins deux années (saisine du tribunal, assignation des parties avec constitution d'avocats, nomination de l'expert, déplacement sur les lieux, discussion sur le droit de passage et sur le montant de l'indemnité).

5.2. Assise foncière du projet

La question de la maîtrise foncière de l'assise même du projet d'hydroélectricité renvoie directement à la question du droit de jouissance de l'assise lequel découle directement du droit de propriété de l'assise foncière.

5.2.1. Identification du, ou des, propriétaire(s)

Concrètement, le(s) propriétaire(s) est (sont) connu(s), ou il(s) ne l'est (sont) pas. L'extrait de plan cadastral est un premier document fiable pour identifier les titulaires apparents du droit de propriété. Ces titulaires ne peuvent être considérés que comme des propriétaires apparents. En effet, le cadastre constitue une preuve imparfaite du droit de propriété, ce n'est pas le titre de propriété et n'a qu'une valeur informative.

La recherche des véritables propriétaires s'effectue sur les actes translatifs de propriété qui ont fait l'objet de la formalité de la transcription au bureau de la conservation des hypothèques. Lorsque le(s) propriétaire(s) est(sont) décédé(s), la recherche de ses ayant-droit est obligatoire. Le fichier généalogique permet de procéder à ces recherches et de les retrouver. Des annonces sur les ondes radiophoniques, ou dans la presse, sont des modes d'investigation possibles.

5.2.2. Maîtrise de l'assise foncière

Seul le propriétaire de l'assise foncière a le droit d'usage et de disposition sur celle-ci (article 544 du Code civil).

Pour devenir titulaire du droit d'usage, deux moyens juridiques sont ouverts : la prise à bail, ou l'acquisition.

Le contrat de location (prise de bail)

Le(s) propriétaire(s) peu(ven)t accorder, moyennant un loyer, la jouissance de l'assise foncière pour une longue durée et notamment au travers du bail emphytéotique.

Les parties sont libres de stipuler les charges et obligations dans le cadre du contrat de bail dans la mesure où le bail emphytéotique n'est pas régit par des dispositions spécifiques à l'instar de l'article L.451-1 du code rural métropolitain.

L'inconvénient d'un bail est son caractère non perpétuel et qu'un terme est nécessairement fixé.

L'acquisition de l'assise foncière du projet hydroélectricité

L'acquisition de l'assise foncière du projet hydroélectricité peut se réaliser par deux moyens, soit de gré à gré, soit forcé.

L'acquisition de gré à gré, autrement dit amiablement, ne pose aucune difficulté majeure si ce n'est de trouver un accord sur le prix et la chose.

À défaut d'accord amiable, **l'acquisition forcée** est encadrée par le code de l'expropriation de la Polynésie française, s'agissant d'un projet d'utilité publique et dans la mesure où aux termes des dispositions de l'article 545 du Code civil, *« Nul ne peut être contraint de céder sa propriété, si ce n'est pour une cause d'utilité publique, et moyennant une juste et préalable indemnité* ».

La procédure d'expropriation étant codifiée, nous pouvons la résumer en deux phases, celle administrative et celle judiciaire.

La phase administrative est composée d'une enquête préalable à la déclaration d'utilité publique, la déclaration d'utilité publique elle-même, d'une enquête parcellaire et l'acte de cessibilité. Le conseil des ministres de la Polynésie française étant compétent en la matière conformément à l'article 91 18° de la loi organique du 27 février 2004.

Pour rappel, l'article L.11-1 du code de l'expropriation dispose :

> « L'*expropriation d'immeubles, en tout ou partie, ou de droits réels immobiliers, ne peut être prononcée qu'autant qu'elle aura été précédée d'une déclaration d'utilité publique intervenue à la suite d'une enquête et qu'il aura été procédé contradictoirement à la détermination des parcelles à exproprier, ainsi qu'à la recherche des propriétaires, des titulaires de droits réels et des autres intéressés.* »

La phase judiciaire se déroule devant le juge de l'expropriation chargé d'une part de prononcer l'ordonnance d'expropriation qui constate le transfert de propriété et d'autre part fixer les indemnités pour expropriation.

En pratique, une telle procédure peut s'étendre sur une durée de 2 années entre l'arrêté de déclaration d'utilité publique et le jugement fixant les indemnités d'expropriation.

À titre d'exemple, pour l'emprise foncière de l'aérodrome de Hikueru, la déclaration d'utilité publique a été rendue par arrêté du 09 février 2007, le jugement fixant les indemnités d'expropriation date du 23 décembre 2008.

PARTIE 2

ANALYSE CONTEXTUELLE

6. Potentiel hydrologique des vallées

6.1. Approche préalable

Les îles hautes volcaniques abritent de nombreuses vallées morphologiquement compatibles pour une exploitation hydroélectrique. Elles sont relativement étroites et encadrées de flancs escarpés. Leur profil longitudinal est accidenté proposant des hauteurs de chute largement suffisante pour une exploitation hydroélectrique. De plus, sous les effets du climat tropical humide, les précipitations sont particulièrement élevées. Une grande part de cette eau atmosphérique s'écoule par ruissellement et alimente les cours d'eau de chaque vallée. Il est tout à fait raisonnable d'envisager une production d'électricité importante. Une estimation très générale du potentiel de Tahiti fut proposée en 1982, la puissance disponible a été évaluée à 54 MW (SOGREHA, 1982). Par contre les conditions atmosphériques sont largement variables en fonction de la situation géographique des bassins versants et de leur orientation. Cette disparité a une influence très significativement sur l'aléa pluviométrique, donc sur le débit et le potentiel des différentes rivières.

Les stratégies d'évaluation des rivières ont été différenciées entre l'île Tahiti et les autres îles hautes polynésiennes étudiées. Les enjeux ne sont pas les mêmes en terme énergétique et économique. D'autre part le nombre de bassins versants à étudier est beaucoup plus important sur la grande île et nécessite une approche plus générale. Une raison moins contextuelle est l'absence de longues séries de données hydrologiques hors de Tahiti.

Pour la grande île, la première étape de l'analyse est une comparaison objective du potentiel énergétique des différentes rivières. L'objectif est de classer les bassins versants pour mettre en exergue les sites les plus prometteurs. Le choix des critères de notation a été guidé par la volonté d'une représentation objective du terrain pouvant s'appuyer sur des données également disponibles.

Le potentiel énergétique d'un projet hydroélectrique s'apprécie à partir des débits mesurés, ou évalués, rapportés aux hauteurs de chute (cf. Section 3.2). Les profils en long des rivières tahitiennes offrent des dénivellations compatibles avec l'exploitation hydroélectrique (cf. Annexe 2). Dans un premier temps, les difficultés d'aménagement relatives à des contraintes d'urbanisme, géologiques ou géomorphologiques ne sont pas prises en compte (e.g., éloignement des réseaux de voiries).

En dehors de leur intérêt hydroélectrique, les vallées tahitiennes hébergent aussi un patrimoine naturel, paysager et culturel qu'il est important de préserver et de protéger. Dans cette approche globale la valorisation environnementale des vallées est difficile à résumer en quelques variables discriminantes. Un critère environnemental, à priori objectif et basé sur les informations de la DIREN, a tout de même été défini pour intégrer la valeur patrimoniale des vallées dans la stratégie de choix.

6.2. Traitement des données

6.2.1. Origines des données

Les travaux relatifs à l'élaboration des principes directeurs de la Polynésie française ont nécessité un inventaire bibliographique large et couvrant des domaines d'activités variés (e.g., hydrologie, milieux naturels).

Les données hydrologiques de la Polynésie française sont actuellement sous la gestion de la cellule hydrologie du GEGDP, sous la tutelle de la Direction de l'Equipement. Cette cellule maintient le réseau de mesure actuellement déployé sur l'île de Tahiti, mais hérité de la section hydrologie de l'ORSTOM qui déploya les premiers appareils de mesure en 1972 (ORSTOM, 1975).

En complément des mesures actualisées, la cellule hydrologie du GEGDP dispose dans ses archives de nombreux annuaires et études complémentaires portant sur l'hydrologie de Tahiti et des autres îles qui ne sont plus instrumentées depuis plusieurs années.

L'approche à l'échelle d'une île impose une étude géographique et géomorphologique de ses bassins versants. L'information cartographique et les Modèles Numériques de Terrain (MNT) ont été fournis par la cellule cartographie du Service de l'Urbanisme.

La liste et l'emplacement des zones d'intérêt écologique ont été mises à disposition par la Direction de l'Environnement.

6.2.2. Données géomorphologiques et cartographiques

Le bassin versant est l'unité géographique de référence en hydrologie. Ses spécificités géomorphologiques conditionnent chacune des étapes du cycle hydrologique. La surface et l'orientation sont des paramètres directement influant, mais l'altitude, les pentes, les profils en long des cours d'eau, leur largeur caractérisent également les écoulements de surface. Ces informations sont calculées et étudiées à partir des MNT. La résolution d'un MNT n'est pas toujours d'une précision totale mais largement suffisante à l'échelle d'un bassin versant.

Dans un souci d'efficacité et de pertinence, un premier choix arbitraire a permis de limiter l'étude aux seuls bassins versants dont la surface est supérieure à 2 km^2. Sous cette valeur, la plupart des cours d'eau de Tahiti sont intermittents, ils ne peuvent donc participer à une politique énergétique générale. Toutefois, il n'est pas impossible d'envisager, sur des financements privés, de petites unités de production pour une consommation locale.

Les vallées à l'extrême Est, Sud-Est, de la presqu'île n'ont pas été retenues. Elles sont trop éloignées des zones de consommation et du réseau de distribution (Figure 29).

Finalement, ce sont 40 bassins versants qui furent sélectionnés (Tableau 15). Initialement, la zone de planèze de Vaitoare, Papeivi faisait partie de l'étude. Cette zone, supérieure à 2 km^2, au Sud-Ouest de la grande île (Tahiti Nui) est traversée par deux cours d'eau présentant un écoulement constant. Malheureusement, leur hydrologie est mal connue et la zone contributive

de chacun des cours d'eau est bien difficile à délimiter. N'ayant jamais été considérées dans la littérature comme des rivières d'intérêt stratégique pour l'hydroélectricité, elles n'ont pas été conservées dans la liste finale.

La carte, reproduite sur la Figure 24, traduit la situation géographique des 40 vallées sélectionnées. Parmi celles-ci, cinq sont actuellement exploitées pour une production d'hydroélectricité :

- la vallée de la Papenoo (1989) compte 4 retenues d'eau et 3 centrales pour une production d'environ 25 MW ;
- la planèze d'Hitiaa (1983) présente la particularité géographique d'être traversée par des lavatubes. Ces anciens tunnels de laves favorisent l'écoulement de l'eau et abritent des rivières souterraines. La planèze est équipée de 5 barrages, de plusieurs captages dans les lavatubes, et de 3 centrales qui produisent d'environ 6 MW ;
- la vallée de la Titaaviri (1988) est entrecoupée par 2 grands barrages et de 2 centrales produisant un total estimé à 4 MW ;
- la Vaihiria (1982) compte 3 barrages et 3 centrales, pour une production chiffrée à 4.6 MW ;
- et la Vaite (1981) qui est équipée de 2 barrages et 2 centrales, la production est plus faible, elle s'établit autour de 2 MW.

Num	Nom	Longueur Cours d'eau [km]	Longueur Route d'accès [km]	Surface BV [km^2]
Tahiti Nui				
1	Tuauru	10.45	3.3	29
2	Ahonu	10.87	4.6	13
3	Orofara (Tetiairiroa)	6.63	2.6	9
4	Papenoo	18.06	13.4	90
5	Vaipu	6.47	1.6	5
6	Onohea	2.98	5.6	16
7	Vaitaara (Mahaena)	13.25	2.1	37
8	Mahatearo (Parauta)	6.72	3.4	24
9	Faatautia (Hitiaa)	7.20	7.8	14
10	Vaiiha (Papeiha)	6.95	2.6	33
11	Utuofai	4.52	1.2	7
12	Mapuaura	4.04	1.8	15
14	Afeu	6.68	1.7	8
15	Paui	12.06	1.7	8
16	Titaaviri	11.08	9.8	15
17	Vaite	10.76	8.2	12
18	Vaihiria	12.34	12.3	15
19	Vairaharaha	10.19	2.8	15
20	Vaitunamea	12.16	1.4	17
21	Mairipehe (Moaroa)	11.20	2.2	10
22	Taharuu	8.69	4.7	34
23	Papeiti	9.78	1.5	12
24	Temarua	7.59	2.5	14
25	Tereia	7.21	0.8	6
26	Vaitiu (Orofero)	6.74	3.4	22
27	Hopuetamai (Tiapa)	8.88	1.3	7
28	Papehue	6.17	1.9	6
29	Punaruu	16.29	5.8	45
30	Matatia	7.31	2.8	11
31	Tipaerui	10.71	4.2	15
32	Papeava	8.34	1.8	10
33	Fautaua	9.89	7.8	24
34	Nahoata (Pirae)	12.60	5	13
Tahiti Iti				
35	Vaitehoro	3.57	2.3	10
36	Vaiteremu	8.40	2.2	10
37	Vaitepiha	9.37	3	34
38	Tiirahi	8.61	1.1	11
39	Aivaro	6.09	2	8
40	Vavi	6.04	1.3	10
41	Aoma	10.52	7.1	10

Tableau 15 : Liste des bassins versants retenus pour l'étude hydrologique (île de Tahiti)

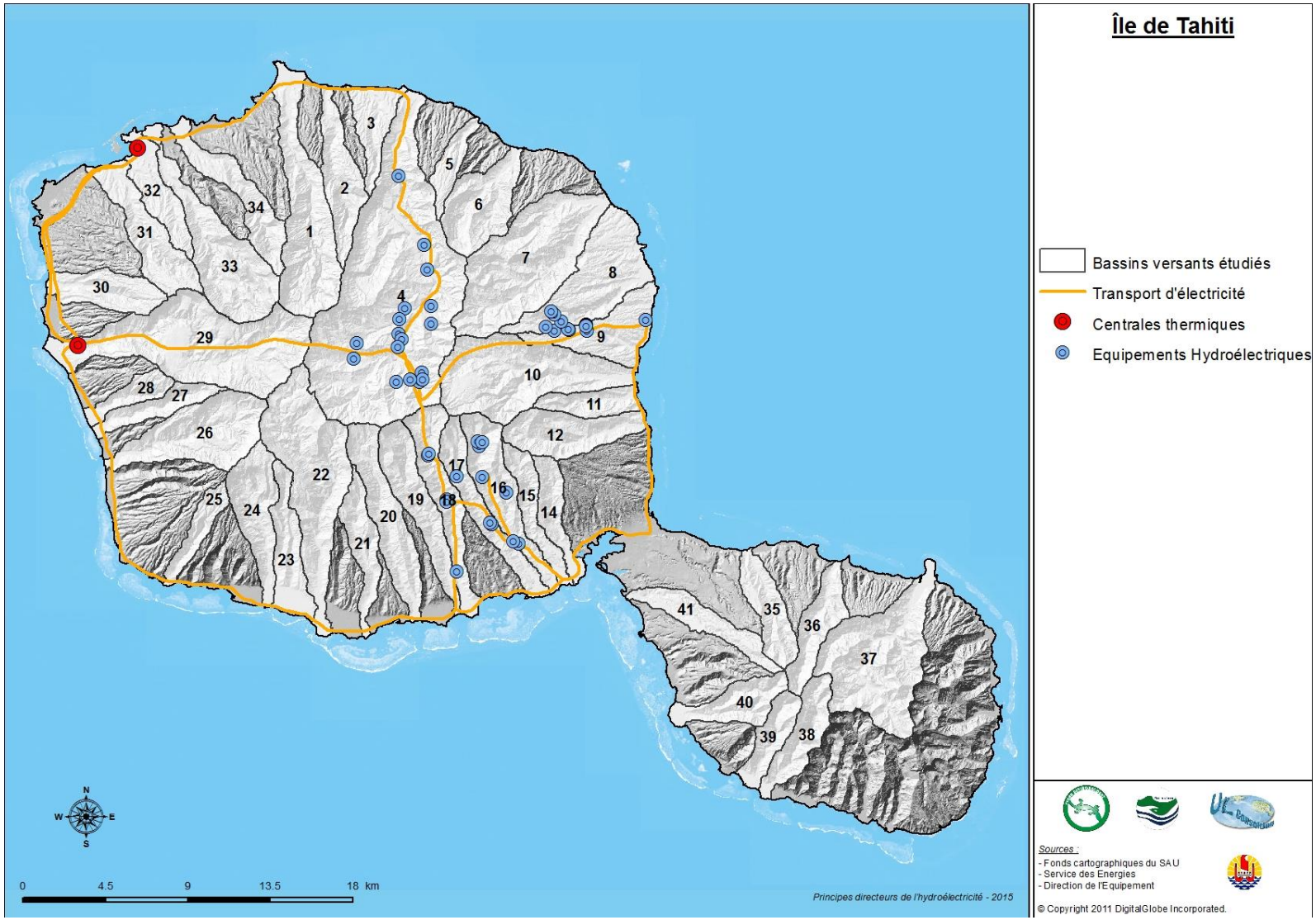


Figure 24 : Situation géographique des bassins versants dont le potentiel hydroélectrique est évalué.

6.2.3. Données pluviométriques

Les données pluviométriques sont les informations hydrologiques les plus précises et les plus complètes sur l'île de Tahiti. Les données utilisées sont issues de 26 stations équipées de pluviomètres à auget enregistrant automatiquement la dynamique de l'aléa pluviométrique. (Figure 25).

