

Mai 2016

# Commune de Punaauia



## PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS

RAPPORT DE PRÉSENTATION





## Sommaire

<b>1.</b>	<b>Objet du plan de prévention des risques (PPR)</b> .....	<b>4</b>
1.1.	Introduction.....	4
1.2.	Objectifs .....	4
1.3.	Forme et contenu .....	4
1.4.	Procédure.....	5
1.5.	Implications .....	6
<b>2.</b>	<b>Notion de risque</b> .....	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Les aléas</b> .....	<b>8</b>
3.1.	La Polynésie.....	8
3.1.1.	Aléa mouvement de terrain.....	9
3.1.2.	Aléa inondation.....	21
3.1.3.	Aléa cyclonique .....	31
3.1.4.	Aléa tsunami.....	36
3.2.	La commune de Punaauia.....	39
3.2.1.	Situation géographique de Punaauia .....	39
3.2.2.	Contexte morphologique.....	39
3.2.3.	Contexte géologique.....	40
3.2.4.	Aléa mouvement de terrain.....	41
3.2.5.	Aléa inondation.....	44
3.2.6.	Aléa cyclonique .....	46
3.2.7.	Aléa tsunami.....	48
<b>4.</b>	<b>Les enjeux</b> .....	<b>49</b>
4.1.	Les enjeux en Polynésie.....	49
4.1.1.	Les informations ponctuelles .....	49
4.1.2.	Les informations zonales .....	53
4.1.3.	Répartition des enjeux en Polynésie.....	53
4.2.	Les enjeux de la commune de Punaauia .....	54
<b>5.</b>	<b>Le zonage des risques et le règlement</b> .....	<b>55</b>
5.1.	La Polynésie.....	55
5.2.	La commune de Punaauia.....	57

## Table des illustrations

Figure 1 : Procédure schématique pour l'élaboration des PPR.....	5
Figure 2 : Notions élémentaires .....	7
Figure 3: Illustrations du phénomène d'inondation pluviale.....	22
Figure 4 : Morphologie d'un cours d'eau.....	23
Figure 5: Illustration d'une lave torrentielle et d'une coulée de boue .....	25
Figure 6 : Différents types d'inondations.....	26
Figure 7 : probabilité d'occurrence de phénomènes cycloniques sur la Polynésie française (Service de météorologie de la Polynésie).....	31
Figure 8 : Caractéristiques d'un tsunami en fonction de la profondeur (d'après CEA, 2002) .....	36
Figure 9 : Hauteurs des inondations (en mètres) observées à Tahiti lors du Tsunami de mai 1960 (séisme du Chili) (source Orstom). .....	38
Figure 10 : Schéma de principe du PPR.....	56

### Table des photos

Photo 1 : coulée de boue sur l'île de Tahaa en avril 1998 (source LTPP) .....	16
Photo 2 : Illustration d'une crue torrentielle à Aivaro de Orofero (Paea) et du charriage de matériaux grossiers.....	24
Photo 3 : inondation à Papeari en avril 1977 (source La Dépêche) .....	27
Photo 4 : Crue de la rivière Vaiatiu lors du cyclone Reva (source La Dépêche).....	28
Photo 5 : Mairie de Paea inondée par la rivière Vaiatiu lors du cyclone Veena (source La Dépêche).....	28
Photo 6 : Effets de la houle cyclonique d'Orama à Rangiroa (source La Dépêche) .....	33
Photo 7 : Eboulement au PK 14.9 en décembre 2002 .....	41
Photo 8 : Chute de bloc sur la commune de Punaauia .....	42

## Table des tableaux

Tableau 1 : typologie des mouvements de terrains .....	13
Tableau 2 : Illustrations de la typologie.....	15
Tableau 3 : Echelle d'intensité (modifié, d'après le guide PPR mouvements de Terrain, Eds. La Documentation française, 1999).....	19
Tableau 4 : Caractéristiques physiques d'un tsunami. h profondeur ; H hauteur de la vague de l'océan ; c vitesse de la vague ; lambda longueur d'onde de la vague.....	36
Tableau 5: Classement des types d'enjeux présents en Polynésie.....	52
Tableau 6 : zonage des enjeux.....	53

# 1. Objet du plan de prévention des risques (PPR)

## 1.1. INTRODUCTION

L'ensemble du territoire polynésien est exposé à des degrés divers, à des aléas naturels tels que les mouvements de terrain, les inondations, la houle et les marées de tempête, et les tsunamis (raz-de-marée). Ils ont, par le passé, été à l'origine de nombreux dommages ; depuis 1996, ils ont provoqué la mort de 22 personnes et plus de dix-neuf milliards de francs pacifiques de dégâts. La législation des PPR (Plans de Prévention des Risques) émane de ce constat et d'une volonté de renforcement de la prévention des risques naturels prévisibles.

Une prévention efficace passe, entre autres, par la prise en compte des aléas naturels dans l'aménagement du territoire. Le Plan de Prévention des Risques (PPR) instauré par la délibération de l'assemblée de Polynésie n°2001-10 APF du 1<sup>er</sup> février 2001 portant modification du code de l'aménagement, constitue le document réglementaire permettant cette prise en compte. Cette délibération recense les risques qui pourront faire l'objet d'un PPR et précise la procédure administrative.

## 1.2. OBJECTIFS

Le PPR a pour objet la réalisation d'un zonage réglementaire et la définition pour chacune des zones, de mesures obligatoires ou recommandées, relevant de la prévention, de la protection ou de la sauvegarde.

## 1.3. FORME ET CONTENU

L'Article D.181-1 mentionne le champ d'application des PPR :

« Article D.181-1 (Dél. n° 2001-10 APF du 1<sup>er</sup> février 2001)

*Les plans de prévention des risques naturels prévisibles dits P.P.R. sont destinés à délimiter des zones plus particulièrement exposées aux risques naturels prévisibles, tels que les inondations, les mouvements de terrain, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes, les cyclones, les raz de marée ou tsunamis. »*

En outre, l'article D.181-3 (Dél. n° 2001-10 APF du 1<sup>er</sup> février 2001) mentionne les documents qui constituent le PPR :

1. **Un rapport de présentation** indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles compte tenu de l'état des connaissances ;
2. **Un ou plusieurs documents graphiques** délimitant les zones mentionnées aux 1° et 2° de l'article D.181-2 ;

3. Un **règlement** précisant :

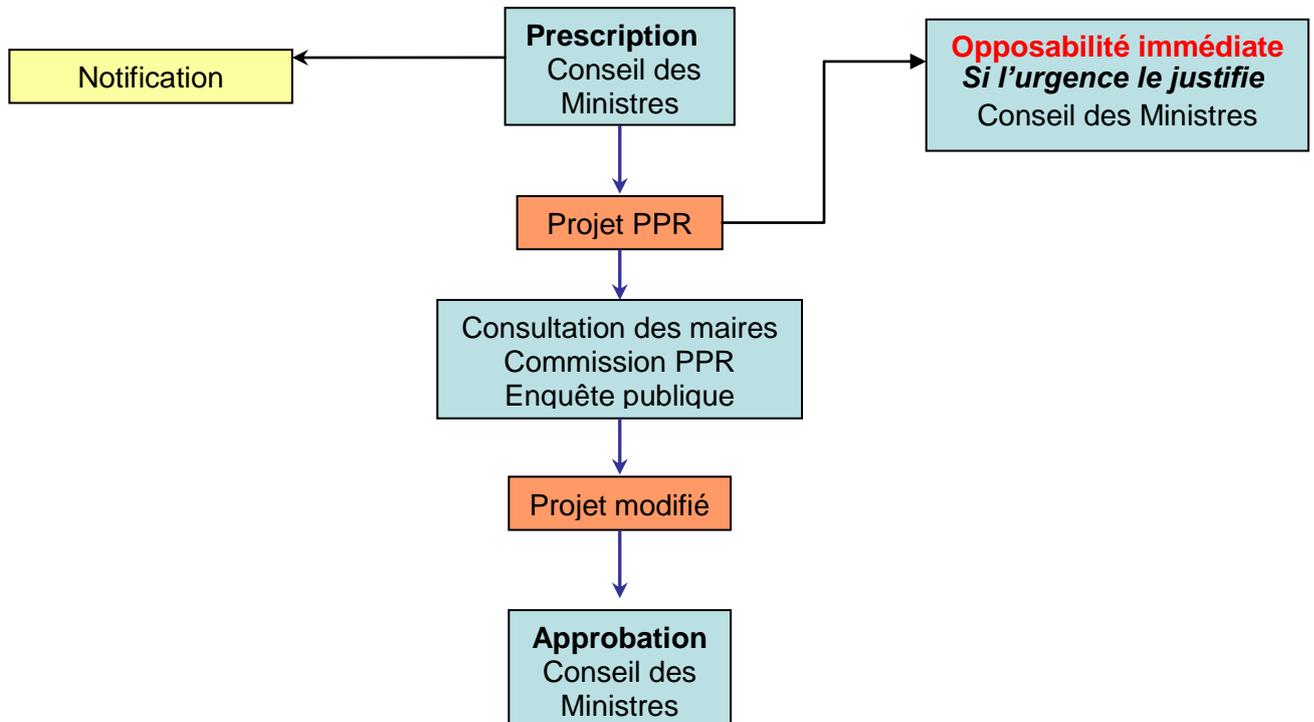
- les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune de ces zones en vertu des 1° et 2° de l'article D.181-2 ;
- les mesures de prévention et de protection mentionnées au 3° de l'article D.181-2 et les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan, mentionnées au 4° de l'article D.181-2. Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour leur mise en œuvre.

**1.4. PROCEDURE**

L'établissement du plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) est ordonné par arrêté du Conseil des Ministres. L'arrêté doit déterminer le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte. Il est notifié aux maires des communes concernées par le périmètre du P.P.R.

Les PPR sont établis ou révisés soit par le service de l'urbanisme, soit par un organisme ou technicien compétent, sous le contrôle d'une commission des PPR dont la composition est déterminée par arrêté du Conseil des Ministres.

Figure 1 : Procédure schématique pour l'élaboration des PPR



## **1.5. IMPLICATIONS**

Une fois approuvé, le PPR prévaut sur le plan général d'aménagement (PGA) ou le plan d'aménagement de détail (PAD). En leur absence, il prévaut sur les règles générales d'urbanisme. En effet, la mise en conformité du PGA avec les dispositions du PPR peut s'avérer nécessaire lorsque ces documents divergent, pour rendre cohérentes les règles d'occupations du sol. Le PPR est annexé au PGA quand il existe comme servitude d'utilité publique.

Le fait de construire ou d'aménager un terrain dans une zone interdite par un plan de prévention des risques ou de ne pas respecter les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation prescrites par ce plan est puni des peines prévues aux articles D.117-1 et D.117-2 du code de l'aménagement.

## 2. Notion de risque

Afin de mieux appréhender la signification des données de base nécessaires à l'élaboration du PPR, il convient de définir un certain nombre de notions élémentaires :

- **l'aléa** correspond à la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel dangereux donné, dans un lieu donné avec une intensité donnée. Il représente la menace ;
- **les enjeux** représentent la nature et l'importance des éléments exposés à l'aléa (les constructions, les personnes, ...). La valeur des éléments est pécuniaire, patrimoniale ou stratégique et prend également en compte les vies humaines exposées. Ainsi un hôpital représente un enjeu plus important qu'un bâtiment d'habitation collective qui lui-même représente un plus fort enjeu qu'une habitation individuelle ;
- **la vulnérabilité** traduit la fragilité ou la capacité de résistance des éléments exposés, vis-à-vis d'un phénomène donné.

Le risque (c'est à dire le danger) combine ces trois éléments et peut ainsi être défini de la façon suivante :

$$\text{RISQUE} = \text{ALEA} * \text{ENJEUX} * \text{VULNÉRABILITÉ}$$

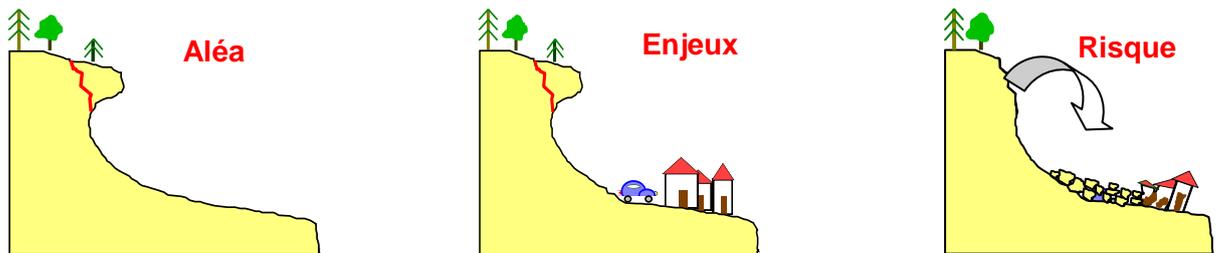


Figure 2 : Notions élémentaires

Cela signifie par exemple que sur une île déserte où l'aléa inondation serait très élevé, le risque serait nul (pas d'enjeu). Ou encore, pour un même niveau d'aléa, le risque est plus élevé pour un habitat précaire que pour des édifices bien construits.

L'application du PPR en complément des règlements en vigueur, a pour objet notamment de contribuer à la réduction de la vulnérabilité et donc du risque.

## 3. Les aléas

En Polynésie les aléas naturels présents sont au nombre de cinq :

- L'aléa mouvement de terrain ;
- L'aléa inondation ;
- L'aléa cyclonique ;
  - Houle ;
  - Submersion marine ;
  - Vent ;
- L'aléa tsunami ;
- L'aléa sismique.

Parmi ces aléas, l'aléa sismique est à priori négligeable en Polynésie et ne fait pas, pour l'instant, l'objet d'une prise en compte réglementaire.

Par ailleurs, il est à noter que dans les quatre aléas restant, le vent ne fera pas l'objet d'une cartographie détaillée. Ses effets sont considérés en première approche comme étant uniformes sur l'ensemble du territoire. En revanche, il existe des règles de construction obligatoires prenant en compte les vents cycloniques.

De ce fait, le chapitre suivant s'attache à présenter les aléas majeurs présents en Polynésie et faisant l'objet d'une cartographie, à savoir les mouvements de terrains, les inondations, les cyclones et les tsunamis.

### 3.1. LA POLYNESIE

La Polynésie française est un chapelet de 121 îles regroupées en cinq archipels : les Marquises, les Tuamotu, les Gambiers, la Société et les Australes. Ces îles, hormis deux îles des Australes sont réparties entre l'équateur et le Tropique du Capricorne.

