160e Année — N° 4 NS

REPUBLIQUE FRANÇAISE
LIBERTE - EGALITE - FRATERNITE

8 Février 2011

ISSN 1141 - 4774

JOURNAL OFFICIEL

DE LA POLYNESIE FRANÇAISE

Philippe MACHENAUD-JACQUIER
Mail : philippe.machenaud@mail.pf

NUMERO SPECIAL

Matahiti 160 ›
N° 4 - Numera Taae

TE VE'A A TE HAU NO POLYNESIA FARANI

Mahana 8
no Fepuare 2011

IMPRIMERIE OFFICIELLE — 43, rue des Poilus-Tahitiens - BP 117 - 98713 PAPEETE — Tél. : 50 05 80 - Télécopieur (Fax) : 42 52 61

SOMMAIRE

PARTIE OFFICIELLE

ACTES DES INSTITUTIONS DE LA POLYNESIE FRANÇAISE

ARRETES DU CONSEIL DES MINISTRES **Pages**

Annexes à l'arrêté n° 392 CM du 25 mars 2010 portant approbation du plan de prévention des risques naturels de la commune de Punaauia 62

Page LEXPOL 2 sur 63

PARTIE OFFICIELLE

ACTES DES INSTITUTIONS DE LA POLYNESIE FRANÇAISE

ARRETES DU CONSEIL DES MINISTRES

ANNEXES à l'arrêté n° 392 CM du 25 mars 2010 portant approbation du plan de prévention des risques naturels de la commune de Punaauia.

RAPPORT DE PRESENTATION
DU PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
DE LA COMMUNE DE PUNAAUIA

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 CFP* 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 1er 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 champs d'application des PPR :

"Art. D. 181-1 (Dél. n° 2001-10 APF du 1er février 2001).— Les plans de prévention des risques naturels prévisibles dits PPR 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 1er février 2001) mentionne les documents qui constituent le PPR :

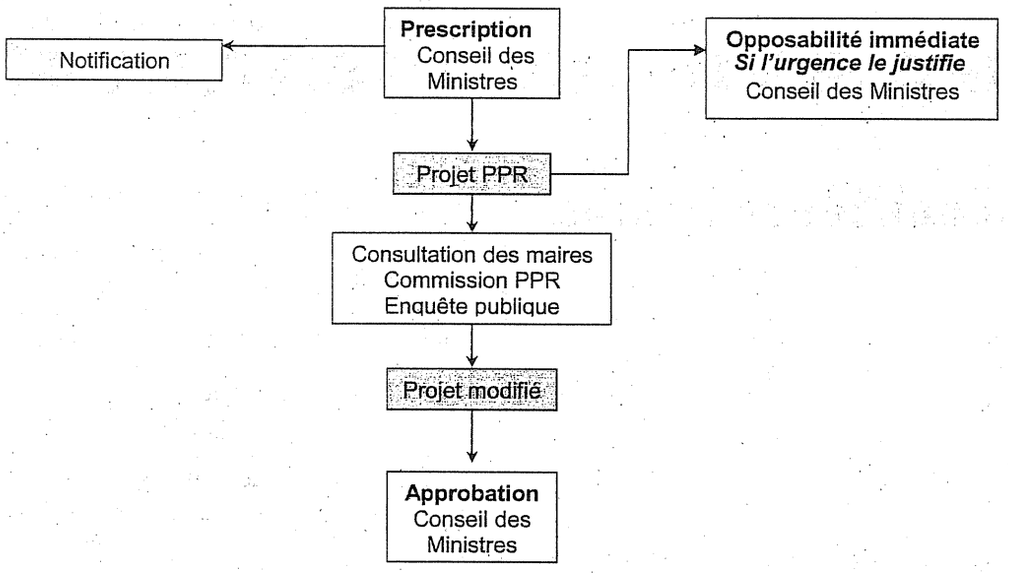
1° Un rapport de présentation indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles compte tenu de l'état des connaissances ;
2° Un ou plusieurs documents graphiques délimitant les zones mentionnées aux 1° et 2° de l'article D. 181-2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

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 PPR.

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 :

RISQUE = ALEA * ENJEUX * VULNERABILITE

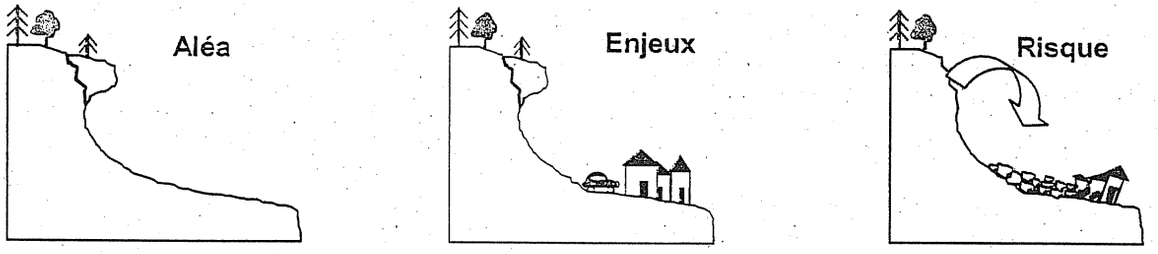


Figure 2 : Notions élémentaires

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 a 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 Polynésie*

La Polynésie française est un chapelet de 121 îles regroupées en cinq archipels : les Marquises, les Tuamotu, les Gambier, 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 favorisent les débordements de rivières et les inondations. De plus, de par 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 remanié 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 mètres cubes. 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 écroulement

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 mètres cubes). 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 mètres cubes). 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 mètres 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 mètres de haut et 300 mètres de large. Les masses éboulées 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 mètres cubes 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 mètres cubes. 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 mètres 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 inframétrique) 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.

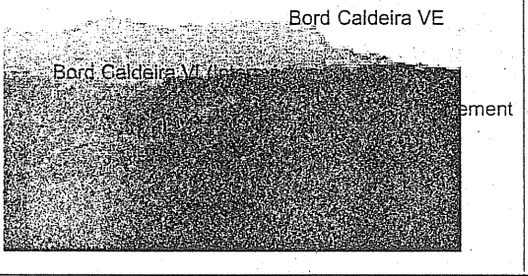
Les arrachements superficiels

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

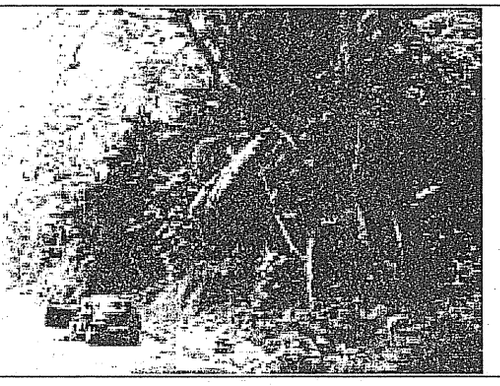
Page LEXPOL 6 sur 63

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

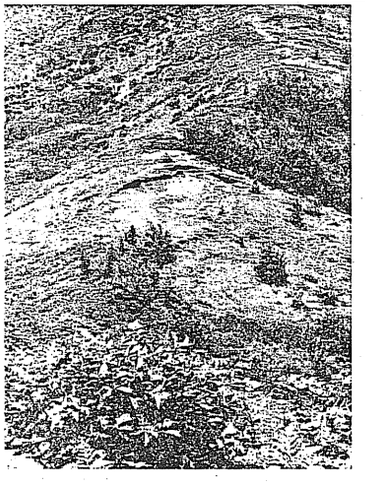
Tableau 1 : Typologie des mouvements de terrains



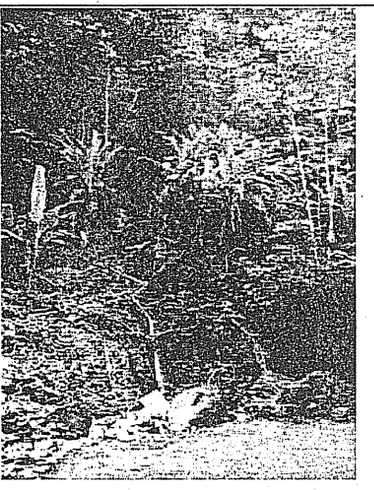
Glissement supposé de grande ampleur - Nuku Hiva



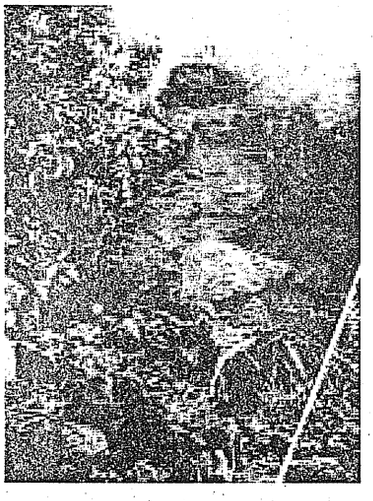
Fluage / reptation – Tubuai – (Arbres inclinés)



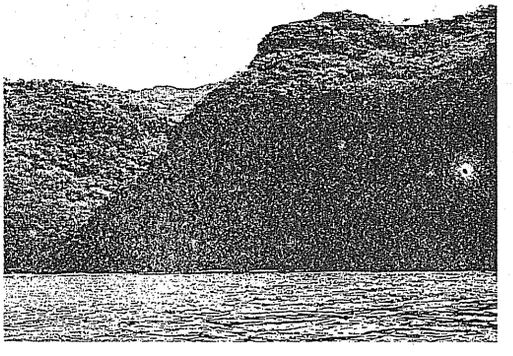
Arrachement superficiel – Tubuai – Arrachement



Chute de blocs –Titioro – Tahiti



Ecroulement pk 14.5
– Tahiti - Punaauia



Ecroulement de falaise – Nuku Hiva

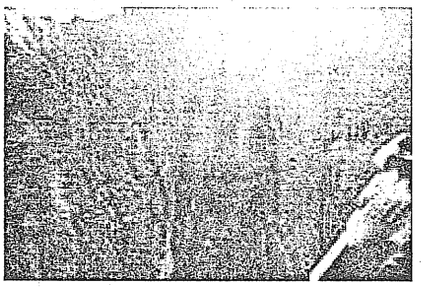
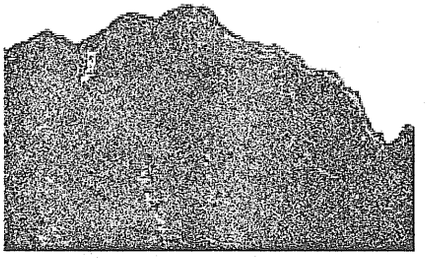
	
Eboulement en grande masse – Tahiti Centre	**Eboulement de grande ampleur** – Tahiti Centre
	
Vallée affectée par une lave torrentielle – Tahiti Centre	**Eboulement** – Tahiti - Tipaerui

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 économique, social et culturel de Polynésie française, de mai 2000).

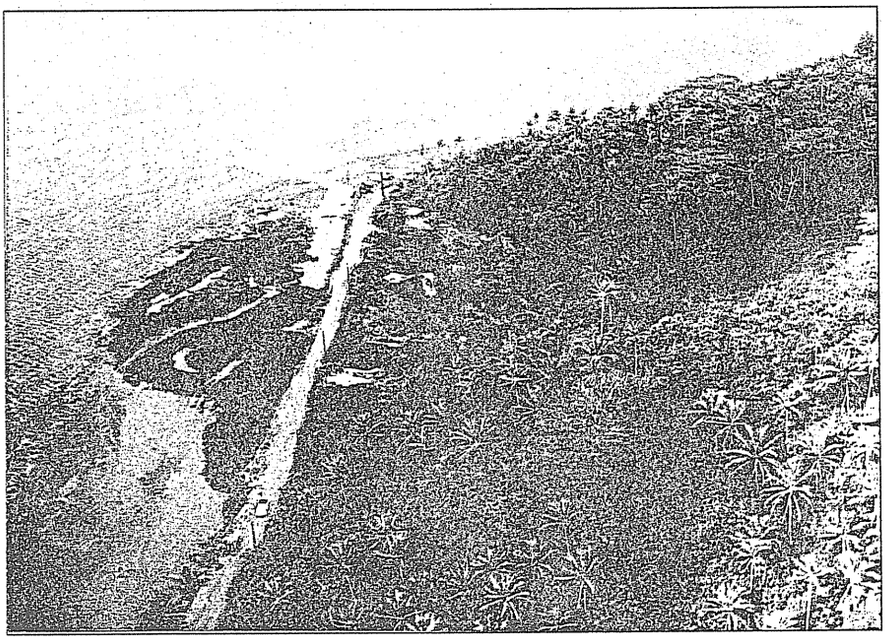


Photo 1 : coulée de boue sur l'île de Tahaa en avril 1998 (source LTPP)

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 kilomètres, 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 envisagée.

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 niveau d'aléa. Elle est plus appropriée pour des échelles de zonage de 1/10 000 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 (1/10 000 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 mètres. 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 (levers 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).

Page LEXPOL 10 sur 63

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 instables 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 m3	glissement faible
G2	5 - 200 m3 (env. 100 m3)	glissement modéré
G3	200 - 3 000 m3 (env. 1 000 m3)	glissement moyen
G4	3 000 - 5 000 m3 (env. 20 000 m3)	glissement important
G5	sup. à 50 000 m3	glissement majeur

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

Index	Description	Qualification
E1	0 - 10 m3 (éléments inf. à 1 m3)	chute de blocs
E2	10 - 200 m3 (éléments inf. à 5 m3)	éboulement
E3	200 - 5 000 m3 (éléments inf. à 10 m3)	éboulement en masse
E4	5 000 à 500 000 m3	éboulement en grande masse
E5	sup. à 500 000 m3	éboulement 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.

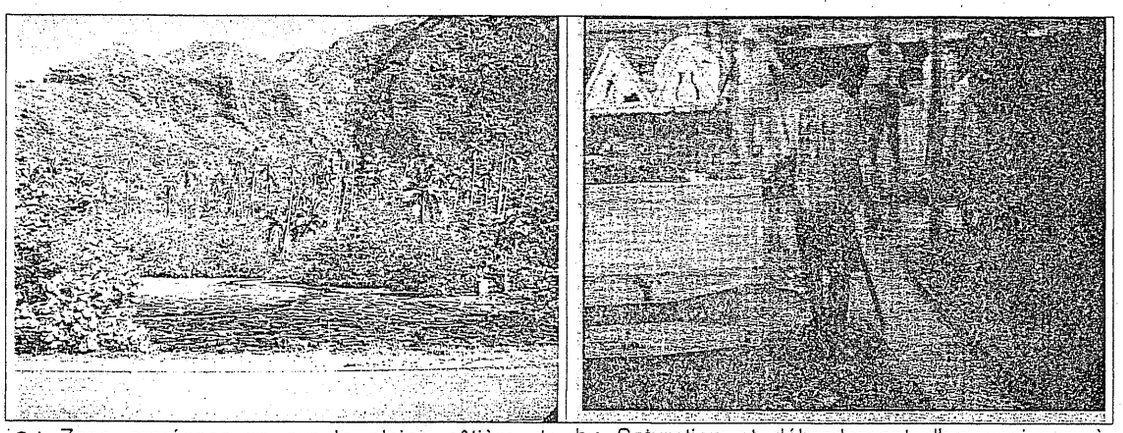
Inondations pluviales

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.

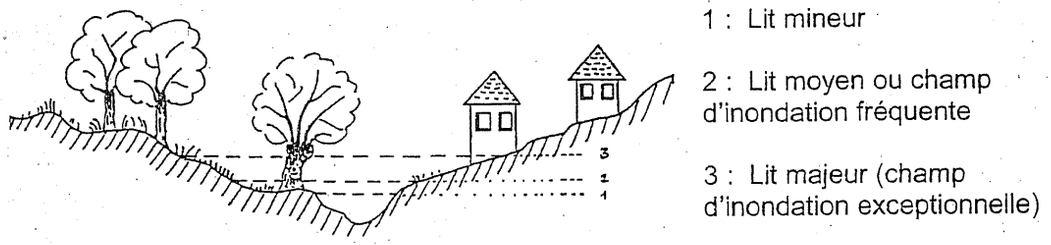


Figure 4 : Morphologie d'un cours d'eau

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).

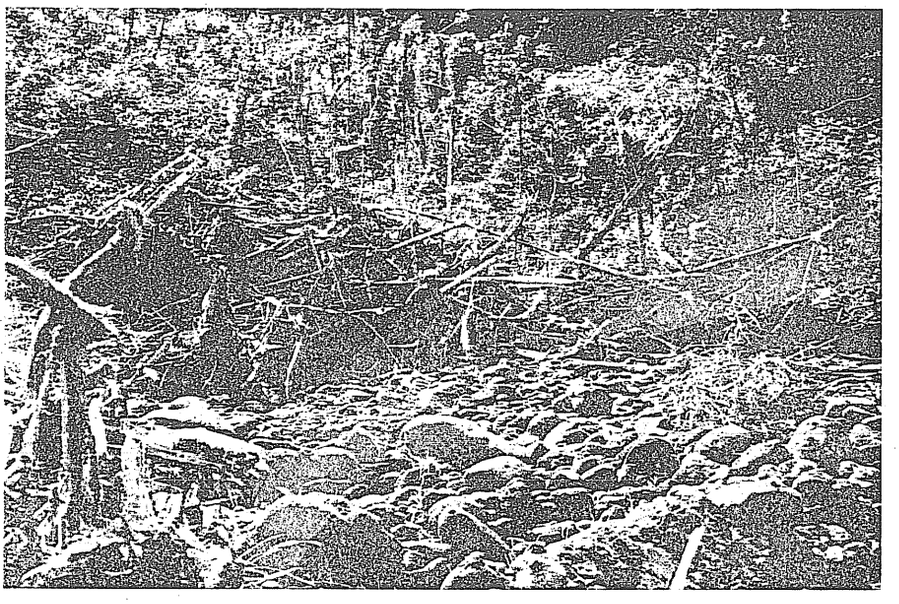


Photo 2 : Illustration d'une crue torrentielle à Aivaro de Orofero (Paea) et du charriage de matériaux grossiers

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°) (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).



a: Lave torrentielle à Orofero (Paea, 1983) | b: Coulée de boue à Tahaa en 1998

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.

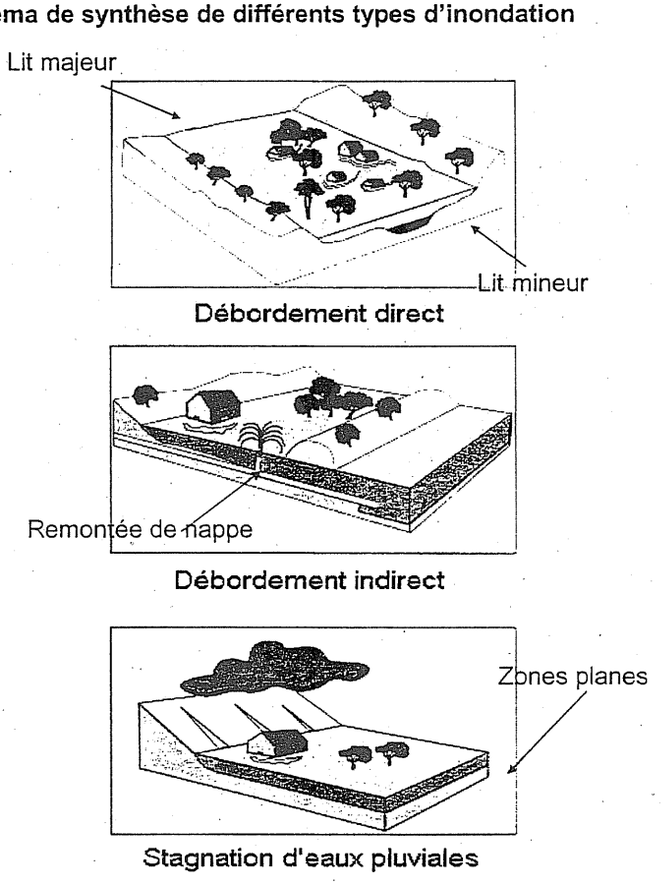


Figure 6 : Différents types d'inondations

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 millimètres 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 mètre d'eau (Photo 3). La chaussée s'est affaissée sur 5 mètres de long et 1,2 mètre de large.