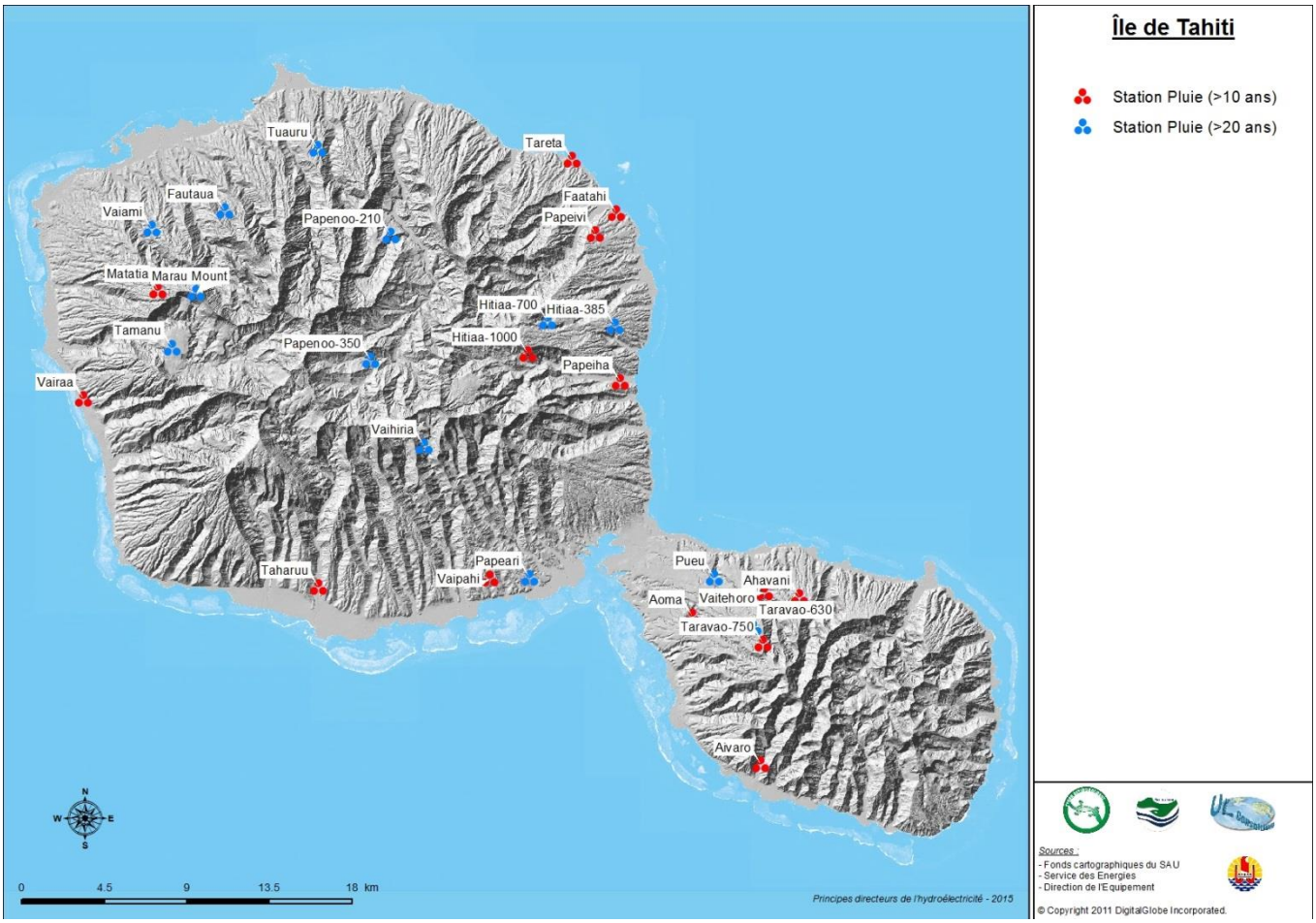


Figure 25: Réseau Territorial d'Observations Hydrologiques de l'île de Tahiti.
Localisation des pluviomètres à augets installés il y a plus de 20 ans et entre 10 et 20 ans.

L'historique des données dépend de chaque station, elles couvrent un minimum de 10 années complètes. Les plus anciennes données disponibles datent de 1987 (Tableau 16).

Les cumuls les plus importants sont enregistrés par la station d'Hitiaa, à 1000 mètres d'altitude sur les versants Est de l'île, avec plus de 10 m d'eau en moyenne par an. Ce volume très important est presque 6 fois supérieur aux valeurs enregistrées par la station Vairaa, à l'exact opposé de l'île.

La saisonnalité est bien présente, la Figure 26 en témoigne. Le graphique transcrit les précipitations mensuelles de 4 stations de différentes altitudes et orientations.

Vallée	Alt. [m]	Historique [Année]	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul annuel [mm]
Tahiti Nui															
Tuauru	540	22	516	410	337	263	201	163	114	84	120	240	243	521	3212
Papenoo	210	26	701	725	502	335	301	251	214	160	276	417	382	650	4913
Papenoo	350	21	823	834	615	378	542	317	271	233	416	503	504	663	6099
Tareta	4	11	640	485	381	383	303	258	251	134	278	355	460	469	4397
Faatahi	6	11	677	414	530	427	272	171	171	193	282	363	496	487	4485
Papeivi	250	11	623	540	521	433	336	273	197	168	361	437	484	556	4929
Papeiha	15	11	767	502	694	449	340	228	209	156	355	745	453	580	5479
Hitiaa	350	28	632	443	490	564	339	431	247	208	337	550	473	628	5344
Hitiaa	700	28	958	692	754	692	677	635	536	493	739	948	820	1080	9023
Hitiaa	1000	11	1102	1135	876	707	698	640	639	608	1081	1163	948	898	10496
Papeari	5	27	357	264	241	186	185	155	145	133	144	189	216	383	2599
Vaipahi	200	13	430	297	306	217	226	240	172	187	226	282	298	390	3270
Vaihiria	460	27	883	727	749	655	583	563	497	491	668	635	757	753	7963
Taharuu	200	17	185	195	265	173	268	207	156	177	316	204	195	308	2649
Vairaa	4	13	261	356	207	109	164	161	33	53	46	82	113	217	1803
Punaruu	600	22	410	343	265	150	142	104	73	72	81	154	199	421	2415
Marau	1400	27	397	395	421	208	155	119	93	97	114	227	248	533	3009
Matatia	1050	19	498	504	824	256	216	245	84	106	103	338	293	525	3992
Vaiami	470	27	311	286	243	119	138	85	56	50	69	135	146	362	2000
Fautaua	650	23	382	320	268	158	156	105	66	55	75	304	185	410	2484
Tahiti Iti															
Vaitehoro	65	12	542	405	410	253	366	160	163	120	250	269	308	412	3658
Ahavini	10	16	498	334	423	315	285	175	157	113	224	254	305	452	3534
Aivaro	10	16	404	336	368	390	340	356	333	329	569	414	293	535	4668
Amoa	300	18	363	313	287	225	365	167	130	128	154	192	225	424	2971
Taravao	630	26	604	435	427	320	298	297	193	172	266	353	375	577	4317
Taravao	750	11	603	404	419	315	335	225	193	176	334	333	362	497	4196

Tableau 16 : Cumuls pluviométriques moyens sur l'île de Tahiti. Cumuls mensuels et annuels.

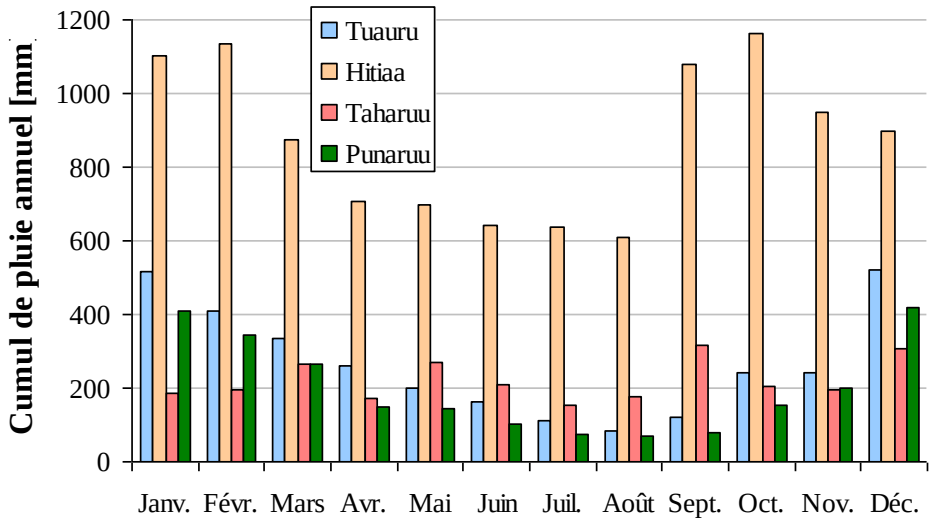


Figure 26 : Précipitations mensuelles moyennes pour 4 stations pluviométriques de Tahiti.

Les pluviomètres enregistrent les données en des lieux précis. L'étude hydrologique à l'échelle de l'île nécessite une interpolation spatiale de ces données. La littérature n'est pas totalement satisfaisante sur ce point, la dernière carte publiée sur la pluviométrique de l'île de Tahiti est la carte des isohyètes annuelles de 2004 (Laurent et *al*., 2004). Préalablement, les seules représentations géographiques se trouvent chez Ferry (1988) et Lafforgue (1990 et 1993). Ces informations datent de quelques années et méritent une réactualisation. Il a semblé pertinent de reconstruire, dans le cadre de cette étude, une projection spatiale des données pluviométriques de Tahiti à partir des mesures plus récentes (2015 inclus). L'intention fut également de construire d'une carte des précipitations géoréférencée pour en extraire des statistiques spatiales. Il existe plusieurs méthodes d'extrapolation spatiale de la pluie (Creutin et Obled, 1982), la qualité des résultats dépendant toujours fortement de la densité du réseau d'instrumentation (Lebel, 1997).

L'interpolation ici choisie est une méthode géostatistique robuste intitulée *krigeage*, imaginée par un ingénieur minier au début du XX^{ème}, Daniel G.Krige, et formailsé par Georges Matheron en 1969. Cette méthode est basée sur le principe des régressions statistiques (Obled et *al*., 1994). La projection spatiale obtenue est reportée sur la une nouvelle carte des isohyètes (Figure 30). Cette carte confirme la très inégale répartition des précipitations sur l'île avec les cumuls pluviométriques les plus importants sur les flancs Est.

Pour mémoire, une *isohyète* est une ligne imaginaire sur une carte météorologique reliant les points de mêmes volumes d'eau précipités. En croisant les lignes d'isohyètes et les limites des bassins versant il a été possible d'estimer avec une grande précision les cumuls pluviométriques annuels sur les surfaces des différents bassins versants.

Un bassin versant ne reçoit pas une pluie homogène, cette remarque est d'autant plus vraie que sa surface est grande. L'approche géostatistique a permis de morceler chaque bassin versant en surface contributives plus petites. Un cumul de pluie annuel fut ainsi attribué à chaque surface. **Ce travail est le premier à prendre en compte la disparité pluviométrique au sein d'un même bassin versant tout en considérant l'île de Tahiti dans son ensemble.**

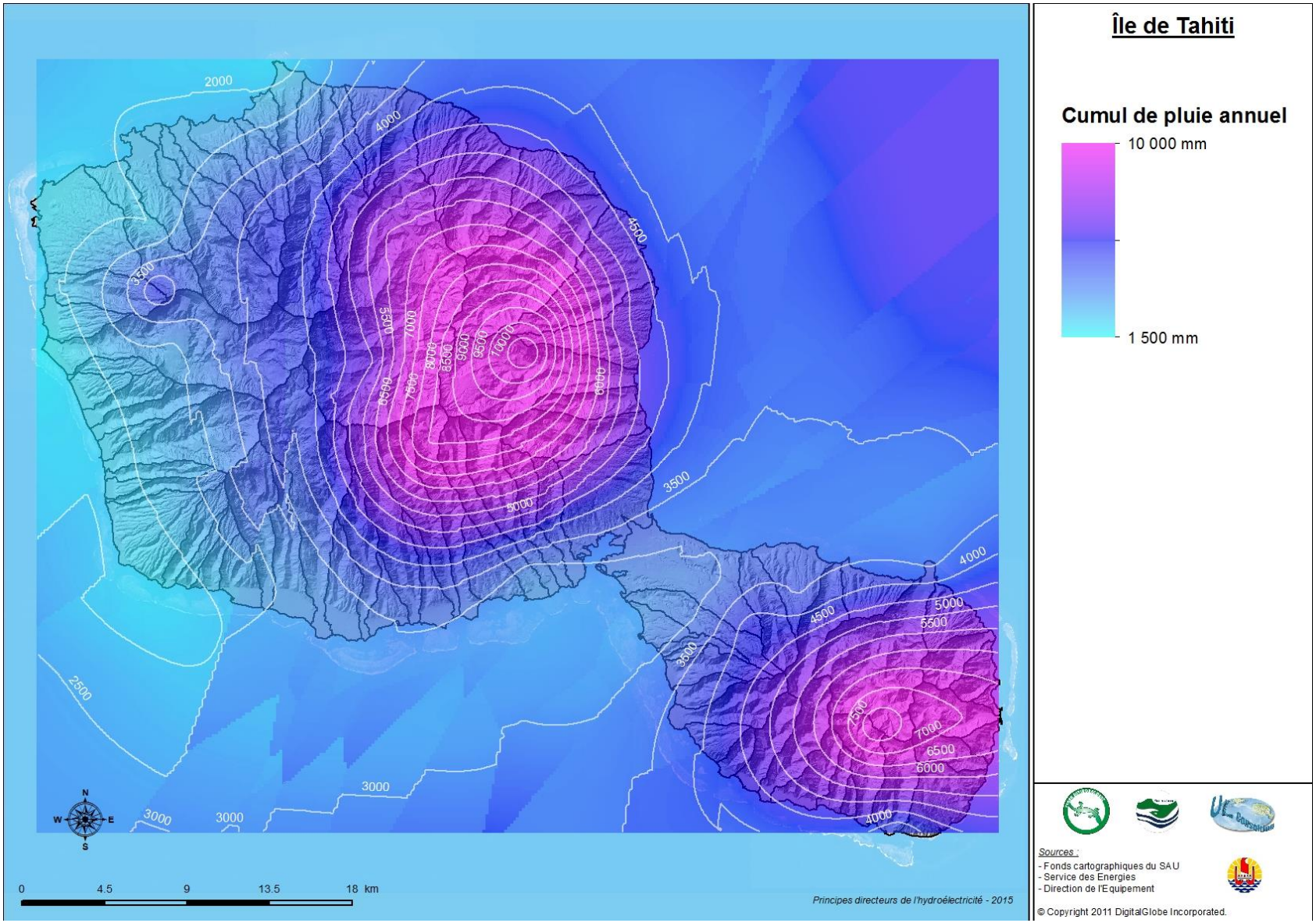


Figure 27 : Carte des isohyètes de l'île de Tahiti. Cumuls des précipitations annuelles actualisés en 2015.

6.2.4. Données hydrométriques

Les données de débit doivent faire l'objet d'une appréciation plus critique que les données pluviométriques avant d'être utilisée. Actuellement, le réseau de suivi sur Tahiti est composé de 15 rivières équipées de stations hydrométriques. Le dispositif permet d'enregistrer en continu les hauteurs d'eau.

Toutefois la hauteur de l'eau dans une rivière n'est pas une mesure de débit. Des jaugeages au moulinet hydrométrique complètent le protocole. Ces jaugeages permettent de mesurer ponctuellement des débits. La relation entre les hauteurs d'eau et les débits ponctuels est ensuite définie en établissant une courbe de tarage (Aldegheri, 1979). La limite de validité de cette relation est directement liée au débit ponctuel maximum qui peut être mesuré. Les crues, souvent violentes, peuvent interdire toute tentative de mesure mettant en danger les équipes en charge de l'acquisition des données. Dans quelques vallées, l'ORSTOM installa des « téléphériques » équipés d'un saumon hydrométrique pour éviter la présence humaine dans le cours d'eau et obtenir une gamme de débit mesurée élargie. Le réseau hydrographique est aujourd'hui maintenu par la cellule hydrologie du GEGDP (Figure 31). Les équations des courbes de tarages sont généralement de forme polynomiale, puissance ou exponentielle. Une erreur d'appréciation dans l'élaboration de ces équations peut entraîner une erreur de conversion « exponentielle » et induire une très mauvaise interprétation des données.

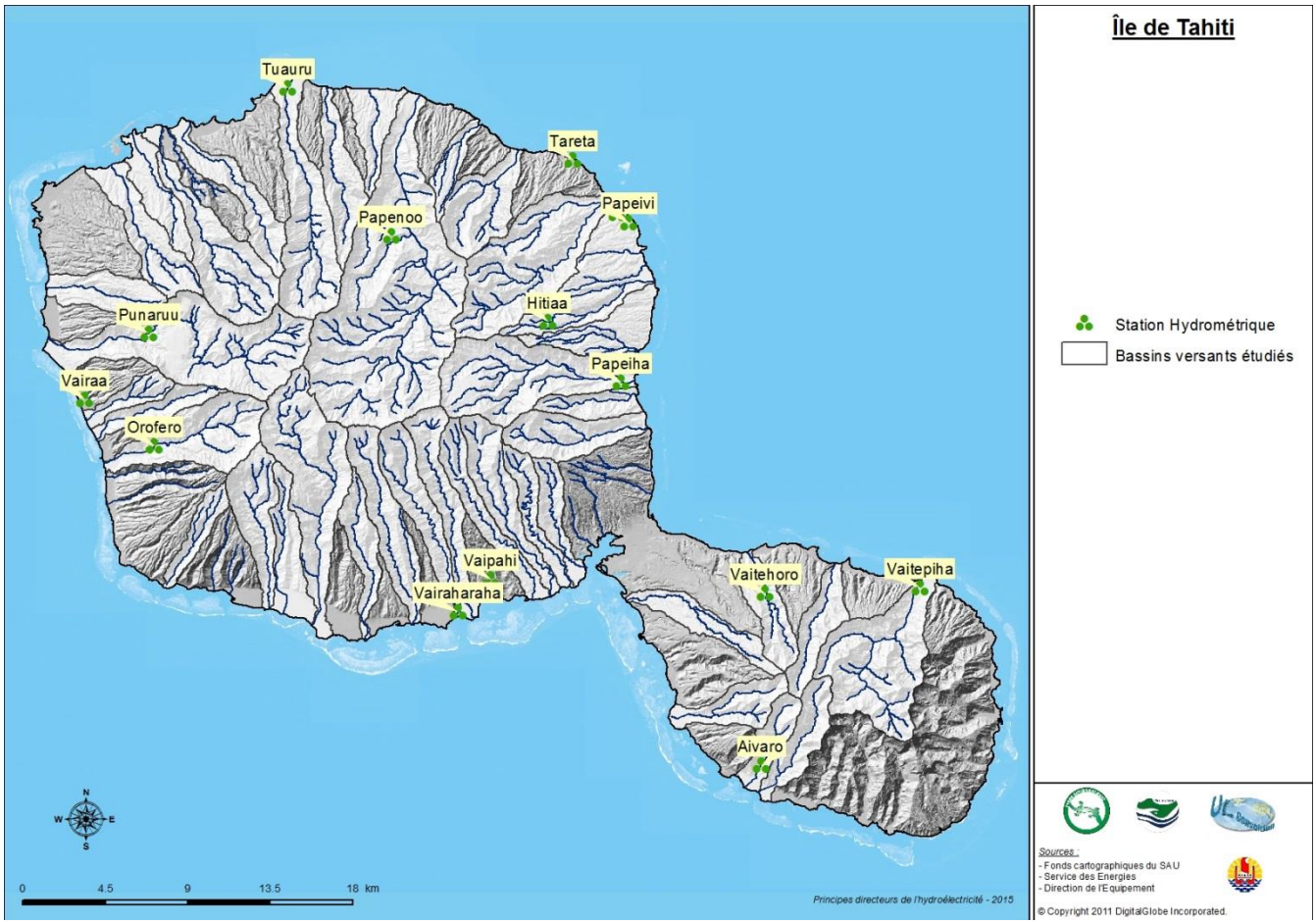


Figure 28 : Réseau Territorial d'Observations Hydrologiques de l'île de Tahiti.
Localisation des stations hydrométriques.