Elle est constituée d'îles hautes volcaniques aux reliefs très escarpés et d'atolls globalement orientés Nord-Ouest Sud-Est, qui ont pour origine des points chauds.

Sa position en zone tropicale expose la Polynésie au passage de dépressions, tempêtes ou même cyclones, responsables de dégâts liés au vent mais aussi à l'eau : inondations, surcotes marines, houles cycloniques.

Bien que peu marquées, les variations saisonnières mettent en évidence une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril et une saison plus fraîche et relativement sèche de mai à octobre. La température annuelle moyenne varie entre 27° aux Marquises et 21° à Rapa au sud des Australes.

Les fortes pluies fréquentes pendant l'été austral, le relief très escarpé des îles volcaniques favorise les débordements de rivières et les inondations. De plus, de part

la structure géologique des îles hautes et la forte altérabilité des terrains géologiques, l'occurrence de mouvements de terrain est favorisée.

Les atolls, généralement de faibles altitudes sont très sensibles aux fluctuations du niveau de la mer.

De par leur situation géographique, leur contexte climatique et géologique, les îles de la Polynésie sont fortement exposées aux aléas inondations, mouvements de terrains, houles cycloniques, et surcotes marines.

### 3.1.1. Aléa mouvement de terrain

#### 3.1.1.1. *Les phénomènes physiques*

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol et du sous-sol. Il est fonction de la nature et de la structure des couches géologiques. Il peut résulter d'un ou plusieurs facteurs déclenchant :

- sollicitation sismique ;
- action de l'eau (modification des caractéristiques mécaniques des terrains après saturation en eau lors de fortes pluies, érosion liée aux écoulements) ;
- action de l'homme (modification des caractéristiques géométriques des terrains, rejets d'eau non contrôlés, ...) ;
- altération naturelle des terrains.

Deux ensembles de mouvements de terrains sont distingués : les **mouvements lents** (fluage / reptation, glissements) et les **mouvements rapides**. Les mouvements rapides sont scindés en deux groupes, suivant le mode de propagation, en masse ou sous forme remaniés. Les **mouvements en masse** comprennent les effondrements, les chutes de pierre ou de blocs, les éboulements ou écroulements et certains glissements. Les **mouvements à l'état remaniés** visent les laves torrentielles et les coulées boueuses (Tableau 1).

#### **Mouvements Lents**

Ils sont de 2 types en Polynésie : les glissements de terrain et les phénomènes de fluage / reptation.

##### Les glissements de terrain.

Il s'agit du déplacement d'une masse de terrain cohérente, le long d'une ou plusieurs surfaces de rupture de géométrie variable. Suivant la géométrie, on distingue généralement les glissements plans et les glissements circulaires. Dans de nombreux cas, les glissements affectent des remblais mis en place dans des zones en pente, pour l'édification de routes et de bâtiments divers.

#### Les phénomènes de fluage / reptation.

Ce type de mouvement se caractérise par la présence d'arbres inclinés et/ou d'une végétation moutonnée et/ou d'une surface topographique irrégulière. Dans certains cas les zones affectées peuvent être le siège de glissements superficiels d'ampleur modérée, en particulier lors de fortes pluies.

Des phénomènes équivalents se produisent dans les zones sèches (Tubuai, Nuku Hiva, Ouest de Tahiti). En cas de fortes pluies, les zones affectées peuvent être le siège de ravinements généralisés qui alimentent alors en charges solides les cours d'eau en crue.

### **Mouvements rapides en masse**

#### Chute de pierres, de blocs ou de gros blocs

Le volume total mobilisé est inférieur à 100 m<sup>3</sup>. En Polynésie, il s'agit le plus souvent d'instabilités affectant des parements rocheux naturels et sont observés dans toutes les îles hautes. Les instabilités se produisent également au sein de versants à forte pente et mobilisent des formations en place ou des éboulis.

#### Eboulement ou écoulement.

Comme précédemment, il s'agit de mouvements à composante de déplacement vertical prépondérant, mais dans ce cas les volumes mobilisés sont plus importants (supérieurs à 100 m<sup>3</sup>). Les matériaux mobilisés sont généralement rocheux et plus ou moins altérés. D'après les données disponibles, le type le plus fréquent en Polynésie concerne des parements rocheux naturels et est observé dans toutes les îles visitées. Les éboulements affectent également des talus constitués de mamu plus ou moins altéré (argiles et blocs).

Deux cas particuliers méritent d'être soulignés. Il s'agit premièrement des éboulements en grande masse (volume supérieur au million de m<sup>3</sup>). Un phénomène de ce type s'est produit à Fatu Hiva aux Marquises en septembre 1999. Il a provoqué un tsunami ayant causé des dégâts dans l'île. La niche d'arrachement résultant de l'éboulement mesure environ 300 m de large et de haut. Des phénomènes équivalents affectent la zone montagneuse centrale de l'île de Tahiti. Celui qui s'est produit fin mars 2003 a généré une niche d'arrachement de 700 m de haut et 300 m de large. Les masses ébouloées se sont propagées ensuite sur une dizaine de kilomètres de long sous forme de lave torrentielle.

Il s'agit en second lieu, d'éboulements, d'ampleur modérée le plus souvent, qui affectent des formations rocheuses après sous-cavage du mamu altéré sur lequel elles reposent. Un cas similaire d'éboulement en grande masse est supposé au Mont Muake à Nuku Hiva. Ces types particuliers méritent d'être soulignés dans la mesure où ils correspondent à une configuration relativement fréquente. En effet, les îles volcaniques voient souvent la mise en place tardive de dômes ou de coulées de lave. Ainsi, dans de nombreux cas, ces formations rocheuses arment les crêtes sur des épaisseurs de quelques dizaines de mètres, au-dessus d'un mamu altéré plus ou moins argilisé.

#### Glissement de terrain

Il s'agit de phénomènes *a priori* du même type que les glissements d'évolution lente. La distinction porte sur l'évolution rapide du phénomène, en particulier lors de sollicitations pluvieuses exceptionnelles ou d'actions anthropiques. Ils affectent principalement le mamu très altéré mais également des matériaux remaniés, en particulier les produits d'érosion accumulés en bas de pente. Le glissement survenu en 2000 dans la vallée de Tipaerui à Papeete en est l'illustration (de l'ordre de 100.000 à 150.000 m<sup>3</sup> de matériaux mobilisés)

#### **Mouvements rapides à l'état remanié**

Ces mouvements sont de quatre types :

##### Les laves torrentielles.

Elles résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses dans le lit des torrents. A Raiatea en 1998, quelques coulées ont été considérées comme des laves torrentielles. Elles résultent de la mobilisation de masses glissées au sein de cours d'eau, sans qu'il y ait nécessairement eu formation d'un barrage naturel. Fin mars 2003, un éboulement en grande masse s'est produit au centre de l'île de Tahiti, à la source de la rivière Punaruu. Le volume mobilisé est au moins de l'ordre de 2 millions de m<sup>3</sup>. La lave torrentielle engendrée s'est propagée sur une dizaine de kilomètres. A proximité de l'éboulement, les versants du cours d'eau ont été "décapés" sur 20 à 30 m de haut.

En décembre 1998, un éboulement s'est produit dans la commune de Papara à Tahiti et a provoqué un embâcle (barrage naturel). La rupture de ce barrage quelques heures après l'éboulement a entraîné la propagation d'une lave torrentielle qui a endommagé quelques habitations en aval.

##### Les coulées de boue.

Ce type de phénomène concerne :

- d'une part la fluidisation et l'écoulement rapide d'une formation argileuse en place en raison d'une importante teneur en eau. Des coulées de ce type ne sont pas connues (pour le moment) en Polynésie ;
- d'autre part, la mobilisation des matériaux issus de glissements ou d'éboulements. De nombreux phénomènes de ce type se sont produits à Raiatea et Tahaa en 1998. Dans certains cas, les matériaux mobilisés englobent des éléments rocheux et / ou des végétaux. On parle alors de coulées de débris.

##### Les glissements – coulées sur fortes pentes.

Ils sont fréquents à l'intérieur des îles hautes aux reliefs escarpés et affectent des versants à très forte pente. Ils se produisent en général lors de fortes précipitations. Ils résultent de glissements plans superficiels (épaisseur métrique à infra métrique) mobilisant des matériaux altérés en place ou déjà mobilisés. Il en résulte des cicatrices beaucoup plus longues que larges. Elles peuvent atteindre quelques centaines de mètres de long pour quelques mètres à quelques dizaines de mètres de large. Le

phénomène reste superficiel tant que la pente est élevée. Ensuite, il évolue le cas échéant en coulée de débris.

Les arrachements superficiels

Ce type d'instabilité vise ici l'ablation superficielle de matériaux, liés aux écoulements pluviaux.

Rapport de Présentation du PPR de Punaauia

Famille	Type	Sigle sous-type	Description sous-type	Occurrence en Polynésie
<b>Mouvements lents</b>	Affaissement	<b>AF</b>		peu ou pas a priori
	Tassement	<b>TS</b>		non pris en compte actuellement
	Retrait-gonflement	<b>RG</b>		non pris en compte actuellement
	Glissement de terrain	<b>GL</b>	cas général	
		<b>GLd</b>	glissement d'ampleur décamétrique	observé à Raiatea et Tahaa en 1998
		<b>GLh</b>	glissement de grande ampleur (hectométrique)	un cas supposé à Nuku Hiva
		<b>GLda</b>	glissement de remblais (pour routes ou constructions) dans les zones en pente	nombreux
	Fluage / reptation	<b>FLa</b>	glissement plus ou moins continu affectant sols et franges superficielles très altérées	observé à Raiatea et Tahiti. Potentiellement dans toutes les îles hautes
	<b>FLs</b>	phénomène équivalent dans les zones sèches affectant les sols squelettiques	observé à Tubuai, Nuku Hiva, Tahiti ouest	
<b>Mouvements rapides en masse</b>	Effondrement	<b>EF</b>		peu ou pas a priori
	Chute de pierres, blocs ou gros blocs	<b>CB</b>	cas général	
		<b>CBr</b>	phénomène affectant les parements rocheux	observé dans toutes les îles visitées
		<b>CBra</b>	phénomène affectant des talus anthropiques rocheux	souvent observé
		<b>CBv</b>	instabilité au sein de versant à forte pente mobilisant des formations en place ou des éboulis	un cas étudié dans la vallée de Titiro - a priori fréquent
	Eboulement ou écroulement	<b>EB</b>	cas général	
		<b>Ebr</b>	phénomène affectant les parements rocheux	observé dans toutes les îles visitées
		<b>EBrf</b>	phénomène affectant les parements rocheux de type falaise	à Nuku Hiva et dans l'ensemble des Marquises a priori
		<b>EBa</b>	phénomène affectant des talus constitués de mamu plus ou moins altéré naturels	courant
		<b>EBaa</b>	idem talus anthropiques	idem
		<b>EBg</b>	éboulement en grande masse	à Fatu Hiva notamment
<b>EBrt</b>		éboulement d'ampleur modéré affectant les formations de trachyte	courant - observé à Raiatea, Tubuai, Nuku Hiva	
<b>Ebht</b>		éboulement en grande masse affectant des formations de Trachyte	supposé au Muake (Nuku Hiva)	
<b>Mouvements rapides sous forme remaniée</b>	Laves torrentielles	<b>LT</b>		deux cas récents connus à Tahiti
	Coulée de boue	<b>CL</b>	cas général	fréquent lors de pluies exceptionnelles. Nombreux cas à Raiatea et Tahaa en 1998
		<b>CLd</b>	coulée de débris	idem
	Glissement coulée sur forte pente	<b>GC</b>		très fréquent dans les secteurs montagneux escarpés
	Erosion / ravinement	<b>ER</b>	cas général	dans toutes îles a priori
		<b>ERb</b>	cas particulier des érosions de berge	dans toutes îles a priori

Tableau 1 : Typologie des mouvements de terrain

	
<p><b>Glissement supposé de grande ampleur - Nuku Hiva</b></p>	<p><b>Fluage / reptation – Tubuai – (Arbres inclinés)</b></p>
	
<p><b>Arrachement superficiel – Tubuai – Arrachement</b></p>	<p><b>Chute de blocs –Titioro – Tahiti</b></p>
	
<p><b>Ecroulement pk 14.5 – Tahiti - Punaauia</b></p>	<p><b>Ecroulement de falaise – Nuku Hiva</b></p>

	
<p><b>Eboulement en grande masse – Tahiti Centre</b></p>	<p><b>Eboulement de grande ampleur – Tahiti Centre</b></p>
	
<p><b>Vallée affectée par une lave torrentielle – Tahiti Centre</b></p>	<p><b>Eboulement – Tahiti - Tipaerui</b></p>

Tableau 2 : Illustrations de la typologie

### 3.1.1.2. *Phénomènes historiques*

Chaque année, les îles hautes de Polynésie sont affectées à des degrés divers par des mouvements de terrain (glissements, éboulements, écroulements, chutes de blocs, coulées de boue...) qui occasionnent parfois des dégâts matériels, et plus rarement des pertes humaines. Si ces mouvements de terrain font partie de l'évolution normale des îles hautes, les interventions humaines agissent souvent comme un facteur aggravant ou déclencheur de ces phénomènes.

De 1987 à 1999, on dénombre 6 glissements aux conséquences désastreuses sur les îles de Tahiti, Huahine, Raiatea et Tahaa, coûtant la vie à 31 personnes et provoquant de très nombreux dégâts matériels (d'après le rapport du Conseil Economique Social et Culturel de Polynésie française, de mai 2000).



*Photo 1 : coulée de boue sur l'île de Tahaa en avril 1998 (source LTPP)*

En 2003, les capteurs du Laboratoire de Géophysique ont enregistré 2 écroulements qui ont été localisés par la Direction de la Protection Civile, dans le fond de la vallée de la Punaruu à proximité du Mont Orohena. L'un d'entre eux a engendré une coulée de boue qui s'est propagée sur près de 10 km, jusqu'au plateau de Tamanu. Bien que des événements de ce type se produisent dans des zones inhabitées, les risques ne sont pas totalement nuls. En effet, ces événements sont susceptibles de créer des embâcles représentant une menace pour les aménagements et les habitations situées en contrebas. Rappelons pour mémoire le cas d'un éboulement à Onohea (Tiarei, 1998) qui avait créé un barrage naturel dans la rivière, l'évacuation de la vallée avait alors été envisagé.