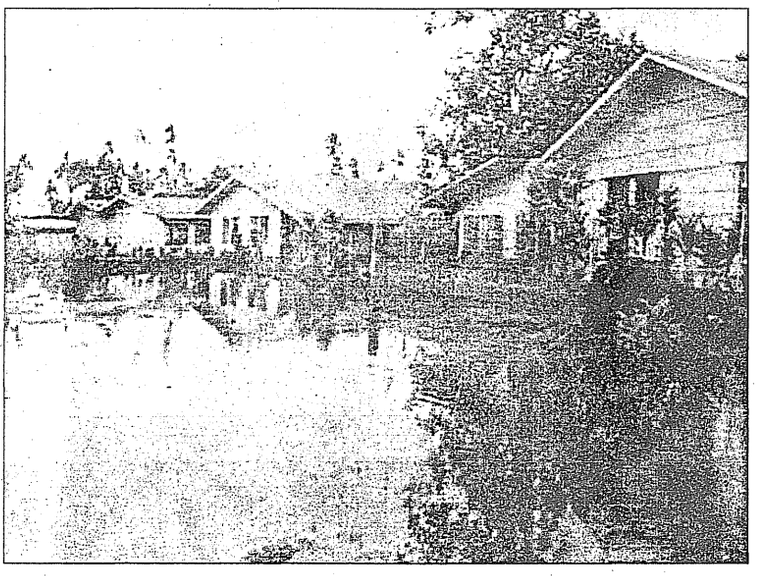


Photo 3 : inondation à Papeari en avril 1977 (source La Dépêche)

En 1998, lors du passage du cyclone Alan aux îles 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 francs CFP). Une fillette et un homme sont emportés par les crues. Des ponts et des routes ont été coupées, 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).

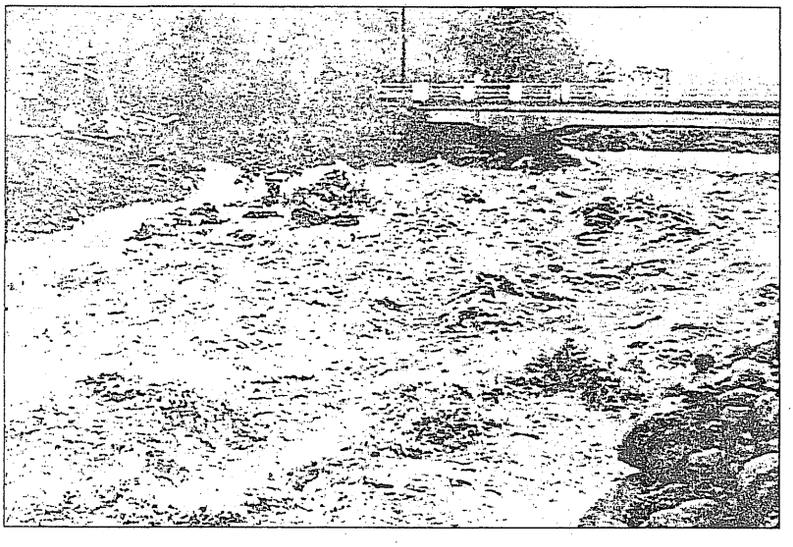


Photo 4 : Crue de la rivière Vaiatiu lors du cyclone Reva (source La Dépêche)

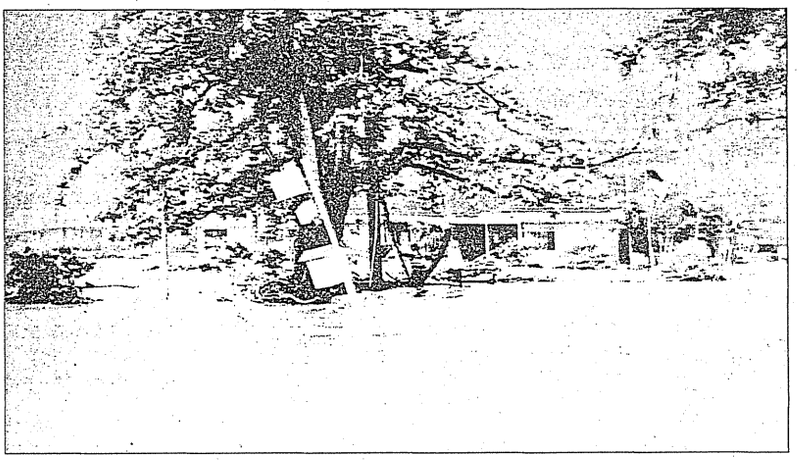


Photo 5 : Mairie de Paea inondée par la rivière Vaiatiu lors du cyclone Veena (source La Dépêche)

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 œuvre 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 m	faible	moyen	fort
0.5 m < H < 1 m	moyen	moyen	fort
H > 1 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).

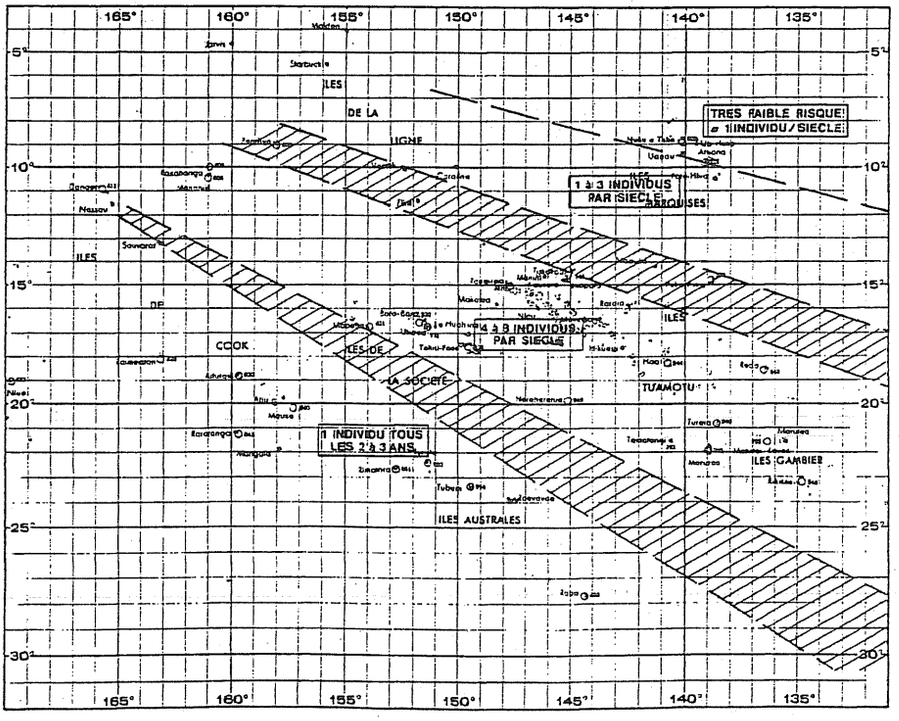


Figure 7 : probabilité d'occurrence de phénomènes cycloniques sur la Polynésie française (Service de météorologie de la Polynésie).

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 XXe siècle. La houle y a provoqué plusieurs centaines de morts. Aussi, les témoignages rapportent qu'en 1905 les vagues seraient rentrées jusqu'à 180 mètres à l'intérieur de Papeete. En général, les cyclones qui ont eu lieu au cours du XXe 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).

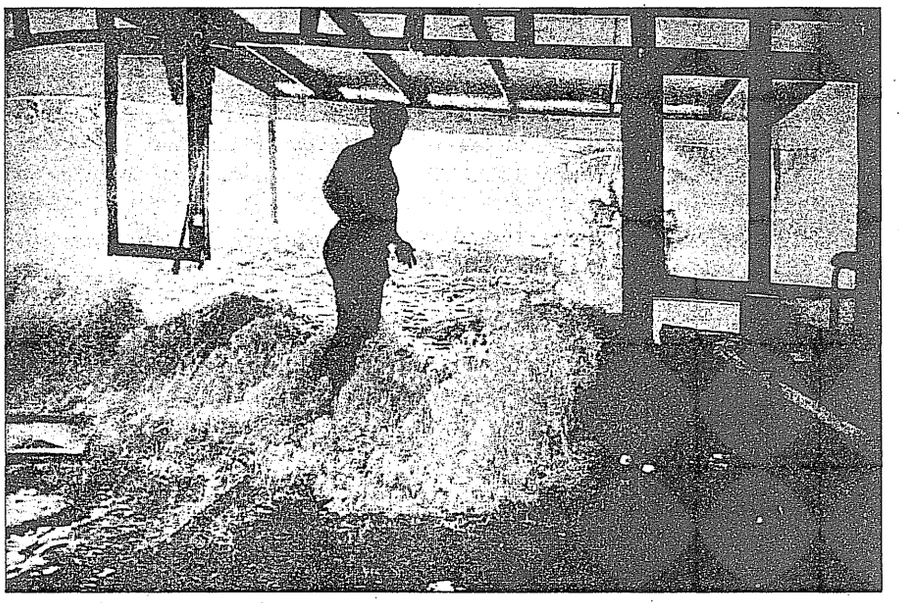


Photo 6 : Effets de la houle cyclonique d'Orama à Rangiroa (source La Dépêche)

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 directs 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 réalisés 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 ;
  - éventuellement 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.

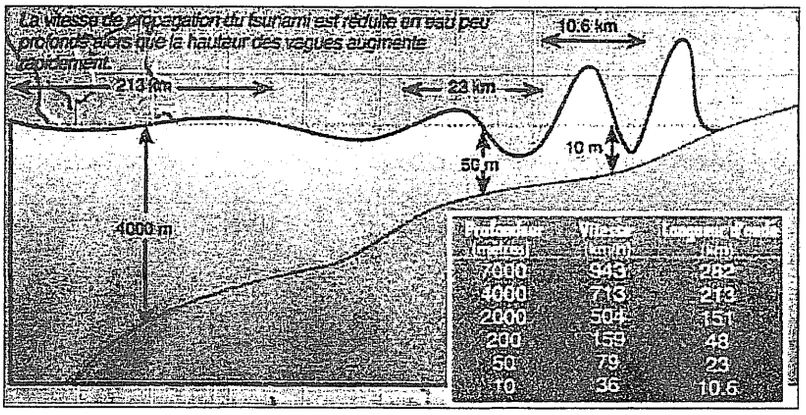


Figure 8 : Caractéristiques d'un tsunami en fonction de la profondeur (d'après CEA, 2002)

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

h	H	C		lambda
m	m	km/h	m/s	km
5 000	1	800	222	267
2 000	1.25	504	140	168
1 000	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 ont 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 mètre. 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).

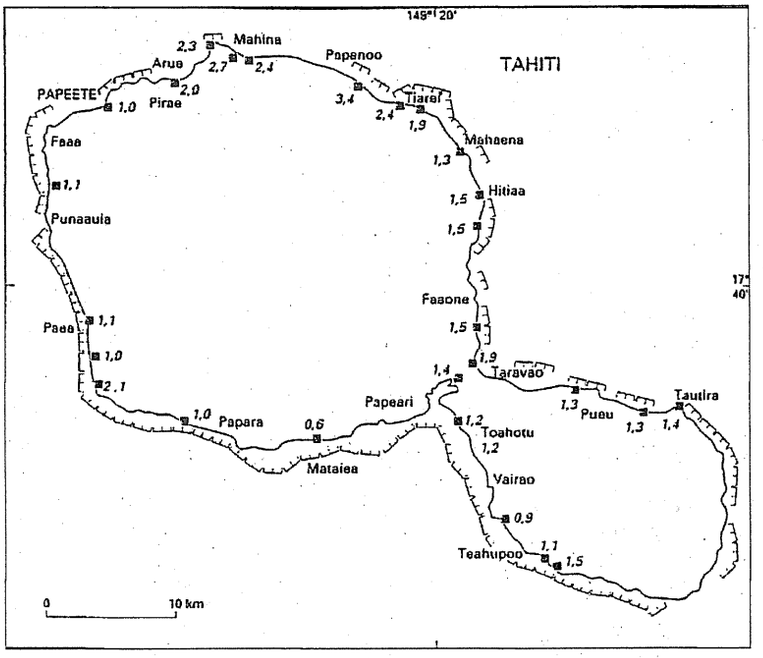


Figure 9 : Hauteurs des inondations (en mètres) observées à Tahiti lors du Tsunami de mai 1960 (séisme du Chili) (source Orstom).

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 spérieure à 1 mètre.

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 7,100 au PK 18,200 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 mètres, 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 Iti". 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 mètres 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 kilomètres carrés. 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 5 W) au sud des grottes de Mararaa (PK 32 W), 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 kilomètre. La commune est fermée au centre de l'île par le cirque de la Punaruu, limité par les monts Aorai (2 066 mètres), Orohena (sommet de l'île

2 241 mètres), Teamaa (1 532 mètres) et Mahutaa (1 501 mètres) qui, du nord en allant vers le sud, forment un arc de cercle orienté à l'ouest. D'une superficie de 75,9 kilomètres carrés, 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 mètres 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 déclenchants 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 Rémi 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 14,900, 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.

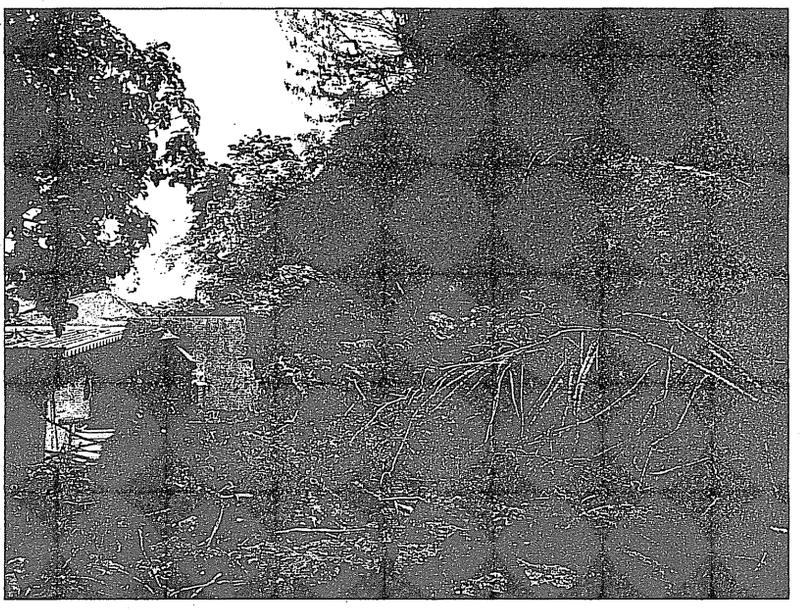


Photo 7 : Eboulement au PK 14.9 en décembre 2002

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 14,500, 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.

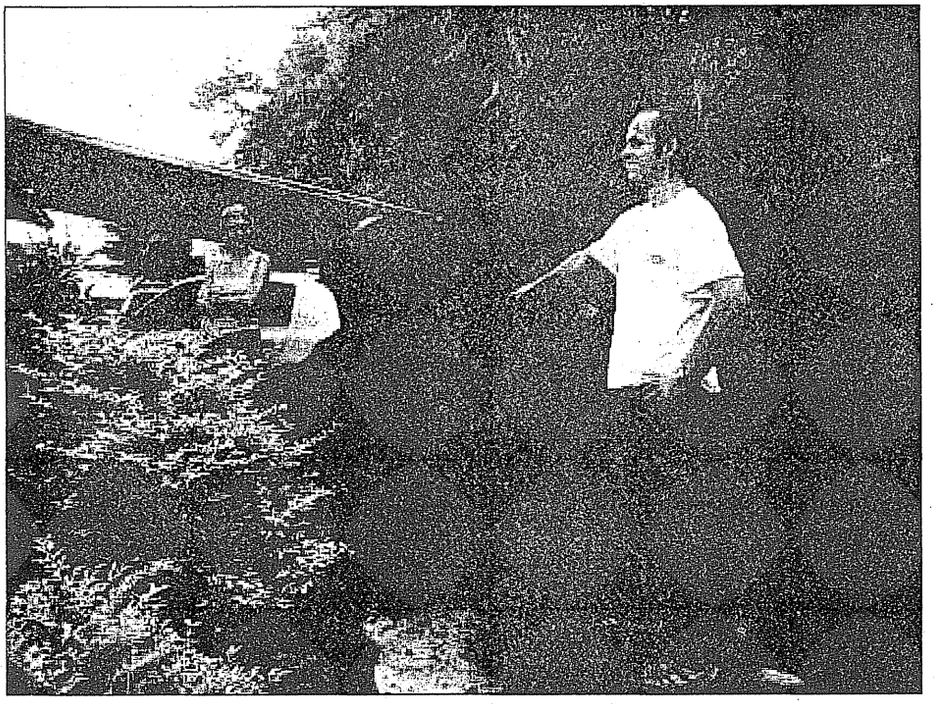


Photo 8 : Chute de bloc sur la commune de Punaauia

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. événements 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 Ata 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 ponts 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 16,500 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 rivière 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'observation 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 avale 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 comportent des ouvrages (pont du lotissement Sage, et pont de la route au droit de la partie avale 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 kilomètres), 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 mètre 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 mètres 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 visibles 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 mètres à l'intérieur des terres. Cependant, la surcote de hauteur "importante" (0,50 à 2 mètres 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 (église 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 elle 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 mètre 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 XXe 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 même 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 Polynésie*

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(1) 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.	
C	- ERP de catégorie 1, 2 et 3 ; - Bâtiments d'habitation collective (> 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (> 300 personnes) ; - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (> 300 personnes) ; - Etablissements sanitaires et sociaux sauf ceux qui dispensent des soins de courtes durées (classe D) - Bâtiments des centres de production collective d'énergie.	
D	- 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 ; - Bâtiment d'intérêt patrimonial majeur.	Bâtiments contribuant au maintien des communications

(1) ERP : Etablissement recevant du public

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". (Art. 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.

Etablissements scolaires	maternelle ; élémentaire ; circonscription pédagogique ; CJA ; collège ; école normale ; lycée ; lycée professionnel ; lycée polyvalent ; CETAD ; enseignement supérieur
Secours et sécurité	police nationale ; police municipale ; gendarmerie ; armée ; protection civile ; centre de secours ; pompiers ; parc à matériel
Energie	usine ; centrale ; cuve ; ligne électrique ; poste source ; réservoir ; réseau ; pylone électrique ; transformateur ; station-essence
Communication	réseau OPT ; centre audiovisuel ; chaîne TV ; radio publique ; réseau général radiophonique ; centre technique OPT ; relais télé
Patrimoine	cimetière ; monuments historiques ; marae
Hébergements Touristiques	camping ; hôtel ; pension/gîte
Activité économique et industrielle	serres agricoles ; zones industrielles ; usines ; entrepôts ; grandes surfaces
Grands ouvrages	barrage ; pont
Culture - Sport	musée ; théâtre ; maison culturelle ; salle de spectacle ; parcs & jardins ; marché municipal ; tribune ; terrain de sport ; salle de sport
Eau - Environnement	site de production ; réservoir ; STEP ; réseau ; décharge ; centre d'enfouissement ; usine de tri des déchets
Santé	centre de convalescence ; centre d'accueil ; centre médical ; centre spécialisé ; maison de retraite ; dispensaire ; grossiste en produits pharmaceutiques ; clinique ; hôpital
Lieu de culte	chapelle ; église ; cathédrale ; synagogue ; temple
Routes	desserte de bât. de secours et de sécurité ; réseau secondaire ; réseau principal
Transports	installations portuaires ; aéroports ; héliport
Bâtiments administratifs et techniques	Etat ; territoire ; commune
Habitat	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 Aleas	Code PGA	Descriptif Code
Zone industrielle, d'activités et d'équipements	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
Zone d'habitat	Ucc	Zone d'habitat dispersé
	Nca	Zone agricole protégée
Zone urbaine	Uba	Zone urbaine du front de mer de 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	
Zone de projet	Naa	Future zone du littoral de Outumaoro
	Nab	Future zone d'urbanisation des plateaux
Zone naturelle et protégée	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 kilomètre carré, mais de 1 700 habitants au kilomètre carré en considérant la zone réellement urbanisée.

De près de 1 kilomètre 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 Polynésie*

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).