En étudiant les annuaires hydrologiques édités par l'ORSTOM depuis 1970, il apparaît que les débits ponctuels qui ont pu être mesurés restent très largement inférieurs aux extrapolations proposées en période de crues. Il est important de conserver un regard critique au sujet du calcul des débits maximums qui sont présentés dans les différentes publications ou rapports hydrologiques.

Sur l'ensemble du réseau de mesure, toutes les données hydrologiques ne peuvent, malheureusement, être utilisées. En effet, sur les 15 rivières équipées les courbes de tarages permettant de convertir les hauteurs d'eau en débit ne sont pas viables pour les vallées d'Aivaro et de Vairaa. En outre, les stations Tareta, Faatahi, Papeivi et Vaipahi ne sont pas positionnées sur les bassins versants étudiés. L'analyse des données continues issues de la station sur la rivière de la Papenoo présente des trop fortes discontinuités et ne peuvent être exploité en l'état. Il est possible que les retenues d'eau en amont modifient fortement la dynamique d'écoulement de la rivière. Entre 2014 et 2015, la société Vai-Natura fut mandatée par la commune de Mahina pour réaliser des mesures dans la vallée de l'Ahonu au lieu d'un ancien captage à la côte 124. Cette campagne a permis d'obtenir des chroniques de données sur plusieurs mois pour une vallée ne faisant pas partie du réseau initial.

L'accès aux données brutes de 8 stations hydrométriques sélectionnées permet d'apprécier la qualité des calculs des débits et d'obtenir les courbes de débits classés si utile pour calibrer un ouvrage hydroélectrique.

En complément, plusieurs sources bibliographiques permettent de disposer de valeurs de débits. L'obtention de ces statistiques n'est pas toujours renseignée par les auteurs mais ces informations ont le mérite de conforter les données calculées sur les rivières toujours équipées et de compléter la liste des rivières dont le débit est évalué. Parmi ces sources secondaires, il faut citer les annuaires hydrologiques de l'ORSTOM (e.g., Lafforgue, 1987), l'Atlas de la Polynésie française (Lafforgue, 1993), l'Encyclopédie de la Polynésie (Lafforgue, 1990), la thèse de doctorat de L. Ferry intitulée « Contribution à l'étude des régimes hydrologiques de l'île de Tahiti » (Ferry, 1988), les travaux de Geoffroy Wotling (2000) et un travail assez général de la SOGREHA (1982).

Le Tableau 17 récapitule les rivières dont le débit moyen annuel, ou module moyen annuel, est connu. Les débits connus pour les rivières du premier groupe sont puisés dans la bibliographie. Les rivières, du deuxième groupe, sont actuellement instrumentées par le GEGDP et les chroniques de données ont fait l'objet d'une expertise hydrologique approfondie dans le cadre de cette étude. Les moyennes mensuelles et annuelles sont reprises dans le Tableau 18. Toutes ces informations ont été recoupées et comparées en fonction des différentes sources pour assurer la réelle cohérence des résultats.

Vallée	Historique [Année]	Source
Papenoo		Ferry (1988)
Mapuaura		Lafforgue (2003)
Taharuu		Lafforgue (2003)
Fautaua		Ferry (1988)
Aivaro		SOGREAH (1982)
Tuauru	16	GEGDP
Ahonu	1	Vai-Natura
Papeiha	12	GEGDP
Vairaharaha	10	GEGDP
Orofero	13	GEGDP
Punaru'u	15	GEGDP
Vaitehoro	6	GEGDP
Vaitepiha	3	GEGDP

Tableau 17 : Rivières tahitiennes dont le débit est connu à partir de mesures historiques ou actuelles.

Vallée	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Débit moyen [m^3/s]
Tuauru	3.02	3.21	2.46	1.33	1.13	1.06	0.72	0.58	0.96	1.23	1.43	3.76	1.740
Ahonu													0.860
Papeiha	7.51	6.85	5.88	5.57	5.43	4.83	4.30	4.06	5.85	6.24	6.69	7.08	5.868
Vairaharaha	1.58	1.22	1.22	1.13	1.07	1.05	1.04	1.08	1.69	1.67	1.25	1.26	1.276
Orofero	0.90	1.05	0.92	0.75	0.66	0.56	0.50	0.42	0.48	0.44	0.55	0.71	0.920
Punaru'u	4.59	5.05	4.45	2.91	2.50	1.93	1.46	0.96	1.66	2.09	2.03	3.93	2.810
Vaitehoro	1.28	1.23	1.07	0.98	1.55	0.91	0.86	1.06	1.12	1.19	0.90	1.08	1.108
Vaitepiha	7.55	6.48	5.95	6.27	5.34	4.64	3.70	3.05	5.56	5.23	5.00	6.10	5.280

Tableau 18 : Moyennes mensuelles et annuelles des débits journaliers.

L'analyse des différents régimes d'écoulement des vallées tahitiennes est bien documentée notamment par les travaux de Ferry (1988), Lafforgue (1990 et 1993) ou Wotling (1998 et 2000). L'approche ici imaginée est plus générale. Pour évaluer le débit des rivières dont aucune information n'est référencée, l'idée a été de définir une relation assez globale sur l'île entre les précipitations et les débits à partir des données disponibles et d'appliquée cette relation pour chacune des vallées. La méthodologie détaillée est décrite dans la Section 5.3.

Le rendement d'une installation hydroélectrique ne se calcule pas à partir d'une moyenne ou d'une valeur unique, mais en utilisant la courbe des débits classés. Cette courbe permet d'évaluer la régularité de l'écoulement. Formellement, elle projette l'historique des débits moyens quotidiens classés en fonction du pourcentage du temps où le débit est supérieur ou égal à ce débit.

Cette courbe est en quelque sorte la signature hydrologique du cours d'eau auquel elle est associée (cf. Section 2.4). C'est également un outil de comparaison de différents bassins versants qui doit permettre d'établir une typologie des régimes hydrologiques, à l'échelle d'une île par exemple. Le nombreux de données disponibles est actuellement insuffisante sur l'île de Tahiti pour assurer une exhaustivité. Toutefois, l'analyse du graphique représenté Figure 29 est riche de quelques enseignements.

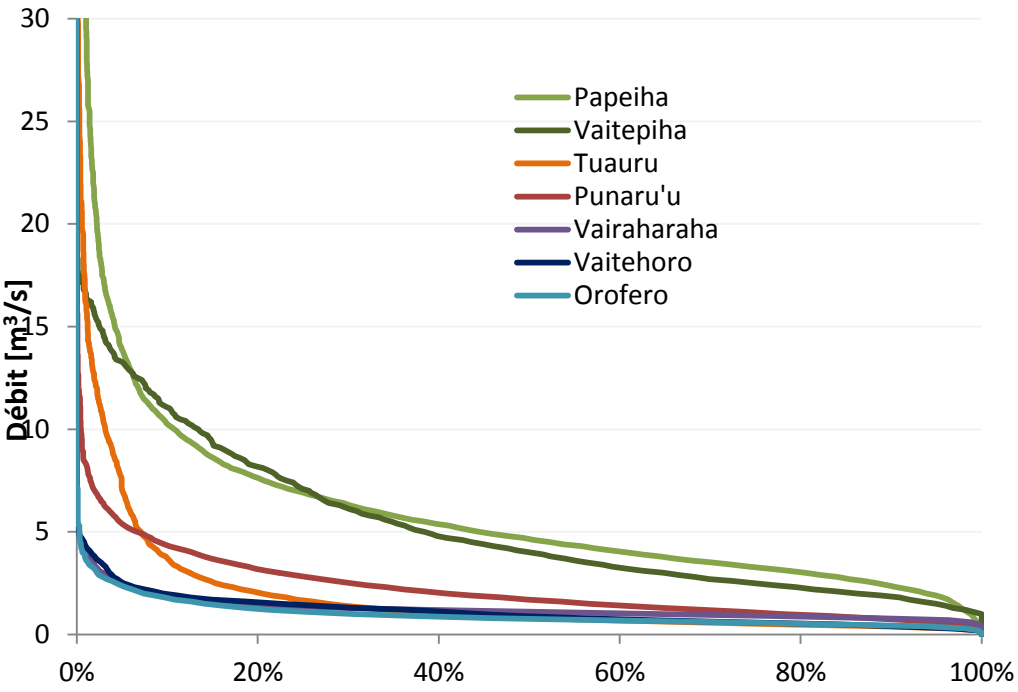


Figure 29 : Courbes des débits classés de 7 rivières de Tahiti.

Il est tout d'abord intéressant de noter que les regroupements qui peuvent être envisagés sont indépendants de la position géographique des bassins versants. Ainsi, la rivière Vaitiu dans vallée d'Orofero, orienté plein Ouest, a un régime hydrologique très similaire à la rivière Vaitehoro sur la presqu'île de Tahiti, orienté à l'Est. De la même façon, un proximité hydrologique existe entre les rivières de la Tuauru et de la Punaru'u, l'une orienté au Nord et l'autre à l'Ouest.

Finalement, trois régimes hydrologiques peuvent être distingués :

- un **régime de faibles débits** plutôt stable (Vairaharaha, Vaitehoro, Orofero) ;
- un **régime fortement torrentiel** avec des distorsions importantes entre les débits de base et les débits de crues. (Tuauru, Punaru'u) ;
- un **régime plus élevé** caractérisant les grands bassins versants dont les débits sont importants. Le débit moyen journalier est supérieur à 4 m^3/s la moitié de l'année (Papeiha, Vaitepiha).

Il apparaît que la proximité de la dynamique des écoulements ne dépend pas de l'orientation. La géomorphologie et la taille des bassins versant jouent certainement un rôle, mais il n'est pas possible de déduire actuellement une relation de cause à effet qui permettrait de caractériser des rivières non instrumentées.

Par contre, le débit moyen journalier est une information qui devrait permettre de discriminer les groupes. Le groupe des régimes faibles a des débits moyens compris entre 0.9 et 1.2 m^3/s, celui des régimes élevés présente des débits moyens supérieurs à 5 m^3/s. La variation est un peu plus large pour le régime qualifié de fortement torrentiel entre 1.7 et 2.8 m^3/s. Une étude hydrologique approfondie à l'échelle de l'île devrait d'affiner ces conclusions et sans doute d'obtenir une classification plus détaillée.

Quoi qu'il en soit, cette analyse renforce le choix du débit moyen journalier comme statistique de comparaison fiable de l'hydrologie des bassins versants de l'île de Tahiti.

Dans les études énergétiques et économiques, le calcul des puissances garanties s'ajuste en fonction du pourcentage de temps pendant lequel un débit est dépassé. Le Tableau 19 résume ces données pour les sept rivières mesurées. Par exemple, la rivière de la Punaru'u a un débit journalier moyen supérieur à 1.17 m^3/s, 7 jours sur 10, c'est-à-dire 70% du temps, ou encore 255 jours par an.

Ces valeurs doivent également permettre de dimensionner une éventuelle retenue d'eau et d'en évaluer la vitesse d'approvisionnement.

Pourcentage du temps	Tuauru	Papeiha	Orofero	Punaruu	Vaitepiha	Vairaharaha	Vaitehoro
95 %	0.32	1.89	0.38	0.60	1.49	0.73	0.33
90 %	0.39	2.37	0.44	0.76	1.84	0.79	0.40
80 %	0.48	3.03	0.53	0.98	2.28	0.87	0.55
70 %	0.57	3.51	0.60	1.17	2.70	0.95	0.62
60 %	0.68	4.04	0.68	1.41	3.25	1.03	0.75
50 %	0.82	4.64	0.76	1.69	4.00	1.11	0.88
40 %	1.04	5.38	0.86	2.03	4.78	1.19	1.12
30 %	1.38	6.33	1.01	2.53	6.16	1.30	1.32
20 %	2.05	7.63	1.24	3.18	8.17	1.45	1.57
10 %	3.73	10.24	1.76	4.35	11.05	1.84	1.97

Tableau 19 : Débit moyen journalier dépassé par un pourcentage de temps.

La courbe des débits classés est un prérequis indispensable pour dimensionner correctement un ouvrage lors des phases d'études préalables au lancement effectif d'un projet d'aménagement hydroélectrique. Une étude hydrologique, *opérationnelle*, doit alors être menée au niveau des sites pressentis pour l'implantation de la prise d'eau et de la retenue qui y est liée.

Par défaut, la courbe des débits classés se dessine à partir d'une chronique de débits qui peuvent être qualifiés de débits disponibles. Or pour des raisons autant écologiques que pour maintenir un équilibre mécanique dans le lit des cours d'eau, il est indispensable de garantir un débit réservé (cf. Sections 3.5 et 4.9.13) pour assurer une continuité dans l'écoulement. L'hydraulicien doit alors considérer non plus le débit disponible, mais le débit utilisable qui est diminué du débit résiduel.

La Figure 30 illustre cette approche différenciée en prenant l'exemple de la rivière Vaiiha dans la vallée de la Papeiha. Le débit réservé a été ici calculé en se basant sur l'approche simplifiée du dixième du module interannuel, tout en considérant qu'elle s'adapte mal au contexte des cours d'eau polynésiens (cf. Section 4.9.13).

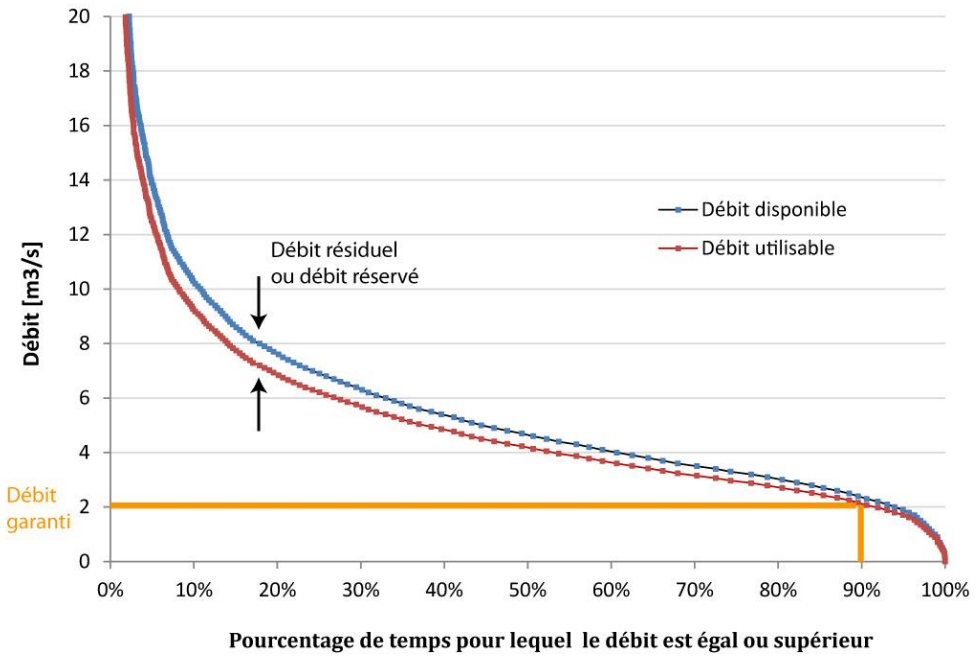


Figure 30 : Courbes des débits classés disponibles et utilisables sur la rivière Vaiiha (côte 10).

6.2.5. Données environnementales

Pour évaluer le plus objectivement possible l'intérêt environnemental des différentes vallées, le paramètre choisi est le rapport de la surface des zones d'intérêt écologique sur la surface total du bassin versant. Ce choix fut guidé par une volonté d'approche générale et équitable se basant sur l'information disponible la plus complète possible. Les zones écologiques d'intérêt regroupent, sans distinction, tous les espaces délimités par la DIREN présentant un intérêt environnemental, qu'ils soient classés ou simplement estimés sensibles (Figure 31).

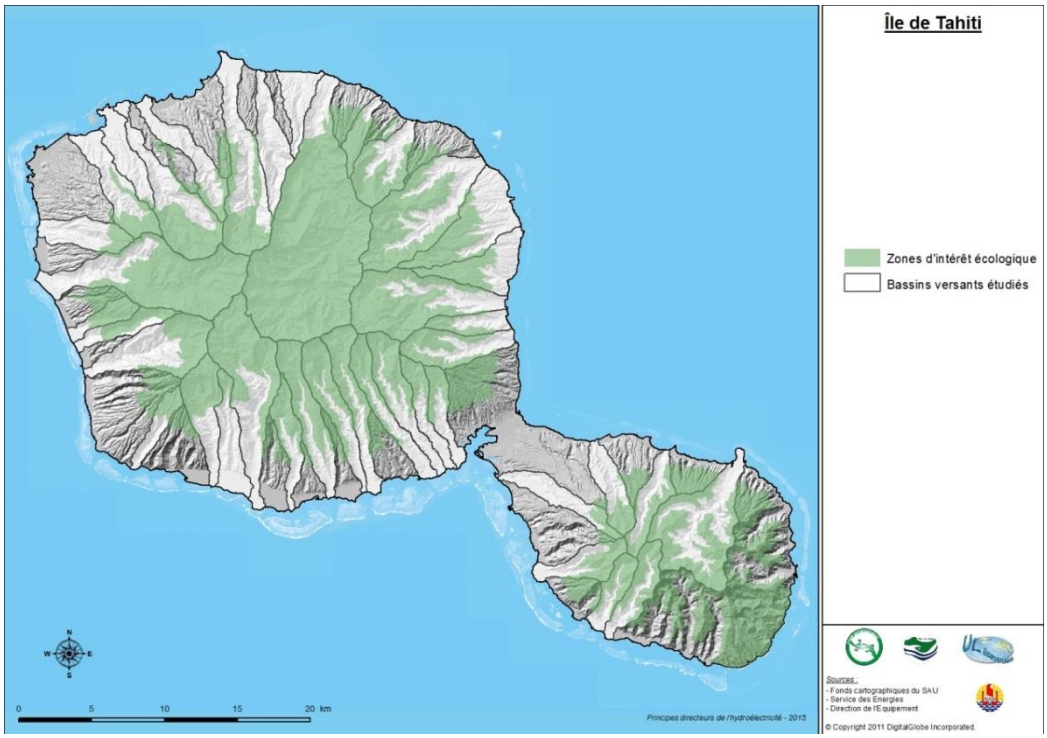


Figure 31 : Totalité des zones d'intérêt écologique (source : DIREN)

A l'échelle de l'île, les zones d'intérêt écologique couvrent une superficie de près de 450 km^2, soit 43% des terres émergés. Ces espaces se retrouvent pour une grande part sur les crêtes sommitales et le fond des vallées aussi nommés « hautes vallées ». Bien que l'impact d'un projet hydroélectrique ne peut se résumer à l'emprise de ces zones d'intérêt, il apparaît que dans une même vallée peuvent se succéder des espaces déjà dégradés et des espaces à préserver absolument. Une vallée emblématique est celle de la Punauru'u à l'Ouest qui accueille la plus importante zone industrielle du pays dans sa basse vallée. La moyenne vallée est également fortement impactée par des activités d'exploitation d'agrégat (Aureau, 2015). Pourtant, le fond de la haute vallée abrite des sites de conservations importants (Meyer et *al*., 2005) qui pourraient faire l'objet d'un classement en « Espace Naturel Protégé » (Meyer, 2009).