### **3.1.1.3. Principe de cartographie de l'aléa**

Différentes méthodologies de cartographie de l'aléa mouvements de terrain peuvent être mises en œuvre en fonction du contexte. Mais, quelle que soit l'approche, l'élaboration d'une carte d'aléa comporte deux phase principales :

- 1) une **phase analytique** consacrée au recueil de l'information de base (enquête documentaire, consultation des services techniques et des riverains concernés, reconnaissance de terrain avec inventaire et identification des formations superficielles et des mouvements de terrain passés, examen de photographies aériennes collecte des données relatives au sous-sol...).
- 2) Une **phase de synthèse et d'interprétation** qui vise à déduire des données de base, ou à produire à partir de celle-ci, une information nouvelle concernant l'aléa.

Parmi les méthodes mises en œuvre dans la phase de synthèse et d'interprétation, on distingue les méthodes qualitatives des méthodes déterministes.

Les **méthodes qualitatives** consistent à partir de règles d'expert (basées sur l'expérience et l'observation) ou de règles empiriques, à délimiter des zones homogènes en terme de niveau d'aléa. La formulation de règles peut permettre une cartographie assistée par ordinateur. Les méthodes dites « par expertise » sont les plus communément utilisées pour la réalisation de PPR en France.

L'aléa est généralement exprimé de façon qualitative (faible, moyen, fort).

L'approche qualitative ne permet toujours pas une grande précision dans la définition des contours et des niveaux d'aléa. Elle est plus appropriées pour des échelles de zonage de 1/10000 ou moins.

Les **méthodes déterministes** reposent sur la mise en œuvre de modèles physiques et mathématiques reproduisant plus ou moins fidèlement la réalité. Les résultats sont a priori plus précis que précédemment, à condition que les données de base du modèle aient un niveau de précision compatible avec celui du modèle.

L'aléa est exprimé de façon quantitative, ce qui n'empêche pas une traduction sous forme qualitative plus facilement compréhensible.

L'approche déterministe convient d'avantage pour les grandes échelles (1/10000 et plus) et est en général mise en œuvre ponctuellement ou sur des territoires d'extension limitée, étant donné les fortes contraintes liées à la qualité des données de base.

### **Approche globale en Polynésie**

En Polynésie, le zonage vise exclusivement les îles hautes. Si une cartographie existe déjà, elle est reprise intégralement dans le cas où elle est jugée de qualité suffisante.

Après la mise en œuvre systématique d'une phase analytique, les cartographies réalisées sont réalisées essentiellement « par expertise ». Cette démarche comporte notamment la consultation des bases de données existantes, la consultation de la commune concernée et surtout le parcours le plus exhaustif possible du territoire communal.

En fonction de la quantité et de la qualité des données de base disponibles, la cartographie réalisée vise à identifier et à délimiter des entités territoriales homogènes, qu'il est possible de caractériser en terme de niveau d'aléa. L'homogénéité est exprimée vis-à-vis de divers paramètres : la pente moyenne, la géologie, la lithologie, le contexte structural, la morphologie...

Les principales entités retenues à l'échelle utilisée sont :

- les planèzes qui correspondent aux pentes originelles généralement faibles des anciens volcans des îles. L'aléa y est faible en général ;
- les fronts de planèze. L'aléa y est moyen à élevé, selon la nature et la morphologie du front ;
- les versants plus ou moins hauts et escarpés parmi lesquels on distingue :
  - les versant secondaires de hauteur et pentes relativement faibles. L'aléa est faible à modéré en fonction notamment de l'importance de l'altération au sommet du versant ;
  - les versant principaux de hauteur supérieure à 100 m. L'aléa est moyen à fort en fonction notamment de la géologie et de l'état d'altération au sommet ;
  - les grands versants de plusieurs centaines de mètres de hauteur et de pentes très fortes. Quel que soit le contexte géologique, les instabilités y sont fréquentes et parfois de grande ampleur. L'aléa y est élevé ;
- les plateaux d'origine diverses (terrasse ancienne de cours d'eau, fond de vallée, plancher de caldeira, ...). L'aléa y est généralement faible.

Au sein de ces unités élémentaires, des distinctions sont introduites autant que nécessaire en fonction des particularités locales (présence en surface de formations déjà glissées ou éboulées, état d'altération superficielle et épaisseur des formation altérées, nature des formations géologiques présentes).

Localement, le niveau d'aléa ou les contours des zones peuvent être affinés par la mise en œuvre ponctuelle d'une approche déterministe.

#### **Approche déterministe en Polynésie**

Ce type d'approche est mis en œuvre pour l'étude de sites définis par le Service de l'Urbanisme et le Ministère en charge des risques. Il est nécessaire dans ce cas de réaliser au préalable une campagne de reconnaissance spécifique (levés topographiques, sondages, caractérisation des sols en laboratoire, etc).

Deux outils de simulation sont ensuite utilisés : il s'agit du logiciel TALREN (diffusé par TERRASOL) pour l'étude de la stabilité de talus et versants en ce qui concerne les glissements de terrain. Pour simuler les chutes de blocs et éboulements, il s'agit du logiciel PIERRE (conçu par le BRGM).

L'approche déterministe est mise en œuvre par ailleurs ponctuellement en appui à l'approche globale. Dans ce cas les outils de modélisation sont mis en œuvre à partir de données régionales et donnent des ordres de grandeur relatifs aux niveaux d'aléa et/ou à la position des contours de zones.

### 3.1.1.4. Les niveaux d'aléa

Comme le rappelle le guide méthodologique « PPR – Risques mouvements de terrain » édité en France métropolitaine, s'agissant de problème d'aménagement, l'aléa est qualifié par son intensité.

L'intensité de l'aléa mouvements de terrain est évaluée principalement en fonction de l'importance et de l'ordre de grandeur du coût des mesures qu'il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre pour s'en prémunir. Des classes d'intensité croissantes peuvent être identifiées selon que ces mesures sont du ressort d'un propriétaire individuel, d'un groupement de propriétaire, d'un promoteur ou d'un aménageur, ou qu'elles débordent largement le cadre parcellaire et qu'elles nécessitent une intervention et un investissement collectif.

L'aléa est ainsi exprimé suivant un critère de « portée » ou encore de « demande de prévention potentielle ».

Le Tableau 3 montre que l'importance des mesures et notamment les mesures de stabilisation des phénomènes peuvent être directement estimées à partir des caractéristiques des phénomènes physiques et ceci, indépendamment du type d'ouvrage ou de construction à protéger.

Niveau d'intensité	Niveau d'importance des parades	Exemples de mesures de prévention
Faible	Supportables financièrement par un propriétaire individuel	Purge de quelques blocs instable en falaise, confortement d'un petit glissement de terrain
Moyenne	Supportables financièrement par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement)	Drainage d'une zone instable
Forte	Intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et/ou d'un coût très importante et/ou techniquement difficile	Stabilisation d'un glissement de terrain important, confortement d'un pan de falaise instable
Majeure	Pas de parade technique	Phénomène de grande ampleur intéressant des volumes de l'ordre du million de mètres cubes

Tableau 3 : Echelle d'intensité (modifié, d'après le guide PPR mouvements de Terrain, Eds. La Documentation française, 1999)

Même si l'intensité est retenue en priorité pour qualifier l'aléa, celui-ci peut être exprimé en fonction d'autres critères. Il s'agit notamment de la « gravité » et de la « période de retour » exprimée pour des phénomènes d'ampleur variée.

L'ampleur des phénomènes à considérer est la suivante pour les glissements de terrain :

index	Description	Qualification
G1	0 - 5 m <sup>3</sup>	glissement faible
G2	5 - 200 m <sup>3</sup> (env. 100 m <sup>3</sup> )	glissement modéré
G3	200 - 3 000 m <sup>3</sup> (env. 1 000 m <sup>3</sup> )	glissement moyen
G4	3 000 - 50 000 m <sup>3</sup> (env. 20 000 m <sup>3</sup> )	glissement important
G5	sup. à 50 000 m <sup>3</sup>	glissement majeur

Pour les éboulements et chutes de blocs, la typologie est la suivante :

Index	Description	Qualification
E1	0 - 10 m <sup>3</sup> (éléments inf. à 1 m <sup>3</sup> )	Chute de blocs
E2	10 - 200 m <sup>3</sup> (éléments inf. à 5 m <sup>3</sup> )	Eboulement
E3	200 - 5 000 m <sup>3</sup> (éléments inf. à 10 m <sup>3</sup> )	Eboulement en masse
E4	5 000 à 500 000 m <sup>3</sup>	Eboulement en grande masse
E5	sup. à 500 000 m <sup>3</sup>	Eboulement catastrophique

Pour l'ensemble des critères considérés (y compris la portée), la signification des niveaux d'aléa, exprimée pour une entité territoriale de quelques hectares, est la suivante :

Niveau d'aléa	Portée	Gravité	Périodes de retour associées aux phénomènes de glissement	Périodes de retour associées aux phénomènes d'éboulement et de chute de blocs
Faible	parade individuelle économiquement et techniquement	pas d'accident ou improbable	Quelques (0 à 9) G1 tous les 10 ans environ G2 à G5 improbables	1 bloc tous les 100 ans
Moyen	parade collective, supportable par quelques individus (immeuble collectif, petit lotissement)	accident isolé	Quelques G1 tous les 5 ans environ Quelques G2 tous les 10 ans environ Un G3 tous les 50 à 100 ans G4 et G5 improbables	1 bloc tous les 50 ans ou plus
Fort	cadre dépassant la parcelle, parade au coût prohibitif et techniquement difficile	quelques victimes	Quelques G3 tous les 10 ans environ Un G4 tous les 50 à 100 ans	1 bloc tous les 10 ans ou plus, associé à des phénomènes de type E1 à E3
Majeur	pas de parade technique	quelques dizaines de victimes ou plus	Un G5 tous les 100 ans environ Quelques G4 tous les 100 ans environ	Un E4 ou un E5 tous les 100 ans

### **3.1.2. Aléa inondation**

#### **3.1.2.1. Les phénomènes physiques**

Quatre types d'inondations sont susceptibles d'affecter les îles de la Polynésie :

- les inondations dites « pluviales »,
- les inondations dites « fluviales »,
- les crues torrentielles,
- les laves torrentielles et coulées de boue,
- Les ruptures d'embâcles.

Plusieurs facteurs influencent l'aléa inondation :

- l'intensité des précipitations,
- le relief,
- l'occupation du sol (imperméabilisation des terrains),
- les surcotes marines.

Les îles hautes sont les plus exposées aux inondations. Les reliefs escarpés du centre des îles induisent des vitesses d'écoulement élevées et des temps de réponses des bassins versants très courts (temps entre une averse et la crue associée). Par ailleurs, les plaines côtières, parfois larges, ne permettent pas une bonne évacuation des eaux.

D'une manière générale, l'intensité du phénomène se définit, pour un site donné, au moyen de deux paramètres : la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement.

Si la hauteur est directement dépendante des caractéristiques topographiques locales, la vitesse dépend non seulement de la topographie mais également des conditions d'écoulement et de la présence d'ouvrages. Suivant le type d'inondation, l'ordre de grandeur de ces paramètres peut être précisé.

#### **Inondations pluviales**

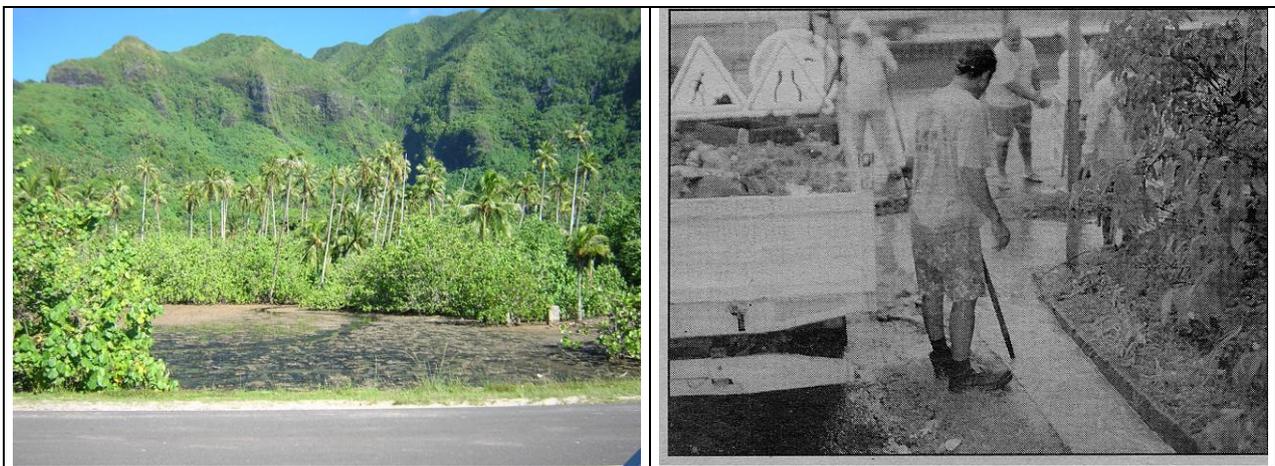
Les inondations dites « pluviales » concernent:

- Les zones de dépression topographique et les zones planes (ou à pente très faible où l'évacuation des eaux ne se fait que très lentement). On parle parfois de zone sub-endoréique : l'infiltration et l'évaporation sont les principaux exutoires des eaux (Figure 3a). Dans certains cas, il peut y avoir une remontée du niveau des nappes phréatiques. Lorsque ce type d'inondation intéresse des secteurs étendus, on parle d'inondation de plaine. Ce phénomène n'est cependant pas courant en Polynésie.

- Les plaines urbanisées. Elles se produisent lorsque l'état et la capacité du réseau d'assainissement des eaux pluviales ne permettent pas un bon drainage des eaux tombant sur la plaine (Figure 3b).

Ces zones peuvent être inondées sans qu'il n'existe de relation directe avec un cours d'eau. Les niveaux d'eau sont d'autant plus importants que les sols sont imperméabilisés (urbanisés)

Généralement, le niveau et la vitesse de l'eau sont limités, sauf au droit des ouvrages d'évacuation. Par conséquent, le plus souvent, ce type d'inondation n'est pas dangereux pour la vie humaine mais peut engendrer localement des dégâts matériels importants.



a : Zone marécageuse sur la plaine côtière de Teavaro (Moorea)      b : Saturation et débordement d'un caniveau à Outumaoro (Punaauia – Tahiti)

*Figure 3: Illustrations du phénomène d'inondation pluviale*

### **Inondations par débordement des cours d'eau, crues torrentielles et coulées de boue**

Lorsqu'il pleut, le débit des cours d'eau augmente : la rivière est en « crue ». Si la pluie est violente et durable, la rivière peut déborder de son lit et envahir les zones avoisinantes. Ces secteurs sont généralement de faibles altitudes et de faibles pentes : ils constituent le lit moyen, voire le lit majeur du cours d'eau.