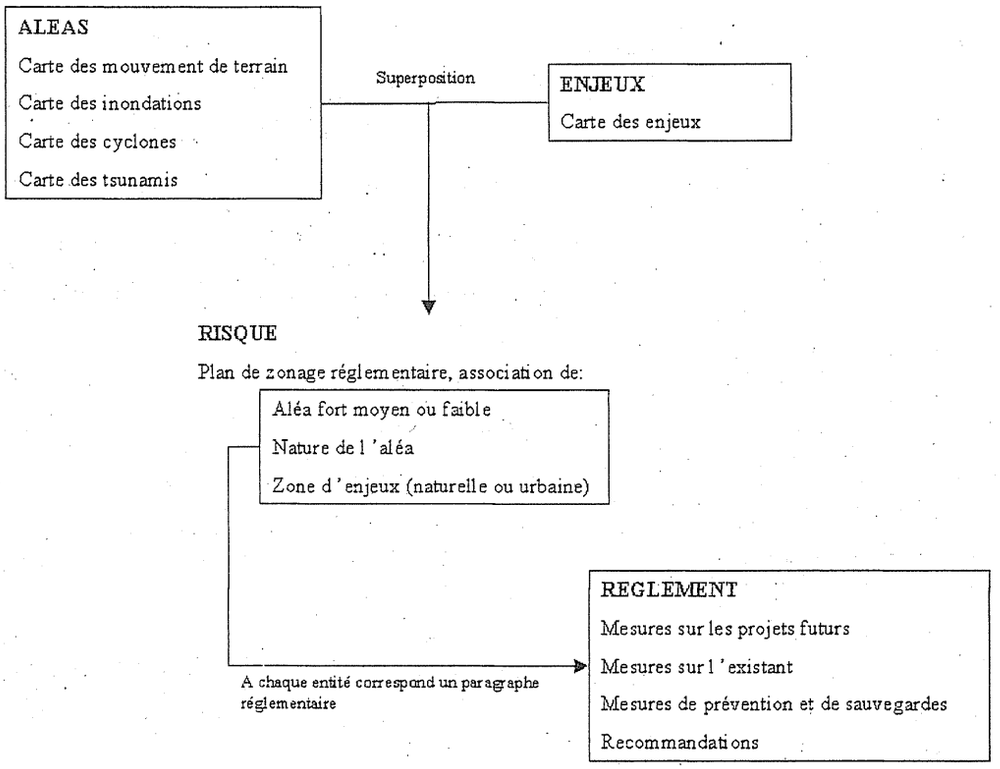


Figure 10 : Schéma de principe du PPR

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.

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES

NOTE METHODOLOGIQUE DE REALISATION DES CARTES

1 - *Introduction*

La Polynésie est exposée à divers phénomènes naturels dangereux dont les manifestations historiques et récentes sont nombreuses (huit cyclones meurtriers de 1843 à 1998, dont plusieurs centaines de morts au début du siècle ; mouvement de terrain de grande ampleur, notamment à Raiatea en 1998, inondations importantes régulièrement avec de nombreux dégâts et pertes humaines).

Une prise en compte de ces phénomènes, tant au niveau de la construction, de l'aménagement, de l'information des populations et de la préparation à la gestion de crise, sont indispensables pour réduire autant que possible leurs effets dommageables.

Les plans de prévention des risques naturels (PPR), instaurés par la délibération de l'assemblée de Polynésie n° 2001-10 APF du 1er février 2001, permettent de prendre en compte de manière réglementaire les aléas, dans la construction et l'aménagement notamment.

Pour tous les aléas présents, l'objectif de la Polynésie est de couvrir l'ensemble du territoire par des PPR, dans un délai court (mi 2006). Le bureau de recherches géologiques et minières a été chargé de réaliser ces PPR par la convention n° 02-2513 du 26 décembre 2002 relative aux modalités de concours du BRGM à l'élaboration des PPR en Polynésie.

De manière effective, le BRGM travaille sous couvert du service de l'urbanisme (SAU).

Le présent rapport a pour objectif de décrire les données utilisées ainsi que la méthodologie mise en œuvre pour l'élaboration des documents constitutifs des PPR en général et du PPR de Punaauia en particulier :

- la carte des enjeux ;
- la carte informative des phénomènes naturels ;
- les cartes des aléas naturels ;
- le plan de zonage réglementaire ;
- le rapport de présentation ;
- le règlement.

Il ne s'agit donc pas d'une pièce constitutive du PPR. Le présent rapport est destiné au SAU et en général à des techniciens plutôt qu'au grand public. Il sert à faciliter l'instruction du PPR en explicitant les choix opérés et les résultats obtenus.

2 - *Base de données cartographiques*

La base de données cartographiques utilisée pour la réalisation des plans de prévention des risques sur les communes de Polynésie française, a été fournie essentiellement par le service de l'urbanisme sous format vecteur microstation ou sous forme de données raster, courant 2004.

Les données vecteurs sont disponibles sur un nombre réduit d'îles. Sur l'île de Tahiti, elles se structurent de deux manières : la zone de Paea à Mahina a une échelle au 2 000e avec une précision de 40 centimètres en planimétrie et le reste de l'île plus la presqu'île au 5 000e avec une précision variant de 50 centimètres à 1 mètre en planimétrie (communication orale du SAU).

Les données vecteurs sur Moorea, Bora Bora, Raiatea ont été fournies à 1/5 000 avec une précision variant de 50 centimètres à 1 mètre en planimétrie.

Pour les autres îles de la Polynésie, le BRGM dispose de données raster à des échelles variables (du 50 000e au 10 000e *cf. : tableau "Données utilisées et disponibles pour la réalisation des plans de prévention des risques sur les communes de Polynésie française")* ou ne dispose pas de données.

Les fichiers vecteurs ont été fournis avec une extension ".dgn". Ils étaient projetés soit dans un nouveau système géodésique, le réseau géodésique de la Polynésie française pour l'île de Tahiti ; soit dans différents systèmes locaux propres à la Polynésie française.

Il était donc nécessaire de reprojeter ces derniers dans le système RGPF suivant le fuseau correspondant (la Polynésie est divisée en 5 fuseaux : les 4, 5, 6, 7 et 8).

Ces fichiers ont donc été convertis au format MapInfo (logiciel SIG utilisé par le BRGM) en appliquant la projection Universal Transverse Mercator, WGS84, Hémisphère Sud, fuseau correspondant puisque le système RGPF n'est pas disponible dans MapInfo.

Les paramètres de transformation du système RGPF vers le système WGS84 sont de l'ordre de :

Translation x en m	0,072
Translation y en m	-0,507
Translation z en m	-0,245
Rotation x en "	0,0183
Rotation y en "	-0,0003
Rotation z en "	0,007
S (facteur d'échelle)	0,999999991

Les données fournies par le service de l'urbanisme comprennent :

- le plan général d'aménagement (lorsqu'il existe) ;
- l'orographie ;
- l'hydrographie ;
- les voies de communication routières ;
- les surfaces d'activités et de bâti ;
- des éléments des réseaux d'eau et d'électricité.

Elles ont été complétées par des données provenant d'autres organismes :

- les réseaux électriques sur Tahiti, Moorea, Bora Bora au format numérique et sur Huahine, Taputapuatea-Tumaraa (Uturoa, Raiatea), Tahaa, Ua Pou, Ua Huka, Tubuai, Tikehau, Rurutu, Rimatara, Rangiroa, Maupiti, Mataiva, Makatea village au format papier fournis par Electricité de Tahiti ;
- les limites communales réalisées par le BRGM.

D'une manière générale, les tables MapInfo ont été décomposées et restructurées afin de refléter les différentes couches d'information nécessaires à la réalisation des cartes.

Ainsi, le PGA se présente au format ArcView avec un label permettant de caractériser la zone ; pour l'intégration dans notre SIG, il a fallu restructurer ce fichier afin de disposer de polygones ayant chacun une information cohérente (nom de la zone, descriptif de la zone, zonage utilisé pour le PPR).

Il en est de même pour les bâtiments lorsque l'information était disponible, celle-ci a été directement extraite des tables sources (cimetière, terrain de sport...) sinon elle a été repérée suite à un traitement visuel de l'information (les bâtiments administratifs et techniques, les établissements scolaires, les établissements de santé...). Chaque table créée a été renommée et restructurée afin d'être facilement exploitable sous MapInfo.

Un fond de carte des limites communales sur la Polynésie française au 250 000e a été fourni par le service de l'urbanisme. Mais il était très difficile de lui superposer de la topographie au 2 000e et au 5 000e. De ce fait, le BRGM a réalisé un fichier des limites communales en s'appuyant sur celui disponible mais en réinterprétant les limites à partir d'un modèle numérique de terrain au pas de 25 mètres.

Le trait de côte sur les îles de Tahiti et Moorea, est une extraction du thème de l'orographie, il s'agit de la sélection par commune des courbes de niveaux avec une altitude de 0 mètre pour la zone de Paea à Mahina (échelle au 2 000e) et d'une sélection sur le "level" 38 correspondant à la limite de côte pour le reste de Tahiti (échelle au 5 000e).

Pour les autres îles, le trait de côte sera tiré des BD topographiques existantes (couche hydrographie) et/ ou sera numérisé à partir des cartes raster.

Archipel	Ile	Fonds scannés	Fonds vecteurs	Echelle d'édition	Date édition	Origines et date d'acquisition	Zone (par défaut l'île)
Australes	Rurutu	oui		10000	1984		
	Tubuai	oui		10000	1983		
	Rimatara	oui		10000			
	Raivavae	oui		20000			
Marquises	Fatu Hiva	oui		30000	1977		
	Hiva Oa	oui		50000			
	Nuku Hiva	oui		50000			
	Ua Pou	oui		50000			
	Ua Huka	oui		30000			
Société	Bora Bora	oui		20000			
		oui (qualité TM)		5000			
			oui	5000		SAU acquis mai 2004	
	Huahine	oui		20000			
		oui		5000			
	Maupiti	oui		15000			
		oui (qualité TM)		5000			
	Moorea	oui		20000			
			oui	5000		SAU acquis mai 2004	
	Raiatea	oui		100000			
		oui		40000			
		oui		5000			
			oui	5000		SAU acquis mai 2004	
	Tahaa	oui		100000			
		oui		20000			
	Tahiti		oui	5000		SAU acquis mai 2004	de Papenoo à Papara plus presqu'île
			oui	2000		SAU acquis mai 2004	de Paea à Mahina
Tuamotu-Gambier	Makatea	oui		10000			
	Rangiroa	oui		50000			
		cartes marines (3jpeg)		2*10000			
				1*30000			
	Mataiva	oui		20000			
	Makemo	oui		50000			
	Tikehau	oui		50000			

Données utilisées et disponibles pour la réalisation des plans de prévention des risques sur les communes de Polynésie française

3 - *Documents cartographiques*

3.1 - *Zones cartographiées au titre du PPR*

Pour chaque commune, il est nécessaire de définir la zone d'emprise du PPR, à savoir celle qui est concernée par l'établissement d'un plan de zonage réglementaire, ce qui implique qu'un zonage de l'aléa peut être établi avec un niveau de précision suffisant.

La zone d'emprise peut donc se superposer à toute la commune mais dans la plupart des cas, elle est infra-communale. En effet, il existe dans les communes des zones qui ne peuvent être couvertes par un zonage d'aléa en raison de leur inaccessibilité. C'est le cas par notamment des zones de relief très escarpé situées dans la partie centrale des îles hautes et dépourvues d'enjeux où le zonage de l'aléa mouvement de terrain est impossible à réaliser à l'échelle requise pour le PPR.

A Punaauia, la zone d'emprise du PPR correspond à celle de l'établissement par le SAU de la base de données cartographique à 1/2 000. Cette zone large d'environ 5 kilomètres depuis la côte couvre amplement tous les secteurs urbanisés de la commune.

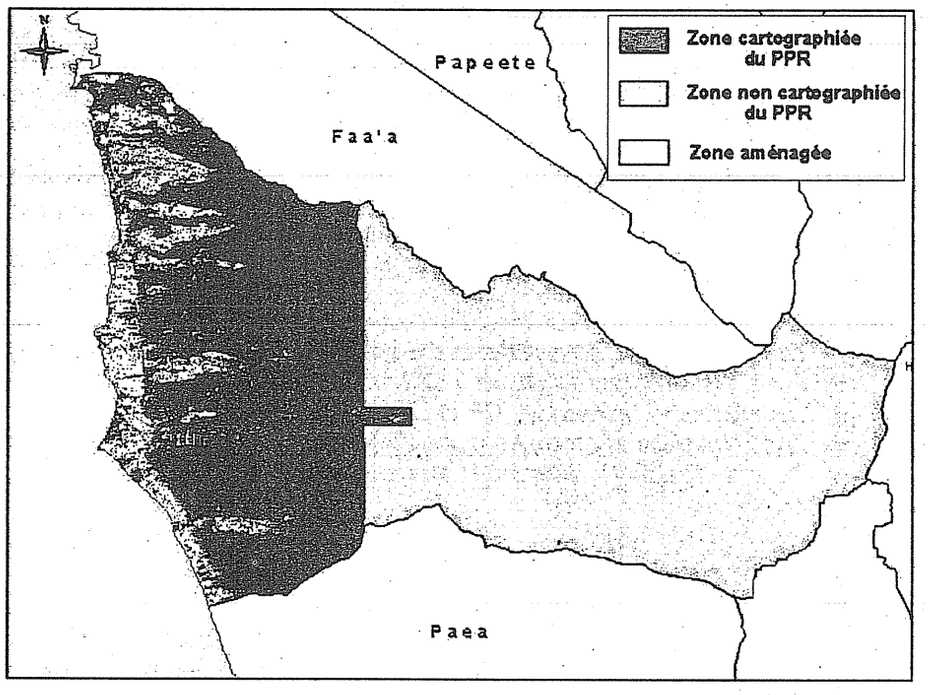


Figure 1 : Zone d'emprise du PPR de Punaauia.

3.2 - *Carte des enjeux*

3.2.1 - *Les éléments cartographiés*

Compte tenu du nombre élevé d'éléments exposés et de leur importance variable, le parti a été pris de représenter ces éléments par catégorie de type d'enjeux :

- les bâtiments d'intérêt public et économique :
  - les bâtiments administratifs et techniques ;
  - les bâtiments ayant une activité économique et/ou industrielle ;
  - les établissements scolaires ;
  - les établissements de santé ;
- les bâtiments de secours et sécurité ;
- l'habitat ;
- les bâtiments d'activités d'agrément et de loisirs :
  - les hébergements touristiques ;
  - les bâtiments relevant de la culture et/ou du sport ;
  - le patrimoine ;
  - les lieux de culte ;
- les infrastructures de communication :
  - les routes ;
  - les infrastructures de transport ;
  - les grands ouvrages ;
- les grands réseaux : 3 thèmes :
  - l'eau et l'environnement ;
  - l'énergie ;
  - la communication.

Ces six catégories sont reprises sur chacune des cartes d'aléas.

Cette typologie des enjeux est superposée à une simplification du zonage du plan général d'aménagement.

- zone industrielle, d'activités et d'équipements (zones US, UT et UE) ;
- zone d'habitat (zones UC et à différencier au cas par cas) ;
- zone urbaine (zones UA, UB et UC) ;
- zone naturelle et protégée (zones N) ;
- zone de projet (à différencier au cas par cas).

3.2.2 - *Origine et traitement des données*

Les données sont extraites de la base de données topographiques du SAU. Ces données sont complétées au fur et à mesure par un inventaire de l'existant effectué par des agents du BRGM lors de leur interventions sur le terrain, mais également par la réception de données de divers organismes notamment pour les grands réseaux.

La commune a remis au BRGM en avril 2004 un document représentant l'ensemble des enjeux ponctuels reportés sur des photographies aériennes.

Les axes routiers ont été répertoriés par le BRGM suivant trois catégories : 1) le réseau principal correspond à la route de ceinture ; 2) le réseau secondaire permettant l'accès aux habitations 3) le réseau d'accès aux bâtiments de secours et sécurité.

Les fonds de carte du PGA ont été recalés par le BRGM dans le système de coordonnées utilisé en Polynésie française. Le PGA de Punaauia a été remis au BRGM par le SAU en mai 2004 dans une version provisoire, après accord de la commune.

Sur les îles où le BRGM ne dispose que de fond raster à moyenne échelle, les éléments topographiques sont numérisés et complétés lors de déplacements sur le terrain. Ces données ne seront alors pas utilisables pour une cartographie à grande échelle.

3.3 - *Carte informative des phénomènes naturels*

Nous avons opté pour la représentation d'une part des informations de type ponctuel (localisées précisément sur le territoire communal) et d'autre part les informations concernant la commune en général.

Les événements mentionnés sur les cartes sont extraits de la base de données ARAI et proviennent de différentes sources :

- articles de journaux (La Dépêche) ;
- rapport d'étude, de mission ;
- données bibliographiques, ouvrage encyclopédique de type *"Le mémorial polynésien"* ;
- recueil d'informations auprès de la population.

Sur la commune de Punaauia, les événements mentionnés sur la carte informative des phénomènes, ont été rapportés au BRGM par des particuliers (mouvements de terrain du 26 mars 2004 et ceux de 1998) ou par les pompiers (mouvements de terrain 17 décembre 2002, dépression tropicale 1er décembre 2002). Les autres événements sont tirés de la littérature (Le mémorial polynésien, tome 3 ; La Dépêche du 27 février 1978, du 23 février 1999 et du 24 février 1999 ; La Dépêche et Les Nouvelles de Tahiti du 22 décembre 1998, du 3 avril 2003 et du 2 mai 2003).

3.4 - *Cartes des aléas*

3.4.1 - *Aléa cyclonique*

3.4.1.1 - *Méthodologie générale*

Dans un premier temps, une typologie des configurations côtières de Polynésie a été déterminée (cf. ci-après). L'analyse de la répartition des îles en fonction de cette typologie permet ensuite de définir la localisation des zones représentatives particulières qui feront l'objet de modélisations détaillées en 3 dimensions (3D). De manière générale les côtes seront traitées à l'aide de modèles plus simples en 2D.

Cette approche pose d'une part la question des modèles utilisés et celle des données de base nécessaires au fonctionnement de ces modèles.

La typologie des configurations côtières de Polynésie est la suivante :

Côtes sans lagon ni récif frangeant (hors bords d'atolls) : Marquises, Rurutu, une partie de Tahiti Iti, Rapa et Makatea

Plages et baies
Il est distingué une zone d'impact direct de la houle (potentiel destructeur important par l'eau ou les blocs poussés ou projetés ; érosion possible). L'impact est plus limité en largeur en cas "d'obstacles" naturels ou anthropiques : murs, enrochements, etc. En arrière de cette première zone, il peut y avoir de l'inondation. Le zonage dépend en définitive de la morphologie des sites (topographie et bathymétrie).

Falaise
Etant donné le contexte, il est indiqué le long de la côte une bande de largeur forfaitaire qui est le plus souvent exagérée par rapport à la réalité.

Côtes à récif immergé : côté nord de Tahiti

Les plus fortes houles déferlent au niveau du récif. L'impact au rivage va ensuite dépendre de la profondeur du récif et de la distance par rapport au rivage.

Côtes des îles hautes avec lagon : la plupart des îles hautes avec lagon

A priori, la houle en pleine mer n'arrive pas jusqu'au rivage. Il faut toutefois considérer une houle de très faible ampleur au sein du lagon (avec zone d'impact direct limitée) et une montée des eaux (inondation) liée au phénomène d'ensachage.

Côtes au droit des passes des îles hautes avec lagon : la plupart des îles hautes avec lagon

Il convient de déterminer une valeur de houle au rivage afin d'estimer une zone d'impact direct. Idéalement une modélisation tridimensionnelle dans l'axe de la passe devrait être réalisée.

Cas des atolls
Sauf cas particulier résultant du terrain, un zonage n'est pas nécessaire dans les atolls, dans la mesure où, en cas de fortes houles (survenant plusieurs fois par siècle), c'est l'ensemble de l'atoll qui est submergé avec un impact dynamique fort aussi bien côté océan que côté lagon. Cela est particulièrement vrai pour les grands atolls.

Pour les petits atolls, l'impact dynamique côté lagon serait a priori plus limité. Aussi il peut y avoir une différence de zonage entre l'intérieur et l'extérieur de la bande de terre.