Le rapport de la surface des zones d'intérêt écologique sur la surface totale du bassin versant est avant tout un paramètre fournissant une première approximation de la sensibilité environnementale de chaque vallée et ne pas être automatiquement discriminent. Effectivement, la sanctuarisation ou l'autorisation d'exploitation, de telle ou telle vallée doit nécessairement s'étudier au cas par cas et s'appuyer sur des inventaires écologiques plus complets.

Le Tableau 20 est un classement des vallées en fonction de leur intérêt écologique. La vallée la plus favorable pour l'hydroélectricité se caractérise par un rapport faible, entre surface d'intérêt écologique et surface totale du bassin versant, faible. La vallée de l'Orofara est ainsi en tête du classement.

Classement	Nom	Surface BV [km^2]	Superficie Zone écologique [km^2]	Rapport Surf. ZoneEco/Surf. Tot [%]
1	Orofara (Tetiairiroa)	9	0	0%
2	Ahonu	13	0.11	1%
3	Papeava	10	0.36	4%
4	Papeiti	12	1.5	13%
5	Nahoata (Pirae)	13	2.52	19%
6	Aoma	10	1.96	20%
7	Matatia	11	2.63	24%
8	Tipaerui	15	5.41	36%
9	Vaitehoro	10	3.6	36%
10	Tuauru	29	12.26	42%
11	Tereia	6	2.63	44%
12	Vaitiu (Orofero)	22	9.62	44%
13	Mahatearo (Parauta)	24	11.01	46%
14	Afeu	8	3.66	46%
15	Utuofai	7	3.3	47%
16	Vaiteremu	10	4.86	49%
17	Faatautia (Hitiaa)	14	6.95	50%
18	Paui	8	4	50%
19	Fautaua	24	11.9	50%
20	Vavi	10	5.13	51%
21	Vaite	12	6.37	53%
22	Mapuaura	15	8.38	56%
23	Mairipehe (Moaroa)	10	5.67	57%
24	Vaitepiha	34	19.35	57%
25	Titaaviri	15	8.72	58%
26	Onohea	16	9.5	59%
27	Tiirahi	11	6.64	60%
28	Aivaro	8	4.79	60%
29	Vaitaara (Mahaena)	37	22.67	61%
30	Vaihiria	15	9.28	62%
31	Temarua	14	8.68	62%
32	Taharuu	34	21.76	64%
33	Hopuetamai (Tiapa)	7	4.54	65%
34	Vaitunamea	17	11.21	66%
35	Vairaharaha	15	10.07	67%
36	Papehue	6	4.31	72%
37	Vaiiha (Papeiha)	33	24.05	73%
38	Punaruu	45	33.52	74%
39	Vaipu	5	4.14	83%
40	Papenoo	90	84.36	94%

Tableau 20 : Emprises des zones d'intérêt écologique par bassins versants, Tahiti Nui.

6.3. Stratégie d'évaluation des bassins versants de Tahiti

6.3.1. Méthodologie de scoring hydrologique

La stratégie de travail qui fut élaboré pour comparer le potentiel hydrologique des différents bassins versants de l'île de Tahiti s'est appuyée sur la réalité hydrologique et les contraintes pratiques liées à la disponibilité des données.

6.3.1.1. Débit moyen annuel

Comparer le potentiel hydrologique de plusieurs rivières peut se résumer à l'étude des débits. Dans un contexte de production hydroélectrique, l'analyse la plus pertinente s'appuierait sur la courbe des débits classés qui est l'outil décrivant la fréquence des débits significatifs. Cette courbe représente en quelque sorte la signature hydrologique d'un cours d'eau.

Cette courbe, construite généralement à partir des débits moyens journaliers, n'est malheureusement pas extrapolable d'une rivière à l'autre puisqu'un trop grand nombre d'éléments externes interagissent avec le ruissellement de surface (e.g., pentes, caractéristiques du sol, végétation, taille du bassin versant). Plus globalement le débit n'est pas une grandeur spatiale représentative.

Les rivières instrumentées sur l'île de Tahiti sont actuellement trop peu nombreuses pour utiliser le critère de fréquence des débits pour comparer le potentiel hydrologique des vallées. Pour les autres îles, la question ne se pose pas, bien peu de données sont disponibles.

Par contre, sur Tahiti, les stations pluviométriques composent un réseau efficace et d'une bonne couverture géographique (Section 5.2.3). Et la pluie est l'un des éléments du cycle hydrologique le plus représentatif spatialement, c'est-à-dire qu'il est extrapolable sur une surface étendue. C'est sur cette propriété que l'hydrologue s'appuie pour justifier la pertinence d'une carte des isohyètes.

La ressource en eau dans les îles est presque totalement d'origine atmosphérique, et il existe une forte réactivité des rivières aux évènements pluvieux, c'est à la caractérisation même d'un régime torrentiel. A cours terme, cette réactivité est d'autant plus rapide que les pentes des bassins versant sont abruptes, favorisant le ruissellement par rapport à l'infiltration (Vai-Natura, 2011).

Sur une période de quelques heures ou quelques jours, la relation entre pluie et débit ne peut être extrapolée d'une vallée à une autre puisque les caractéristiques géomorphologiques de chaque bassin versant entrainent une réponse hydrologique unique. Cette réalité a été mise en évidence pour l'île de Tahiti à travers les travaux de modélisation de G. Wotling en 1998.

Par contre, sur échelle de temps plus longue, de plusieurs semaines à plusieurs mois, les éléments géomorphologiques, pédologiques et environnementaux, interagissant dans le cycle hydrologique d'un bassin versant ne devraient plus avoir d'influence sur la cinétique du ruissellement.

De ces constatations a résulté l'hypothèse d'une corrélation possible entre le cumul de pluie sur 12 mois et le débit moyen annuel des rivières. Bien que ne prenant pas en compte la dynamique du flux dans la rivière, le débit moyen annuel a l'avantage de catégoriser simplement les rivières en fonction de leur potentiel et de lisser l'influence de la saisonnalité et du manque de données.

A partir d'un traitement géographique de la nouvelle carte des isohyètes (Figure 29), il a été possible de croiser les surfaces des bassins versants avec les surfaces de la carte des isohyètes. Le résultat est une estimation précise des précipitations annuelles dans chaque bassin versant. Cette technique peut aussi être utilisée pour quantifier la pluie sur une surface plus petite qui peut correspondre à l'aire contributive en amont d'une station hydrométrique ou d'un ouvrage de captation d'eau.

Pour chacune des 8 stations hydrologiques faisant partie du réseau de mesures actuellement en activité, le débit moyen annuel a été mis en correspondance avec le cumul de pluie calculé pour chaque aire contributive en amont de la station hydrométrique. L'aire contributive correspond à la totalité d'un bassin versant lorsque la station de mesure hydrométrique est positionnée à proximité de l'exutoire, ce qui est le cas pour la rivière de la Tuauru par exemple. .

Une très forte corrélation est donc mise en évidence entre le cumul de pluie annuel et le débit moyen annuel (Figure 32). Les huit bassins versants ont des profils variés en termes d'hydrologie, de géomorphologie et d'orientation géographique. Il en ressort que la relation obtenue semble réellement significative.

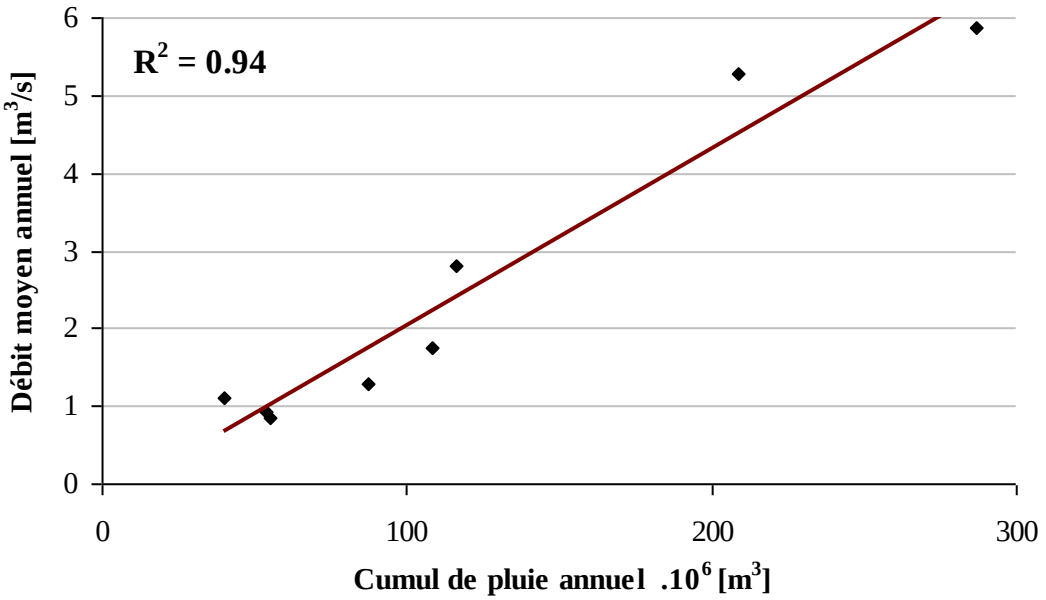


Figure 32 : Corrélation statistique entre les cumuls pluviométriques annuels et les débits des rivières

La relation ainsi définie entre pluie et débit a pour vocation à être appliquée aux bassins versants dont l'hydrologie est peu ou mal connue. Pour s'assurer la pertinence de la méthode, la relation a pu être évaluée en se basant sur le principe de la validation croisée (Stone, 1974). La performance d'un modèle est jugée en comparant ses calculs prédictifs avec des données réelles. La robustesse de la validation impose que les données de validation n'aient pas été utilisées dans la construction du modèle.

La phase de validation s'est appuyée sur les bassins versants dont les débits moyens annuels sont issus de documents bibliographiques (Tableau 21).

Vallée	Pluie cumulée [.10^6 m^3]	Débit calculé [m^3/s]	Débit mesuré [m^3/s]	Erreur [%]
Papenoo	541	11.900	12.054	1.3 %
Mapuaura	101	2.060	2.066	0.3 %
Taharuu	130	2.700	2.724	1 %
Fautaua	78	1.600	1.544	3.5 %
Aivaro	41	0.650	0.704	8.3 %

Tableau 21 : Evaluation de la qualité de prédiction du débit à partir de la pluviométrie cumulée.

Ces résultats sont particulièrement favorables avec un taux moyen d'erreur inférieur à 5%. Quantitativement, la contribution de l'aléa pluviométrique au régime des cours est donc très nettement significative sur une échelle annuelle. La variabilité des phénomènes locaux de rétention d'eau dans certaines zones d'un bassin versant ou la variabilité des vitesses d'infiltration se lissent en prenant en compte une période de d'observation suffisamment longue. Ce résultat tend également à prouver que les îles hautes volcaniques, en tout cas Tahiti, n'hébergent pas de réserve d'eau souterraine significative.

L'équation mettant en relation pluie et débit a donc été appliquée à l'ensemble des bassins versants ce qui a permis d'obtenir pour la première fois une bonne évaluation du débit moyen annuel de toutes les rivières de Tahiti (Tableau 22).

6.3.1.2. Débit spécifique

Pour augmenter la hauteur de chute, un ouvrage hydroélectrique se situe dans la plupart des cas à plusieurs kilomètres de l'exutoire. En remontant la vallée, l'effet inverse à l'augmentation de la hauteur de chute est une réduction du débit disponible, la raison principale en est une surface contributive réduite. Ainsi, pour deux bassins versants présentant un débit moyen similaire à l'exutoire, et en considérant une dénivellation des cours d'eau équivalente, le bassin versant le moins étendu présente à priori un potentiel hydroélectrique plus intéressant, le débit est soutenu par une surface contributive plus petite permettant d'espérer atteindre des hauteurs de chute exploitable plus importantes.

Cette argumentation soutient l'influence de la surface dans la stratégie de comparaison des bassins versants. En hydrologie, la valeur utilisée pour intégrer la double représentation du débit et de l'aire contributive est le débit spécifique [$LT^{-1}L^{-2}$].

Le Tableau 22 présente les débits moyens journaliers calculés pour chaque rivière à partir de la pluviométrie annuelle. Les rivières sont classées du plus fort débit vers le plus faible. Le Tableau 23 dévoile le classement des bassins versants à partir du débit moyen spécifique. La somme des rangs de ces deux classements donne le score hydrologique des vallées qui est utilisé pour comparer leur potentiel hydrologique

Classement	Nom	Surface BV [km^2]	Pluie Cumulée [$.10^6$ m^3]	Débit Moyen Journalier [m^3/s]
1	Papenoo	90	541	12.06
2	Vaiiha (Papeiha)	33	287	6.287
3	Vaitaara (Mahaena)	37	269	5.883
4	Vaitepiha	9.37	209	4.525
5	Mahatearo (Parauta)	24	150	3.18
6	Taharuu	34	130	2.715
7	Punaruu	45	116	2.396
8	Tuauru	29	108	2.226
9	Mapuaura	15	101	2.064
10	Onohea	16	99	2.013
11	Titaaviri	15	98	1.99
12	Faatautia (Hitiaa)	14	92	1.868
13	Vaihiria	15	92	1.853
14	Vairaharaha	15	87	1.753
15	Vaitunamea	17	83	1.65
16	Fautaua	24	78	1.538
17	Vaite	12	70	1.371
18	Tiirahi	8.61	61	1.165
19	Ahonu	13	55	1.015
20	Vaitiu (Orofero)	22	54	0.998
21	Utuofai	7	49	0.879
22	Vaiteremu	8.4	47	0.833
23	Paui	8	45	0.805
24	Vavi	6.04	45	0.794
25	Temarua	14	43	0.751
26	Nahoata (Pirae)	13	41	0.701
27	Aivaro	6.09	41	0.697
28	Mairipehe (Moaroa)	10	40	0.676
29	Vaitehoro	3.57	40	0.67
30	Tipaerui	15	39	0.664
31	Afeu	8	38	0.645
32	Orofara (Tetiairiroa)	9	35	0.568
33	Aoma	10.52	35	0.557
34	Papeiti	12	32	0.491
35	Vaipu	5	29	0.434
36	Matatia	11	28	0.417
37	Papeava	10	26	0.357
38	Hopuetamai (Tiapa)	7	16	0.129
39	Tereia	6	13	0.074
40	Papehue	6	11	0.03

Tableau 22 : Classement des rivières de Tahiti en fonction du débit moyen journalier calculé.

Classement	Nom	Débit Moyen Spécifique [l/s/km^2]
1	Vaiiha (Papeiha)	191
2	Vaitaara (Mahaena)	159
3	Mapuaura	138
4	Papenoo	134
5	Vaitepiha	133
6	Titaaviri	133
7	Faatautia (Hitiaa)	133
8	Mahatearo (Parauta)	132
9	Onohea	126
10	Utuofai	126
11	Vaihiria	124
12	Vairaharaha	117
13	Vaite	114
14	Tiirahi	106
15	Paui	99
16	Vaitunamea	97
17	Aivaro	87
18	Vaipu	87
19	Vaiteremu	83
20	Afeu	81
21	Taharuu	80
22	Vavi	80
23	Ahonu	78
24	Tuauru	77
25	Nahoata (Pirae)	70
26	Mairipehe (Moaroa)	68
27	Vaitehoro	67
28	Fautaua	64
29	Orofara (Tetiairiroa)	63
30	Aoma	56
31	Temarua	54
32	Punaruu	53
33	Vaitiu (Orofero)	45
34	Tipaerui	44
35	Papeiti	41
36	Matatia	38
37	Papeava	36
38	Hopuetamai (Tiapa)	18
39	Tereia	12
40	Papehue	5

Tableau 23 : Classement des rivières de Tahiti en fonction des débits moyens spécifiques.

6.3.1.3. Classement des vallées par potentiel hydrologique

Finalement, le débit moyen permet d'estimer le potentiel brut d'une rivière et le débit spécifique intègre la notion de surface indirectement liée à la hauteur de chute. Pour chacun des 2 paramètres, les vallées sont ensuite classées dans un ordre décroissant. Le score hydrologique est ensuite obtenu en additionnant les rangs des vallées dans chaque cas (Annexe 1).

Le diagramme de la Figure 33 propose un résumé des différentes étapes ayant menées au classement hydrologique des vallées tahitiennes. Il faut noter que la démarche de recherche des paramètres explicatifs de l'écoulement des rivières a permis d'explorer plusieurs hypothèses liées aux caractéristiques géomorphologiques des bassins versants (pentes, altitudes, orientation). Toutefois, seule la pluie est ressortie comme une variable explicative, même de causalité, pour évaluer le débit des rivières. La compilation des informations géomorphologiques est proposée en annexe de ce rapport (Annexe 2).