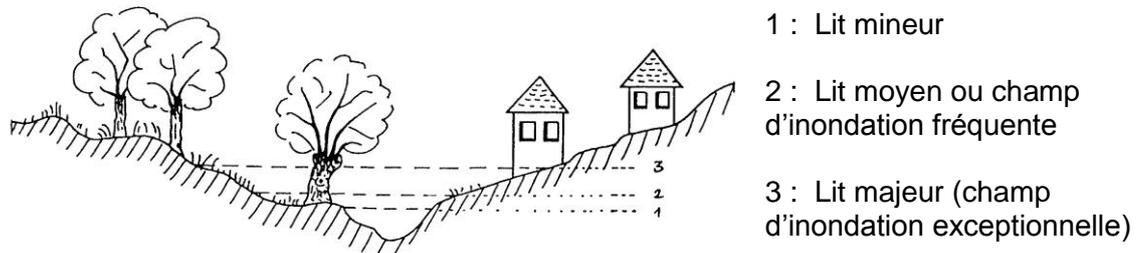


Figure 4 : Morphologie d'un cours d'eau

Il existe deux types de débordement de rivière :

- les débordements directs : il y a submersion des berges ou contournement d'un système d'endiguements limités ;
- les débordements indirects :
  - par remontée de l'eau dans les réseaux d'assainissement des eaux pluviales,
  - par débordement de nappes alluviales,
  - par la rupture d'un système d'endiguement ou autre ouvrage de protection.

Ces écoulements se produisent généralement en régime « **fluvial** » (hors ouvrage).

En Polynésie, les pentes des bassins versants étant fortes, le régime d'écoulement devient très souvent « **torrentiel** ». Les vitesses d'écoulement importantes occasionnent un transport de matériaux solides en suspension (matériaux fins et/ou flottables) et parfois (même souvent dans les grands cours d'eau de Tahiti notamment) le charriage de matériaux grossiers (cf. Photo 2).

Les volumes des matériaux transportés qui au cours d'une seule crue peuvent être considérables, peuvent également favoriser la création d'embâcles et/ou la modification du tracé du chenal.

Les énergies libérées au cours d'une crue torrentielle sont importantes et par conséquent peuvent provoquer de nombreux dégâts humains et matériels (destructions d'ouvrages, de bâtiments, de véhicules et mise en péril de personnes).

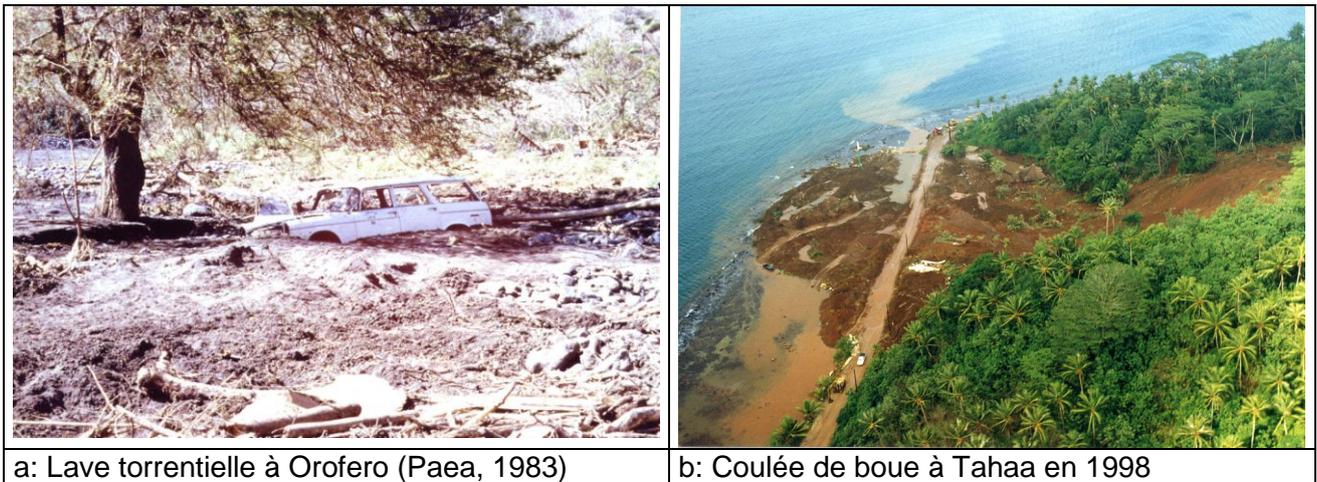


*Photo 2 : Illustration d'une crue torrentielle à Aivaro de Orofero (Paea) et du charriage de matériaux grossiers*

### **Les laves torrentielles et coulées de boue**

Il s'agit d'un phénomène de crue particulier qui consiste en la propagation d'un volume considérable de boue dense charriant des blocs. Elles ont un pouvoir destructeur plus important qu'une crue torrentielle de débit équivalent en raison essentiellement de la quantité de matériaux charriés ainsi que la densité du fluide qui les transporte.

Les laves torrentielles surviennent dans des cours d'eau caractérisés par une inclinaison forte ( $>5^\circ$ ) (Figure 5a). Les coulées boueuses quant à elles apparaissent dans des matériaux meubles lorsque leur teneur en eau augmente suffisamment pour diminuer brutalement leur cohésion (Figure 5b).



*Figure 5: Illustration d'une lave torrentielle et d'une coulée de boue*

### **Rupture d'embâcles**

Un embâcle consiste en l'obstruction d'un ouvrage ou d'une section d'un cours d'eau par la formation d'une digue naturelle constituant ainsi une retenue d'eau en amont. La digue peut être constituée soit par des éléments solides (arbres et blocs) arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau, soit par obstruction du cours d'eau suite à un glissement de terrain. Les écoulements peuvent alors entraîner la rupture brutale de la digue et générer ainsi la propagation d'une onde de crue destructrice, onde de crue d'autant plus importante que le volume de la retenue et la hauteur de digue avant sa rupture étaient importants. Cette rupture peut se produire plusieurs jours après la formation de la digue.

### Schéma de synthèse de différents types d'inondation

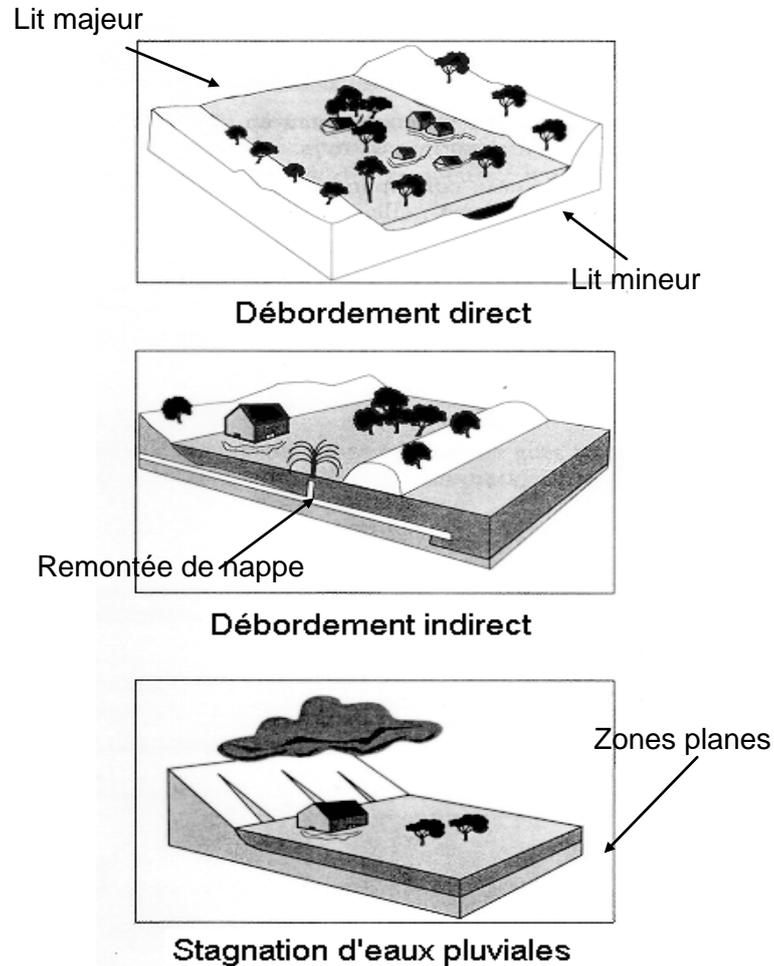


Figure 6 : Différents types d'inondations

#### 3.1.2.2. Phénomènes historiques

De par le contexte climatique de la Polynésie, les inondations sont des phénomènes courants à Tahiti dont les événements les plus dévastateurs sont souvent associés à l'activité cyclonique, mais peuvent également se produire en l'absence de cette activité.

A Tahiti, un nombre important de cours d'eau ont été déviés de leur lit naturel au cours des quarante dernières années. Ce type d'aménagement peut avoir des conséquences majeures. En effet, lors d'événements pluvieux importants, les cours d'eau déviés ont tendance à reprendre le cours de leur lit naturel souvent dans des zones vulnérables en raison d'une nouvelle occupation du sol suite à ces aménagements.

L'énumération qui suit ne se veut pas exhaustive mais illustre quelques situations emblématiques à travers la Polynésie.

Le 28 janvier 1965, 134 mm d'eau sont tombés en 24 heures, toutes les rivières de Tahiti ont été obstruées entraînant de nombreuses inondations.

En avril 1977, la rivière a débordé à Papeari et la route a été recouverte entre les pk 53 et 54 par 1 m d'eau (Photo 3). La chaussée s'est affaissée sur 5 m de long et 1,2 m de large.



*Photo 3 : inondation à Papeari en avril 1977 (source La Dépêche)*

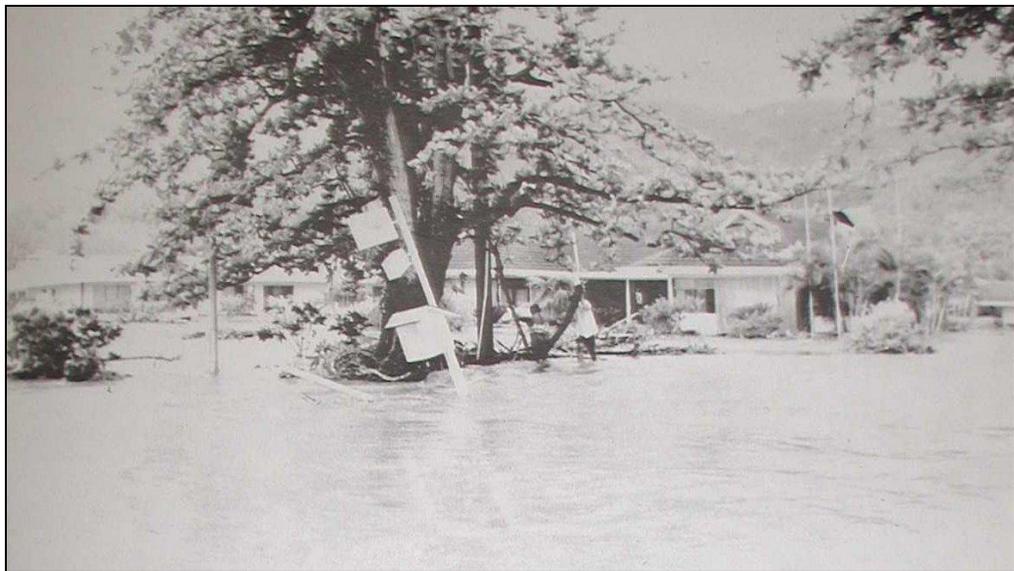
En 1998, lors du passage du cyclone Alan aux Iles Sous le Vent, des crues chargées (coulées de boues et de débris divers) se sont multipliées à Raiatea, Tahaa et Huahine dans une moindre mesure. De nombreuses victimes ont été déplorées.

Plus tard à Tahiti, lors des fortes précipitations de décembre 1998, c'est l'ensemble de l'île qui a été affectée avec des inondations plus ou moins sévère sur tous les cours d'eau. . Les dégâts sont très lourds sur toute l'île (5 milliards de Fcfp). Une fillette et un homme sont emportés par les crues. Des ponts et des routes ont été coupés, 600 habitants de la vallée de Hamuta sont évacués à Papeete.

A Paea, lors des cyclones Veena et Reva en 1983, la rivière Vaiatiu a débordé causant de nombreux dégâts (Photo 4 et Photo 5).



*Photo 4 : Crue de la rivière Vaiatiu lors du cyclone Reva (source La Dépêche)*



*Photo 5 : Mairie de Paea inondée par la rivière Vaiatiu lors du cyclone Veena (source La Dépêche)*

Suite à de fortes précipitations sur l'archipel marquisien (juillet 2004), la rivière qui traverse le village de Taipivai à Nuku Hiva a débordé. La population affirme que la hauteur d'eau était 2 fois supérieure au niveau moyen de la rivière. La crue a endommagé le pont de l'entrée du village et déraciné des arbres. Des maisons ont été évacuées en raison de l'inondation.

### **3.1.2.3. Principe de cartographie de l'aléa**

L'approche cartographique de l'aléa est différente suivant les tronçons de cours d'eau concernés. Trois types de tronçons ont été déterminés :

- Les parties non accessibles des cours d'eau ;
- Les parties accessibles sans enjeux ou avec enjeux non prioritaires ;
- Les parties au droit des zones à enjeux.

Dans les parties très encaissées ou en partie sommitale des cours d'eaux, zones généralement non accessibles en véhicule, le tracé des aléas est réalisé à l'aide des photographies aériennes. Le contrôle et l'ajustement de ces tracés est, si possible, réalisé au droit des sections accessibles. Cette méthode est également utilisée sur les petites îles escarpées ne comportant pas de zone à enjeux, peu habitées et ne comportant que des cours d'eau temporaires.