3.4.1.2 - *Origine des données*

Les différents organismes consultés pour l'étude de l'aléa cyclonique en Polynésie sont :

- l'IRD (Institut de recherche pour le développement) ;
- Météo-France ;
- le bureau d'étude BCEOM ;
- DEQ-MAR (direction de l'équipement service maritime) ;
- DEQ-INFRA (direction de l'équipement service infrastructures) ;
- l'université de Hawaï ;
- l'université de Polynésie ;
- le SHOM ;
- le BRGM ;
- divers sites Internet.

Il ressort de l'analyse des documents que les données les plus anciennes remontent aux années 1830. Les données des années 1830 à 1970 sont relativement floues et ne donnent que très rarement des valeurs chiffrées (hauteur de houle, etc.). Les données s'étalant de 1970 à nos jours sont précises et peuvent servir de support fiable à toute étude.

3.4.1.3 - *Valeurs de références retenues*

La houle

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 (DES GARETS, 2004).

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.

Les analyses qui vont suivre sont effectuées à partir des données existant depuis 1970. De plus nous émettons l'hypothèse qu'un cyclone d'intensité x peut potentiellement se reproduire et atteindre cette intensité en tout point de sa trajectoire.

Les phénomènes cycloniques sont en majeure partie des cyclones tropicaux (vent compris entre 118 et 179 kilomètres/heure) (tableau 1).

Ils sont plus fréquents du nord vers le sud et leur intensité augmente également avec la longitude (tableau 2).

Les houles associées à ces cyclones oscillent entre 4 et 12 mètres d'amplitude (tableau 3).

Type de perturbation	Nombre de phénomènes
Cyclone tropical intense	4
Cyclone tropical	17
Dépression tropicale forte	9
Dépression tropicale modérée	9

Tableau 1 : phénomènes cycloniques ayant intéressé la Polynésie (1970-2004)

Archipels	Nombre de cyclones	Cyc. trop. intense	Cyc. trop.	Dépr. trop. forte	Dépr. trop. modérée
Marquises	2		1		1
Gambier	11	1	7	1	2
Tuamotu	18	3	7	4	4
Société	20	2	9	5	4
Australes	21	2	10	6	2

Tableau 2 : nombre de cyclones d'intensité connue par archipel

Archipels	Houles de références	Hauteurs de houle
Marquises	1	7 m
Gambier	5	7 à 11 m
Tuamotu	11	4 à 12 m
Société	9	4 à 12 m
Australes	9	4 à 11 m

Tableau 3 : houles de références par archipel

Archipels	Intensités cycloniques	Hauteurs de houle
Marquises	Cyc. trop.	7 m
Gambier	Cyc. trop. intense	11 m
Tuamotu	Cyc. trop. intense	12 m
Société	Cyc. trop. intense	12 m
Australes	Cyc. trop. intense	11 m

Tableau 4 : valeurs paroxysmales par archipel

Etant donné la faible période couverte par les archives cycloniques (133 ans) et la qualité de celles-ci (intensité non définie systématiquement), il semble judicieux de choisir les valeurs de références issues des événements paroxysmaux subis par chaque archipel (tableau 4).

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 soit aux surcotes engendrées par les marées de tempête, soit par les inondations et mouvements de terrains induits par les précipitations.

La majeure partie des victimes est décédée en raison de l'absence d'abris hors d'eau sur les atolls des Tuamotu.

La surcote statique

Elle est composée de la marée astronomique (0,2 mètre), de la marée de tempête (entre 0 et 1 mètre) et d'une surélévation moyenne du niveau global des océans (0,3 mètre). La valeur de la marée astronomique est la valeur moyenne des marées en Polynésie.

La surélévation moyenne du niveau des océans est issue des études du GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) à fin 2004.

Enfin, la valeur de la marée de tempête en pleine mer est déduite de la pression au centre du cyclone par rapport à la pression moyenne au niveau de la mer (1 centimètre par hPa).

3.4.1.4 - *Logiciels de modélisation*

Le but de l'étude est de calculer les surcotes induites par les houles cycloniques au niveau des rivages de la Polynésie française. Les calculs de surcote se feront en :

- 3 dimensions (mode zonal) pour les secteurs à enjeux et/ou au droit des passes (îles hautes avec lagon) ;
- 2 dimensions (mode profil) pour les autres configurations (côtes sans lagon ni récif frangeant, côtes à récif immergé, atolls).

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

Les surcotes liées aux marées de tempête seront calculées par Météo-France suivant la méthodologie établie par Daniel (Cf. : PEDREROS, 2004) et intégrées aux modèles de houle.

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

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

Ces deux derniers phénomènes de dissipation sont particulièrement importants en présence de récifs (Cf. : PEDREROS, 2004). De plus, la diffraction pour les secteurs au droit des passes est considérée.

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 (Cf. : PEDREROS, 2004).

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 ne pourra donc pas être appliqué sur les sites à proximité des passes. Ces cas particuliers pourront 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 pas les surcotes. Ces dernières peuvent être déterminées en injectant ces tensions dans le modèle SHORECIRC (modèle de circulation quasi 3D consacré aux environnements littoraux).

SWAN

Le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore), développé à l'Université de technologie de Delft (Pays-Bas), permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtières, des lacs et des estuaires, à partir de données de vent, de bathymétrie et de courants. Une description détaillée du modèle est donnée par Holthuijsen et al. (Cf. : PEDREROS, 2004). SWAN est basé sur l'équation spectrale de conservation de l'action de la houle qui est résolue suivant un schéma implicite en différences finies (PEDREROS, 2004).

SWAN peut modéliser les processus de propagation suivants :

- propagation à travers un espace géographique ;
- gonflement de la houle ;
- réfraction due à des variations spatiales du fond ou des courants ;
- blocage ou réflexion par des courants de retour ;
- transmission à travers des obstacles, blocage ou réflexion à cause de ces obstacles.

SWAN modélise également les processus suivants de génération et de dissipation dus à la houle :

- génération par le vent ;
- interactions houle - houle (quadruplets et triads) ;
- dissipation par moutonnement ;
- dissipation par déferlement dû aux variations de profondeur ou aux courants ;
- dissipation par frottement au fond.

REFDIF

REFDIF (REFraction DIFfraction), développé par Kirby et Dalrymphe (1993-1994), est un modèle capable de simuler la propagation d'une houle monochromatique en zone côtière. Il se base sur une formulation parabolique de l'équation de Berkhoff (ou dite de "faible pente", 1972) et de l'équation de l'interaction houle-courant de Kirby (1984) résolues suivant un schéma numérique implicite à différences finies de Crank-Nicolson (Cf. : PEDREROS, 2004) :

REFDIF est capable de simuler les phénomènes de :

- réfraction ;
- diffraction ;
- gonflement ;
- d'interaction houle-courant ;
- dissipation liée au déferlement bathymétrique.

SHORECIRC

Le développement du modèle SHORECIRC a débuté en 1992 au sein du "Center for Applied Coastal Research" de l'Université du Delaware ; le modèle a connu depuis lors de nombreuses améliorations et applications en domaine côtier (Cf. : PEDREROS, 2004). Les bases théoriques du modèle peuvent être consultées dans Putrevu et Svendsen (1999) et les détails pratiques concernant son utilisation sont disponibles dans la notice d'utilisation "Quasi-3D nearshore circulation model SHORECIRC version 2.0" rédigée par Svendsen, Haas et Zhao (Cf. : PEDREROS, 2004).

SHORECIRC est un modèle de circulation instationnaire à surface libre qui résout les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement intégrées suivant la direction verticale (équations de Saint-Venant).

3.4.1.5 - *Cartographie de l'aléa à Punaauia*

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") (PEDREROS, 2004 et 2006), et le reste de la zone côtière a été étudié par une approche 2D (dite "en profil") (PEDREROS, 2004).

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.

A Punaauia, en référence au cyclone Reva ayant engendré des vagues de 12 mètres en mer, la surcote marine retenue est de 2 mètres au droit des passes et de 1,5 mètre en arrière du récif. La zone de déferlement des vagues mesure 10 mètres de large au maximum et moins si le sol atteint la côte + 2 mètres avant ces 10 mètres.

3.4.2 - *Aléa inondation*

3.4.2.1 - *Méthodologie générale*

La définition de l'aléa inondation se fait selon 3 approches différentes suivant les tronçons des cours d'eau :

- interprétation qualitative dans les parties non accessibles ou en partie sommitale des cours d'eau ;
- interprétation semi-quantitative pour les zones sans enjeu et pour les zones à enjeux "non prioritaires" ;
- interprétation quantitative pour les zones à enjeux.

Parties non accessibles des cours d'eaux : interprétation qualitative

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. Un contrôle et/ou ajustement de ces tracés par calcul hydrologique et hydraulique 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.

Parties accessibles sans enjeux ou avec enjeux non prioritaires : interprétation semi-quantitative

Zones naturelles

Dans les parties accessibles en véhicules et pouvant être encore considérées comme naturelles, le tracé des aléas est défini par une analyse hydrogéomorphologique au droit de différentes sections d'écoulement réparties le long du cours d'eau (analyse des photographies aériennes puis visite de terrain). Ces analyses auront 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 ou ayant un impact sur la formation et l'écoulement des crues.

Ces relevés 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 (Annexe 1).

Zones fortement remaniées

Dans les zones ne pouvant plus être considérées comme naturelles, il n'est pas possible de définir les différents lits par analyse hydrogéomorphologique. Aussi la méthodologie est inversée : des calculs hydrologiques et hydrauliques simples sont effectués pour vérifier la cohérence des résultats par l'approche hydrogéomorphologique.

Report des résultats

Les informations ponctuelles, obtenues précédemment, seront 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.

Suivant les conditions d'écoulement existantes au droit des points de contrôle, les calculs hydrauliques seront réalisés au moyen (annexe 1) :

- des formules de Manning Strickler au droit des zones à écoulement torrentiel ;
- par utilisation de relation spécifique au droit de sections singulières (seuil, pont, écoulement en régime critique...) ;
- de petits modèles d'écoulement simplifié au droit des zones d'écoulement fonctionnant en régime fluvial. Ce cas devra cependant être considéré comme exceptionnel car ces zones à faibles pentes seront généralement, pour les îles habitées, des zones à enjeux.

Le rendu des aléas est réalisé sur des fonds de carte au 1/25 000e avec possibilité pour certains secteurs de report au 1/10 000e.

Pour les bassins versants "ou îles" où l'on ne dispose pas de cartographie au 1/25 000e (ou moins), il ne paraît pas envisageable d'effectuer un report satisfaisant. Il paraît alors préférable de réaliser un report à titre informatif (forme et répartition générale des zones d'aléa), et de préciser ces zones au moyen de distances approximatives par rapport aux ouvrages ou bâtiments remarquables, le tout illustré par des photographies.

Au droit des zones à enjeux : interprétation quantitative

Afin de définir les aléas à une échelle mieux adaptée aux enjeux, 1/5 000e par exemple, on réalise, au droit de ces zones, des modélisations hydrauliques détaillées. Le chapitre suivant précise :

- les principales données nécessaires ;
- les contraintes de modélisations souhaitées ;
- les principaux résultats attendus.

Certaines modélisations ont déjà été réalisées sur des cours d'eau de Tahiti. Le rendu cartographique de ces études fait apparaître les zones inondables en différenciant 3 hauteurs de submersion (0-0,5/ 0,5-1,0 / +1,0) et pour certaines le lit mineur. Ce rendu est par conséquent différent de ce que l'on se propose de faire tant du point de vue des cartes d'aléas réalisées par analyse hydrogéomorphologique ("enveloppe" des crues décennale et centennale) que par modélisation hydraulique (où l'on ajoute à cette notion de fréquence la notion de hauteur et de vitesse d'écoulement). Les résultats de ces modélisations, sauf s'il y a actualisation, seront néanmoins directement intégrés en l'état aux cartes d'aléas.

Sur les cartes d'aléas définis à partir de modélisation figurera un libellé distinctif qui pourra par exemple rappeler le numéro du rapport d'étude.

Par ailleurs, les modélisations d'écoulements à surface libre n'intègrent généralement pas les événements tels que formation d'embâcles, écroulement de berges ou autres... Afin d'envisager de tels événements lors de crues de fréquence rare, l'enveloppe hydrogéomorphologique sera, si possible, ajoutée aux tracés des aléas définis par modélisation.

3.4.2.2 - *Détermination des débits des crues de projet*

Il est proposé de prendre comme référence les crues de projet définies en France métropolitaine. A défaut d'études locales de diagnostic concernant les crues torrentielles (circulaire du 16 août 1994), ce sont les directives de la circulaire du 24 janvier 1994 concernant les crues de plaine qui ont été retenues. Cette circulaire définit "une crue de référence qui est la plus forte connue ou, si cette crue était plus faible qu'une fréquence centennale, cette dernière".

Etant entendu que les risques induits par "les crues torrentielles" sont, au moins, aussi élevés que par "les crues de plaines", la fréquence centennale a été également retenue pour les crues torrentielles.

Calcul de la crue centennale

La détermination de la valeur centennale est obtenue en considérant qu'au-delà de la pluie de fréquence décennale (point pivot) toute augmentation de la pluie ruisselle. Il n'y a donc pas lieu de définir et/ou ajuster un nouveau coefficient de ruissellement.

Cela se traduit par l'équation suivante :

$$Q_{100} = Q_{10} + k\,(P_{100}(tc) - P_{10}(tc)).\,A/tc$$

ou

$$Q_{100} = \underbrace{A.K.[C_{(10)}.\, I_{(tc,10)}}_{Q_{10}} + \underbrace{C\,(I_{(tc.100)} - I_{(tc,10)})]}_{1}$$

$$Q_{100} = Q_{10} + A.K.\,(I_{(tc,100)},-,I_{(tc,10)})$$

(avec K = 1/3,6 si A en km² et I en mm/h)

Bassins versants urbains

La formule de Caquot, mise au point et utilisée en métropole, a été adaptée au contexte local de Tahiti par actualisation, à l'aide des coefficients de Montana, des coefficients de l'équation. Elle peut donc être utilisée, sous réserve de respecter les conditions de validité, pour le calcul des débits maxima décennaux des petits bassins versants urbains de Tahiti. Pour les autres îles de Polynésie, il convient d'actualiser cette formule, en appliquant la même méthode, avec les données pluviométriques observées en local.

Bassins versants ruraux

Formule générale

Afin de répondre au mieux à l'objectif fixé, tout en limitant les informations aux informations disponibles, nous proposons d'utiliser la méthode rationnelle pour la détermination du débit maximal instantané de fréquence décennale puis d'utiliser au-delà la méthode du GRADEX.

L'équation générale se résume à :

$$Qp_{(T)} = k\,.\,C_{(T)}\,.\,I_{(tc,T)}\,.\,A$$

où

$Qp_{(T)}$: est le débit de pointe de crue (en m³/s) de période de retour T ;

$C_{(T)}$: coefficient de ruissellement pour la période de retour T ($0 < C =< 1$) ;

$I_{(tc,T)}$: l'intensité d'une averse représentative du bassin versant dont la durée est égale au temps de concentration tc du bassin pour la période de retour T ;

A : la superficie du bassin versant ;

k : un coefficient d'ajustement fonction des unités utilisées.

(k = 1/3.6, pour A en km² et I en mm /h)

Cette méthode, simple et robuste d'utilisation, présente l'intérêt de faire intervenir :

- la notion de "temps de concentration", temps qui dépend de la morphologie du bassin versant ;
- la pluviométrie ;
- le coefficient de ruissellement, facteur dépendant notamment de la géologie, de la couverture végétale et du taux d'imperméabilisation.

Les principales difficultés d'utilisation de cette formule consistent en :

- l'estimation du temps de concentration et ;
- la détermination du coefficient de ruissellement.

Détermination du temps de concentration

L'estimation du temps de concentration peut être réalisée au moyen de formules diverses existant dans la littérature, les plus répandues étant probablement Kirpich, Passini, Giandotti, Turazza (Annexe 2). Ces formules sont plus ou moins bien adaptées suivant la pente des bassins versants considérés.

Le choix de la formule (ou de la combinaison de formules), à retenir pour une utilisation régionale ou adaptée à des familles de bassins versants, peut être réalisé en comparant les valeurs calculées à l'aide de ces formules avec celles obtenues à partir des hydrogrammes et ietogrammes de crues observés au droit de bassins versants jaugés.

Valeur de la pluie de durée égale au temps de concentration

S'il existe des données d'intensités pluviométriques (courbes IDF) au droit d'une station pluviométrique représentative du bassin versant, il suffit de calculer les hauteurs pluviométriques décennale et centennale survenant pour une durée égale au temps de concentration du bassin versant. Lorsqu'il existe plusieurs postes, une pondération (méthode de Thiessen ou autre) pourra être réalisée.

Dans le cas où il n'existerait pas d'information sur les intensités pluviométriques sur le bassin versant, il est cependant possible d'estimer les valeurs fréquentielles des pluies de durée égale au temps de concentration à partir d'informations disponibles sur les pluies journalières. Les hauteurs pluviométriques de durée inférieure à la journée seront déterminées au poste journalier en considérant que le rapport de ces hauteurs pluviométriques avec la pluie journalière, à fréquence donnée, est identique au rapport trouvé à la station pluviographique la plus proche ou à celle jugée la comparable.

Estimation du coefficient de ruissellement

Une fois cette difficulté écartée, la valeur du coefficient de ruissellement de fréquence décennale peut être définie "régionalement" (par secteur d'île) à l'aide des valeurs décennales obtenues par ajustement statistique au droit des bassins versants jaugés. Il suffit ensuite d'utiliser cette valeur pour les bassins versants similaires (orientation et altitude maximale) non jaugés.

Dans l'hypothèse où l'on ne dispose pas de valeurs observées (ajustement statistique ou valeurs maximales observées) sur l'île, la valeur du coefficient de ruissellement décennal sera choisie parmi ceux de l'île la plus proche et la plus semblable en considérant le contexte géologique, l'altitude maximale du bassin versant et son orientation.

3.4.2.3 - *Cartographie de l'aléa inondation à Punaauia*

La commune de Punaauia a été traitée par interprétation qualitative et semi-quantitative. Le principal cours d'eau du territoire communal, la rivière Punaruu, est couvert par un zonage déterministe réalisé par le BCOEM et repris dans le PPR. Toutefois, une mise à jour de cette étude est recommandée et est proposée dans le cadre des études détaillées d'ARAI. La plaine côtière représente un cas de figure différent avec des accumulations ponctuelles lors des pluies et un problème général de drainage compte tenu des faibles pentes.

La suite fournit les commentaires et explications correspondant aux différentes situations rencontrées dans la commune.

Plaine alluviale

La morphologie du territoire communal se caractérise par des versants en pente relativement douce, inclinés à l'ouest vers la mer. Ces versants sont ciselés par un réseau hydrographique avec une orientation globalement subéquatoriale.

Les rivières les plus importantes traversent une plaine alluviale variant entre 100 mètres à plus de 1 000 mètres par endroit, avant d'atteindre les eaux du lagon.

Pour les autres, la partie avale de leurs cours est moins nette. Avec un lit mineur plus ou moins marqué au niveau des versants dominant la plaine alluviale, ces petites rivières se perdaient, à l'état naturel, en de multiples petits fossés dans la plaine alluviale, favorisant ainsi le dépôt des matériaux terrigènes. Ces petites ravines sont aujourd'hui plus ou moins canalisées.

Par suite de la faible pente et donc de la difficulté à satisfaire à l'évacuation des eaux pluviales, la totalité de la plaine alluviale peut être considérée avec un aléa faible. Cet aléa est associé à un niveau de risque généralement peu élevé (aucune conséquence sur les vies humaines, et généralement pas ou peu de dégâts structurels majeurs). Une analyse plus fine de cet aléa nécessiterait :

- une enquête sur la fréquence et la localisation des événements observés ;
- un diagnostic de l'ensemble des réseaux d'assainissement.