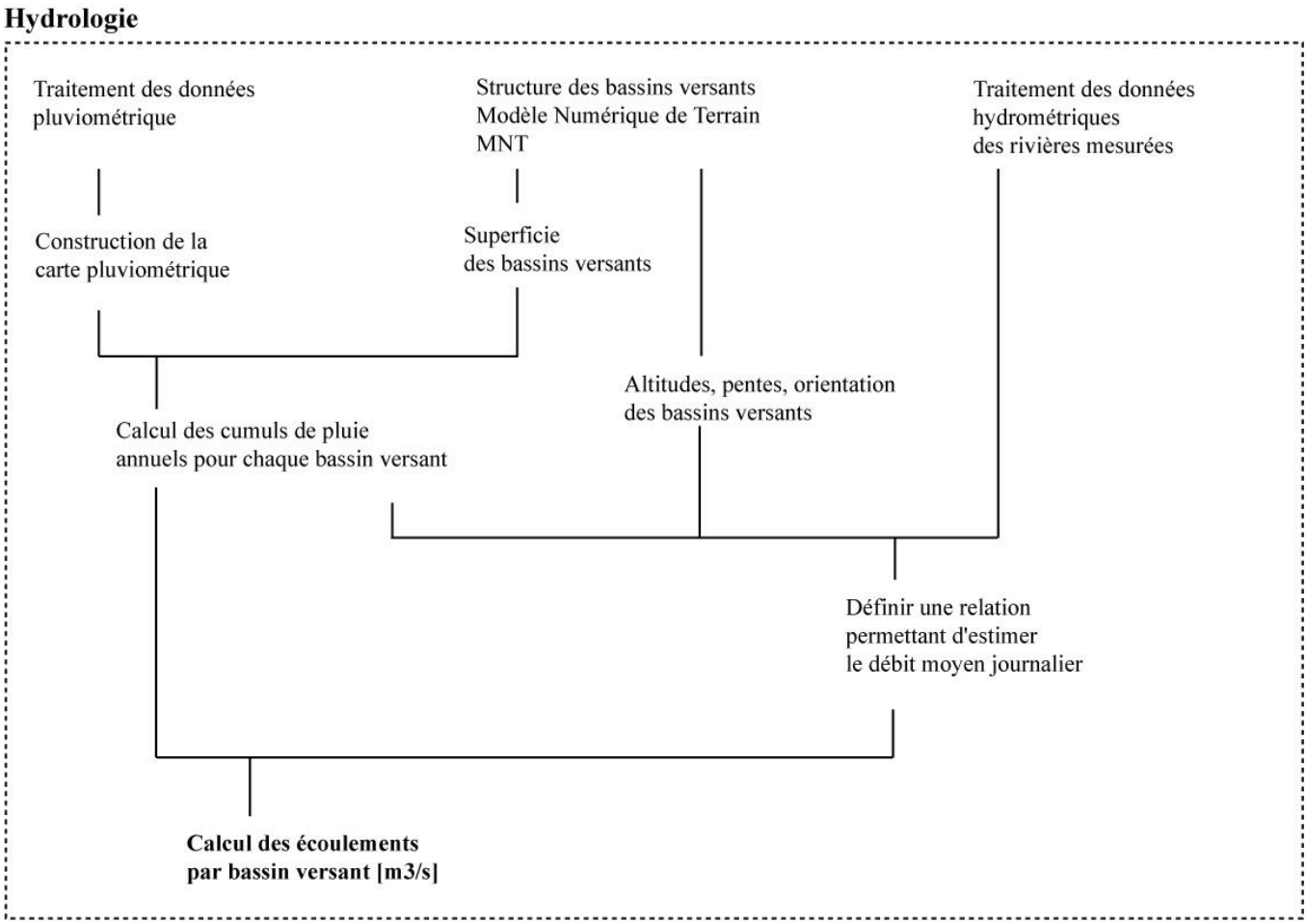


Figure 33 : Schéma méthodologique pour évaluer les écoulements de surface dans les bassins versants de l'île de Tahiti.

6.3.2. Classement environnemental des vallées

A partir du rapport de la surface des zones d'intérêt écologique sur la surface totale les vallées ont été classées dans un ordre décroissant (Tableau 20), de la vallée à l'intérêt écologique le plus réduit (rang 1) à la vallée écologiquement la plus sensible (rang 40).

Il convient de rappeler que ce classement n'est pas discriminant dans le processus de sélection. En effet, les inventaires exhaustifs manquent souvent pour décrire l'état environnemental réel des vallées.

6.4. Sélection des vallées de Tahiti

L'analyse contextuelle a permis de trier les vallées en fonction de leur potentiel hydrologique, et de leur « intérêt » environnemental. Le Tableau 24 récapitule ces résultats. Les vallées sont ordonnées en fonction de leur valeur hydrologique.

Les lignes surlignées en vert correspondent aux bassins versants qui font déjà l'objet d'une exploitation hydroélectrique. Il est cohérent de noter que ces vallées apparaissent dans les quinze vallées à plus fort potentiel.

La vallée de la Papeiha où s'écoule la Vaiiha occupe la première place du classement. Son potentiel est indéniable, il est alors compréhensible qu'elle concentre les attentes depuis plusieurs années.

La désignation des vallées méritant une expertise complémentaire fut menée en respectant les deux règles suivantes :

- sélectionner les bassins versants classés dans les 10 meilleurs scores hydrologiques ;
- sélectionner les bassins versants, classés hydrologiquement entre la 10ème et la 19ème place, si leur rang environnemental est inférieur à 30.

Le strict respect de ces règles objectives a induit la sélection des bassins versants surlignés en jaune dans le Tableau 23. La vallée Paui a été soumise à une exception. Elle ne fut pas retenue parce que son débit moyen annuel est apparu trop faible, inférieur à 800 l/s. Inversement, la Vairaharaha, dont le débit moyen est égal à 1.75 m^3/s, a été sélectionnée parce que son profil est proche des vallées voisines Titaaviri, Vaihiria, Vaite, qui elles sont déjà exploitées pour l'hydroélectricité.

En complément, trois sites supplémentaires furent ajoutés, la rivière de la Punaru'u, la vallée de l'Ahonu et la rivière de la Fautaua. Leur sélection est une appréciation plus subjective issue de l'expérience de terrain des auteurs.

La vallée de l'**Ahonu**, sur la commune de Mahina, abrite un ancien captage pour l'alimentation en eau potable. Ce captage, situé à la côte 124, n'est plus exploité depuis 2006 en raison d'une trop forte turbidité. Sous certaines conditions, il pourrait être réhabilité pour y développer une petite unité de production hydroélectrique.

La vallée de la **Fautaua** présente des atouts indéniables dans une problématique de production d'hydroélectricité :

- la rivière est déjà exploitée, par galerie drainante, pour de la production d'eau destinée à l'alimentation en eau potable. Les infrastructures annexes comme les routes d'accès sont déjà présentes ;
- la vallée est connue pour abriter de grandes cascades. Il est techniquement envisageable d'utiliser ces dénivellations naturelles pour profiter d'une hauteur de chute importante ;
- la vallée ne présente pas d'enjeu environnemental préoccupant, mais par contre des enjeux sociaux importants.

Chacune des options présentées doit évidemment faire l'objet d'analyses plus complètes. Certaines contraintes non évaluées pourraient interdire toute exploitation énergétique. Mais dans le cadre d'une politique de développement énergétique durable et indépendante, il peut être pertinent et performant de s'appuyer sur des infrastructures existantes. En effet les impacts seraient largement réduits et les investissements seraient notablement plus faibles.

La carte de la Figure 34 permet une représentation géographique des vallées présentant un intérêt pour une exploitation hydroélectrique. Sans surprise, la plupart d'entre elles se trouvent dans la moitié Est de l'île. L'étude plus précise de chacune de ces vallées est dans l'atlas cartographique qui accompagne ce document.

Nom	Rang Hydrologie	Rang Environnement
Vaiiha (Papeiha)	1	37
Vaitaara (Mahaena)	2	29
Papenoo	3	40
Vaitepiha	4	24
Mapuaura	5	22
Mahatearo (Parauta)	6	14
Faatautia (Hitiaa)	7	18
Titaaviri	8	25
Onohea	9	26
Vaihiria	10	30
Vairaharaha	11	35
Taharuu	12	32
Vaite	13	21
Utuofai	14	15
Vaitunamea	15	34
Tiirahi	16	28
Tuauru	17	10
Paui	18	19
Punaruu	19	38
Vaiteremu	20	16
Ahonu	21	2
Aivaro	22	27
Vavi	23	20
Fautaua	24	17
Afeu	25	13
Nahoata (Pirae)	26	5
Vaipu	27	39
Vaitiu (Orofero)	28	11
Mairipehe (Moaroa)	29	23
Vaitehoro	30	8
Temarua	31	31
Orofara (Tetiairiroa)	32	1
Aoma	33	6
Tipaerui	34	9
Papeiti	35	4
Matatia	36	7
Papeava	37	3
Hopuetamai (Tiapa)	38	33
Tereia	39	12
Papehue	40	36

Tableau 24 : Sélection des vallées tahitiennes présentant un potentiel hydroélectrique intéressant.

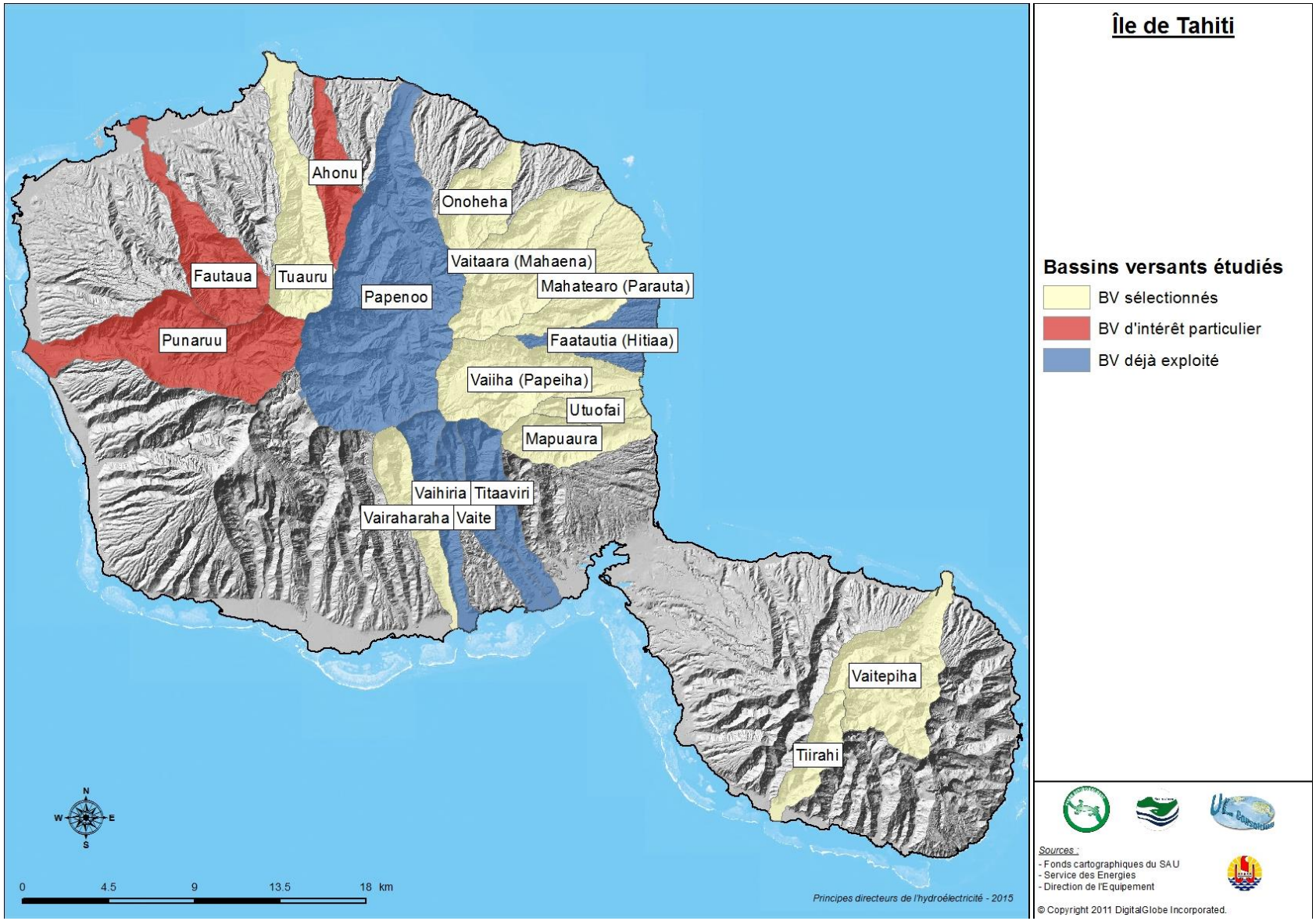


Figure 34 : Positionnement des vallées présentant un intérêt hydroélectrique.

6.5. Potentiel hydroélectrique des autres îles polynésiennes

Outre l'île de Tahiti, la Polynésie française est composée de plusieurs îles hautes dont quelques rivières pourraient être, ou sont déjà, exploitée pour une production hydroélectrique. Une approche un peu plus précise permet de distinguer quatre îles réellement intéressantes. Les rivières sélectionnées présentent, à minima un régime continu au cours de l'année c'est-à-dire que l'écoulement n'est pas interrompu en période sèche. Les bassins versants sont de taille réduite en comparaison aux vallées tahitiennes et les surfaces contributives peuvent être trop faibles pour assurer un écoulement de surface continu. Le potentiel de production hydroélectrique dans les îles en dehors de Tahiti reste limité et doit être exploité par de petites unités de production, PCH.

Sur les quatre îles pouvant accueillir une production hydroélectrique, trois se trouve dans l'archipel des Marquises : Nuku-Hiva, Hiva-Oa et Fatu-Hiva. L'île possédant certainement le potentiel cumulé le plus intéressant et accueillant la population la plus grande est l'île de Raiatea.

6.5.1. Raiatea

Il n'existe que très peu de données hydrologiques actualisées sur l'île de Raiatea. Les dernières campagnes de mesure à l'échelle de l'île datent des années 80 (Lafforgue et Robin, 1989). La carte des isohyètes qui fut alors dessinée (Figure 35) décrit une pluviométrie qui peut être importante, jusqu'à 6 m d'eau par an, mais concentrée sur les reliefs du centre de l'île. Ceux sont essentiellement les bassins versants orientés vers l'Est qui sont arrosés et dont le potentiel hydrologique est prometteur.

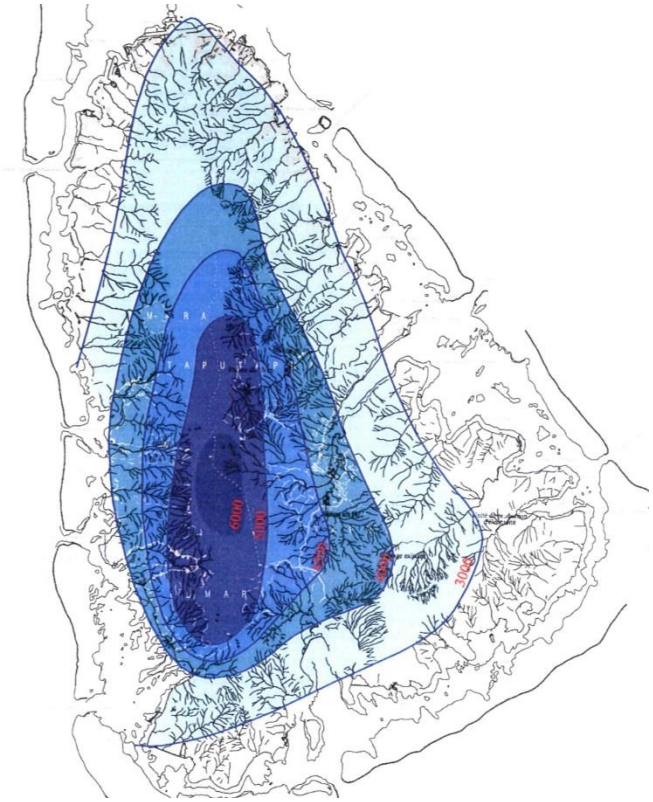


Figure 35 : Carte des isohyètes annuelles sur la période 1983-1988 (Lafforgue et Robin, 1989).

Finalement, six vallées pourraient être aménagées et équipées d'une petite unité de production hydroélectrique (Figure 36). Cinq vallées sont situées sur la commune de Taputapuatea sur la côte Est. La vallée de Vaiaau est orientée vers l'Ouest.

Figure 36 : Bassins versants de l'île de Raiatea présentant un potentiel hydroélectrique intéressant.

La commune mène depuis quelques années des consultations pour développer les projets hydroélectriques.

En 2014, un ancien captage dans la vallée d'Aratao fut ainsi remis en état. Pour un ensemble de raisons techniques et de réalisation de la prise d'eau, il semblerait que la grille de captation soit régulièrement obstruée et la turbine ne fonctionne que par intermittence.

La vallée de Faaroa, la plus grande de l'île est une grande zone agricole l'eau de surface est captée pour alimenter les parcelles agricoles. Les ouvrages de captation et le réseau de distribution ont été rénovés en 2011. Une centrale thermique, gérée par EDT, est situé sur la route de ceinture. Il pourrait être envisageable de turbiner une partie de l'eau captée à condition d'assurer une irrigation égale pour les agriculteurs. Le débit spécifique à l'exutoire est estimé en 1989 à 127 l/s/km² et le débit moyen annuel à 1.42 m^3/s.

La vallée d'Avera Rahi a fait l'objet de plusieurs études hydrologiques au cours des dernières années. Son potentiel, à priori, est avéré avec une estimation à 50 kW. Une galerie drainante est exploitée depuis 2009 par la commune pour l'alimentation en eau potable. Située à proximité du lit de la rivière à la côte 180, l'ouvrage semble absorber une partie non négligeable du débit du cours d'eau (Vai-Natura, 2011). Deux solutions sont alors envisageables pour un projet hydroélectrique, capter la rivière en amont de la galerie drainante au risque de l'assécher ou turbiner l'eau puisée par la galerie avant de la rendre à au réseau d'alimentation. Dans les deux cas il semblerait que les débits soit insuffisants même en période d'étiage.

Aucune donnée hydrologique n'a pu être retrouvée relative au bassin versant de Vai Rahi. Sa taille 7 km^2 et sa position permettent d'envisager raisonnablement une campagne de mesure hydrologique pour apprécier son potentiel.

Une large partie de la vallée d'Hamoa est gérée par le Service du Développement Rural (SDR). C'est également le site d'une randonnée reconnue sur l'île. Un captage d'eau est actuellement en réfection pour irriguer les terres agricoles. L'étude hydrologique semble indiquer qu'une production hydroélectrique en complément est peu envisageable (Vai-Natura, 2015a).

La vallée de Vairua n'a certainement jamais fait l'objet d'une campagne de mesures hydrologiques, aucune archive n'a pu être mise à jour. Sa position vers le Nord de l'île, où la pluviométrie n'est pas très importante et sa surface réduite de 2 km² ne semblent pas compatibles avec une production d'électricité.

La vallée de Vaiaau est plus atypique. Orienté vers l'Ouest et situé au Sud de l'île, le bassin versant est délimité à l'Est par les crêtes sommitales de l'île. Il en ressort une zone fortement arrosée où des cascades importantes alimentent la rivière Maoroa. En 1989, le débit moyen journalier était mesuré à 700 l/s. En considérant des hauteurs de chute importantes, ce bassin versant est potentiellement le plus prometteur de l'île pour la production d'hydroélectricité. Toutefois, il est assez éloigné des zones les plus urbanisées au Nord, la question foncière pourrait également poser problème. Enfin, la commune de Tumaraa envisage l'ouverture d'une galerie drainante pour l'alimentation en eau potable. Une étude hydrologique devrait permettre de mettre à jour les données pour statuer plus surement sur potentiel effectif de la vallée.

Finalement, l'île de Raiatea ne pourra pas prétendre à un développement très important de sa production hydroélectrique, mais il pourrait être réellement intéressant de développer de petites unités de production pour alimenter des zones de consommation à proximité. La commune d'Avera et la société EDT poursuivent cette politique énergique en prolongeant les consultations.