Dans les parties accessibles aux véhicules, le tracé des aléas est défini par une analyse hydrogéomorphologique au droit de différentes sections d'écoulement réparties le long du cours d'eau (visite de terrain). Cette analyse a principalement pour objectif de bien individualiser, si possible, les différentes composantes du thalweg : lit mineur, lit moyen et lit majeur mais également de recenser l'ensemble des ouvrages hydrauliques ayant un impact sur la formation et l'écoulement des crues.

Ces relevés observations et interprétations sont contrôlés, voire complétés, au moyen :

- des relevés de laisses de crues,
- de calculs hydrologiques et hydrauliques simples au droit de sections spécifiques ou courantes.

Ces informations ponctuelles sont ensuite interpolées, afin d'obtenir un tracé des aléas en continu sur la totalité du cours d'eau, à l'aide des photographies aériennes et des courbes de niveaux des cartes topographiques.

Dans les zones à enjeux, des modélisations détaillées sont mises en oeuvre afin de simuler les écoulements de surface, c'est à dire de déterminer des hauteurs de submersion, des vitesses d'écoulement et des extensions de zones inondées pour des crues de référence.

La crue de référence est la plus forte connue ou, si cette crue était plus faible qu'une fréquence centennale, cette dernière.

Dans tous les cas, les cartes d'aléa existantes font l'objet d'une évaluation afin de les utiliser autant que possible.

#### **3.1.2.4. Les niveaux d'aléa**

L'aléa inondation est défini en fonction de la hauteur de submersion et de la vitesse d'écoulement des eaux comme indiqué dans le tableau suivant

Hauteur / Vitesse	faible (stockage)	moyenne (écoulement)	forte (grand écoulement)
$H < 0.5 \text{ m}$	faible	moyen	fort
$0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	moyen	moyen	fort
$H > 1 \text{ m}$	fort	fort	fort

### 3.1.3. Aléa cyclonique

#### 3.1.3.1. Les phénomènes physiques

Les phénomènes cycloniques se produisent assez régulièrement dans un couloir privilégié Cook – Australes – Rapa ou dans son voisinage.

Le risque de subir une dépression tropicale forte ou un cyclone (vent moyen près du centre supérieur ou égal à 48 nœuds) semble très faible aux Marquises. Des Tuamotu à la Société, on peut estimer entre 4 et 8 (croissant du Nord Est au Sud Ouest de la zone) le nombre de cyclone de ce type à attendre par siècle (source Météo France). Les atolls des Tuamotu, étant donné leur étendue en longitude et latitude ainsi que leur dispersion relative, ne paraissent menacés de subir un cyclone que tous les dix à vingt-cinq ans en moyenne c'est à dire 4 à 10 cyclones par siècle (DUPON.J.F.). Aux australes enfin, c'est une fois tous les deux à trois ans que se produirait un événement cyclonique de forte intensité (Figure 7).

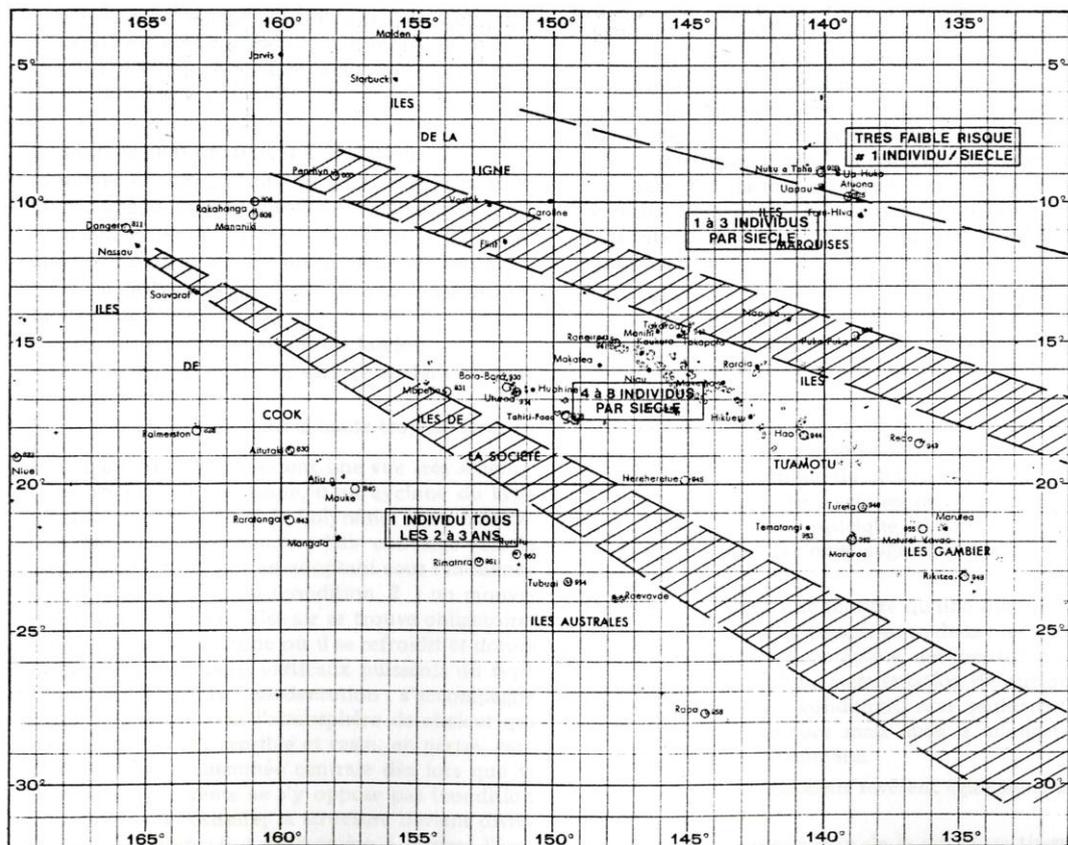


Figure 7 : probabilité d'occurrence de phénomènes cycloniques sur la Polynésie française (Service de météorologie de la Polynésie).

On sait que la zone intertropicale située, sur plus de 45° de latitude, à cheval sur l'équateur, reçoit un maximum de rayonnement solaire. C'est donc là que les couches supérieures de l'océan accumulent une grande quantité d'énergie solaire qui repasse finalement, en grande partie, à l'atmosphère par les voies du rayonnement infrarouge et, surtout, de l'évaporation (Météo France).

Cependant, il semble bien que les réserves thermiques accumulées dans la mer soient supérieures aux pertes qui s'opèrent par ces voies classiques et que des « soupapes de sécurité » (les cyclones) soient nécessaires pour rétablir l'équilibre entre gain et perte de chaleur par la mer.

### La marée de tempête

La marée de tempête se révèle comme un phénomène des plus dangereux parmi ceux qui accompagnent le cyclone tropical. Elle se traduit par un écart plus ou moins important entre le niveau de la mer observé et celui qui est simplement lié au phénomène de marée astronomique.

Une tempête, tropicale ou non, se traduit par un minimum de pression de dimensions comprises entre quelques centaines et quelques milliers de kilomètres de rayon. Par effet barométrique, la surface de la mer subit, sous la dépression, un soulèvement qui est encore accentué par des effets dynamiques liés au vent qui accompagne la dépression et au déplacement propre de celle-ci.

Ainsi se forme une onde dont le mécanisme interne est le même que celui de la marée astronomique, et dont la hauteur dépend du creux barométrique, de la vitesse de déplacement de ce dernier, des caractéristiques géométriques du bassin océanique, etc.

Les îles de la Polynésie étant dépourvues de plateau continental et sans baies importantes, les surcotes marines associés aux cyclones sont relativement faibles (pour un cyclone de classe 5, la surcote engendrée au rivage est de l'ordre de 1 à 2 mètres pour des vagues atteignant 10 à 12 mètres de haut).

Les données cycloniques historiques s'étalent sur la période allant de 1831 à nos jours, soit un total de 133 ans. Les données numériques fiables (intensité des cyclones, hauteur de houle) n'existent que depuis la saison chaude 1969 – 1970, soit 34 ans.

Depuis l'année 1831, 61 cyclones sont répertoriés dans les archives historiques, 39 d'entre eux se sont produits durant les 34 dernières années (1970 – 2004), soit 64% des cyclones inventoriés.

### **3.1.3.2. Phénomènes historiques**

Il n'existe pas d'historique des phénomènes de houle, ni de marée de tempête en Polynésie. Néanmoins, certains de ces phénomènes sont connus, ils apparaissent régulièrement dans l'histoire de la Polynésie et sont parfois relatés dans la presse.

Les Tuamotu ont été particulièrement touchés par les cyclones du début du XX<sup>e</sup> siècle. La houle y a provoqué plusieurs centaines de morts. Aussi, les témoignages rapportent qu'en 1905 les vagues seraient rentrées jusqu'à 180 m à l'intérieur de Papeete. En général, les cyclones qui ont eu lieu au cours du XX<sup>e</sup> siècle ont été accompagnés de houles plus ou moins importantes.

Sans être exceptionnelles, les houles qui affectent la Polynésie peuvent avoir des conséquences dommageables. En 1999, à Huahine par exemple, la porte de la mairie de Haapu a éclaté sous l'assaut des vagues, de nombreux complexes touristiques et habitations ont été inondés. A Tahiti, dans la commune de Papenoo, au niveau du trou du souffleur, la houle peut bloquer la circulation pendant plusieurs jours. A Rangiroa lors du cyclone Orama, plusieurs maisons sont « traversées » par les vagues (Photo 6).



*Photo 6 : Effets de la houle cyclonique d'Orama à Rangiroa (source La Dépêche)*

Il est rappelé que huit cyclones ont été meurtriers durant les derniers 133 ans (1843, 1878, 1903, 1905, 1906, 1983, 1997, 1998). Les décès sont dus à toute ou partie des causes suivantes : effets directe de la houle ; surcotes engendrées par les marées de tempête, inondations et mouvements de terrains induits par les précipitations.

### **3.1.3.3. Principe de cartographie de l'aléa**

Deux modèles peuvent être utilisés pour simuler la propagation de la houle :

- la modélisation en 2 dimensions (profil),
- la modélisation 3 dimensions (spatiale).

La modélisation 2D (le long d'un profil) est adaptée à des contextes simples et facilement transposables, par exemple dans une zone de lagon en arrière d'un récif sans passe. Un à trois profils sont tracés et la surcote obtenue peut être retenue pour tout le lagon.

La modélisation 3D est adaptée aux zones complexes (passe + baie ou zone portuaire) elle prend en compte divers phénomènes comme la réfraction et la diffraction de la houle.

Des modélisations en 3D sont réalisées dans un certain nombre de sites représentant les différentes situations côtières en Polynésie. Les résultats obtenus sont ensuite extrapolés au linéaire côtier n'ayant pas fait l'objet d'une modélisation détaillée en 3D.

La cartographie de l'aléa est tributaire des résultats de la modélisation et de la transposition des résultats sur les fonds topographiques.

Les valeurs caractéristiques de la houle (hauteurs, période et directions), de la pression atmosphérique et du vent (vitesse et direction) utilisées en entrée des modèles sont établies à partir des données cycloniques paroxysmales enregistrées depuis 1970. La bathymétrie utile aux différents calculs est fournie par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

Pour simuler de façon réaliste la transformation et l'action de la houle au niveau des zones d'intérêt, les simulations tiennent compte des phénomènes suivants :

- propagation dans l'espace ;
- réfraction ;
- gonflement (shoaling) ;
- dissipation par déferlement ;
- dissipation par frottement au fond.

De plus, la diffraction est considérée pour les secteurs au droit des passes.

Il existe actuellement trois grandes familles de modèles de houle qui tiennent compte de ces phénomènes. Ils sont basés sur :

- l'équation de conservation d'action de la houle - modèles spectraux ;
- les équations de Berkhoff ;
- les équations de Boussinesq modifiées.

Les modèles de la dernière famille sont très complets, capables de simuler l'action de chacune des vagues arrivant sur le rivage (déferlement et jet de rive). Ils nécessitent,

néanmoins, des données très précises en entrée et d'énormes ressources en calcul et en post-traitement. Ils ne sont pas adaptés à cette étude. Ce type de modèle est le plus souvent implanté très localement et couplé à un ou plusieurs modèles spectraux de grande emprise qui l'alimentent en temps réel à des fins d'alerte en cas d'inondation.

Les modèles spectraux (conservation de l'action de la houle) sont plus adaptés. C'est le cas de SWAN, référence internationale des modèles de ce type en génie côtier, qui présente l'avantage de calculer directement la surcote. Son seul défaut concerne la non prise en compte de la diffraction. Il n'est donc pas appliqué sur les sites à proximité des passes. Ces cas particuliers peuvent être traités avec le modèle REFDIF (résolution des équations de Berkhoff, une autre référence en génie côtier) qui prend en compte la diffraction. Cependant, ce modèle calcule les tensions de radiation et non les surcotes. Ces dernières peuvent être déterminées en injectant ces tensions dans le modèle SHORECIRC (modèle de circulation quasi 3D consacré aux environnements littoraux).

#### **3.1.3.4. Les niveaux d'aléa**

L'impact d'un cyclone en terme de submersion marine se décompose en deux phénomènes :

- La zone de déferlement de la houle
- La zone inondée par la surcote marine

Les niveaux d'aléa sont directement issu de cette dichotomie :

- la zone de déferlement de la houle est classée en aléa fort. Elle mesure entre 10 et 50 mètres de large depuis le rivage, en fonction de la morphologie côtière. En présence d'obstacles (murs, enrochements, micro-falaise, ...), la zone d'impact est plus limitée en largeur ;
- La zone inondée par la surcote marine se décompose en deux zones :
  - Une zone d'aléa faible pour les submersions marines inférieure à 0.5 mètre ;
  - Une zone d'aléa moyen pour les submersions marines supérieure à 0.5 mètre ;
  - Eventuellement une zone d'aléa fort pour les submersions supérieures ou égales à 1 mètre.

### 3.1.4. Aléa tsunami

#### 3.1.4.1. Les phénomènes physiques

Les tsunamis sont dus à des mouvements des fonds marins ou des côtes. De même que les houles longues d'origine lointaine, ils sont totalement indépendants des conditions météorologiques locales et peuvent intervenir sous un ciel serein. Ils en sont d'autant plus dangereux.