Ravine Vairail (BV : 0,9 kilomètre carré)

La partie amont de la ravine est localement terrassée, notamment à la hauteur du futur centre d'hébergement universitaire. Le cours d'eau est alors canalisé avec une succession de passages aériens ou couverts (enterrés). Des débordements sont possibles lors d'épisodes pluvieux exceptionnels, notamment lors d'accumulations d'embâcles sur les grilles. Dans la partie avale, la concomitance d'événements pluvieux intenses et de marée exceptionnelle peut générer des débordements.

Ravine "Carrefour" ou Papaeria (BV d'environ 0,9 kilomètre carré)

Dans la partie amont du bassin versant et au droit de la confluence de trois petits thalwegs, des terrassements barrant tout le fond de vallée ont été réalisés sans existence de drain. Cette zone a été classée en aléa élevé.

A mi-hauteur du bassin versant, une crue exceptionnelle et/ou une formation d'embâcles peut générer des débordements sur la chaussée puis inonder des habitations riveraines. Dans la partie avale, des débordements peuvent se produire au droit de la confluence avec la ravine Vairail.

Ravine Paearia (BV d'environ 0,45 kilomètre carré)

Cette ravine draine un petit bassin versant très urbanisé, notamment dans sa partie amont. Elle est totalement canalisée et fait partie intégrante du réseau d'évacuation d'eaux pluviales. Il conviendrait de vérifier le dimensionnement de cette ravine, sous peine de débordement sur les voiries. Juste à l'amont du centre commercial des écoulements se produisent fréquemment en parallèle du canal d'évacuation.

Rivière de Te Tavake (BV d'environ 0,55 kilomètre carré)

Petite rivière dont le débit maximal a dû fortement augmenter suite à l'imperméabilisation du bassin versant. Elle 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.

Rivière Matatia (BV d'environ 9 kilomètres carrés) PK 10,85

Le débit décennal est estimé à 73 mètres cubes/seconde. Le débit centennal est estimé à 150 mètres cubes/seconde.

Malgré les aménagements réalisés dans le lit moyen, il est probable que des débordements de fréquence inférieure ou égale à la décennale se produisent en amont de la confluence avec la rivière Tihuite notamment au droit de tous les ouvrages. Au droit de la confluence, des débordements et même une dérivation de cette rivière sont envisageables. En aval, au droit du pont comportant une ancienne station hydrométrique, des débordements relativement fréquents peuvent se produire sur les deux rives et plus rarement inonder certaines habitations de la rive droite.

En aval de la route des Plaines, le lit mineur ainsi que le pont de la route de ceinture sont de dimension limitée et des débordements relativement fréquents (fréquence supérieure à la quinquénale) peuvent s'y produire. Les aménagements hydrauliques réalisés dans le cadre de la réalisation de la RDP (dérivation des débits de certaines ravines vers la Matatia) vont aggraver la fréquence de ces débordements.

Ravines PK 11,3 et PK 12,1 (ravine Maveraura)

Les débits de ces ravines sont détournés sur la Matatia. La rupture de pente des ouvrages d'évacuation des eaux de ces ravines au droit de la RDP favorise les dépôts des sédiments qui risquent, sans entretien, de boucher l'ouvrage et générer ainsi des débordements sur la RDP.

L'autre risque de débordement pouvant être préjudiciable se situe au droit de la section d'entonnement, situé en amont de la RDP, entre le lit naturel et l'ouvrage canalisant les eaux de ces ravines. Ces sections nécessitent un contrôle, voire un entretien, régulier.

Rivière Putuoa (BV d'environ 1,3 kilomètre carré)

Petit bassin versant peu urbanisé, drainé par deux thalweg principaux :

- au nord la rivière Putuoa, de plus de deux kilomètres de longueur ;
- au sud, une rivière sans nom d'environ quatre kilomètres de long.

Les débordements probables lors des crues exceptionnelles vont principalement se produire :

- au droit de la confluence ;
- en aval rive droite de la confluence ;
- par débordement du chenal calibré au niveau de la plaine alluviale en aval de la RT2.

Ravine Vaitahuri nord (BV d'environ 1,3 kilomètre carré)

Le débit décennal est estimé à 8 mètres cubes/seconde. Le débit centennal est estimé à 15 mètres cubes/seconde.

Cette ravine est canalisée en rive droite dans sa partie médiane. Des débordements ponctuels et des instabilités de berges peuvent survenir au droit de certaines parcelles. A noter que lors d'un événement exceptionnel tant sur le plan liquide que solide (probabilité très faible), l'affluent principal pourrait être dérivé vers la ravine du lotissement "Punavai" et modifier ainsi les aléas inondation de ce secteur.

Il faut également signaler, qu'au droit du premier virage lorsque l'on se dirige de la RT2 vers le lotissement "Punavai", la présence du mur et d'un seuil rustique en enrochement favorisent des débordements en rive gauche lors de crues rares. Ces débordements vont alors emprunter la voirie et inonder le rond-point de la RT2.

En amont immédiat de la RT2 se trouve un ouvrage d'entonnement permettant d'évacuer directement en mer les eaux de cette ravine au moyen d'une canalisation de diamètre 2,6 mètres. Une grille de protection est située en amont immédiat de cette canalisation, et ceci afin d'éviter aux principaux corps flottant ou charriés d'entrer dans la canalisation. Cette grille, nécessaire au bon fonctionnement de l'ouvrage, risque néanmoins d'être obstruée lors des crues fortement chargées et générer ainsi des débordements pouvant être destructeurs. Un aménagement complémentaire (fosse à sédiment située plus en amont) ou un nettoyage fréquent, voire même durant les crues (dégrilleur), paraît indispensable.

Ravine Vaitopu (BV d'environ 0,8 kilomètre carré) PK 14,2 environ

Ce petit bassin versant de forme très allongé possède un fond de vallée particulièrement pentu. Il fait actuellement l'objet d'une urbanisation intensive qui aura pour principale conséquence d'augmenter les débits. Des lotissements sont en cours de réalisation dans la partie amont du bassin et une ZAC est en cours de réalisation dans sa partie intermédiaire.

Afin d'aménager au mieux les parcelles du lotissement amont (lotissement Sage) et de la ZAC, la ravine a été confinée en rive droite.

Ces travaux de déviation comportent des ouvrages (pont du lotissement Sage et pont de la route au droit de la partie avale de la ZAC) et une section courante (au droit de la ZAC) 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.

Rivière Punaruu (BV d'environ 44,6 kilomètres carrés) PK 14,4

Le débit décennal est estimé à 224 mètres cubes/seconde. Le débit centennal est estimé à 493 mètres cubes/seconde.

Cette rivière est la plus importante du territoire communal. Elle prend sa source dans les reliefs centraux de l'île de Tahiti Nui, au niveau du mont Orohena. Une importante zone d'extraction (gravières) et une importante zone industrielle occupe le fond de la vallée en amont immédiat de la RT2. La rivière est aménagée (principalement par des digues en enrochements) depuis le début de la zone d'extraction jusqu'au lagon.

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.

Rivière Maruapo (BV d'environ 3,8 kilomètres carrés)

Le débit décennal est estimé à 36 mètres cubes/seconde. Le débit centennal est estimé à 76 mètres cubes/secondes.

Des débordements relativement fréquents peuvent se produire au droit de la confluence avec son principal affluent. Ces deux cours d'eau semblent avoir de fortes potentialités de transport solide.

Lors d'une crue particulièrement violente accompagnée de transports solides importants ou de coulées boueuses c'est-à-dire lors d'un événement particulièrement exceptionnel, un changement de lit (dérivation du cours d'eau en rive gauche) pourraît se produire.

Ravine sans nom (BV d'environ 0,55 kilomètre carré)

Cette ravine présente un talweg encaissé puis, au droit de son débouché sur la plaine alluviale, un cône de matériaux grossiers. Ce cône situé en pied de falaise suggère une mise en place par coulées boueuses. Le lit mineur étant peu marqué, des débordements ou un changement de lit au droit de ce cône peuvent être envisagés.

Ravine Vaiaoa (BV d'environ 0,7 kilomètre carré)

Le débit décennal est estimé à 17 mètres cubes/seconde. Le débit centennal est estimé à 35 mètres cubes/secondes.

Pour une crue de fréquence décennale, des débordements sont probables dans la partie avale de cette ravine.

3.4.3 - *Aléa mouvement de terrain*

3.4.3.1 - *Méthodologie générale*

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 phases principales :

1 - une phase analytique consacrée au recueil de l'information de base nécessaire à la mise en œuvre de la phase suivante ;
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 pas toujours une grande précision dans la définition des contours et des niveau d'aléa. Elle est plus appropriée pour des échelles de zonage de 1/10 000e 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 (1/10 000e 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.

3.4.3.2 - *Phase analytique*

Pour chaque commune faisant l'objet d'un zonage de l'aléa, la phase analytique consiste en la mise en œuvre autant que possible des points suivants :

- analyse des instabilités figurant dans BD-MVT et BD-ARAI au sein de la zone étudiée ou encore dans un contexte géologique et morphologique proche équivalent à celui de la zone étudiée ;
- recherche documentaire relative au secteur d'étude dans BD-ARAI (données géologiques, pédologiques, formations superficielles...) ;
- contact avec la commune concernée pour identifier des instabilités ne figurant pas dans ARAI ou pour obtenir des précisions sur celles déjà identifiées ;
- recherche dans BD-ARAI des photographies aériennes disponibles et collecte des photos les plus pertinentes auprès du service de l'urbanisme ;
- analyse des données topographiques et cartographiques disponibles. La précision du support cartographique va déterminer la précision du zonage. Il est illusoire de vouloir produire des cartes à grande échelle si le support décrivant la topographie n'est pas suffisamment précis ;
- analyse des enjeux et du PGA en particulier lorsqu'il existe (ou à défaut de la répartition des zones urbanisées à partir des fonds cartographiques disponibles). Répartition du territoire à étudier, en 3 grands secteurs : 1) une zone à traiter à précision relativement grande, zones densément construites ou présence d'enjeux sensibles ; 2) une zone où une précision moindre est requise et/ou possible, habitat dispersé ; 3) une zone à ne pas cartographier en l'absence d'enjeux ;
- identification par photo interprétation d'indices d'instabilité ou de morphologies remarquables (barres rocheuses par exemple), qui feront ensuite l'objet d'une interprétation sur le terrain ;
- réalisation de reconnaissances de terrain avec parcours systématique des routes et chemins et observation des affleurements. La densité d'observation est a priori plus élevée dans les zones 1 mentionnées ci-avant. Un inventaire de mouvements de terrain (indices et instabilités avérées) est effectué. Autant que possible, il est fait appel au témoignage des riverains afin de mettre en évidence des désordres passés. Il est procédé à un relevé de la nature géologique et lithologique des affleurements. La plupart des affleurements étant constitués de *mamu* (du nom local des altérites), la nature de ce *mamu* est systématiquement notée, suivant les différentes classes indiquées dans le tableau ci-après. Il est également noté la présence de masses importantes de colluvions ;
- élaboration d'une carte de répartition du *mamu*, des colluvions et des alluvions. En ce qui concerne le *mamu*, 3 catégories sont distinguées : rocher sain ou *mamu* peu altéré (de nature rocheuse) ; *mamu* I ou II (peu altéré) ; *mamu* III et IV (altéré à très altéré). Si les données ponctuelles du terrain sont suffisantes, la carte est obtenue à partir d'une appréciation de la morphologie sur les photographies aériennes, en tenant compte par ailleurs du contexte géologique et structural.

Classe de *mamu*	Description lithologique
Mamu stade IV	De couleur le plus souvent ocre ou rouge, la structure ayant disparu. On peut y trouver parfois quelques boules moins altérées.
Mamu stade III	Souvent bariolé, sa structure et sa texture sont encore visibles. Il contient déjà une proportion notable de "pâte" emballant les blocs, et les boules en voie d'altération. Il se désagrège à la main.
Mamu stade II	De couleur gris ou ocre, plus rarement rouge, la structure et la texture y sont bien visibles. Assez cohérent, il a la consistance de la craie. Il contient toujours des panneaux beaucoup moins altérés.
Mamu stade I	Le plus souvent de couleur grise lorsqu'il provient de lave compacte ou vacuolaire, sa roche mère est bien discernable. Il ne se désagrège pratiquement plus sous la main. Il contient des boules peu ou pas altérées.
Mamu stade 0 ou lave altérée	Lave apparemment saine contenant des phéno-cristaux en cours de transformation. L'altération s'installe.
Lave saine	Lave saine

3.4.3.3 - *Approche globale en Polynésie : zonage par "expertise"*

Le présent chapitre a pour but de décrire la méthodologie mise en œuvre en Polynésie pour la réalisation des zonages de l'aléa mouvements de terrain, dans le cadre des PPR et selon une approche globale. La "globalité" est entendue par rapport à l'ensemble du territoire communal, par opposition à l'étude détaillée de sites particuliers (voir plus loin).

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

Après la mise en œuvre systématique d'une phase analytique, la cartographie est réalisée "par expertise". L'auteur de la carte, à partir de l'expérience acquise sur le terrain, notamment suite à l'analyse en retour de mouvements de terrain qui se sont produits et à partir de son expérience générale, détermine les facteurs de causalité susceptibles d'expliquer au mieux les instabilités observées.

A partir de ces règles et en appliquant le principe de causalité (les mêmes règles produisent les mêmes effets), des zones d'aléa homogène sont identifiées. Les règles et raisonnements sont explicités autant que possible mais la

restitution n'est jamais exhaustive. En effet, le géologue applique intuitivement des règles de reconnaissance et de décision dont la diversité est telle qu'il est impossible de les formuler en totalité.

Comme indiqué précédemment, l'approche par expertise est qualitative et conduit à une expression qualitative de l'aléa. Pour autant qualitative qu'elle soit, cette approche n'est pas moins rigoureuse et performante que les méthodes déterministes. Elle est intégratrice et peut s'accommoder d'un faible volume de données de base.

Pour les communes de Polynésie, 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 ;
- les versants (vallée, talweg) ;
- les fronts de planèze ;
- les plateaux.

Les planèzes sont les pentes originelles des différents volcans boucliers qui se sont succédés à Tahiti (ou dans d'autres îles). Elles correspondent à des portions planes faiblement inclinées vers la mer (pentes de 5° à 10°), d'au moins quelques kilomètres carrés, au dessus d'un empilement de coulées de lave métriques.

On classe les planèzes en trois sortes, selon qu'ils sont constitués de roche saine ou qu'ils présentent un certain degré d'altération (*mamu* I-II ou *mamu* III-IV). Les instabilités y sont quasiment inexistantes. L'aléa y est faible à localement moyen.

Localement, on observe des zones d'accumulations de colluvions dont l'origine n'est pas toujours établie. La présence de ces matériaux instables, sur une surface significative, peut entraîner la délimitation d'une zone d'aléa moyen ou fort dans un environnement globalement moins exposé.

En ce qui concerne les versants, on distingue les versants secondaires, les versants principaux et les grands versants.

Les versants secondaires sont de faibles hauteurs (inférieures à 100 mètres) et de pentes plus ou moins fortes (de 15° à 25° en moyenne). Ils se développent de part et d'autre d'axes d'écoulement au sein des planèzes. On distingue les versants secondaires rocheux, les versants secondaires "mamutisés" de faible extension (hauteur inférieure à 30 mètres) et de plus grande extension (hauteur entre 50 et 100 mètres).

Les indices de mouvements de terrain sont peu nombreux. L'aléa est généralement faible à modéré.

Les versants principaux sont des versants de 100 à quelques centaines de mètres de hauteur, formant les bords de planèze de part et d'autre des cours d'eau principaux. On classe ces versants en fonction de leur nature, de leur morphologie et de leur situation.

Sont ainsi distingués les versants rocheux à pentes modérées à fortes (35° à 45° en moyenne), les versants mamutisés à pentes modérées, les versants de la zone d'effondrement sud de Tahiti Nui (pentes autour de 45° et hauteurs de l'ordre de 100 à 200 mètres), les versants composites de nature brèchique (ou présentant des plaquages volumineux de matériaux brèchiques) et les versants de type "Trachyte" ou "Phonolite" (avec des formations rocheuses armant les sommets et reposant sur du *mamu*).

Des mouvements de terrain ainsi que des indices d'instabilité sont répertoriés. L'aléa est en général moyen à fort.

Les grands versants sont des versants de plusieurs centaines de mètres de haut, de pente forte (supérieure à 50°), de toute nature. L'aléa éboulement/glissement-coulée sur forte pente est élevé.

Les fronts de planèze forment le type de versant le plus important à cerner car ces entités font la transition entre la plaine habitée et les planèzes, parfois habitées. En fonction de la pluviométrie moyenne, on distingue les fronts à dominante rocheuse (comme à Tahiti - Punaauia, côte Ouest) et des fronts altérés tels que ceux qui sont visibles à Tahiti, côte Est aux environs de la presqu'île.

Au sein des fronts à dominante rocheuse, on distingue les fronts de hauteur modérée (100-150 mètres au plus), de grande hauteur (100 à 200 mètres), les fronts subverticaux et les fronts constitués de lahar/brèche.

L'aléa y est moyen à élevé, selon la nature et la morphologie de ces versants.

Les plateaux sont enfin des zones plus ou moins planes en altitude ne correspondant pas à des planèzes. Il existe des plateaux étendus comme par exemple les parties sommitales des dépôts de brèches sédimentaires, des plateaux intra-caldeira résultant du remplissage en pied de zone d'effondrement, de sommets tabulaires d'intrusions diverses et des plateaux relictuels au sein de versants. L'aléa y est faible.

Dans tous les cas, la présence de colluvions entraîne la délimitation de zones spécifiques ou des sous types des entités décrites précédemment.

Localement, le niveau d'aléa ou les contours des zones peuvent être affinés par la mise en œuvre ponctuelle d'une approche déterministe et la mise en œuvre d'outils de simulation (logiciel TALREN pour la stabilité de talus et logiciel PIERRE pour la simulation de chute de blocs).

3.4.3.4 - *Etude détaillée de sites particuliers : approche déterministe*

Généralités

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...).

Deux outils de simulation sont ensuite utilisés : il s'agit du logiciel TALREN (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 (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.

L'outil TALREN

TALREN est un logiciel pour l'analyse de stabilité des structures géotechniques, développé par Terrasol. Il s'applique aussi bien aux pentes naturelles qu'aux ouvrages en terre, avec ou sans renforcement et permet d'intégrer des paramètres hydrauliques, sismiques et de surcharge.

Il calcule pour une configuration donnée, les coefficients de sécurité correspondants à des surfaces de rupture choisies par l'utilisateur, et met en évidence le coefficient de sécurité minimal trouvé pour ce choix de surfaces. Il donne ainsi la surface de rupture critique et le coefficient associé.

Pour déterminer le coefficient de sécurité, TALREN laisse le choix entre 3 méthodes de calcul : la méthode de Bishop, la méthode de Fellenius et la méthode des perturbations. Ces méthodes sont des méthodes classiques, dites "des tranches", c'est-à-dire que le talus est découpé en tranches verticales d'épaisseur unitaire et l'on considère l'équilibre limite de chaque tranche.

La large utilisation de TALREN et la fiabilité de ses résultats en font un outil reconnu et utilisé en France dans la plupart des organismes publics, militaires, des bureaux d'études, des écoles et universités. En 2003, TALREN était utilisé par environ 400 organismes à travers le monde.

L'outil PIERRE

PIERRE est un modèle de simulation trajectographique développé conjointement par le BRGM et l'université Britisch Columbia du Canada. Il est utilisé par le BRGM et fait partie des modèles dits "à trajectoire enveloppe", orientés vers l'analyse des conditions limites de propagation : limites d'extension probables, caractéristiques limites probables des trajectoires (hauteur, vitesse, énergie cinétique). Ce type de modèle correspond aux conditions limites de propagation générées par l'enchaînement d'impacts successifs les plus défavorables sur l'ensemble de la trajectoire. Les valeurs affectées aux paramètres de calcul sont une estimation de leurs limites probables résultant de l'analyse d'observations effectuées sur différents sites d'éboulements pour lesquels on dispose de données précises.

En effet, les coefficients d'absorption caractérisant l'amortissement au moment de l'impact sont déterminés empiriquement et/ou par rétro-analyse. Après une chute de blocs, il est possible de localiser avec une certaine précision leurs impacts sur la pente et donc, en effectuant la démarche inverse de celle du calcul de trajectoire, de retrouver les coefficients d'absorption des différents sols impactés. On procède au calage en faisant varier les données du modèle jusqu'à obtention du chemin exact des blocs observés (concordance entre trajectoires observées et simulées).