6.5.2. Îles Marquises

La population de l'île de Fatu-Hiva, entre 600 et 700 habitants, est regroupée dans les vallées d'Omoa et de Hanavave. La première vallée est équipée d'un captage et d'une turbine depuis de nombreuses années. L'équipement fonctionne bien, le captage doit être régulièrement nettoyé des débris végétaux. La vallée d'Hanavave dispose depuis 2015 également d'un petit captage et d'une turbine de production d'hydroélectricité. Le potentiel est avéré pour une consommation de proximité, 95 kW (Bitot, 2015). Malheureusement quelques soucis techniques lors de la construction des conduites forcées retardent la mise en exploitation. L'île de Fatu-Hiva sera dans un futur proche l'une des îles de Polynésie les plus indépendantes énergétiquement.

Les îles de Nuku-Hiva et de Hiva-Oa sont déjà équipées d'installations hydroélectriques. Il manque des données pour estimer la progression possible de l'hydroélectricité sur Hiva-Oa. Par contre sur l'île de Nuku-Hiva plusieurs prospections ont permis d'affiner un peu les observations. C'est essentiellement la rivière Hakaui qui semble présenter encore un potentiel intéressant (350 kW). Par contre, la rivière située dans une zone accidentée et éloignée de zones d'habitation. Il semble que les coûts de construction d'un projet et les impacts environnementaux engendrés ne pourraient être équilibrés par une production suffisante. La vallée de Taipivai abrite depuis plusieurs décennies un captage d'altitude qui fournit près de 30 % de l'énergie de l'île.

Finalement, aux îles Marquises les projets hydroélectriques ne peuvent être d'ampleur. Quelques études plus précises pourraient permettre d'affiner ce jugement, mais il semble que le potentiel est correctement exploité et ne pourrait être amélioré qu'à la marge.

7. Conclusions

Les travaux entrepris dans le cadre de l'élaboration des principes directeurs du développement de l'hydroélectricité en Polynésie française ont permis d'explorer avec discernement les différentes problématiques qui doivent être résolues lorsque se pose la question du développement futur de l'hydroélectricité.

L'approche multidisciplinaire fut l'occasion de réunir un grand nombre de données et de mieux appréhendé l'état des vallées et de leurs rivières. L'analyse hydrologique s'est appuyée, par exemple, sur les données du réseau de mesure actuel et sur les archives pour construire un modèle qui a permis de comparer objectivement le potentiel de chacune des vallées. Plus globalement, l'aspect scientifique, sans vision partisane, fut la ligne de conduite des différents chapitres abordés.

L'hydroélectricité est une énergie qui doit participer au développement du mix énergétique et à la réduction de l'usage des énergies fossiles. Actuellement, elle représente la seule énergie renouvelable qui peut participer efficacement à la régulation du réseau électrique à l'échelle de l'île de Tahiti. C'est une énergie dite « propre » au sens où elle ne produit pas de gaz à effet de serre, par contre son impact est important. Il est primordial d'intégrer ces problématiques environnementales ou sociales au cœur des projets de développement. L'homme doit être au centre des choix de société, l'environnement doit en être la préoccupation première.

Les progrès techniques et la prise de conscience commune permettent d'envisager un développement durable de la société et du modèle économique qui lui est associé. La problématique énergétique est au centre de ces préoccupations et de la recherche d'un équilibre vertueux.

La Polynésie française a l'occasion de répondre efficacement au défi des décennies à venir. Elle peut offrir à sa population un confort technologique tout assurant son indépendance énergétique et en protégeant son patrimoine naturel et culturel unique.

Quels que soient les choix énergétiques qui seront engagés, il est primordial de ne pas rompre le lien entre l'homme et les milieux naturels. Si le développement commun impose la réalisation de projets impactant l'environnement, il est indispensable d'engager tous les efforts pour protéger les milieux naturels à proximité. Mais il faudra également sanctuariser certaines zones pour préserver un patrimoine unique et offrir un lieu de transmission et d'échange pour les générations futures.

Les projets hydroélectriques peuvent être l'occasion d'engager une réflexion globale sur l'avenir et l'amélioration des conditions d'engagement de la société dans le développement, la protection des populations et la préservation des milieux naturels. Le chemin peut être vertueux s'il est partagé et compris par tous.

-oOo-

8. Bibliographie

Adjeroud M., Michonneau F., Edmunds P.J., Chancerelle Y., Lison De Loma T., Penin L., Thibault L., Vidal Dupiolj., Salvat B., Galzin R, 2009. Recurrent disturbances, recovery trajectories, and resilience of coral assemblages on a South Central Pacific reef. Coral Reefs, 28, pp. 775-780.

Aldegheri M., 1979. Manuel d'hydrométrie: 4. Mesure des débits à partir des vitesses. Edition de l'ORSTOM, pp. 324.

Aoyama J., Mochioka N., Otake T., Ishikawa S., Kawakami Y., Castle P., Nishida M., Tsukamoto K, 1999. Distribution and dispersal of anguillid leptocephali in the western Pacific Ocean revealed by molecular analysis, Marine Ecology Progress Series, 188, pp. 193-200.

Aureau M., 2015. La vallée de la Punaru'u, histoire d'un développement mal contrôlé et conséquences sur l'équilibre hydrologique. Bulletin de la Société des Etudes Océaniennes, 334, p. 4-23.

Aureau M., 2014. Modélisation des Écoulements en Surface et Souterrains: vallée de la Punaru'u - Tahiti, Thèse de doctorat, Université de la Polynésie française, pp.258.

Artzner, F, Avagliano E., 2015. Profils écosystémiques de la Polynésie Française, version préliminaire, UICN.

Blanc J., Bitot S., 2012. Schéma Directeur des Energies Renouvelables. Carbone 4. Ministère des ressources marines. Polynésie française. Pp. 132.

Bitot S., 2015. Schéma Directeur des Energies Renouvelables, mise à jour de la version 2012. Tahiti Conseil en Energie. Service des Energies. Carbone 4. Polynésie française. Pp. 75.

Brasher A.M., 1997. Habitat use by fish (Oopu), snails (Hihiwai), shrimp (Opae) and prawns in two streams on the island of Moloka'i. Honolulu: Cooperative National Park Resources Studies Unit. Technical Report 11

Brugneaux S., Lagouy E., Alloncle E., Gabrie C. et collaborateurs, 2010. Analyse éco régionale marine de Polynésie française. 3 rapports : Synthèse des connaissances usages et pressions (38p.) / Synthèse des connaissances écosystèmes et patrimoine naturel (67p.) / Document de synthèse (137p.). CRISP, AAMP, WWF et Polynésie française.

Cauchard G. et Bergès F., 1990. Le climat. Encyclopédie de la Polynésie I, les îles océaniques. Christian Gleizal / Les Editions de l'Alizé, pp. 57-70.

Cooksley, I., Gabites, I., 2006, Managing freshwater catchments: A reference guide for the Wellington region. Department of Conservation, New Zealand.

Coote T., Merz B., Pearce-Kelly P, 2006. 5th revision 2015, Plan d'action pour la conservation des escargots arboricoles endémiques de Polynésie Française du genre Partula, Samoana et

Trochomorpha. Projet du Partulid Global species group en cooperation avec la direction de l'environnement de la Polynésie Française.

CREOCEAN (Coord. F. Seguin), 2015. Etat de l'environnement en Polynésie française 2007/2014. Direction de l'environnement, Polynésie française, Tahiti, pp. 381.

De Casamajor M.N., Lecomte-Finiger R., Prouzet P, 2003. Caractéristiques biologiques des civelles (anguilla anguilla) lors de la transition en estuaire, Bull. Fr. Pêche Piscic., 368, pp. 109-124.

Edeline E., Dufour S., Elie P., 2005. Role of glass eel salinity preference in the control of habitat selection and growth plasticity in Anguilla anguilla, Mar Ecol Prog Ser, Vol. 304: pp. 191–199.

Edeline E., Lambert P., Rigaud C., Elie P., 2006. Effects of body condition and water on Anguilla anguilla glass eel migratory behaviour, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 331, pp. 217-225.

Edeline E., Dufour, S., Elie P, 2009, Proximate and ultimate control of eel continental dispersal, In : Thillard et al, Spawning Migration of the European Eel Reproduction Index, a Useful Tool for Conservation Management, Springer, pp. 433-461

Elie F., 2014. Les conduites forcées : principes, aménagements, sécurités.
http://fred.elie.free.fr/conduites_forcees.pdf

Ferry L., 1988. Contribution à l'étude des Régimes Hydrologiques de l'Île de Tahiti, Rapport de thèse, Université de Paris XI, pp. 330.

Florence J., 2003. La Polynésie française : environnement phytogéographique, l'homme et ses plantes. pp. 130-149 in ORLIAC, C. (éd.), Archéologie en Océanie Insulaire. Peuplement, Société et Paysages. Artcom, Paris.

Fontaine G., 2015. L'hydroélectricité, la première source d'électricité renouvelable en France. Panorama Energies-Climat, édition 2015, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, République française, Pp. 164.

Gabrie C., You H., Farget P., 2006. L'état de l'environnement en Polynésie Française, Ministère du développement et de l'environnement.

Gargominy O., Bocquet A., 2013. Biodiversité d'Outre- mer. UICN France, UICN France, Ed. Le Guen, Paris.

Gascuel D., Fontenelle G., 1994. Etude de la dynamique du stock d'anguilles dans un bassin versant, en vue de sa gestion : présentation d'une approche conceptuelle, p. 43-50. In : Cotton F., Asselin S., Shooner, G., Bernatchez L., Berube P., 1992. Colloque franco-québécois sur l'intégration des technologies modernes à la gestion des poissons dulcicoles et amphihalins. Québec, juin 1992. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Service de la faune aquatique, 210.

Gleizal C., 1986. Encyclopédie de la Polynésie Française, faune et flore terrestre, éd. de l'alizé.

Gosset C., Rives J., Labonne J., 2006. Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (Salmo trutta L.). Ecology of Freshwater Fish, 15, pp. 247–254.
Gouni A., Zysman T, 2007. Oiseaux du Fenua : Tahiti et ses îles. Téthys éditions, Tahiti, pp. 239.

Giambellluca T. W., Sutherland R. A., Nanko K., Mudd, R. G., Ziegler A. D., 2009. Effects of Miconia on Hydrology: A First Approximation. International Miconia Conference, pp. 7.

Ginocchio R. et Viollet P. L., 2012. L'énergie hydraulique. Collection EDF R&D. Lavoisier. Pp. . 630.

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

Hildenbrand A., Gillot P.Y. et Bonneville A., 2006. Off shore evidence for a huge landslide of the northern flank of Tahiti-Nui (French Polynesia). Geochem., Geophys., Geosyst., 7, Q03006, doi:10.1029/2005GC001003.

Hingray B., Picouet C. et Musy A., 2009. Hydrologie 2, Une science pour l'ingénieur. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, pp. 513-522.

Keith P., 2002. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de la Polynésie française, Collection Patrimoines naturels, MNHN, Paris, France.

Kinzie R.A. III, Chong C., Devrell J., Lindstrom D., Wolff R., 2006. Effects of water removal on a Hawaiian Stream Ecosystem. Pacific Science 60(1):1-47.

Kuroki M., Aoyama J., Kim H., Miller M.J., Kimura S., Tsukamoto K, 2009. Migration scales of catadromous eels: diversity and evolution of larval migration based on their distribution, morphology, and early life history, American Fisheries Society Symposium, 69, pp. 887-889.

Lafaille, P., Caraguel, J.M., Legault, A., 2006, Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam, *Estuarine, coastal and shelf* science, 73(1-2), 81-90

Lafforgue A., 1987. Annales hydrologiques de l'île de Tahiti de 1971 à 1986. Edition de l'ORSTOM. Service de l'Equipement de la Polynésie française. BP. 85 Papeete, Tahiti, Polynésie française. pp. 298.

Lafforgue A. et Robin J., 1989. Etudes hydrologiques sur les îles de Raiatea et Tahaa de 1980 à 1989. Archives d'Hydrologie n°89/8. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM). Pp. 239.

Lafforgue A., 1990. Les rivières de Tahiti et la mesure de leurs débits. Encyclopédie de la Polynésie I, les îles océaniques. Christian Gleizal / Les Editions de l'Alizé, pp. 41-56.

Lafforgue A., 1993. La climatologie des îles, Atlas de la Polynésie française, Edition de l'ORSTOM, pp. 112.

Laurent V., Maamaatuaiahutapu K., Maiau K., Varney P., 2004, Atlas climatologique de la Polynésie française, Météo-France, Direction interrégionale de Polynésie française, pp. 105.

Lebel T., 1997. Variabilité des pluies au Sahel : observation, estimation, modélisation. HDR, INPG, Grenoble, pp. 95.

Lecomte-Finiger R., Lo-Yat A., Yan L., 2000. First record of anguilla glass eels from an atoll of French Polynesia : Rangiroa, Tuamotu archipelago, Atoll Research Bulletin, pp. 486.

Malavoi J.R., Bravard J.P., 2010. Elements d'hydromorphologie fluviale. Collection Comprendre pour agir, pp. 228.

Matheron G., 1969, Le Krigeage Universel, Les cahiers du centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu.

Meyer J.-Y., Thibault J.-C., Butaud J.-F., Coote T. et Florence J., 2005. Sites de conservation importants et prioritaires en Polynésie française. Contribution à la Biodiversité de Polynésie française N°13. Sites Naturels d'Intérêt Ecologique V. Délégation à la Recherche, Papeete, 35 pages.

Meyer J.-Y., Taputuarai R., 2006, Impacts du changement climatique sur la biodiversité terrestre de Polynésie française: la végétation et la flore de la zone subalpine des hauts sommets de Tahiti comme modèle d'étude, Point d'étape sur la recherche française dans le Pacifique, Université de Polynésie française, 9-12 octobre 2006.

Meyer J.-Y., 2009. Evaluation écologique préliminaire des plateaux de la vallée de la Punaru'u (Puna'auia, Tahiti) et recommandations de conservation in situ. Fiche Technique. Délégation à la Recherche, Ministère de l'Education, de l'Enseignement supérieur, de la Culture et de la Recherche, B.P. 20981 Papeete, Tahiti, Polynésie française, pp. 12.

Meyer J.-Y., 2010. Montane cloud forests on remote islands of Oceania: the example of French Polynesia (South Pacific Ocean). pp. 121-129 in Bruijnzeel, L.A., Scatena, F.N. & Hamilton, L.S. (eds.) Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management. Cambridge University Press.

MIGADO (Migrateurs Garonne Dordogne), 2008, Restauration de la libre circulation à la montaison des poissons migrateurs amphihalins, Rapport d'activité.

Miller M.J., Aoyama L., Tsukamoto K., 2009. New perspectives on the Early Life History of Tropical Anguillid Eels : Implications for resource Management, American Fisheries Society Symposium, 58, pp. 71–84.

Miller S.W., Wooster D., Lij L., 2010. Does species trait composition influence macroinvertebrate responses to irrigation water withdrawals: evidence from the intermountain West, Usa. River Research and Applications, 26, pp. 1261–1280.

Nicolas V., Souchon y., 2011, Barrages et seuils: Principaux impacts environnementaux, rapport final, Laboratoire d'hydroécologie quantitative,UR Milieux Aquatiques, écologie, pollutions, Cemagref Pôle Etudes & Recherche "Hydroécologie des cours d'eau" Onema/Cemagref, Lyon

N'Yeurt A.D.R., Payri C., 2006. Marine benthic algal flora of French Polynesia. I. Phaeophyceae. Cryptogamie, Algologie, 27, pp. 111-152.

N'Yeurt A.D.R., Payri C., 2007, Marine benthic algal flora of French Polynesia. II. Chlorophyta. Cryptogamie, Algologie, 28, pp. 3-88.

N'Yeurt A.D.R., Payri C., 2009. Four new species of Rhodophyceae from Fiji, French Polynesia and Vanuatu, South Pacific. Phycological Research, 57, pp. 12-24.

N'Yeurt A.D.R., Payri C., 2010. Marine benthic algal flora of French Polynesia. III. Rhodophyta, with additions to the Chlorophyta and Phaeophyceae. Cryptogamie, Algologie, 31, pp. 1-205.

Obled C., Wendling J., Beven K., 1994. The Sensitivity of Hydrological Models to Spatial Rainfall Pattern - an Evaluation Using Observed Data, Journal of Hydrology, 159, p. 305-333.

Oger Y., Sponti T., 2006. Quelle urbanité pour les territoires insulaires du Sud Pacifique? Le cas de Tahiti en Polynésie française. Projet d'étudiant. Ecole Polytechnique de Fédérale de Lausane, SAR-STUDENT-2006-017. http://archivesma.epfl.ch/2006/035.

ONEMA, 2011. Guide technique: milieu aquatique - état initial et prévision d'impact dans les documents d'incidences - collection mise au point. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Pagès J.-M., 2003. Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité - ADEME. Ed. Rouland, pp. 147.

Paulian R, 1998, Les insectes de Tahiti, académie des sciences, Ed du Moufflon

Peyras L. et Mériaux P., 2009. Retenues d'altitude. Editions Quæ, Versailles, France. Pp. 330.

Poff N.L., Zimmerman J.K.H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform environmental flows science and management. Freshwater Biology, 55, pp. 194-205.

Pointier J.-P., Marquet G., 1990. Taxonomy and distribution of freshwater molluscs of French Polynesia. Venus Japanese Journal of Malacology 49, pp. 215–231.

Raust P., Sanford G., 2007. Zones importantes pour la conservation des oiseaux en Polynésie française. Société d'Ornithologie de Polynésie & BirdLife Int. Papeete, Polynésie française.

RETScreen International, 2004. Analyse de projets d'énergies propres : chapitre analyse de projets de petite centrale hydroélectrique. Ministre de Ressources naturelles Canada. ISBN : 0-662-75476-X. Nº de catalogue : M39-98/2003F-PDF. Pp. 56.

Schleiss A. J. et Pougatsch H., 2011. Les barrages : du projet à la mise en service. Vol. 17 du Traité de génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. PPUR Presses polytechniques. Pp. 714.

Servant M., 1974. Un problème de géographie physique en Polynésie française : l'érosion exemple de Tahiti. Cahier de l'ORSTOM , sér. Sci. Hum., XI (3/4), pp. 203-209.

Sedan O., 2013. BRGM Programme ARAI 3: Rôle de la végétation vis-à-vis des mouvements de terrain en Polynésie française. Rapport final BRGM/RP-62203-FR, pp. 119.

SOGREAH, 1982. Inventaire du potentiel hydroélectrique de l'île de Tahiti. N°34 0425. Pour le Service de l'Equipement de la Polynésie française. Pp. 81.

Stone M., 1974. Cross-Validation choice and assessment of statistical predictions, Journal of the Royal Statistical Society, Serie B, No. 36, pp. 111-147.

Thiessen, 1911, Precipitation Averages for Large Areas, Monthly Weather Review, p. 39.

Tröndlé J., Boutet M, 2009. Inventory of marine Molluscs of French Polynesia. Atoll Research Bulletin, 570, pp. 1-87.