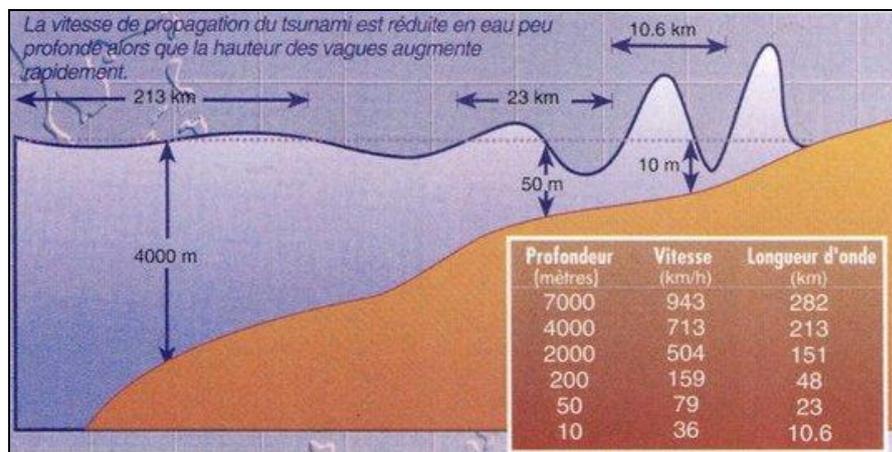


Figure 8 : Caractéristiques d'un tsunami en fonction de la profondeur (d'après CEA, 2002)

En plein océan les vagues des tsunamis n'excèdent que rarement 2 m (Tableau 4), à cause de leur grande longueur d'onde (qui peut varier de 50 à 200 km) et de leur vitesse de plusieurs centaines de km/h. C'est au voisinage des côtes qu'elles deviennent très dangereuses.

h m	H m	C		lambda km
		km/h	m/s	
5 000	1	800	222	267
2 000	1.25	504	140	168
1000	1.5	356	99	119
500	1.8	252	70	84
20	4	55	15.3	18.3
5	5.6	38	10.4	12.5
2	7.1	34	9.5	11.4

Tableau 4 : Caractéristiques physiques d'un tsunami. h profondeur ; H hauteur de la vague de l'océan ; c vitesse de la vague ; lambda longueur d'onde de la vague.

En Polynésie, les pentes des côtes plongeant dans l'océan sont fortes et souvent, l'existence d'une barrière de récif, à bonne distance du littoral, atténue les effets des tsunamis. Ce « talus » escarpé, ainsi que la forme convexe arrondie des petites îles a tendance à réfléchir et disperser l'énergie au lieu de la concentrer.

Mais il y a des exceptions. Le cas des îles marquises est nettement plus défavorable. Les grandes baies à faible pente, ne bénéficiant pas de la protection de barrières récifales, piègent et concentrent l'énergie propagée dans l'eau. La mer envahit alors le rivage et les plaines côtières sur plusieurs centaines de mètres, lorsque les altitudes sont faibles.

Dans la plupart des cas, le tsunami se traduira par une montée des eaux, sans vague déferlante, provoquant des inondations de la plaine littorale.

L'incidence d'un tsunami est dictée par la bathymétrie côtière. Il faut donc considérer la configuration des côtes et du littoral des îles polynésiennes :

1. les îles hautes avec barrières de récif (îles du vent, îles sous le vent, Gambier) ;
2. les îles hautes sans barrière de récif (îles Marquises, Tahiti Iti) ;
3. les atolls (Tuamotu).

Deux des îles Australes peuvent être rattachées au groupe des îles du vent, les trois autres aux îles Marquises.

Pour les petites îles polynésiennes, les fortes pentes de la côte plongeant dans l'océan font que les tsunamis ne pourront pas se développer et atteindre de grandes amplitudes.

De 1830 à nos jours, seuls 18 tsunamis ont touché les côtes polynésiennes. A Papeete, les hauteurs enregistrées varient entre 0.05 et 1.15 m. La hauteur paroxysmale a été atteinte lors du tsunami du 23 mai 1960 suite au séisme du Chili (MI 9.5) plus fort séisme jamais enregistré (Figure 9).

Il n'existe que peu de renseignements sur le Tsunami des Aléoutiennes en avril 1946 ; (le plus important Tsunami du siècle). Il semble que les amplitudes de 1960 aient été largement dépassées, entraînant des dégâts importants à Papeete, sur la côte nord et un peu partout dans l'île. A Papeete et Arue plusieurs maisons du bord de mer, construites en bois, ont été déplacées (J. Talandier).

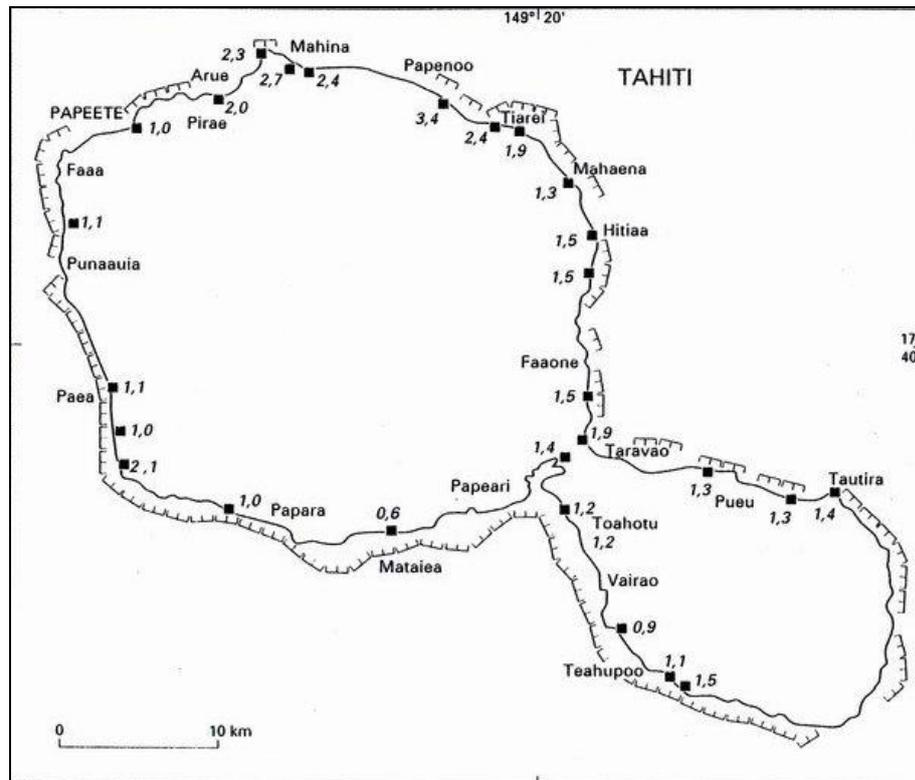


Figure 9 : Hauteurs des inondations (en mètres) observées à Tahiti lors du Tsunami de mai 1960 (séisme du Chili) (source Orstom).

Trois cas de figures semblent se détacher suivant l'origine du tsunami : 1) la côte ouest de l'Amérique du Sud ; 2) la côte nord du Pacifique ; 3) l'arc insulaire des Tonga Kermadec.

Le plus fort tsunami jamais enregistré se situe sur la côte ouest de l'Amérique du sud et a engendré une inondation de 1 à 2 mètres sur la côte de Tahiti. Il ne reste pas de description précise du tsunami de 1946, originaire des Aléoutiennes, mais il semble que la surcote engendrée ait été significativement plus importante que celle du tsunami de 1960, dans les zones les plus exposées (côtes nord de Tahiti dépourvues de lagon). Enfin d'après une simulation réalisée par le CEA en 2005 pour l'aéroport de Faa'a, un tsunami naissant au niveau de l'archipel des Tonga / Kermadec, suite à un séisme majeur (magnitude 8) ne devrait pas engendrer de surcote supérieure à 1 m.

### 3.1.4.2. Principe de cartographie

La cartographie de cet aléa s'appuie sur l'étude de différents sites typiques des contextes morphologiques polynésiens ainsi que sur l'analyse des données historiques. Ainsi des études détaillées, comprenant une modélisation fine du phénomène et de la surcote à terre, est entrepris dans chaque archipel. A Tahiti, c'est la baie de Papeete qui est concernée. A partir de ces résultats, le zonage est étendu à l'ensemble des côtes.

## **3.2. LA COMMUNE DE PUNAAUIA**

Ce PPR concerne la commune de Punaauia qui s'étend du point kilométrique (PK) 7,1 au PK 18,2 sur la côte ouest de l'île de Tahiti.

Il s'agit d'un PPR dit multi-aléa. Les aléas pris en compte sont les suivants :

- Mouvements de terrain,
- Inondation,
- Houle cyclonique et surcote marine,
- Tsunamis.

### **3.2.1. Situation géographique de Punaauia**

La commune de Punaauia, située sur l'île de Tahiti, fait partie des îles du Vent dans l'archipel des îles de la Société. Tahiti est une île d'origine volcanique entourée presque complètement par un récif corallien qui marque la limite entre le lagon et l'océan. Le récif s'interrompt aux embouchures des rivières formant ce qu'on appelle des passes.

Culminant à 2 241 m, Tahiti est la plus haute île de Polynésie. L'île est constituée de deux systèmes éruptifs distincts définissant l'île principale « Tahiti Nui » et la presqu'île « Tahiti Iiti ». Son relief est escarpé et la majeure partie de l'île est occupée par des pentes de plus de 50% avec de grandes vallées qui pénètrent en couloirs étroits jusqu'au centre de l'île. En dehors de la plaine côtière étroite qui encercle l'île les pentes inférieures à 10% sont quasi inexistantes. On dénombre peu de plateaux, les principaux étant celui de Tamanu au cœur de la vallée de la Punaruu et le plateau de Viriviriterai à 900 m d'altitude presque au centre de l'île.

Résultant d'une action érosive intense, le réseau de rivières et de ruisseaux est dense sur cette île. Tahiti se place ainsi au premier rang devant les autres îles de Polynésie pour le nombre de cours d'eau ainsi que pour l'étendue de leurs bassins versants. Cependant, les dimensions de ceux-ci restent modestes puisque aucun ne dépasse 80 km<sup>2</sup>. Le régime d'écoulement torrentiel de ces cours d'eau est toujours très marqué.

### **3.2.2. Contexte morphologique**

La commune de Punaauia s'étend de la Pointe de Tataa (Pk 5W) au Sud des Grottes de Mararaa (PK 32W), sur une largeur de quinze kilomètres en moyenne vers l'intérieur des terres. La plaine littorale, quant à elle, s'étend sur une largeur de 0,3 à 0,9 km. La commune est fermée au centre de l'île par le cirque de la Punaruu, limité par les monts Aorai (2 066 m), Orohena (Sommet de l'île 2 241 m), Teamaa (1 532 m) et Mahutaa (1 501 m) qui, du nord en allant vers le sud, forment un arc de cercle orienté à l'ouest. D'une superficie de 75,9 km<sup>2</sup>, Punaauia représente environ 7,2% de la surface totale de l'île de Tahiti. C'est la sixième commune de l'île, en terme de

superficie. La commune s'inscrit dans un contexte de fortes pentes et est traversée par de nombreuses vallées dont la principale est la vallée de la Punaruu.

Punaauia se situe sur la côte Ouest de Tahiti Nui, l'une des zones les moins exposées aux alizés et de ce fait l'une des plus sèche de l'île.

Punaauia appartient à la zone urbaine du grand Papeete qui s'étend de Mahina au nord, à Paea au sud ouest. Punaauia est limitée au nord par la commune de Faa'a et au sud par la commune de Paea.

### **3.2.3. Contexte géologique**

La carte géologique de P. Gelugne et R. Brousse (1987) indique que Tahiti Nui est un volcan d'environ 6 000 m de haut dont les deux tiers se trouvent sous la mer. Pour la partie émergée, les âges d'édification sont compris entre 2,5 et 0,3 millions d'années. Trois phases de construction de la partie aérienne du volcan ont été reconnues :

- la première est celle de la formation d'un volcan en bouclier,
- la deuxième est celle de l'effondrement de la caldeira,
- durant la troisième phase les remparts de la caldeira ont été attaqués par l'érosion.

Les travaux récents de A. Hildenbrand proposent une autre interprétation de l'édification de la partie émergée (« *Etude géologique de l'île volcanique de Tahiti-Nui (Polynésie française) : évolution morphostructurale, géochimique et hydrologique* ». Thèse Paris Sud, 2002, A. Hildenbrand).

Il n'y aurait pas de Caldeira à Tahiti Nui, mais deux stades principaux d'édification séparés par les glissements de grande ampleur au nord et au sud de l'île.

Dans la commune de Punaauia des alluvions d'origine marine et terrestre forment la plaine côtière. Les versants sont constitués de coulées de lave formant des empilements de niveau rocheux massifs et fracturés et de brèches de scories, d'épaisseur métrique à plurimétrique. La vallée de la Punaruu est marquée par la présence de formations brèchiques (dites « volcano-sédimentaires ») formant des plateaux plus ou moins étendus « accrochés » aux versants abrupts. C'est le cas par exemple du plateau de Tamanu.

La disposition des enjeux ainsi que le contexte morphologique et géologique font que la commune de Punaauia est globalement peu exposée aux risques naturels. Cependant les aléas présents en Polynésie se sont tous manifestés sur le territoire communal.

### 3.2.4. Aléa mouvement de terrain

#### Rappels

Il peut s'agir de glissements, d'éboulements, d'écroulements ou de chutes de blocs. Ces phénomènes peuvent avoir lieu lors de fortes pluies notamment, mais les activités humaines interviennent également comme des facteurs aggravants ou déclenchant des instabilités. Les zones concernées par ce type de risque se situent essentiellement en haut et en pied de talus ou de falaises, correspondant respectivement à l'instabilité des terrains d'assises des constructions et aux zones de réception. Aussi, l'importance des pentes dans la partie est de la commune (au niveau du centre de l'île) est propice au décapage des parois et aux glissements plans superficiels mobilisant des matériaux altérés en place. Cependant, l'absence d'habitation et donc d'enjeu dans cette zone, y rend le risque nul.

#### **3.2.4.1. Les phénomènes historiques**

Bien qu'aucune perte en vie humaine ne soit à déplorer sur la commune, Punaauia n'est pas épargnée par ces phénomènes. Ainsi en décembre 2000, un bâtiment industriel (entreprise Remi Chung) a été partiellement détruit dans la zone industrielle de la Punaruu, par un glissement de terrain survenu au cours de grosses pluies. En décembre 2002, un éboulement rocheux au PK 14,9, a provoqué la ruine partielle d'une habitation, des dommages liés aux impacts de blocs et de boue sur une autre et le comblement total de la piscine attenante, par des blocs éboulés.