Actuellement, le logiciel est utilisé avec des paramètres définis empiriquement en reproduisant des événements connus. Il conviendra à terme de mettre en œuvre une opération de "lâchers de blocs" en Polynésie afin de disposer de paramètres spécifiques aux versants locaux.

Utilisation de TALREN en appui à l'approche globale

Quand on considère un versant donné, la limite amont de la zone d'aléa ne se situe pas exactement au niveau de la ligne marquant la crête du versant. Elle va au-delà et englobe une zone peu pentue en arrière. Quelle largeur doit-on considérer pour cette zone ? Accessoirement, quel est le niveau d'aléa ?

La réponse peut être donnée par l'observation de l'extension des cicatrices morphologiques résultant d'instabilités passées, dans des contextes similaires. Une évaluation de la stabilité avec TALREN peut également apporter des réponses. Mais il n'est pas possible de mener des reconnaissances de sol de manière systématique et de multiplier les points de "calage". Par ailleurs, il se pose le problème de définir précisément la ligne marquant la crête du versant, à partir de laquelle mesurer cette largeur. Nous nous placerons dans le cas idéal d'une rupture de pente bien marquée pour les calculs, mais la crête d'un versant est le plus souvent arrondie, et de ce fait, la ligne de crête est difficilement délimitable.

Données exploitées

Il a été défini pour cette étude, un jeu de caractéristiques géomécaniques moyennes des différentes formations lithologiques, à partir des données géotechniques disponibles sur la Polynésie. Les caractéristiques sont les suivantes :

Matériaux	γh (kN/m3)	φ (°)	C (kPa)
Colluvions à blocs	20	28	3
Basalte	22	45	30
Mamu III, IV et lahars	22	30	3
Mamu I à II	22	32	6

Tableau 5 : Jeu de données de caractéristiques des sols en conditions naturelles (établi à partir d'une synthèse de données du laboratoire des travaux publics de Polynésie)

A partir de ces caractéristiques, la stabilité a été évaluée pour différents cas de figure réalistes. Pour chaque configuration, il est calculé un facteur de sécurité minimal et la largeur en deçà de laquelle la stabilité n'est pas assurée. Cette largeur est appelée largeur en crête ou largeur de bande de retrait et notée L.

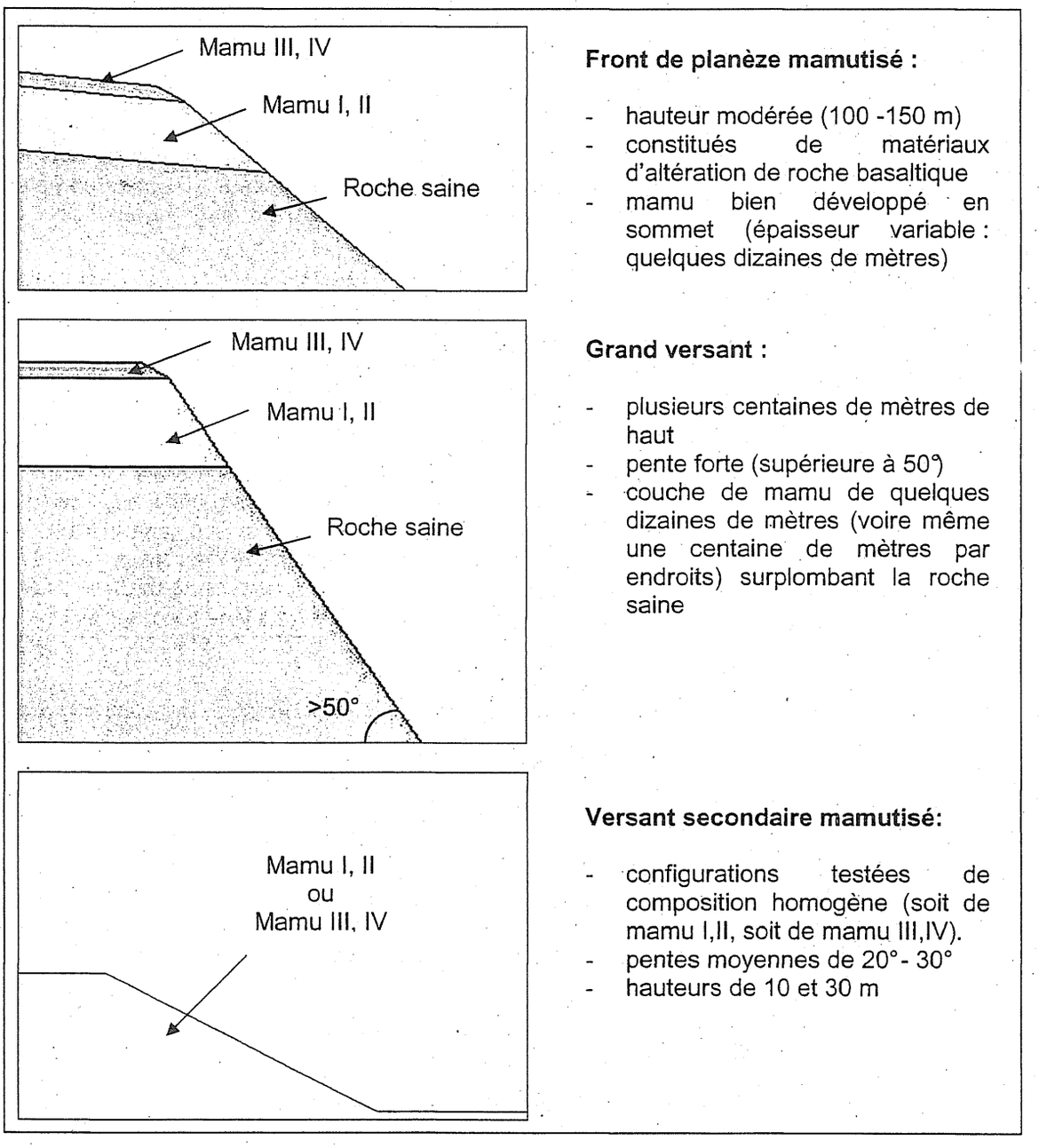
Configurations testées

L'objectif est de faciliter la cartographie en fixant des limites de zones par analogie avec les configurations types suivantes :

- les fronts de planèzes mamutisés ;
- les grands versants ;
- les versants secondaires mamutisés.

Ces configurations et leurs caractéristiques sont présentées à la figure 2.

Compte tenu de l'optimisation du logiciel aux calculs en sol meuble, seules des configurations formées en totalité ou en partie de *mamu* ont été testées.



Front de planèze mamutisé :

- hauteur modérée (100 -150 m)
- constitués de matériaux d'altération de roche basaltique
- mamu bien développé en sommet (épaisseur variable : quelques dizaines de mètres)

Grand versant :

- plusieurs centaines de mètres de haut
- pente forte (supérieure à 50°)
- couche de mamu de quelques dizaines de mètres (voire même une centaine de mètres par endroits) surplombant la roche saine

Versant secondaire mamutisé:

- configurations testées de composition homogène (soit de mamu I,II, soit de mamu III,IV).
- pentes moyennes de 20°- 30°
- hauteurs de 10 et 30 m

Figure 2 : Configurations types testées avec le logiciel TALREN

Méthode d'étude utilisée :

TALREN estime la stabilité d'un talus à partir de la géométrie de celui-ci et des paramètres régissant les types de sols présents. L'estimation de cette stabilité repose sur des calculs d'un coefficient de stabilité Γ, qui correspond, pour une surface de rupture donnée, au rapport de la contrainte de cisaillement maximale mobilisable à la contrainte de cisaillement mobilisée le long de la surface de rupture. Théoriquement, une configuration est instable si ce coefficient est inférieur à 1, mais compte tenu des incertitudes sur les données, on considère qu'elle l'est pour un coefficient inférieur à 1,5.

Le coefficient Γmin calculé par TALREN correspond au coefficient de stabilité obtenu pour la surface de rupture potentielle la plus défavorable, donc celle qui risque le plus d'induire un glissement. Une configuration est dite stable lorsque le Γmin associé vaut au moins 1,5.

La bande de retrait est la zone en tête de versant dans laquelle il existe un risque d'instabilité (Γmin < 1,5). Elle est délimitée par la largeur en crête $L_{1,5}$ et correspond à la zone concernée par des instabilités. Cette largeur en crête $L_{1,5}$ est estimée en recherchant à partir de quelle distance du bord du versant, une surface de rupture passant à cette distance aurait un coefficient de stabilité d'au moins 1,5. En pratique, on impose un point de passage à la surface de rupture et on recherche alors pour quel point de passage, le coefficient de stabilité critique Γmin est supérieur à 1,5 (figure 3).

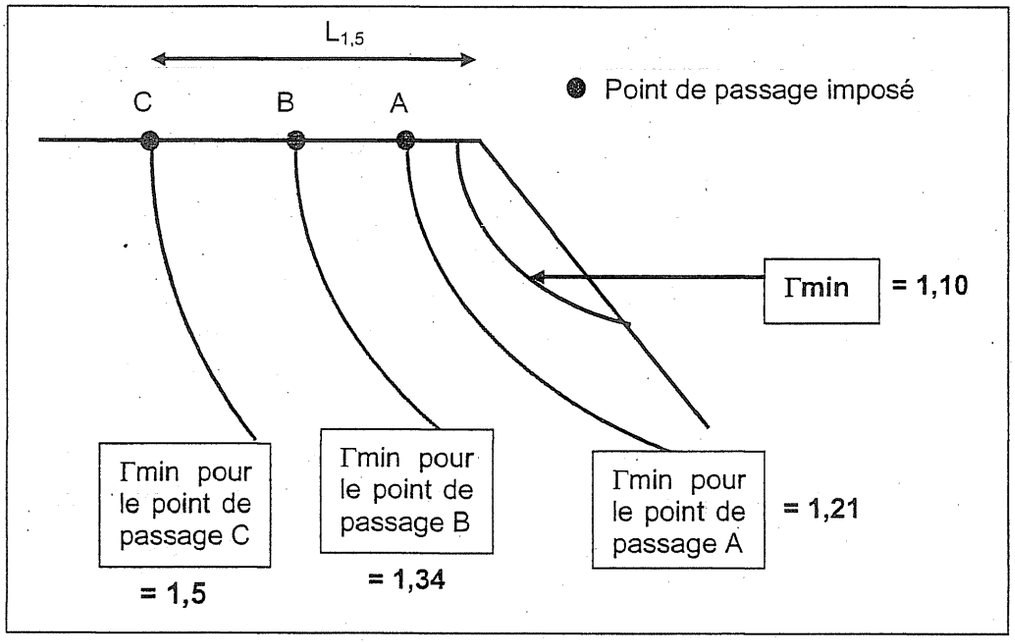


Figure 3 : Détermination de la largeur de bande de retrait minimale $L_{1,5}$

On obtient de cette manière, la bande en tête de versant où il y a un risque d'instabilité. La connaissance de cette bande permet ensuite d'aider à délimiter sur carte l'étendue de la zone instable en tête. Mais en définitive, c'est le géologue responsable de l'élaboration de la carte d'aléa qui choisit le tracé final.

Calage :

On choisit habituellement une valeur de Γmin égale à 1,5 pour caractériser la stabilité limite d'un talus. Cette valeur inclut une marge de sécurité qui correspond aux incertitudes sur la précision des données et l'homogénéité des couches, hypothèse nécessaire pour la réalisation du calcul mais non ou rarement vérifiée dans la réalité.

Dans la réalité et sans approximation de calculs, la limite de stabilité d'un talus est obtenue pour $\Gamma_{min} = 1$. Les largeurs observées de bande de terrain déstabilisé, lors d'instabilités avérées, doivent donc correspondre aux largeurs calculées par TALREN pour un coefficient Γ_{min} pris égal à 1 (largeurs notées L_1). Ce calage est nécessaire pour justifier l'utilisation de la valeur 1,5 dans les calculs.

Les valeurs de largeurs L_1 ont été calculées en conditions naturelles, pour les différentes configurations de front de planèze et de grand versant (configurations où les glissements ont lieu le plus fréquemment). Ces valeurs calculées concordent bien avec les valeurs de largeurs en crête mesurées pour des glissements réels.

Influence des paramètres géométriques, physiques et hydrogéologiques d'un versant donné sur la stabilité de l'ensemble :

- Géométrie du versant

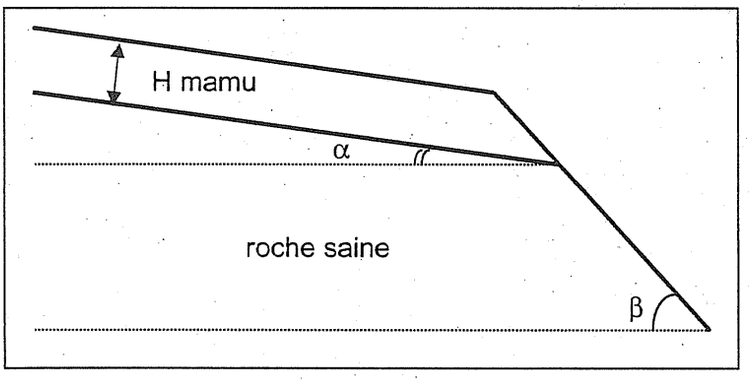


Figure 4 : Schéma de situation des différents paramètres de morphologie de versant

L'influence des différents paramètres géométriques d'un versant, à savoir : l'épaisseur de terrains altérés H, la pente du versant β, la pente à l'interface des terrains α, a été estimée en faisant varier séparément chaque paramètre.

Les résultats obtenus lors de l'étude sont résumés dans le tableau 6.

Paramètres géométriques	Morphologie et structure du versant		
	α	β	H
Influence sur le coefficient de stabilité	+	+++	++

Tableau 6 : Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres géométriques sur le coefficient de stabilité

En ce qui concerne la morphologie et la structure du versant, les paramètres α et H sont les plus difficiles à appréhender sur le terrain. Or, ils ont une influence limitée sur le coefficient de stabilité. A l'inverse, la pente du versant β est le paramètre le plus influent mais également le plus facile à mesurer.

Les variations de géométrie d'un versant ne semblent donc pas entraîner de grosses incertitudes sur les valeurs de largeur de sécurité en crête calculées grâce à TALREN (cf. tableau 8).

- Paramètres physiques

L'influence des caractéristiques du sol a également été évaluée en faisant varier séparément chacun des paramètres suivants : la cohésion C, le poids volumique (conditions naturelles) Yh, l'angle de frottement interne φ.

Paramètres physiques	Type de sol		
	Yh	C	φ
Influence sur le coefficient de stabilité	-	+	+++

Tableau 7 : Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres physiques du sol sur le coefficient de stabilité

La forte influence de l'angle de frottement interne du sol considéré justifie le caractère indicatif des résultats de largeur de sécurité en crête, leur prise en compte comme ordre de grandeur, et au final le choix définitif effectué par le géologue qui intègre les données du terrain.

- Paramètres hydrogéologiques

La saturation en eau a été modélisée sous TALREN par l'ajout d'une nappe libre qui suit le relief. Les valeurs obtenues ont permis de juger de la très grande influence d'une éventuelle saturation en eau des terrains mais restent indicatives et, dans la plupart des cas, ne concordent pas avec les observations faites sur le terrain. En effet, une nappe libre pour laquelle la saturation en eau affecte toute la hauteur du versant, est rarement, voire jamais observée dans la réalité. Ce choix de modélisation peu réaliste nécessite donc d'autant plus une grande prudence dans l'exploitation des résultats. Les valeurs de largeurs de sécurité retenues sont de ce fait plus proches des valeurs de L obtenues en conditions naturelles.

Résultats :

Configurations types testées	Largeur de bande de sécurité en crête
Front de planèze mamutisé	L = 50 m
Grand versant	L = 70 m
Versant secondaire mamutisé	L = 10 à 50 m selon la pente et la hauteur du versant

Tableau 8 : Largeurs de bande de sécurité en crête à prendre en compte pour chaque configuration type lors de la cartographie de l'aléa mouvement de terrain

A partir des calculs effectués par TALREN pour un jeu de caractéristiques de sol donné et de considérations géométriques et hydrogéologiques, les valeurs de largeur en crête retenues sont celles présentées dans le tableau 8.

Ces valeurs sont une moyenne de base à ajuster au cas par cas pour la cartographie de l'aléa. La mise en évidence des limites de variation des différents paramètres implique que les données théoriques calculées puissent être prises en défaut au profit de la réalité terrain. Par ailleurs, rappelons que les restrictions du logiciel aux calculs dans un sol homogène impliquent une imprécision non négligeable des résultats. Il ne s'agit donc pas d'un catalogue de valeurs à appliquer dans tous les cas, mais d'une aide à l'appréciation des distances à prendre en compte lors de la cartographie.

Utilisation de PIERRE en appui à l'approche globale

Dans ce cas, l'outil de simulation est utilisé pour aider à définir l'extension des zones affectées en pied de versant ou au sein des versants, par des chutes de blocs.

Un utilitaire PIERROTEAU couplant l'outil de cartographie (MapInfo) et PIERRE a été mis au point. Sur la

carte en cours de réalisation, un profil est tracé. Pour ce profil, PIERRE est lancé pour 100 blocs de taille fixe (0,8 mètre cube) avec des paramètres physiques du profil identiques à un site de calage en France métropolitaine et des blocs mobilisés à partir du premier point en amont du profil. Les points d'arrêt des blocs sont ensuite directement affichés sur la carte. A noter que le jeu de paramètres utilisés permet de reproduire des chutes de blocs dans la région de Tahiti.

Sur une zone donnée, en reliant les points d'arrêt les plus avals des différents profils, il est possible de tracer la limite avale de la zone d'aléa. Mais il s'agit bien d'une aide à la cartographie et si les phénomènes réels sont démentis ou que l'opérateur souhaite intégrer une marge de sécurité pour tenir compte des incertitudes, le zonage pourra être sensiblement différent.

Le protocole expérimental à l'origine du "jeu de données métropolitaines" est le suivant :

Un lâcher de 100 blocs a été effectué dans une pente de 35° sur un dénivelé de 160 mètres. La hauteur de lâcher des blocs était de + 5 mètres par rapport aux terrains naturels. Les blocs étaient de forme parallélépipédique aux arêtes arrondies avec un volume moyen de 0,8 mètre cube pour une masse moyenne de 2,23 tonnes (min. 0,5 mètre cube 1,44 tonne max. 1,26 mètre cube 3,53 tonnes).

3.4.3.5 - *Définition des niveaux d'aléa*

Quelle que soit l'approche mise en œuvre, des niveaux d'aléa sont définis. Quatre niveaux sont considérés : faible (à modéré), moyen, fort et majeur. Dans la pratique, les niveaux d'aléas forts et majeurs étant confondus, seulement trois niveaux d'aléas sont identifiés : faible, moyen à fort, et fort.

La signification des niveaux d'aléas est exprimée pour différents critères :

- la "portée" ou demande de prévention potentielle (DPP) ;
- la gravité ;
- 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 m³	glissement faible
G2	5 - 200 m³ (env. 100 m³)	glissement modéré
G3	200 - 3 000 m³ (env. 1 000 m³)	glissement moyen
G4	3 000 - 50 000 m³ (env. 20 000 m³)	glissement important
G5	sup. à 50 000 m³	glissement majeur

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

Index	Description	Qualification
E1	0 - 10 m³ (éléments inf. à 1 m³)	chute de blocs
E2	10 - 200 m³ (éléments inf. à 5 m³)	éboulement
E3	200 - 5 000 m³ (éléments inf. à 10 m³)	éboulement en masse
E4	5 000 à 500 000 m³	éboulement en grande masse
E5	sup. à 500 000 m³	éboulement catastrophique

Pour l'ensemble des trois critères considérés, la signification des niveaux d'aléas 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

3.4.3.6 - *Cartographie de l'aléa à Punaauia*

La morphologie de la commune de Punaauia est relativement homogène. D'ouest en est (de la côte vers l'intérieur des terres), on distingue :

- une plaine côtière d'une largeur inférieure à un kilomètre ;
- des fronts de planèze de plus en plus ou moins haut du Nord au Sud, passant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres ;
- des sommets de planèze entaillés par des versants secondaires et séparés par des vallées profondes telles que la Matatia, la Punaruu et la Maruapo.