Vai-Natura, 2015a. Etude pour la rehabilitation du réseau d'alimentation en eau du secteur de Hamoa, Raiatea, Polynésie française. Service du Développement Rural, Secteur 2. Vai-Natura, BP 83 Uturoa, 98735 Raiatea, Polynésie française. Pp. 94.

Vai-Natura, 2015b. Etude hydrologique, vallée de l'Ahonu et de la Tuauru, Commune de Mahina, Polynésie française. Vai-Natura, BP 83 Uturoa, 98735 Raiatea, Polynésie française. Pp. 86.

Vai-Natura, 2011. Etude hydrologique de la rivière Vaiiha dans la vallée de Papeiha. Vai-Natura pour le Ministère des Affaires Marines et de l'Energie, Polynésie française. Vai-Natura, BP 83 Uturoa, 98735 Raiatea, Polynésie française. R20111101HY, pp. 109.

Valentin S., Souchon Y., 1993, Conséquences écologiques du débit réservé sur l'habitat des poissons. Journées nationales d'études petits barrages AFEID- GIGB, Bordeaux, 2-3 février 1993, In Degoutte G., 1994. Petits barrages, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi, Cemagref Editions 379-390. Ré-édition In Degoutte G. 2002, Petits-barrages,

recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Comité français des grands barrages.

Vecchio, Y., Roussel C., 2010. Sauvegarde de l'anguille, le plan de gestion français, ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques), Rapport d'activité.

Winter, T.C., J.W. Harvey, O.L. Franke et W.M. Alley, 1998. Groundwater and Surface water - a Single Resource. U.S. Department of the Interior, Geological Survey, Gov. Print. Office, Washington, D.C., report 1139, pp.79.

Wötling G., 1998. Etude de l'Aléa Pluviométrique à Tahiti, ORSTOM Centre de Tahiti, pp.74.

Wötling G., 2000. Caractérisation et Modélisation de l'Aléa Hydrologique à Tahiti. Rapport de synthèse, IRD, pp. 309.

ANNNEXES

9. Annexes

9.1. Topographie et géomorphologie des vallées tahitiennes

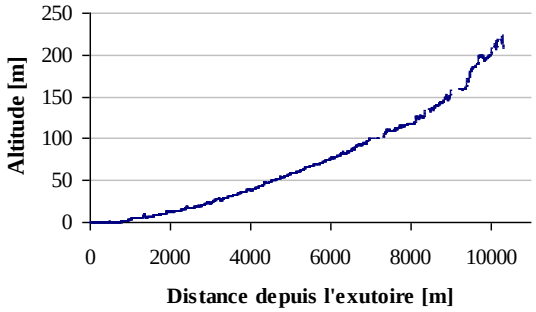
Bassin versant	Profil en long Cours d'eau principaux

1- Tuauru

Superficie : 29 km^2
Longueur BV : 13.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
12%	10%	32%	45%

Pente moyenne rivière : 9.5%
Altitude 2 km de l'exutoire : 13 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 60 m

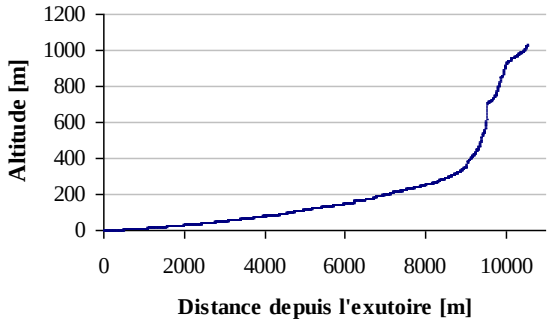


2- Ahonu

Superficie : 13 km^2
Longueur BV : 10.2 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
7%	10%	37%	45%

Pente moyenne rivière : 17.2%
Altitude 2 km de l'exutoire : 29 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 116 m

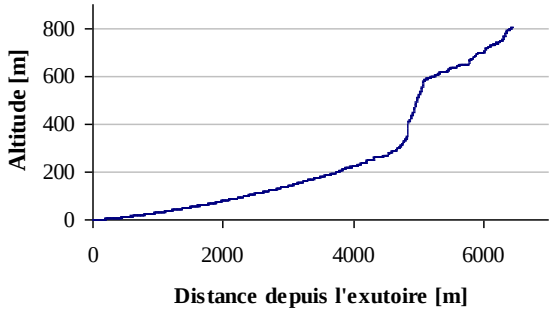


3-Orofara (Tetiairiroa)

Superficie : 9 km^2
Longueur BV : 5.9 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
22%	25%	38%	14%

Pente moyenne rivière : 18.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 80 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 527 m



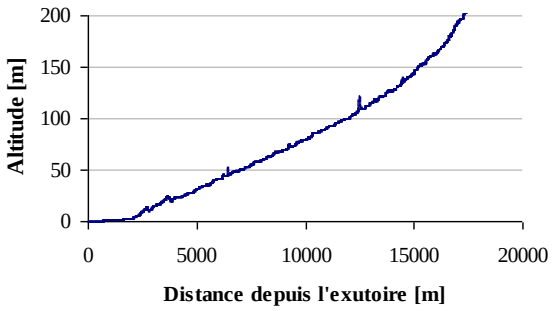
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

4- Papenoo

Superficie : 90 km^2
Longueur BV : 18 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
12%	18%	38%	32%

Pente moyenne rivière : 2.4%
Altitude 2 km de l'exutoire : 5 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 60 m

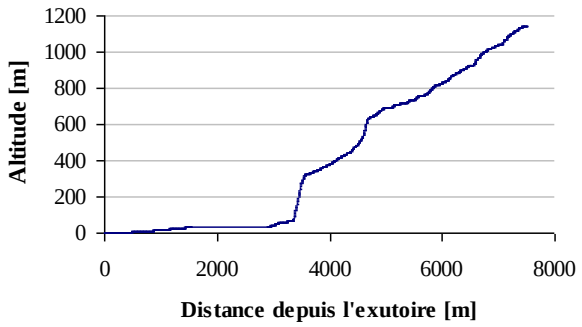


5- Vaipu

Superficie : 5 km^2
Longueur BV : 5.8 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
16%	32%	35%	18%

Pente moyenne rivière : 24.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 34 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 690 m

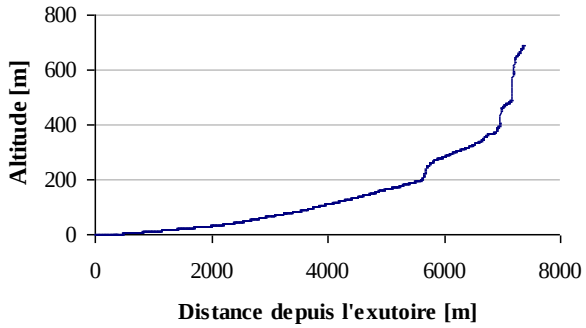


6- Onohea

Superficie : 16 km^2
Longueur BV : 6.5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
9%	16%	36%	39%

Pente moyenne rivière : 6.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 31 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 165 m



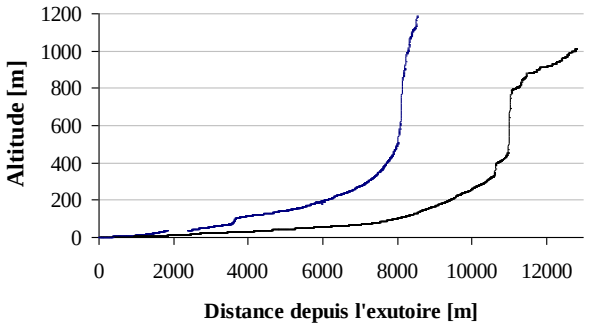
Bassin versant | **Profil en long**
Cours d'eau principaux

7- Vaitaara (Mahaena)

Superficie : 37 km^2
Longueur BV : 11.2 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
10%	15%	38%	37%

Pente moyenne rivière : 24%
Altitude 2 km de l'exutoire : 11 / 36 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 44 / 142 m

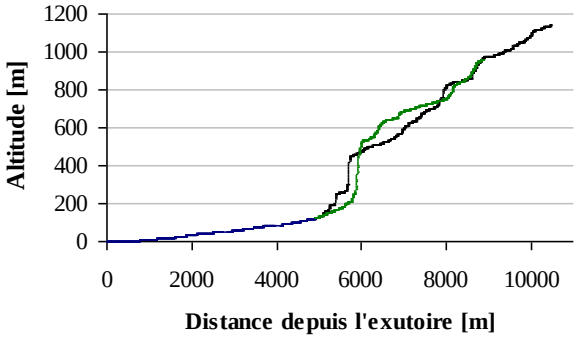


8- Mahatearo (Parauta)

Superficie : 24 km^2
Longueur BV : 9.2 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
26%	27%	30%	17%

Pente moyenne rivière : 20.3%
Altitude 2 km de l'exutoire : 34 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 140 m

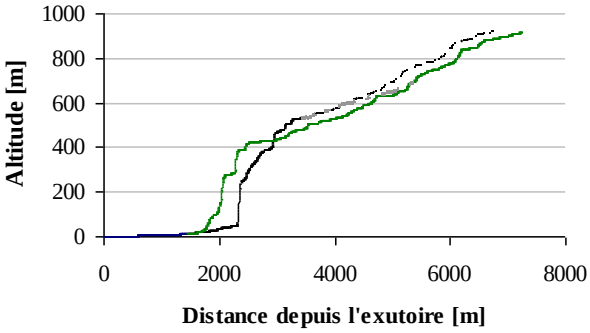


9- Faatautia

Superficie : 14 km^2
Longueur BV : 7.2 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
24%	31%	32%	13%

Pente moyenne rivière : 26.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 36 / 146 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 150 m

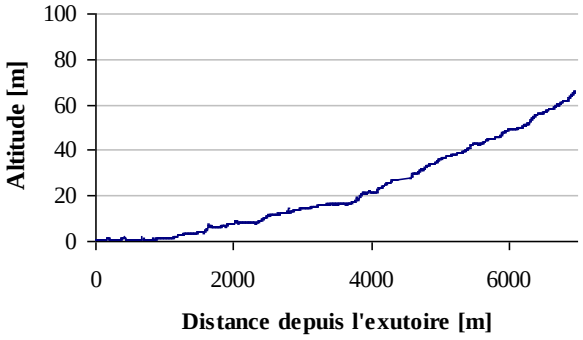


Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

10- Vaiiha (Papeiha)

Superficie : 33 km^2
Longueur BV : 10.6 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
14%	14%	33%	40%

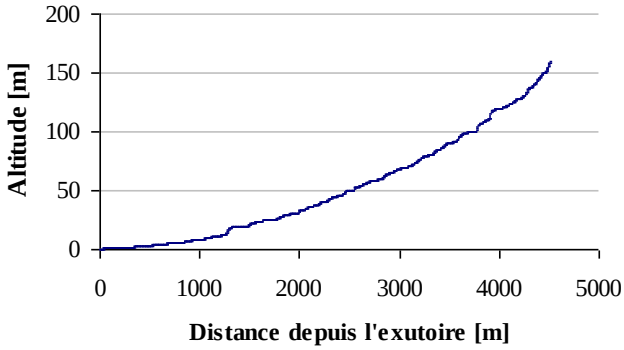


Pente moyenne rivière : 2.1%
Altitude 2 km de l'exutoire : 8 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 36 m

11- Utuofai

Superficie : 7 km^2
Longueur BV : 5.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
13%	16%	33%	38%

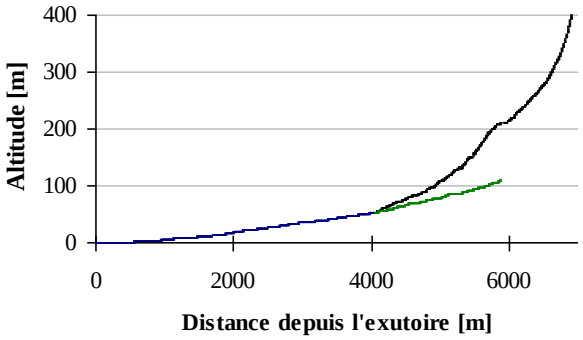


Pente moyenne rivière : 5.2%
Altitude 2 km de l'exutoire : 33 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 160 m

12- Mapuaura

Superficie : 15 km^2
Longueur BV : 7.8 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
11%	11%	32%	46%



Pente moyenne rivière : 2.15%
Altitude 2 km de l'exutoire : 18 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 80 / 108 m

Bassin versant | **Profil en long**
Cours d'eau principaux

13- Vaitoare, Papeivi

Superficie : 25 km^2
Longueur BV : 5.5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
31%	33%	29%	8%

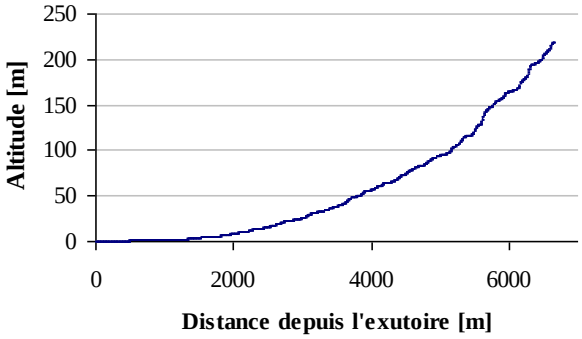
Pente moyenne rivière : 29.2%
Altitude 2 km de l'exutoire : - m
Altitude 5 km de l'exutoire : - m

14- Afeu

Superficie : 8 km^2
Longueur BV : 7.2 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
25%	14%	40%	21%

Pente moyenne rivière : 6.5%
Altitude 2 km de l'exutoire : 9 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 97 m

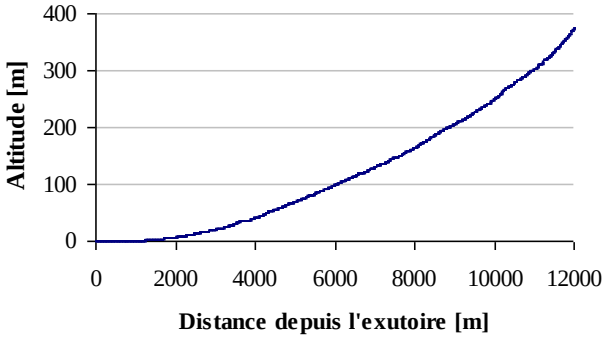


15- Paui

Superficie : 8 km^2
Longueur BV : 7.9 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
20%	11%	32%	37%

Pente moyenne rivière : 5.5%
Altitude 2 km de l'exutoire : 7 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 69 m



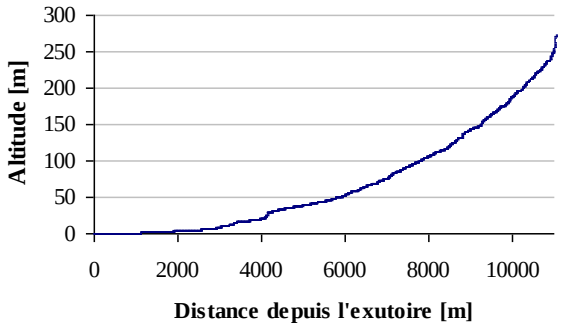
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

16- Titaaviri

Superficie : 15 km^2
Longueur BV : 10.9 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
12%	9%	35%	44%

Pente moyenne rivière : 5.2%
Altitude 2 km de l'exutoire : 3 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 39 m

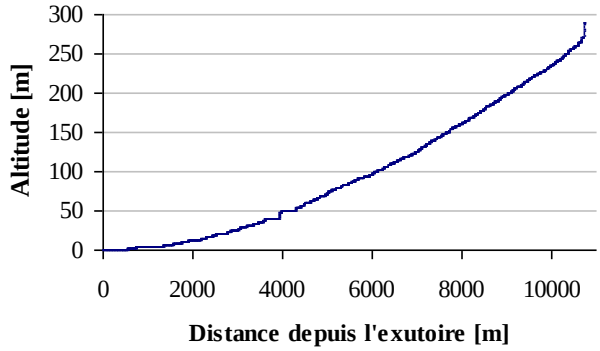


17- Vaite

Superficie : 12 km^2
Longueur BV : 10.7 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
18%	12%	30%	40%

Pente moyenne rivière : 3.9%
Altitude 2 km de l'exutoire : 12 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 73 m

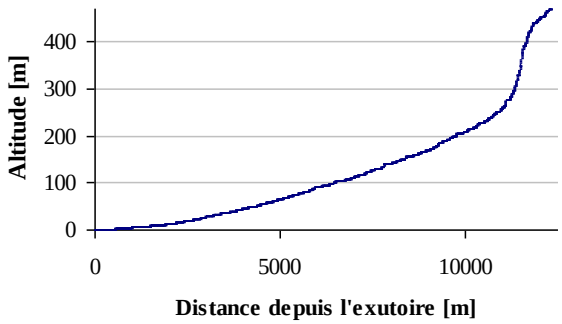


18- Vaihiria

Superficie : 15 km^2
Longueur BV : 11 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
16%	10%	31%	43%

Pente moyenne rivière : 6.1%
Altitude 2 km de l'exutoire : 13 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 66 m



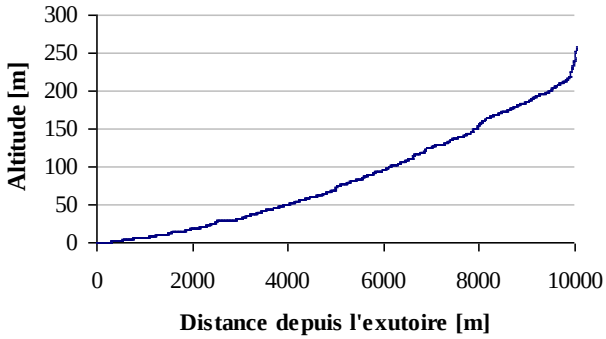
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

19- Vairaharaha

Superficie : 15 km^2
Longueur BV : 11.1 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
10%	8%	30%	51%

Pente moyenne rivière : 9.3%
Altitude 2 km de l'exutoire : 19 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 73 m

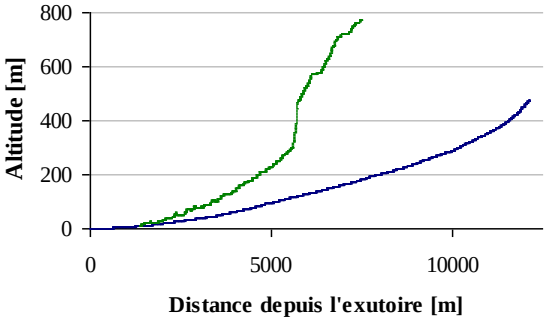


20- Vaitunamea

Superficie : 17 km^2
Longueur BV : 11.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
9%	11%	41%	39%

Pente moyenne rivière : 6.19%
Altitude 2 km de l'exutoire : 19 / 96 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 31 / 230 m