*Photo 7 : Eboulement au PK 14.9 en décembre 2002*

Dans ce dernier cas, retenons que le pire a été évité puisque l'événement s'est produit au cours de la nuit, mais les conséquences auraient pu être bien plus graves s'il s'était produit dans la journée, alors que les habitants profitaient de leur piscine (Photo 7).

En mars 2004, au PK 14.5, un bloc important s'est détaché d'une paroi de quelques mètres de haut sans causer de dégâts (Photo 8), un événement similaire s'était déjà produit auparavant et avait entraîné la destruction d'une voiture.

Au Pk 17 (il y a une vingtaine d'années, date inconnue), une chute de blocs provenant du tiers supérieur du front de planèze a atteint la plaine habitée et a terminé sa course entre deux maisons, sans faire de dégât.



*Photo 8 : Chute de bloc sur la commune de Punaauia*

#### **3.2.4.2. Méthodologie mise en œuvre**

A Punaauia, le zonage a été réalisé selon l'approche « par expertise ». Il existait une cartographie précédente réalisée par le BRGM en 2001 (rapport RP-51226), suivant le même type d'approche. Elle a servi comme document de base mais n'a pas été reprise intégralement car la nature des phénomènes considérés ainsi que les niveaux d'aléa diffèrent sensiblement de ceux retenus pour la mise en œuvre des PPR sur l'ensemble des communes de Polynésie.

Le zonage a été affiné localement à l'aide du logiciel PIERRE pour définir l'extension des zones affectées par les chutes de blocs et éboulements, essentiellement en front de planèze. La commune dispose de plusieurs « points de calage » avec des chutes de blocs connus en divers points (cf. évènements historiques).

Dans une moindre mesure, l'outil TALREN, pour ce qui concerne les glissements de terrain, a été mis en œuvre au sommet des planèzes, marqués par une altération importante, afin d'aider à la définition de la largeur de la zone d'aléa fort à afficher en crête de versant.

### **3.2.4.3. Les enseignements**

Au regard de la carte d'aléa, les zones habitées concernées par un aléa fort de mouvement de terrain sont peu nombreuses. Les zones d'aléa fort sont principalement situées sur les grands versants des vallées principales de la commune ainsi que sur les versants composant les fronts des planèzes. L'aléa fort lorsqu'il existe est justifié par une forte pente associée à la présence de barres rocheuses fracturées et/ou à la présence d'accumulations de matériaux argileux déjà éboulés ou glissés (colluvions). A l'embouchure en rive gauche de la Punaruu et dans toute la vallée de ce cours d'eau, l'aléa éboulement / chute de blocs est élevé en raison de la présence d'une formation géologique particulièrement sensible à ce type d'instabilité. Il s'agit des brèches dites volcano-sédimentaires.

Du Nord de la commune jusqu'au lotissement Tavake l'aléa est faible à moyen. Il atteint un niveau fort sur un talus située au Sud de Carrefour du côté Est de la RDO et dans un thalweg à l'ouest du lotissement Tavake. L'aléa est presque systématiquement faible sur la bordure côtière des planèzes où l'altération des terrains est très peu développée.

De la vallée Matatia à la vallée de la Punaruu seuls les grands versants et les fronts de planèzes sont en aléa fort et très peu d'habitations sont concernées. Toutes ces zones sont soumises à un aléa chute de blocs / éboulement.

Depuis le centre commercial Tamanu jusqu'au lotissement Te Maru Ate les fronts de planèzes sont en aléa fort de chute de blocs / éboulement et la majeure partie des habitations situées en fond de servitude sont soumises à cet aléa.

Ponctuellement, on observe en quelques points de la commune, des accumulations de colluvions. Même si leur délimitation complète est problématique à partir de rares points d'observations, elles ont été indiquées sur la carte d'aléa car les matériaux en cause sont par définition potentiellement instables (glissement).

### **3.2.5. Aléa inondation**

#### Rappels

Les inondations pouvant se produire sur le territoire communal sont le plus souvent en relation directe avec les crues d'un cours d'eau. Il s'agit d'une part de torrents aux bassins versants peu étendus ; ils sont encaissés et leurs berges sont généralement peu construites. D'autre part des zones de débouché dans les plaines où l'eau a tendance à s'accumuler après débordement. Il existe également des zones dites d'inondation pluviales où l'eau s'évacue mal en raison des faibles pentes et parfois d'un mauvais fonctionnement du système d'évacuation. Pour ce type d'inondation, même si les dégâts sur les ouvrages et les biens peuvent être importants, il ne présente qu'un faible risque pour la vie des personnes.

#### **3.2.5.1. Les phénomènes historiques**

Punaauia subit régulièrement le phénomène inondation lié aux crues des cours d'eau. Ce type de risque est d'ailleurs le plus important auquel soit soumis la commune.

Dès 1978, la presse relate ces phénomènes dans la commune. Ainsi, en février 1978, la Maruapo, au PK 16,5 déborde, détruisant entièrement une route d'accès. En décembre 1998, La Dépêche de Tahiti indique que « *la pluie incessante a raviné les entassements massifs de déchets en amont de la zone industrielle de la Punaruu, et ce sont des milliers de résidus qui se déversent maintenant dans le lagon, emportés par le rivièrre en furie* ».

En 1999, Punaauia est considérée comme la commune de Tahiti ayant le plus souffert des inondations. Des habitations ont été inondées, des dégâts ont été recensés dans la vallée de la Punaruu et la route a été coupée au niveau de la Maruapo.

#### **3.2.5.2. Méthodologie**

Les cours d'eau accessibles ont fait l'objet d'une visite de terrain et le zonage a été établi, suivant l'approche semi-quantitative. Cela concerne tous les débouchés des rivières et raines en amont immédiat de la plaine côtière et les zones de lotissement. La rivière Matatia ainsi que la Punaruu ont pu être observées loin à l'intérieur des terres, les vallées correspondantes étant plus larges et dotés d'une route d'accès.

En amont, les cours d'eau ont fait l'objet d'observations ponctuelles. Ces rivières et ravines étant encaissés, le zonage de l'aléa revient à « souligner », les axes d'écoulement.

La Punaruu, rivière la plus importante du territoire communal, a fait l'objet d'une approche déterministe. En fait, une étude existante a été reprise. Editée en septembre 2000, le BCEOM a réalisé, à l'aide d'une modélisation mathématique des écoulements, une cartographie de la crue centennale de la Punaruu. Cette modélisation n'incluait pas la modélisation de la Vaitopu ni ses débits.

Les résultats de cette modélisation indiquent, lors de la crue exceptionnelle de référence :

- un débordement du lit mineur au niveau de la zone industrielle, entre la brasserie de Tahiti et le poste de chloration ;
- un débordement au niveau du quartier proche du lagon.

Suite aux importantes extractions et travaux réalisées depuis dans le cours d'eau, on peut toutefois supposer que le lit du cours d'eau n'est plus exactement identique et que la ligne d'eau ne serait plus exactement la même. Il conviendrait ainsi de vérifier régulièrement que les modifications induites par ces travaux ne changent pas significativement la ligne d'eau et les zones d'aléa.

### **3.2.5.3. Les enseignements**

La carte d'aléa fait ressortir le fait que l'aléa fort est souvent confiné au lit mineur de la rivière ou à l'axe principal des thalwegs.

Seules les zones situées dans les vallées principales ou aux débouchés de celles-ci sont soumises à des niveaux d'aléa faible à moyen. Ce sont ces zones qu'il convient de protéger à travers le règlement du PPR afin de réduire la vulnérabilité de l'habitat menacé.

Par ailleurs, il est important de noter à titre informatif, qu'une grande partie de la plaine a une morphologie propice à la stagnation des eaux pluviales si les réseaux d'évacuation sont sous dimensionnés (Outumaoro).

Dans la partie aval de la Ravine Vairail, la concomitance d'événements pluvieux intenses et de marées exceptionnelles peut générer des débordements.

La rivière de Te Tavake débouche sur la plaine alluviale au niveau de l'usine Premium et du parking de la Mairie. Suite aux apports potentiels tant liquides que solides, l'actuel système d'évacuation des eaux paraît fortement sous dimensionné. Il est probable, que lors d'épisodes pluvieux conséquents, des débordements importants se produisent. Ces débordements auront probablement tendance à reprendre le trajet d'évacuation initial

Afin d'aménager au mieux les parcelles du lotissement amont (lotissement SAGE) et de la ZAC, la ravine Vaitopu a été confinée en rive droite. Ces travaux de déviation comporte des ouvrages (pont du lotissement SAGE, et pont de la route au droit de la partie aval de la ZAC) et une section courante (au droit de la ZAC) a priori sous dimensionnés. Ces ouvrages et le chenal de la ZAC ne permettent visiblement pas l'évacuation d'une crue décennale. Des débordements importants sont donc à prévoir. Ces débordements, vu la pente, risquent de générer des écoulements à forte vitesse et constituer ainsi une menace pour la stabilité des remblais et des constructions. Au droit de la RT2, une fosse de dépôts et de dissipation d'énergie a été réalisée. Cet ouvrage a visiblement été mal calé, il génère des débordements sur le parking du stade qui s'évacuent ensuite sur le rond point.

### 3.2.6. Aléa cyclonique

#### Rappels

Compte tenu de la longueur de côte dont dispose la commune (plus de 11 km), le risque lié à la mer (houle et marée) est non négligeable. En effet, l'augmentation du niveau du lagon liée à une marée de tempête, ou la propagation rapide d'une houle cyclonique particulièrement destructrice, représentent un danger pour les personnes et les biens implantés en bordure de mer, à très basse altitude.

La commune de Punaauia est globalement épargnée par les houles de moindre ampleur puisqu'elle est protégée par son lagon. Les zones situées dans l'axe des passes demeurent cependant plus exposées à la houle.

#### **3.2.6.1. Méthodologie mise en œuvre**

Punaauia fait partie des types « **Côtes des îles hautes avec lagon** » et « **Côtes des îles hautes au droit des passes** ». Des opérations de modélisations détaillées ont été mises en œuvre sur la commune. La zone de la passe de Taapuna a fait l'objet d'une modélisation 3D (dite « zonale »), et le reste de la zone côtière a été étudié par une approche 2D (dite « en profil »).

Le zonage a donc été établi sur la base des surcotes obtenues par ces modélisations, et conforté par la concordance de données historiques, ainsi que des données recueillies auprès de la commune et de certains riverains.

Sur la commune, en référence au cyclone Reva ayant engendré des vagues de 12 mètres en pleine mer, la surcote marine retenue est de 2 mètres au droit des passes et de 1,5 mètres en arrière du récif.

La zone de déferlement des vagues mesure 10 mètres de large au maximum et moins si le sol atteint la cote + 2 m avant ces 10 mètres.

#### **3.2.6.2. Les enseignements**

Deux zones bien distinctes soumises à l'aléa « surcote marine » sur la commune de Punaauia sont visible sur la carte d'aléa :

- La zone nord de PK 7 à PK 12
- La zone sud de PK 12 à PK 18

La zone nord présente une pente très douce depuis le rivage vers l'intérieur des terres, permettant à une surcote de se manifester jusqu'à 200 m à l'intérieur des terres. Cependant, la surcote de hauteur « importante » (0,50 à 2 m de haut) n'excède que rarement les 50 mètres de propagation. Les zones sensibles sont notamment :

- La zone située autour de l'hôtel « Maeva Beach » ;
- la zone s'étendant du PK 10 au PK 11 ;
- la zone du PK 12 (Eglise Saint-Etienne).

La zone sud (PK 12 à PK 16) a une morphologie différente ; les terrains prennent de l'altitude plus rapidement. Ainsi, les inondations liées à la surcote marine ont une extension d'environ 25 mètres vers l'intérieur des terres. En quelques points rares et de petites surfaces elles peuvent atteindre au maximum 120 mètres d'extension.

### **3.2.7. Aléa tsunami**

#### ***3.2.7.1. Les phénomènes historiques***

Deux tsunamis particulièrement destructeurs ont affecté la commune de Punaauia.

Le plus connu est celui ayant fait suite au plus fort séisme jamais enregistré. Ce séisme s'est produit sur les côtes chiliennes en mai 1960 et a entraîné une inondation marine de 1,1 m de haut sur le littoral de la commune (Figure 9).

Un autre séisme important a eu lieu en 1946. La surcote à Punaauia n'a pas dépassé 1 mètre.

Une valeur du même ordre est attendue en cas de tsunami originaire des Tonga-Kermadec.

Dans tous les cas, il s'agit d'inondations lentes se succédant en plusieurs phases et non de déferlement destructeurs.

#### ***3.2.7.2. Méthodologie mise en œuvre***

Dans l'attente de la mise en œuvre des modélisations détaillées, une cartographie est proposée. Elle reproduit autant que possible les effets des tsunamis ayant affecté la commune au cours du XXème siècle.

#### ***3.2.7.3. Les enseignements***

Le phénomène d'inondation par un tsunami est très proche de la surcote marine liée au cyclone. Ainsi, la carte d'aléa fait ressortir les mêmes zones vulnérables décrites dans le paragraphe 3.2.6 relatif à la cartographie de l'aléa houle cyclonique.

## 4. Les enjeux

### 4.1. LES ENJEUX EN POLYNESIE

Les enjeux des communes de la Polynésie sont inventoriés sous deux formes principales :

- Les informations ponctuelles ;
- Les informations zonales.

#### 4.1.1. Les informations ponctuelles

Les bâtiments et les équipements sont répartis en deux catégories dites à « risque normal » et à « risque spécial ».

La catégorie dite à « **risque normal** » (RN) comprend les bâtiments, les équipements et installations pour lesquels les conséquences d'un risque naturel demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat. Elle comprend quatre classes détaillées dans le tableau ci-après.

Classe	Critères	Exemple
A	- Bâtiments à occupation humaine temporaire sans fonction d'hébergement	Hangars
B	- Habitat individuel ; - ERP <sup>(1)</sup> de catégorie 4 et 5 (< 300 personnes) ; - Bâtiments d'habitation collective (< ou = 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (< 300 personnes) ; - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (< 300 personnes) ; - Bâtiment abritant les parcs de stationnement ouverts au public.	