Plaine côtière

L'aléa y est faible à nul. La zone considérée intégre la zone centrale de deux vallées larges à fond plat à savoir celle de Matatia et celle de la Punaruu.

Fronts de planèze

- entre le nord de la commune et la vallée de Matatia, le front de planèze est inexistant (passage progressif jusqu'à la plaine) ou haut de quelques dizaines de mètres. Il est généralement rocheux avec un cône d'éboulis inexistant ou réduit. L'aléa est moyen sauf lorsqu'existe ponctuellement des accumulations colluviales en pied de pente ;
- entre Matatia et la Punaruu, les pentes sont relativement plus fortes et la hauteur des fronts est de l'ordre de 100 mètres. L'aléa est globalement plus élevé avec des zones d'aléa moyen alternant avec des plages indiquées en aléa élevé. Ce dernier niveau concerne des zones d'accumulation colluviales en pied de versant ainsi que des talus rocheux fracturés sub-verticaux qui sont potentiellement le siège de chute de blocs ou d'écroulements ;
- au sud de la Punaruu, les fronts sont plus hauts (150 mètres) et plus escarpés. Des barres rocheuses sont visibles dans la pente et la présence d'un cône d'éboulis est quasi systématique. Des évènements récents sont référencés. L'aléa est globalement élevé.

Sommets de planèze

Côté plaine l'altération est faible et les affleurements sont rocheux. L'aléa est faible à modéré. Au sein des vallées où la pente est plus forte, l'aléa est plus élevé (moyen).

L'altération est de plus en plus marquée vers l'ouest avec l'augmentation de l'altitude et de la pluviométrie. Il y a ainsi un passage progressif vers du *mamu* I vers du *mamu* IV. L'aléa est moyen au sein des vallées secondaires parcourant les planèzes.

Ponctuellement, on observe en quelques points de la commune au sein des planèzes, des accumulations de colluvions. C'est le cas par exemple sur les hauteurs de Punavai. Même si leur délimitation complète est problématique à partir de rares points d'observation, elles ont été indiquées sur la carte d'aléa en niveau élevé car les matériaux en cause sont par définition potentiellement instables (glissement).

Vallées principales et grands versants

Les zones concernées sont les versants très escarpés des principales vallées qui entaillent profondément les planèzes à savoir Matatia, la Punaruu et la Maruapo. L'aléa mouvement de terrain est globalement élevé. Les phénomènes attendus sont des glissements ou éboulements affectant les partie sommitales et se propageant jusqu'en pied sous forme de coulées de débris, des glissements de coulées sur fortes pentes, des éboulements et chutes de blocs au sein des versants et enfin une remobilisation des masses déjà destabilisées au seins des cônes d'éboulis.

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 de brèches dites volcano-sédimentaires.

Au regard de la carte d'aléa, les zones habitées concernées par un aléa fort de mouvement de terrain sont peu nombreuses.

3.4.4 - *Aléa tsunami*

3.4.4.1 - *Cadre général - travaux futurs*

C'est le CEA qui réalise dans le cadre du programme ARAI, la plupart des travaux concernant l'aléa tsunami. Le CEA détient l'expérience et les outils nécessaires à l'analyse du phénomène tsunami. De plus il assure, via le LDG (laboratoire de géophysique) la surveillance de ces aléas en Polynésie.

A terme, la cartographie de l'aléa tsunami va s'appuyer sur l'étude de différents sites typiques des contextes morphologiques polynésiens. Ainsi des études détaillées, comprenant une modélisation fine du phénomène et l'estimation d'une surcote à terre, vont être entreprises dans chaque archipel. Les résultats de ces études seront ensuite extrapolés sur toutes les côtes polynésiennes afin d'aboutir à une cartographie globale de l'aléa.

Dans l'attente de ces études, les zonages sont réalisés sur la base des données historiques disponibles (F. SCHINDELE, H. HERBERT, D. REYMOND (2005) et sur la nature des différentes configurations côtières.

En Polynésie, les pentes des côtes plongeant dans l'océan sont importantes 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.

- les îles hautes avec barrières de récif (îles du Vent, îles Sous-le-Vent, Gambier) ;
- les îles hautes sans barrière de récif (îles Marquises, Tahiti Iti) ;
- les atolls (Tuamotu).

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

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 mètre. 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.

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.

Trois cas de figures semblent se détacher suivant l'origine du tsunami :

- la côte ouest de l'Amérique du Sud ;
- la côte nord du Pacifique ;
- l'arc insulaire des Tonga Kermadec.

3.4.4.2 - *Cartographie de l'aléa à Punaauia*

Punaauia fait partie des communes de Polynésie bénéficiant d'une protection relative offerte par le récif et le lagon. Il existe cependant des passes ainsi qu'une baie ouverte où cette protection est moindre. Deux tsunamis destructeurs ont affecté la commune de Punaauia au cours du siècle dernier.

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 mètre de haut sur le littoral de la commune.

Un autre séisme important a eu lieu en 1946, mais il ne reste pas de descriptions précises du tsunami engendré. Cependant il semble que la surcote associée ait été significativement plus importante que celle de 1960.

Page LEXPOL 44 sur 63

Le phénomène d'inondation par un tsunami est très proche de la surcote marine liée au cyclone. Ainsi la carte d'aléa met en évidence les même zones vulnérables que celles décrites dans le cadre de l'aléa houle cyclonique et marée de tempête.

3.5 - *Plan de zonage réglementaire*

Les enjeux ponctuels ainsi que les zones du PGA sont regroupés en quelques zones d'enjeux simplifiées (zone industrielle d'activité et d'équipements, zones urbaines, etc.).

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 (aléa fort, moyen à fort et faible à moyen)

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 5).

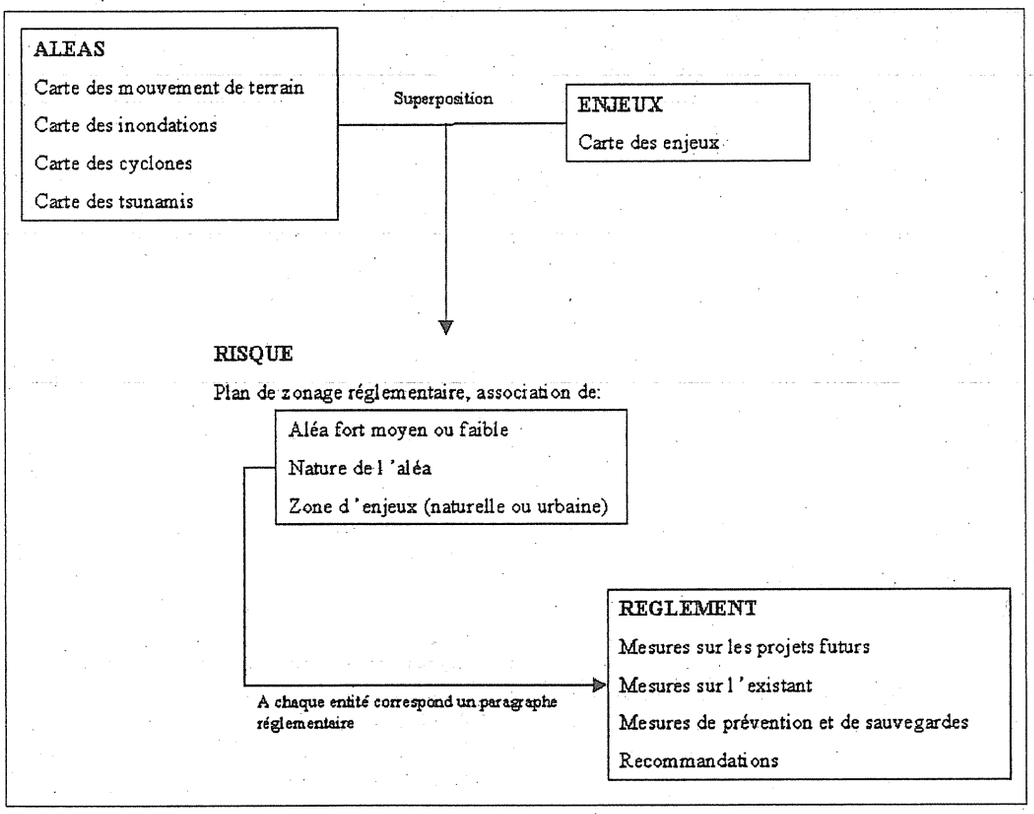


Figure 5 : schéma de principe de réalisation d'un PPR

A chaque zone 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.

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 propre à la commune.

4 - *Bibliographie*

DES GARETS.E. (2004) - Bilan des connaissances sur les surcotes marines en Polynésie. BRGM/RP-XXXXX-FR, 50 p. ;

PEDREROS.R. (2004) - Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie - 1 - Méthodologie. BRGM/RP-52000-FR juillet 2004

PEDREROS.R. (2005) - Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie - 2 - Mise en place de la modélisation. Rapport provisoire.

PEDREROS.R. (2006) - Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie - 3 - Cahier des simulations. Rapport provisoire.

STOLLSTEINER (2003) - Assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française - Compte rendu de mission.

F. SCHINDELE, H. HERBERT, D. REYMOND (2005) - Aléa sismique et aléa tsunami en Polynésie française - Lot 3.4 - Catalogue des tsunamis observés en Polynésie française. CEA/DIF/DASE/LDG/708/2005/DO.

Remarque : Cette bibliographie liste les rapports internes aux BRGM ayant servi à l'élaboration de la méthodologie des zonages du PPR. La bibliographie propre à ces rapports (dont fait référence le texte) n'a pas été redétaillée.

5 - *Annexes*

Annexe 1 : Calculs hydrauliques en régime permanent

CALCUL DES DEBITS EN REGIME PERMANENT UNIFORME

Ce calcul doit permettre d'évaluer le débit de débordement du lit mineur d'un cours d'eau dans le cas où il n'y a pas de modification du régime d'écoulement, quel que soit celui-ci, c'est-à-dire notamment, mais pas obligatoirement, en l'absence d'ouvrage.

On utilise, pour estimer ce débit au milieu d'un tronçon, la formule de Manning Strickler.

Son utilisation suppose :

- que le tronçon est suffisamment droit pour l'assimiler à un tronçon rectiligne et suffisamment long pour qu'au droit de la section de calcul il n'y ait pas d'influence des extrémités ;
- que la section courante de ce tronçon est de forme quasiment constante ;
- qu'il n'y a pas de variation significative de la pente de la ligne d'eau. Cette pente, pouvant être considérée comme constante sur le tronçon lors des hautes eaux, est, si les hypothèses précédentes sont vérifiées, proche voire égale à la pente moyenne du fond du thalweg.

Formule de Manning Strickler : $Q = K.S.Rh^{2/3}.\sqrt{i}$

avec : Rh : rayon hydraulique = S/P
P : périmètre mouillé (m)
S : surface mouillée (m^2)
i : pente de la ligne d'eau (en mm)

Le coefficient de Strickler est un coefficient qui traduit la rugosité (frottements) du fond et des berges du lit.

REGIME PERMANENT VARIE : SECTIONS SINGULIERES

Au droit de sections singulières (pont, rétrécissement ou élargissement brusque, seuil, vannes, rupture de pente...) il se produit très souvent un changement du régime de l'écoulement (courbe de remous).

Régime de l'écoulement :
Il se caractérise par le nombre de FROUDE (Fr). Il correspond au rapport des forces d'inertie sur les forces de gravité.

$$Fr = V/\sqrt{gh}$$

avec :

V : vitesse de l'écoulement (m/ s), h : hauteur d'eau (m), g : 9,81

Trois régimes : - Fr < 1, régime fluvial
- Fr = 1, régime critique
- Fr > 1, régime torrentiel

Le régime d'écoulement va dépendre notamment de la pente de la ligne d'eau et de la hauteur d'eau de l'écoulement.

Au droit de ces sections singulières, deux cas peuvent généralement se produire en présence d'ouvrages de longueur limitée.

Cas 1 : l'ouvrage ne modifie pas la largeur d'écoulement. L'impact de l'ouvrage ne réhaussera généralement pas de façon significative la ligne d'eau. Si la pente de l'ouvrage est suffisante, la rugosité généralement plus faible au droit de l'ouvrage permettra d'éviter une surélévation de la ligne d'eau. Le débit de débordement du lit mineur pourra être défini en amont ou en aval de l'ouvrage au moyen de l'utilisation de la formule de Manning Strickler dans une section droite appartenant à un tronçon rectiligne (cf. page précédente).

Cas 2 : l'ouvrage (pont, buse...) ou la formation d'embâcles implique une réduction importante de section d'écoulement. Cet ouvrage va alors induire une modification du régime d'écoulement.

Régime torrentiel

Dans le cas des rivières de Tahiti ou plus généralement de Polynésie, les cours d'eau sont relativement pentus au droit de leur débouché dans la plaine, leurs écoulements en crues s'effectuent ainsi la plupart du temps en régime torrentiel.

L'écoulement va ainsi passer du régime torrentiel au régime fluvial, avec formation d'un ressaut, en amont de l'ouvrage puis repasser en régime torrentiel en aval de l'ouvrage. Au droit d'une des sections de l'ouvrage, l'écoulement va donc s'effectuer en régime critique.

Régime fluvial

Dans le cas de certaines rivières de Tahiti ou de certains cours d'eau des îles de Polynésie française, la plaine alluviale est suffisamment conséquente pour que la pente terminale (avant l'exutoire) soit faible pour que le régime final de ces cours d'eau s'effectue en régime fluvial.

La présence d'un ouvrage de dimension restreinte peut générer une modification locale des conditions d'écoulement et générer ponctuellement un écoulement en régime critique. Les débordements du lit mineur peuvent alors se produire, soit au niveau du lit mineur soit au niveau de l'ouvrage si la réduction de section est suffisamment importante. Il convient alors de calculer quelle est la condition la plus restrictive.

Le calcul en section courante s'effectue en utilisant la formule de Manning Strickler au droit d'une section en amont à l'ouvrage en respectant les conditions d'application définies dans les pages précédentes.

Le calcul du débit critique au droit de l'ouvrage est défini ci-après.

Page LEXPOL 46 sur 63

Calcul du débit critique maximal au droit d'un ouvrage

Il est possible dans le contexte du passage en régime critique, dans les deux cas précédents, de définir par un calcul simple le débit maximal pouvant transiter par l'ouvrage. Ce calcul consiste à considérer par approximation que le débit réel sera inférieur, ou au mieux égal, au débit "critique" pouvant transiter dans la section de l'ouvrage. Ce débit "critique" peut être calculé en considérant l'équation :

$$\text{Débit critique : } Q_c = \sqrt{g S^3 / b}$$

Avec :

S : section d'ecoulement de l'ouvrage (m^2) ;
b : largeur du plan d'eau (m) ;
g : 9,81.

Le débit de débordement du lit mineur est dicté par l'ouvrage (il se produit en amont) pour un débit inférieur, ou au mieux égal, au débit Qc.

Cas particulier d'un seuil :

Dans le cas où l'ouvrage existant est un seuil, la relation de transformation hauteur débit est mieux connue. Cette relation va dépendre des caractéristiques de ce seuil (forme, hauteur, dénivelée,...) mais s'il s'agit d'un seuil standard, une première estimation peut être réalisée en considérant que la hauteur d'eau en amont du seuil sera régie par la relation hauteur débit :

$$Q = 1{,}5.b.H^{1,5}$$

Avec :

b : largeur du seuil (m) ;
H : charge amont sur le seuil (m).

Annexe 2 : Formulaire

DETERMINATION DU TEMPS DE CONCENTRATION Tc

Définition : le temps de concentration Tc est défini comme le temps mis par l'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire (en durée d'écoulement) pour rejoindre ce dernier.

Le temps de concentration Tc, peut être estimé par différentes formules :

Formule de KIRPICH

$$Tc = 0{,}0195.(L/ i^{0,5})\ 0{,}^{77}$$

avec

Tc : temps de concentration du bassin versant (mn) ;
L : longueur du thalweg principal (m) ;
i : pente moyenne du thalweg principal (m/m).

Cette formule a été développée à partir des données du SCS pour sept bassins ruraux dans le Tennessee (États-Unis) avec un lit bien marqué et des pentes fortes (3 à 10 %).

Formule de GIANDOTTI

$$Tc = 60.\ [0{,}4\ .\ A^{0,5} + 0{,}0015\ .\ L] / [0{,}8\ .\ (i\ .\ L)^{0.5}]$$

avec

Tc : temps de concentration du bassin versant (mn) ;
L : longueur du thalweg principal (m) ;
i : pente moyenne du thalweg principal (m/m) ;
A : superficie du bassin versant (ha).

Formule de VENTURA améliorée par PASSINI

$$Tc = 0{,}14.\ [(A\ .\ L)^{1/3}] / [(i)^{0,5}]$$

avec

Tc : temps de concentration du bassin versant (mn) ;
L : longueur du thalweg principal (m) ;
i : pente moyenne du thalweg principal (m/m) ;
A : superficie du bassin versant (ha).

METHODE SUPERFICIELLE (OU DE CAQUOT)

Evolution de la formule rationnelle, modèle déterministe global qui ne s'applique qu'aux surfaces urbaines drainées par des réseaux.

Permet le calcul du débit en tout point du réseau.

Limites d'application :
- superficie totale inférieure ou égale à 200 hectares ;
- pente comprise entre 0,002 et 0,05 m/m ;
- rapport (pente maximale/pente minimale) inférieure ou égale à 20 ;
- coefficient de ruissellement compris entre 0,2 et 1.

SI HORS LIMITES : NECESSITE D'APPLIQUER UNE AUTRE METHODE : Modèle de Caquot

Formules utilisées

Le débit maximum se calcule par l'équation

$$Q(F) = K^{1/u}.I^{v/u}.C^{1/u}.A^{w/u}$$

avec :

$K = (0{,}5^{b(F)}\ .a(F)) / 6{,}6$
$u = 1 + 0{,}287.b(F)$
$v = 0{,}41.b(F)$
$w = 0{,}95 + 0{,}507.b(F)$

avec a(F) et b(F) de la formule des pluies $i(t,F) = a(F).t^{b(F)}$

et le temps de concentration :

I : pente moyenne hydraulique du réseau sur le parcours de l'eau (m/m) ;
A : surface représentant la somme des surfaces élémentaires d'influence au point de calcul (ha) ;
$Q_p(F)$: débit de fréquence de dépassement F au point de calcul (m^3/s) ;
L : longueur en hectomètre du parcours de l'eau dans le réseau (hm).

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES

REGLEMENT

1re partie
Portée du PPR - Dispositions générales

1 - *Champ d'application*

Le présent règlement prescrit par l'arrêté n° 642 au conseil des ministres en date du 19 août 2005, s'applique au territoire de la commune de Punaauia.

Conformément aux articles D. 181-1 et suivants du code de l'aménagement et à la délibération n° 2001-10 APF du 1er février 2001 (Annexe 1), le plan de prévention des risques définit :

- les possibilités et les conditions dans lesquelles des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations nouveaux doivent être réalisés. Les exploitations concernées peuvent être de tous types et notamment agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles ;
- les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation, l'exploitation des constructions, ouvrages, installations ou espaces cultivés existants qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs ;
- les mesures de prévention de protection qui incombent aux particuliers et aux collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences.

2 - *Risques naturels pris en compte*

Les risques naturels pris en compte et visés dans l'arrêté n° 642 sont ceux induits par les phénomènes naturels suivants :

- les inondations ;
- les mouvements de terrain ;
- les cyclones et leurs effets (vents, surcotes marines, houles) ;
- les tsunamis.

3 - *Division du territoire en zone de risques*

Comme l'ensemble de la Polynésie, le territoire de la commune de Punaauia est concerné par le risque cyclonique. La prise en compte des vents cycloniques est géographiquement indifférenciée sur le territoire et ne fait pas l'objet d'un zonage spécifique. Par contre, les autres effets associés (surcotes marines, inondations et houles) ne s'appliquent pas de façon indifférenciée à l'ensemble du territoire.

Le territoire comprend des zones rouges, des zones bleues, des zones vertes et des zones non colorées.