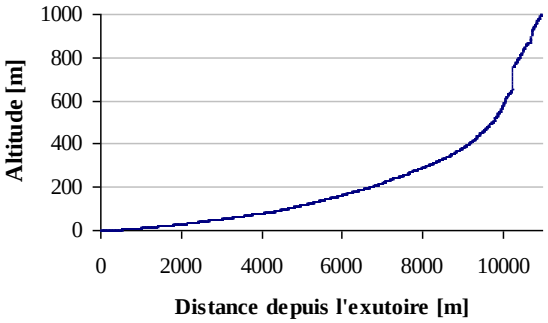


21- Mairipehe (Moaroa)

Superficie : 10 km^2
Longueur BV : 9.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
15%	15%	40%	30%

Pente moyenne rivière : 14.8%
Altitude 2 km de l'exutoire : 29 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 117 m



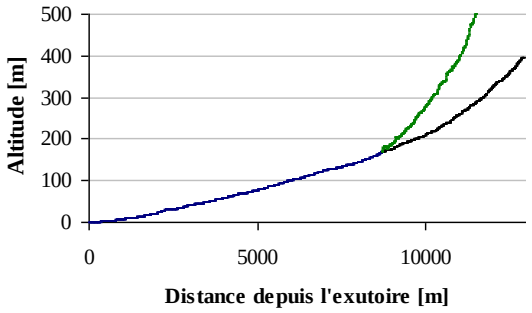
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

22- Taharuu

Superficie : 34 km^2
Longueur BV : 15 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
15%	13%	31%	41%

Pente moyenne rivière : 2.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 22 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 78 m

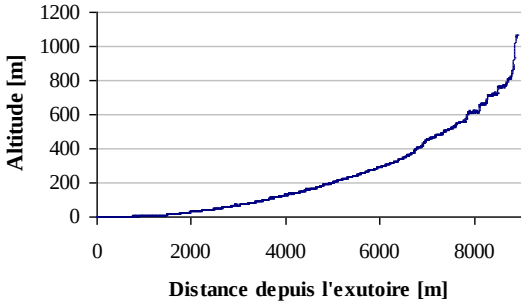


23- Papeiti

Superficie : 12 km^2
Longueur BV : 8.6 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
31%	12%	33%	23%

Pente moyenne rivière : 40.7%
Altitude 2 km de l'exutoire : 30 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 204 m

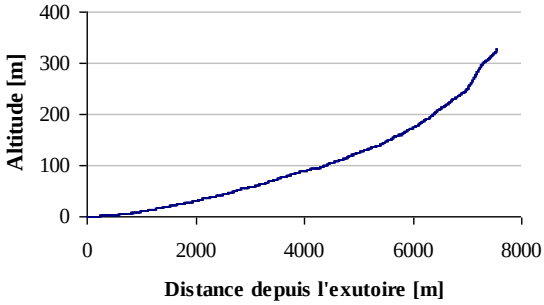


24- Temarua

Superficie : 14 km^2
Longueur BV : 9.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
15%	13%	27%	45%

Pente moyenne rivière : 5.2%
Altitude 2 km de l'exutoire : 31 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 126 m



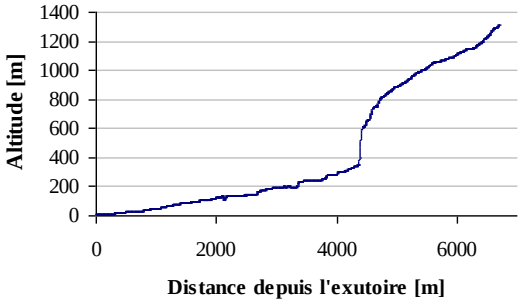
Bassin versant | **Profil en long**
Cours d'eau principaux

25- Tereia

Superficie : 6 km^2
Longueur BV : 6.5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
9%	16%	43%	32%

Pente moyenne rivière : 40.7%
Altitude 2 km de l'exutoire : 124 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 890 m

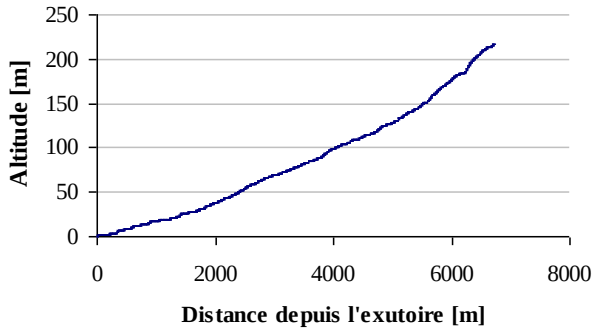


26- Vaitiu (Orofero)

Superficie : 22 km^2
Longueur BV : 9.5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
11%	13%	32%	43%

Pente moyenne rivière : 5.11%
Altitude 2 km de l'exutoire : 38 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 129 m

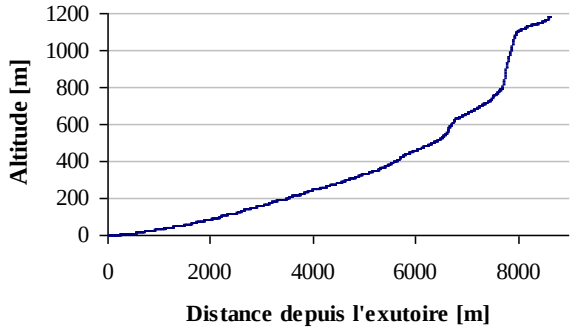


27- Hopuetamai (Tiapa)

Superficie : 7 km^2
Longueur BV : 7.4 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
11%	10%	38%	41%

Pente moyenne rivière : 16.6%
Altitude 2 km de l'exutoire : 87 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 134 m



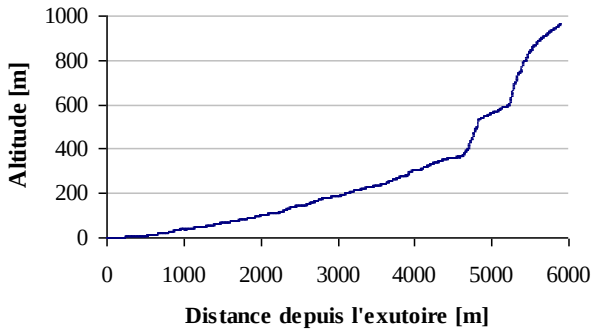
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

28- Papehue

Superficie : 6 km^2
Longueur BV : 5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
15%	11%	38%	35%

Pente moyenne rivière : 23.4%
Altitude 2 km de l'exutoire : 101 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 563 m

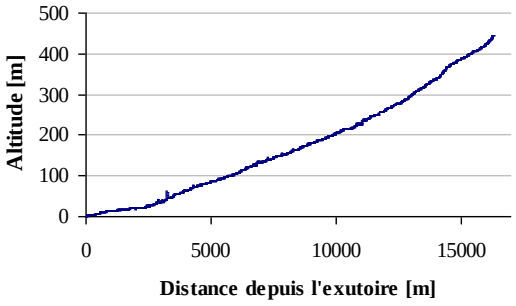


29- Punaruu

Superficie : 45 km^2
Longueur BV : 14.7 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
21%	17%	28%	34%

Pente moyenne rivière : 5.36%
Altitude 2 km de l'exutoire : 20 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 86 m

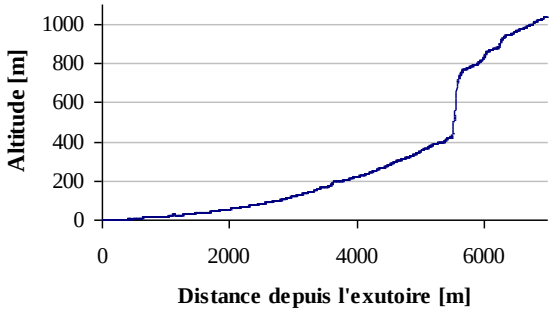


30- Matatia

Superficie : 11 km^2
Longueur BV : 6.7 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
19%	27%	35%	19%

Pente moyenne rivière : 29%
Altitude 2 km de l'exutoire : 57 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 357 m



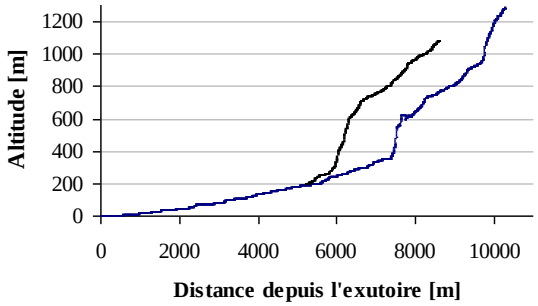
Bassin versant | **Profil en long Cours d'eau principaux**

31- Tipaerui

Superficie : 15 km^2
Longueur BV : 8.5 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
22%	23%	28%	27%

Pente moyenne rivière : 22%
Altitude 2 km de l'exutoire : 43 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 180 m

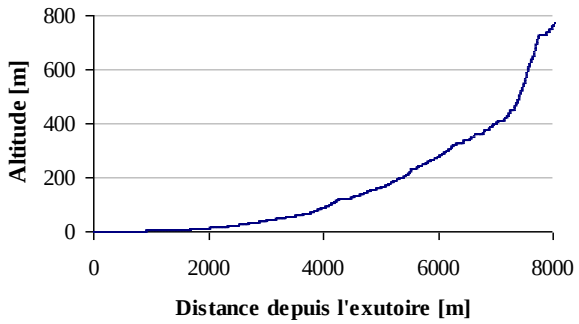


32- Papeava

Superficie : 10 km^2
Longueur BV : 6.3 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
33%	28%	33%	6%

Pente moyenne rivière : 18.7%
Altitude 2 km de l'exutoire : 12 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 165 m

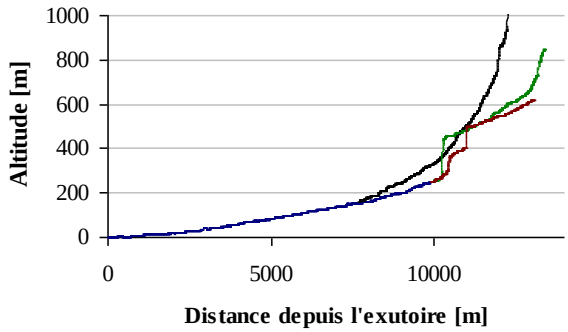


33- Fautatua

Superficie : 24 km^2
Longueur BV : 12 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
12%	12%	31%	45%

Pente moyenne rivière : 5.9%
Altitude 2 km de l'exutoire : 18 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 82 m



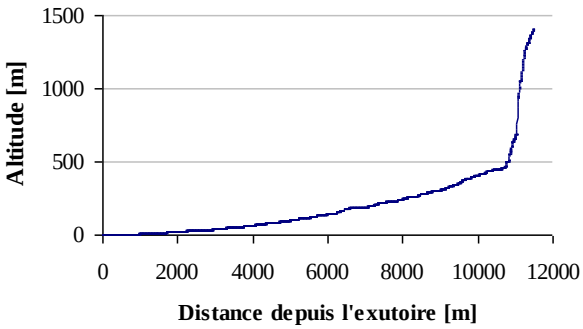
Bassin versant | **Profil en long**
Cours d'eau principaux

36- Nahoata (Pirae)

Superficie : 13 km^2
Longueur BV : 9.9 km
Pentes :

0 - 15° 0 - 27%	15 - 30° 27 - 58%	30 - 45° 58 - 100%	45 - 90° + 100%
16%	13%	32%	38%

Pente moyenne rivière : 49.7%
Altitude 2 km de l'exutoire : 20 m
Altitude 5 km de l'exutoire : 100 m



9.2. Pluviométrie

Vallée	Alt.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Cumul Saison humide	Juin	Juil.	Août	Sept.	Cumul Saison sèche
Tahiti Nui											
Tuauru	540	521	516	410	337	1785	163	114	84	120	481
Papenoo	210	650	701	725	502	2578	251	214	160	276	900
Papenoo	350	663	823	834	615	2935	317	271	233	416	1237
Tareta	4	469	640	485	381	1975	258	251	134	278	920
Faatahi	6	487	677	414	530	2109	171	171	193	282	818
Papeivi	250	556	623	540	521	2239	273	197	168	361	999
Papeiha	15	580	767	502	694	2543	228	209	156	355	948
Hitiaa	350	628	632	443	490	2193	431	247	208	337	1224
Hitiaa	700	1080	958	692	754	3485	635	536	493	739	2403
Hitiaa	1000	898	1102	1135	876	4011	640	639	608	1081	2968
Papeari	5	383	357	264	241	1246	155	145	133	144	577
Vaipahi	200	390	430	297	306	1423	240	172	187	226	824
Vaihiria	460	753	883	727	749	3112	563	497	491	668	2220
Taharuu	200	308	185	195	265	954	207	156	177	316	856
Vairaa	4	217	261	356	207	1042	161	33	53	46	293
Punaruu	600	421	410	343	265	1439	104	73	72	81	330
Marau	1400	533	397	395	421	1746	119	93	97	114	424
Matatia	1050	525	498	504	824	2352	245	84	106	103	537
Vaiami	470	362	311	286	243	1203	85	56	50	69	260
Fautaua	650	410	382	320	268	1379	105	66	55	75	302
Tahiti Iti											
Vaitehoro	65	542	405	410	253	1610	160	163	120	250	693
Ahavini	10	498	334	423	315	1570	175	157	113	224	669
Aivaro	10	404	336	368	390	1499	356	333	329	569	1587
Amoa	300	363	313	287	225	1188	167	130	128	154	578
Taravao	630	604	435	427	320	1787	297	193	172	266	928
Taravao	750	603	404	419	315	1741	225	193	176	334	928

9.3. Synthèse des impacts potentiels à prendre en compte

Milieu physique	
Eau	. Modification des régimes hydrologique et hydraulique . Modification des courants et des mouvements des masses d'eau . Transformation de milieux lotiques en milieux lacustres . Modification des débits, des périodes de crues et d'étiage . Modifications à l'apport des eaux de ruissellement pour les zones estuariennes et côtières . Modification de la qualité des eaux estuariennes en aval des ouvrages . Turbidité et caractéristiques physico-chimiques des eaux (dragage, construction, mise en eau, opérations de vidange et curage) . Remaniement et remise en suspension de sédiments . Modification du régime thermique des eaux . Modification de l'écoulement des eaux de surface et souterraines . Exondation de zones aquatiques . Réduction des quantités d'eau disponible à d'autres usages . Altération des processus naturels de filtration et d'épuration des eaux . Contamination des sources d'alimentation en eau potable liée aux travaux de dragage, d'excavation ou lors de la mise en eau
Sol	. Érosion des berges et mouvements de terrain . Pertes de sols propices à des fins agricoles ou forestières . Érosion et déstabilisation des sols dans et en bordure du réservoir . Altération des processus de sédimentation et d'accumulation dans les secteurs situés en aval . Modification du drainage des sols . Modification des processus de formation et d'enrichissement des sols (ex. Plaine d'inondation) . Surexploitation des sols adjacents . Modification de la topographie et du relief.
Air	. Altération de la qualité de l'air par la poussière et les émissions des véhicules routiers lors de la construction. . Production de gaz associés à la décomposition des matières organiques dans le réservoir . Modification du cycle local et régional d'évapotranspiration . Modification du microclimat

Milieu biologique

Flore	. Modification de la productivité primaire (phytoplancton) . Intrusion saline et modification des communautés végétales estuariennes . Pertes des superficies en herbiers aquatiques, marais et marécages . Modification de la composition floristique des communautés végétales riveraines et aquatiques . Prolifération d'algues et plantes aquatiques indésirables . Pertes de zones riveraines productives associées à un changement du régime hydrologique . Perte de végétation terrestre occasionnée par la mise en eau · destruction d'habitats d'espèces rares ou menacées · disparition d'espèces végétales endémiques . Intégration possible de contaminants et d'éléments toxiques à la chaîne alimentaire . Surutilisation des ressources végétales et forestières associée à une accessibilité accrue au territoire · réduction de la biodiversité végétale . Modification de la productivité secondaire (zooplancton)
Faune	. Pertes et modification de la quantité et de la qualité des habitats terrestres pour la faune . Création de barrières aux déplacements fauniques . Isolement géographique d'espèces fauniques terrestres . Diminution de la productivité des écosystèmes terrestres . Modification et augmentation des superficies d'habitats pour la faune aquatique . Modification de la composition et de la richesse des communautés piscicoles dans et en aval du plan d'eau . Effets des changements hydrologiques et du turbinage sur les espèces de poissons . Modification des rendements de pêche en aval des ouvrages . Assèchement permanent et temporaire de parties de cours d'eau . Perturbation des habitats de reproduction en aval des ouvrages . Introduction et prolifération d'espèces non indigènes . Contamination de la chair d'espèces animales, en particulier les poissons . Perturbation des chaînes alimentaires . Disparition d'espèces animales rares ou menacées d'extinction. . Augmentation du prélèvement d'espèces fauniques liée à une accessibilité accrue à de nouveaux territoires . Réduction de la biodiversité animale.

Milieu humain

Cadre socio Economique et Infrastructures	. Nuisances causées par les travaux de construction, d'exploitation et d'entretien. · augmentation du bruit et de la poussière liée à l'excavation et au transport des matériaux . Sources additionnelles de pollution atmosphérique et des eaux. · dommages causés aux routes du réseau menant au site de construction. · diminution de la sécurité routière menant au site des travaux . Amélioration de l'accès à de nouveaux territoires . Déplacement de populations · attraction de populations nouvelles . Modification des axes de circulation et réorganisation des déplacements . Effets sur l'organisation sociale et la santé de certaines communautés . Perturbation des coutumes et des traditions . Destruction de sites religieux, culturels et archéologiques . Effet sur l'utilisation de l'eau à des fins récréatives . Augmentation des risques de transmission d'éléments pathogènes d'une communauté à une autre . Prolifération et migration des agents vecteurs de maladies (insectes) · effets sur le développement local et régional (emploi, constructions connexes, nouvelles Entreprises, etc.). . Variation du coût et de la qualité de certains services à la population (eau, électricité, etc.) · amélioration de la santé publique, de l'espérance et des conditions de vie grâce à l'accès à de nouveaux services · emploi et achat de biens et services lors de la construction et de l'exploitation · retombées économiques
Utilisation du sol, eaux et paysages	. Pertes de superficies agricoles, forestières et autres exploitées par les communautés . Pertes des usages du sol, de la végétation et de la faune dans les plaines d'inondation asséchées . Effet sur la productivité des milieux agricoles (irrigués), des zones riveraines et des milieux aquatiques . Développement urbain et rural induit par la mise en place d'un réservoir . Transformation d'un paysage de milieu terrestre à un milieu aquatique . Effets sur la qualité des paysages et les points d'intérêt visuel des zones touchées . Surexploitation et détérioration de secteurs adjacents causés par la présence de nouveaux accès ou le déplacement de populations . Impacts visuels aux sites et monuments historiques reconnus . Amélioration ou perturbation de la navigation . Modification des activités récréotouristiques.