<sup>1</sup> ERP : Etablissement Recevant du Public

C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ERP de catégorie 1, 2 et 3 ;</li> <li>- Bâtiments d'habitation collective (&gt; 20 logements) ;</li> <li>- Bureaux non classés ERP (&gt; 300 personnes)</li> <li>- Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (&gt; 300 personnes)</li> <li>- Etablissements sanitaires et sociaux sauf ceux qui dispensent des soins de courtes durées (classe D)</li> <li>- Bâtiments des centres de production collective d'énergie.</li> </ul>	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bâtiment dont la protection est primordiale pour les besoins de la sécurité civile, de la défense nationale et pour le maintien de l'ordre public</li> <li>- Bâtiment d'intérêt patrimonial majeur</li> </ul>	- Bâtiments contribuant au maintien des communications

La catégorie dite à « **risque spécial** » (RS) comprend les bâtiments, installations et équipements (barrages, usine chimique, etc.) concernés par les conséquences d'un risque naturel qui ne peuvent être circonscrites au voisinage immédiat.

Parmi ces bâtiments dits RS, certains sont des installations classées, c'est à dire des « *usines, ateliers, dépôts, chantiers, installations sur carrières et d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter, en raison tant de l'activité que de la nature des produits ou substances fabriqués, détenus ou utilisés, des dangers ou inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publique, soit pour l'agriculture, soit pour l'aquaculture et la pêche, soit pour la protection de la nature et de l'environnement* ». (Article D.401-1 du Livre IV du code de l'aménagement). Elles sont de classe 1 (pour celle qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés ci-dessus) ou de classe 2 (pour celle qui ne présentent pas de tels dangers ou inconvénients mais qui doivent néanmoins respecter des prescriptions générales en vue d'assurer la protection des intérêts visés à l'article D.401-1).

Les types d'enjeux observés en Polynésie sont regroupés en 16 entités présentées et détaillées ci-après.

<b>Établissements scolaires</b>	Maternelle Elémentaire Circonscription pédagogique CJA Collège Ecole normale Lycée Lycée professionnel Lycée polyvalent CETAD Enseignement supérieur
<b>Secours et sécurité</b>	Police nationale Police municipale Gendarmerie Armée Protection civile Centre de secours Pompiers Parc à matériel
<b>Energie</b>	Usine Centrale Cuve Ligne électrique Poste source Réservoir Réseau Pylone électrique Transformateur Station essence
<b>Communication</b>	Réseau OPT Centre audio visuel Chaîne TV Radio publique Réseau général radiophonique Centre technique OPT Relais télé
<b>Patrimoine</b>	Cimetière monuments historiques marae
<b>Hébergements Touristiques</b>	Camping Hôtel Pension / Gîte
<b>Activité économique et industrielle</b>	serres agricoles zones industrielles usines entrepôts grandes surfaces
<b>Grands Ouvrages</b>	Barrage Pont

<b>Culture_Sport</b>	Musée Théâtre Maison culturelle Salle de spectacle Parcs & Jardins Marché Municipal Tribune Terrain de Sport Salle de sport
<b>Eau_Environnement</b>	Site de production Réservoir STEP Réseau Décharge Centre d'enfouissement Usine de tri des déchets
<b>Santé</b>	Centre de convalescence Centre d'accueil Centre médical Centre spécialisé Maison de retraite Dispensaire Grossiste en produits pharmaceutiques Clinique Hôpital
<b>Lieu de culte</b>	Chapelle Eglise Cathédrale Synagogue Temple
<b>Routes</b>	désserte de bât. de secours et de sécurité réseau secondaire réseau principal
<b>Transports</b>	installation portuaires aéroports hélicoptère
<b>Bâtiments administratifs et techniques</b>	Etat Territoire Commune
<b>Habitat</b>	individuel collectif

*Tableau 5: Classement des types d'enjeux présents en Polynésie.*

#### 4.1.2. Les informations zonales

Elles sont surtout issues du PGA de la commune.

Le PGA ci-dessous compte 16 zones distinctes qui ont été regroupées en 5 zones superposables aux aléas de la commune afin d'obtenir un zonage des risques naturels de la commune (Tableau 6).

Zonage Aléas	Code PGA	Descriptif Code
<b>Zone Industrielle, d'Activités et d'Equipements</b>	US	Zone industrielle ou d'activités secondaires
	Usm	Zone d'activité secondaire de Matatia et de Vaiopu
	UT	Zone touristique ou de loisirs
	Uea	Zone d'équipements publics
<b>Zone d'Habitat</b>	Ucc	Zone d'habitat dispersé
	Nca	Zone agricole protégée
<b>Zone Urbaine</b>	Uba	Zone urbaine du front de mer d'Outumaoro
	Ubb	Zone urbaine le long de la route de ceinture
	UCa	Zone résidentielle du littoral
	UCb	Zone résidentielle de la plaine centrale et des vallées
	Uec	
<b>Zone de Projet</b>	Naa	Future zone du littoral de Outumaoro
	Nab	Future zone d'urbanisation des plateaux
<b>Zone Naturelle et protégée</b>	Nda	Zone de site protégé du littoral
	NDb	Zone naturelle de moyenne montagne
	Ndf	Zone naturelle de haute montagne

Tableau 6 : zonage des enjeux.

Lorsque le PGA n'existe pas, les enjeux de la commune sont délimités suivant ces mêmes 5 zones, d'après les observations de terrain et les renseignements fournis par la mairie.

#### 4.1.3. Répartition des enjeux en Polynésie

En 2002, la Polynésie recensait 242 000 habitants. Sur 118 îles composant le territoire, 67 seulement sont habitées de façon permanente. Les îles du vent, composés de deux îles principales (Tahiti et Moorea) sont les plus peuplées : elles regroupent 75% de la population. La plus étendue, Tahiti joue le rôle de capitale administrative et économique de l'ensemble de la Polynésie. Elle est découpée en 12 communes dont Papeete représente le centre administratif.

Dans les îles hautes, l'activité humaine se concentre préférentiellement sur le bord littoral et le long des grands cours d'eau. A Tahiti, le nord-ouest (Mahina à Punaauia)

est le plus densément peuplé. Les constructions débordent le cadre de la plaine et occupent les premières pentes de la montagne jusqu'à des altitudes assez élevées. Les atolls habités ne comptent très souvent qu'un seul village, localisé à la passe ou à un point de débarquement des navires.

## **4.2. LES ENJEUX DE LA COMMUNE DE PUNAAUIA**

Troisième commune par sa population, Punaauia comptait 23 706 habitants, au dernier recensement réalisé en 2002. La commune a connu un des plus forts taux d'augmentation avec une population qui ne comptait que 5 245 habitants en 1971. Le taux d'accroissement moyen annuel est de 2,70% par an depuis 29 ans (pour un taux moyen de croissance de 1,74% pour l'île de Tahiti). Ainsi, en 2002 la densité de la commune était de 312 habitants au km<sup>2</sup>, mais de 1700 habitants au km<sup>2</sup> en considérant la zone réellement urbanisée.

De près de 1km de large au maximum au niveau de la Pointe des Pêcheurs, la plaine côtière concentre une grande partie des habitations. Les hauteurs ont également commencé à être colonisées et la tendance est à l'occupation des parties hautes par des lotissements.

Punaauia est une commune où prédominent les aspects résidentiels et touristiques (hôtels, pensions de famille, marina, ...), mais également des activités secondaires avec une zone industrielle importante dans la vallée de la Punaruu notamment. Elle comporte trois bâtiments de classe D (deux gendarmeries et un centre de secours) et possède parmi ses installations une centrale EDT.

Punaauia dispose aussi d'un pôle culturel avec le Musée de Tahiti et des îles et surtout de l'Université du Pacifique. Elle compte quatorze établissements scolaires. Il n'y existe aucun dispositif de santé.

L'extension de la zone urbaine du « Grand Papeete » qui va de Mahina à Paea, a entraîné une forte hausse du trafic routier sur cette commune de la côte ouest. L'ouverture récente de la Route des Plaines permet désormais de traverser rapidement la commune en évitant l'ancienne route de ceinture (RC). Cette voie rapide, réservée à la grande circulation, libère donc l'ancienne RC qui a développé une vocation de voirie urbaine desservant les riverains.

Une station d'épuration communale localisée à la Matatia regroupe les eaux usées de l'ensemble de la commune.

La carte des enjeux a été réalisée à partir du PGA de la commune dans sa version de mai 2004. D'autre part, la commune a fourni en avril 2004, la localisation de l'ensemble des enjeux ponctuels sur un fond de photographies aériennes couvrant toute la commune.

## **5. Le zonage des risques et le règlement**

### **5.1. LA POLYNESIE**

Les enjeux ponctuels ainsi que les zones du PGA sont regroupés en quelques zones d'enjeux simplifiées (cf. paragraphe 4.1).

Les enjeux ponctuels (poste de secours, hôpitaux, etc.) sont signalés sur la carte des enjeux.

Les aléas sont déclinés par nature (inondation, mouvements de terrains, etc.) et par niveau d'aléa (faible à moyen, moyen à fort, et fort).

Les risques sur la commune sont obtenus par le croisement des aléas et des enjeux ; les zones de risques sont homogènes par rapport aux mesures réglementaires qui s'appliquent. Par exemple, les prescriptions concernant un aléa moyen de mouvement de terrain dans une zone d'habitat dispersé sont les mêmes que pour un aléa mouvement de terrain moyen dans une zone urbaine.

Nous obtenons donc un certain nombre de zones de risques pour lesquels un règlement spécifique est rédigé (Figure 10).

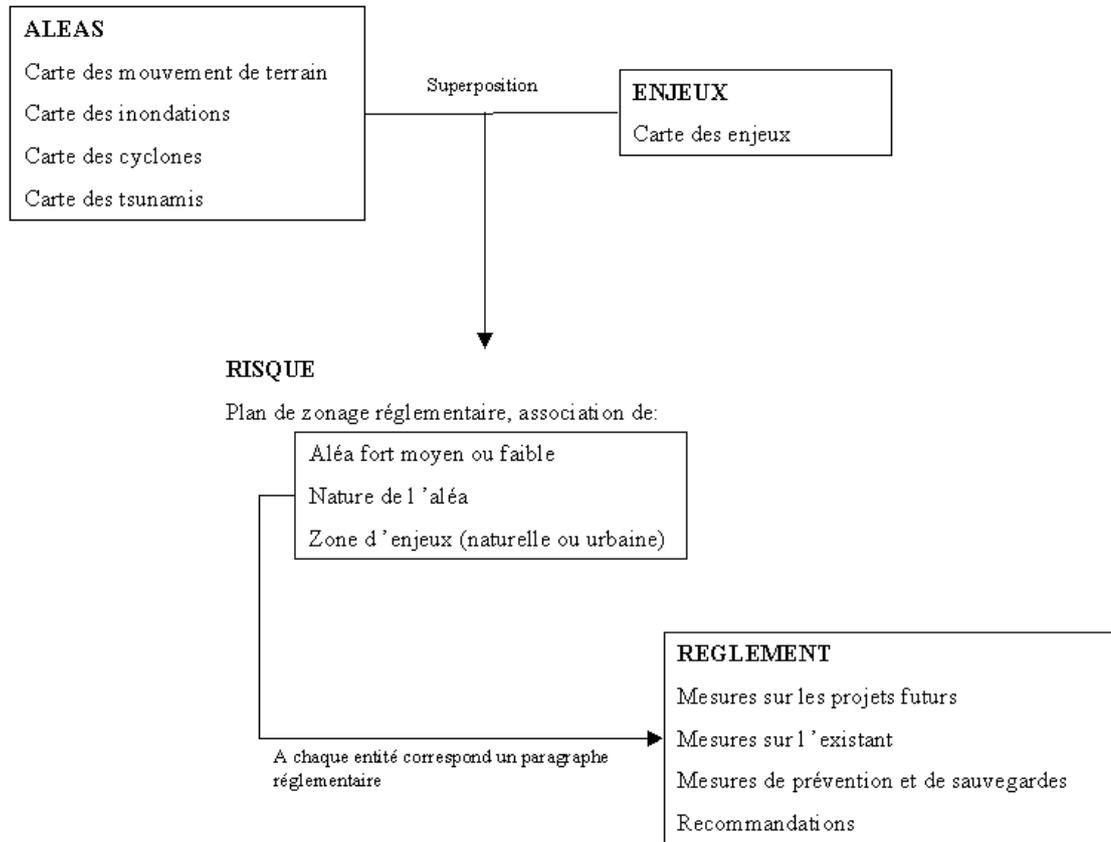


Figure 10 : Schéma de principe du PPR

Le règlement du PPR se compose de 3 parties principales intitulées :

- Portée du PPR – Dispositions générales ;
- Dispositions communes, applicables à l'ensemble du territoire ;
- Règlement par zones de risque.

Les deux premières parties sont générales et s'appliquent à l'ensemble de la Polynésie. La troisième partie s'applique également à l'ensemble de la Polynésie mais dépend du type de zones de risques présentes sur la commune traitée. Enfin la quatrième partie concerne les recommandations propres à la commune.

## 5.2. LA COMMUNE DE PUNAAUIA

Les enjeux ponctuels ainsi que les zones du PGA ont été regroupés au sein de 5 zones d'enjeux (Tableau 6) à savoir :

- Zone industrielle d'activité et d'équipements,
- Zone d'habitat,
- Zone urbaine,
- Zone de projet,
- Zone naturelle protégée.

Les aléas sont déclinés en 3 classes :

- Aléa fort,
- Aléa moyen à fort,
- Aléa faible à moyen.

Ainsi 6 zones de risques ont été délimitées sur la carte des enjeux de la commune :

- Zone de risque fort quel que soit la zone d'enjeux,
- Zone risque moyen à fort en zone naturelle protégée,
- Zone de risque moyen à fort en zone de projet, industrielle, urbaine et d'habitat dispersé,
- Zone de risque faible à moyen en zone naturelle protégée,
- Zone de risque faible à moyen en zone de projet, industrielle, urbaine et d'habitat dispersé.

Pour l'application du règlement et donc le croisement avec les aléas, il est considéré 2 zones d'enjeux, les zones urbanisées ou urbanisables d'une part (en fait toutes zones susceptibles d'être aménagées) et d'autre part, les zones naturelles.

A chaque zone du zonage PPR, correspond un règlement décliné en 3 parties principales :

- Mesures concernant les constructions futures,
- Mesures concernant l'existant,
- Mesures de prévention et de sauvegarde.

Dans chacune de ces parties, les aléas sont traités de façon indépendante. Ainsi la lecture du plan de zonage va indiquer, pour une habitation donnée, la zone d'enjeux, le niveau d'aléa atteint et sa nature.

Ces trois informations croisées renvoient à un paragraphe spécifique du règlement suivant que celui ci est consulté pour un projet futur ou existant.