Les règles de construction paracycloniques s'appliquent à l'ensemble du territoire de la Polynésie.

Les zones rouges sont les zones où les niveaux d'aléas sont les plus forts. Dans ces zones, il convient de prendre les mesures permettant de ne pas augmenter la population et les biens exposés. Le principe est donc d'y limiter au maximum la constructibilité et de prendre les mesures permettant d'améliorer la sécurité des personnes déjà présentes.

Les zones rouges sont composées des zones soumises à un aléa fort (surcotes marines, mouvement de terrain et inondation).

Les zones bleues sont les zones où les niveaux d'aléa sont considérés comme moyens. Dans ces zones les aléas naturels ne menacent pas directement les vies humaines en raison de leur niveau ou de leur caractère prévisible. Il convient cependant de prendre des mesures particulières non définies par les règlements généraux afin de limiter le risque pour les biens et bien entendu de préserver la sécurité des personnes présentes.

Les zones bleues sont composées des zones soumises à un aléa moyen (mouvements de terrain, inondations et surcotes marines).

Les zones vertes sont les zones où les niveaux d'aléa sont considérés comme faible.

Les zones non colorées ne font pas l'objet de règles particulières en dehors des dispositions indiquées en partie 2 du présent règlement.

Les zones non cartographiées du PPR sont à priori en "zone naturelle" au sens du PPR. Il s'agit en général de zones à relief escarpé où l'aléa mouvement de terrain est élevé. Le règlement applicable est celui du chapitre 1er de la troisième partie du présent règlement.

4 - *Catégories des bâtiments et équipement vis-à-vis des risques naturels*

Pour l'application du présent règlement, 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 dommageables d'un phénomène 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(1) de catégorie 4 et 5 (< 50 personnes) ; - Bâtiments d'habitation collective (< ou = 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (< 50 personnes) ; - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (< 300 personnes) ; - Bâtiment abritant les parcs de stationnement ouverts au public.	
C	- ERP de catégorie 1, 2 et 3 (bâtiments dont la hauteur n'excède pas le niveau R+2) ; - Bâtiments d'habitation collective (> 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (> 50 personnes) - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (> 50 personnes) - Etablissements sanitaires et sociaux sauf ceux qui dispensent des soins de courtes durées (classe D) - Bâtiments des centres de production collective d'énergie.	
D	- 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 - Bâtiment d'intérêt patrimonial majeur	- Bâtiments contribuant au maintien des communications

(1) ERP : Etablissement recevant du public.

La catégorie dite à "risque spécial" (RS) comprend les bâtiments, installations et équipements (barrages, usine chimique, etc.) dont les conséquences dommageables en cas de phénomène naturel, ne peuvent être circonscrites à leur 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 celles qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés ci-dessus) ou de classe 2 (pour celles 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).

5 - *Effets du PPR*

5.1 - *Prescriptions et interdictions relatives à l'utilisation et l'occupation du sol*

Le PPR réglemente les utilisations et l'occupation du sol. Il édicte notamment les prescriptions ou interdictions s'appliquant aux constructions, aux ouvrages, aux aménagements ainsi qu'aux exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles. Le PPR approuvé vaut servitude d'utilité publique et est annexé au document d'urbanisme de la commune.

En la matière, le respect des dispositions du présent PPR ne saurait dispenser les aménageurs et constructeurs du respect d'autres dispositions et règlements (règles d'urbanisme, règles de construction...).

Ces prescriptions ou interdictions peuvent concerner les conditions d'implantation, de réalisation et d'utilisation des ouvrages, constructions, ou tout type de projets nouveaux.

5.2 - *Mesures relatives aux biens existants et à leur utilisation*

Le PPR édicte des prescriptions ou interdictions concernant des ouvrages, constructions, ... existants à la date d'approbation du PPR. Il précise alors le délai pour leur mise en application. Ce délai est au maximum de cinq ans et peut être réduit en cas d'urgence.

Le PPR indique lesquelles de ces prescriptions s'appliquent aux propriétaires, exploitants ou utilisateurs des ouvrages, constructions, exploitations ou aménagements concernés.

5.3 - *Mesures de prévention et de protection*

Le PPR définit des mesures et prescriptions à prendre en compte par les collectivités, les particuliers ou leurs groupements, dans le cadre de leurs compétences et notamment :

- des mesures à prendre par les communes dans le cadre des compétences en matière de police (élaboration de plans communaux de secours ou d'évacuation) ;
- des règles relatives aux réseaux et infrastructures publics desservant les zones exposées et visant à faciliter les éventuelles mesures d'évacuation et l'intervention des secours.

5.4 - *Recommandations*

Le PPR formule également des recommandations de tout ordre dans l'objectif de la prévention des risques naturels.

5.5 - *Effets sur l'assurance des biens et activités*

Il n'existe pas d'assurances obligatoires vis-à-vis des risques naturels en Polynésie, ni d'arrêté de catastrophes naturelles.

Cependant, les assurances proposent toutes un intercalaire "TOC" facultatif couvrant les dégâts dus aux tempêtes, ouragans et cyclones.

6 - *Utilisation du règlement du PPR*

Le présent règlement comprend des dispositions communes et des dispositions spécifiques aux différentes zones.

Les dispositions communes s'appliquent systématiquement.

Les dispositions relatives aux différentes zones ne s'appliquent que sur les zones concernées.

2e partie
Dispositions communes applicables à l'ensemble du territoire

Ces dispositions concernent l'ensemble des zones (rouges, bleues, vertes, non colorées et non cartographiées).

En outre, le respect des dispositions du présent PPR ne saurait dispenser les aménageurs et constructeurs du respect d'autres dispositions et règlements (règles d'urbanisme, règles de construction, etc.).

1 - *Prévention des effets des vents cycloniques sur les constructions*

Il est rappelé que tout projet doit être conçu dans le respect de la réglementation paracyclonique en vigueur.

En application des arrêtés n° 1352 CG et n° 1353 CG du 21 septembre 1983 (Annexe 2), les constructions doivent être aptes à résister à des vents atteignants la vitesse de 204 kilomètres/heure.

A ce titre, les constructions doivent respecter les règles techniques définies en métropole par le "document technique unifié" dit règles NV 65 , révisées 1967, 1970, 1974, 1975 et annexes, en prenant en compte les pressions extrêmes déterminées pour la région III, site exposé.

2 - *Entretien des cours d'eau et de leurs abords*

Il est rappelé aux propriétaires, gestionnaires et riverains des ravines et rivières leurs obligations en matière de préservation et d'entretien des cours d'eau et de leurs abords, conformément aux dispositions du code de l'aménagement (notamment les articles D. 311-1, D. 311-8, D. 312-2, D. 333-1 et D. 333-2) (Annexe 3) :

- interdiction de modifier le régime des eaux ou de nuire à l'écoulement naturel ;
- obligation de curage régulier pour maintenir les conditions d'écoulement naturel ;
- obligation d'entretien de la rive par élagage, recépage de la végétation.

3 - *Entretien des abords du réseau routier*

Avant chaque période cyclonique (1er novembre au 30 avril) et dans le respect de leurs prérogatives respectives, les gestionnaires et riverains des réseaux routiers exposés feront procéder à l'élagage des végétaux pouvant constituer un danger quelconque. Pour les mêmes raisons, l'abattage des arbres sera réalisé après avis favorable du service du développement rural.

3e partie
Règlement par zone de risque

Les mesures réglementaires qui suivent sont présentées par zone de risque (le risque correspond à la superposition d'un enjeu et d'un aléa). Dans chaque zone, les mesures sont présentées en 3 paragraphes :

- les mesures sur les projets futurs ;
- les mesures sur l'existant ;
- les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

La commune de Punaauia compte plusieurs zones d'enjeux. L'ensemble de la zone cartographiée de la commune a été considéré comme potentiellement urbanisable, et seuls les enjeux ponctuels ont été reportés. Il convient de se reporter au PGA pour distinguer plus précisément les différentes zones d'enjeux.

Chaque aléa est défini par trois niveaux : faible, moyen et fort (les zones les plus à l'intérieur de l'île n'ont pas fait l'objet d'une cartographie). Ainsi la superposition des 2 zones d'enjeux et des 3 niveaux d'aléas créent des zones de risques naturels sur la commune.

1 - *Zones d'aléa fort*

1.1 - *Mesures sur les projets futurs*

1.1.1 - *Aléa mouvement de terrain*

Sauf adaptation mineure des limites (en pied et tête de versant) des zones d'aléa fort, sur la base d'une étude telle que définit au paragraphe "2.1.1.3. Constructions et aménagements à enjeux forts et/ou talus supérieur à 6 mètres".

Y sont notamment interdites au titre des règles d'urbanisme :

- toute construction nouvelle de plus de 20 mètres carrés liée à quelque activité que ce soit, isolée ou groupée, à usage d'habitation et d'annexes ainsi que celles à usage commercial, artisanal, industriel ou agricole.

Y sont également interdits :

- la reconstruction sur place après une destruction due à un mouvement de terrain ;
- le déboisement et le défrichement des sols ;
- toutes infrastructures nouvelles et aménagements nouveaux autres que ceux admis ci-après.

Y sont autorisés :

- les extensions limitées à 20 mètres carrés qui seraient nécessaires à des mises aux normes d'habitabilité (salle d'eau...) ou de sécurité (escalier) ;
- la reconstruction ou la réparation des bâtiments qui ont souffert de dommages sans lien avec un risque naturel ;
- les installations ou aménagements jugés d'utilité publique. Dans ce cas, il devra être fourni une note expliquant les raisons pour lesquelles une implantation en dehors de la zone rouge n'est pas possible ;
- les captages d'eau ;
- les plantations notamment les reboisements ;
- tous travaux destinés à réduire les effets dommageables des mouvements de terrain ou d'autres phénomènes naturels ;
- tous les travaux d'entretien, de réhabilitation et de gestion d'infrastructures publiques (routes, sentiers, ouvrages et aménagements hydrauliques et de protection contre les risques...) des biens et activités diverses implantés antérieurement à la date d'approbation du présent règlement.

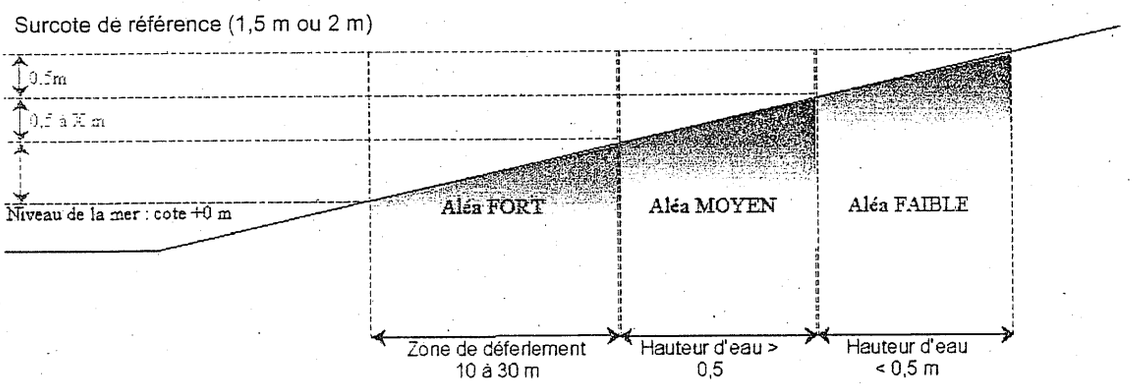
Les travaux de construction et d'aménagement nouveaux qui sont autorisés (énumération ci-avant) doivent respecter les prescriptions suivantes :

- une étude technique devra être réalisée par un bureau d'étude compétent afin de définir les mesures de construction adaptées au projet et au site. Son contenu est précisé au chapitre 2.1.1.3. (3e partie) suivant. Dans ce cas, les mesures de protection et de mise en œuvre préconisées constituent les règles de construction.

1.1.2 - *Aléa surcote marine et inondation*

Pour mémoire, il est rappelé que :

- la zone d'aléa fort liée aux surcotes marines correspond :
  - au déferlement des vagues sur 10 mètres d'extension (au droit du récif) à 20 mètres d'extension (au droit d'une passe ou en absence de lagon) à 30 mètres d'extension à partir de la première ligne de végétation (rivages des motu situés côté océan à partir de la limite de végétation).



- la zone d'aléa fort liée aux cours d'eau se caractérise par des vitesses d'écoulement élevé (supérieure à 0,5 mètre/seconde) et/ou une hauteur d'eau supérieure à 1 mètre, au droit ou aux abords du lit mineur des cours d'eau.

Sont interdits :

- tous ouvrages ou constructions, toutes occupations et utilisations du sol, tous travaux, aménagements ou instal-

lation de quelque nature qu'ils soient, y compris les déblais et remblais de tout volume et autres dépôts de matériaux ou matériels non ou difficilement déplaçables, le stockage de produits polluants, dangereux, flottants ou vulnérables ;
- la reconstruction après destruction due à un phénomène naturel.

Sont autorisés avec prescriptions (sous réserve de ne pas aggraver les risques ou leurs effets, de ne pas en provoquer de nouveaux et de ne pas augmenter significativement le nombre de personnes exposées) :

- les extensions, par surélévation des bâtiments, limitées à 10 mètres carrés de surface construite au sol, à condition de ne pas modifier l'écoulement principal des crues ;
- les changements de destination des bâtiments ou des locaux ;
- la réparation de bâtiments sinistrés sous réserve de la réduction de la vulnérabilité ;
- les clôtures ajourées (transparence de 90 %) sans élément maçonné.

Sont également autorisés sous réserve qu'ils ne fassent pas l'objet d'une occupation humaine permanente et qu'ils n'aggravent pas les risques ou leurs effets :

- les annexes des bâtiments d'habitation (fare pote'e, garages, bassins, piscines...) ;
- les constructions et installations directement liées à l'exploitation agricole, forestière, piscicole ou touristique (sous réserve de l'existence d'un plan communal de sauvegarde (PCS) en cas d'alerte cyclonique ou à défaut, de l'existence d'un bâtiment hors zone à risque ayant la capacité d'accueillir la totalité des personnes logeant dans les bungalows qui devront être informées des consignes à suivre en cas d'alerte) ;
- les bâtiments et installations directement liés à l'exploitation des carrières à condition que l'étude d'impact préalable intègre la gestion des risques naturels ;
- les aménagements d'accès à des bâtiments existants sous réserve qu'ils n'aggravent pas les risques ;
- l'aménagement de terrains à vocation sportive ou de loisirs, sans hébergement, et sans exhaussement de sol ;
- les ouvrages de protection des berges ou du rivage, selon des travaux définis par des organismes compétents, afin notamment de protéger des zones déjà construites ou aménagée, à condition de ne pas aggraver le risque ailleurs ;
- les équipements et infrastructures jugés d'utilité publique, exceptées les aires de stationnement, situés hors d'eau pour une période de retour centennale ou calculés et implantés afin de résister aux effets des eaux (risque d'entraînement, de dégradations diverses) ;
- les réseaux techniques (eau, gaz, électricité, télécommunication...) et leurs équipements à condition d'être mis hors d'eau ou étanchéifiés et protégés contre les affouillements ;
- les réseaux d'assainissement étanches, équipés de clapets anti-retour et protégés contre les affouillements.

1.2 - *Mesures sur l'existant*

1.2.1 - *Aléa mouvement de terrain*

Un diagnostic relatif à la stabilité des terrains et à la définition, si nécessaire, des mesures visant à réduire le risque est :

- obligatoire pour tous les bâtiments de la catégorie B à risque normal abritant durablement des personnes, dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du présent règlement ;
- obligatoire pour les bâtiments à risque normal de catégorie C (enjeux socio-économiques forts), à savoir principalement des bâtiments dont la hauteur n'excède pas le niveau R + 2, à usage collectif ou à usage de bureaux, les bâtiments recevant simultanément plus de 50 personnes, les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle ou de production d'énergie collective, les bâtiments des établissements sanitaires et sociaux. Le diagnostic est à réaliser dans les 5 ans à compter de l'approbation du présent règlement. Il devra être porté à la connaissance de l'ensemble des personnes fréquentant les lieux, par tous moyens appropriés ;
- obligatoire pour les bâtiments à risque spécial et à risque normal de catégorie D dont la pérennité est primordiale pour assurer la gestion de la crise, au niveau de l'organisation, des transmissions, de l'acheminement et de la mise en œuvre opérationnelle des secours. Le diagnostic est à réaliser dans les 3 ans à compter de l'approbation du présent règlement. S'il confirme l'importance du risque, les travaux préconisés sont à réaliser dans un délai de 2 ans à l'issue du diagnostic.

Les voisins de parcelles limitrophes concernées par un diagnostic doivent permettre l'accès à leur propriété afin de permettre ce diagnostic.

Le coût du diagnostic est à la charge des propriétaires concernés.

1.2.2 - *Aléas surcote marine et inondation*

Réduction du risque

Il est recommandé autant que possible de ne plus occuper les bâtiments d'habitation individuelle en zone d'aléa inondation ou surcote marine fort.

A moins de la mise en œuvre de travaux de protection et de mise en sécurité vis-à-vis des crues et des effets de la mer, de portée générale et ne visant pas spécifiquement un bâtiment ou une parcelle donné, les bâtiments existants doivent se prémunir contre une vitesse d'écoulement supérieure à 1 mètre/seconde et à une hauteur supérieure à 1 mètre, et ce dans un délai de 5 ans.

En conséquence :

- les ouvertures situées à une hauteur inférieure à 2 mètres par rapport au terrain naturel devront pouvoir être obstruées avec des panneaux amovibles, résistants et étanches ;
- l'installation, le renouvellement ou l'extension des équipements fixes sensibles à l'eau (climatisation, machineries électriques, etc.) devra être réalisé à 2 mètres au dessus du terrain naturel, ou placé dans un local sécurisé par rapport au phénomène décrit ;
- en zone côtière, les matériaux putrescibles ou sensibles à la corrosion marine seront traités avec des produits hydrofuges ou anti-corrosifs.

Par ailleurs :

- les cuves et citernes doivent être ancrées et lestées. Les citernes extérieures seront fixées au sol-support, lestées ou équipées de murets de protection calés à la cote de référence (crue centennale ou hauteur de la surcote marine majorée de 0,5 mètre) ;
- le camping et le caravaning sont interdits ;
- les bâtiments en ruine et inoccupés doivent être démolis.

Les dépôts de matériaux inutiles ou abandonnés doivent être évacués.

Diagnostics

Un diagnostic spécifique relatif aux effets de la mer ou aux effets des crues et à la définition, si nécessaire, des

mesures visant à réduire le risque est obligatoire pour les bâtiments à risque spécial et ceux à risque normal des catégories C et D.

Le diagnostic est à réaliser dans les 5 ans à compter de l'approbation du présent règlement. Il devra être porté à la connaissance de l'ensemble des personnes fréquentant les lieux, par tous moyens appropriés.

Si le risque apparaît élevé, les travaux préconisés sont à réaliser dans un délai de 2 ans à l'issue du diagnostic, pour les bâtiments à risque normal de la catégorie D et pour tous les bâtiments à risque spécial.

2 - *Zone d'aléa moyen à fort*

2.1 - *Mesures sur les projets futurs*

2.1.1 - *Aléa mouvement de terrain*

2.1.1.1 - *Préambule*

Dans les zones concernées, l'aléa est moyen à localement fort en l'état naturel des versants. Les interventions humaines de toutes natures sont susceptibles d'aggraver le niveau d'aléa, en particulier lorsque les instabilités potentielles du sol ainsi que les écoulements d'eau sont ignorés ou mal pris en compte.

2.1.1.2 - *Règles relatives aux constructions et aménagements à enjeux modérés et talus inférieur à 6 mètres*

Préambule

Les constructions visées sont celles abritant durablement des personnes, excepté celles qui sont définies dans la partie suivante "2.1.1.3" et sous réserve qu'il n'y ait aucune création de talus d'une hauteur supérieure à 6 mètres. Il s'agit donc notamment des bâtiments d'habitation individuelle.

Les constructions et aménagements sont autorisés en respectant les prescriptions définies ci-après. La diversité des situations concernant le milieu physique (contexte topographique, nature et structure des sols, contexte hydraulique, végétation...) combinée à celle relative aux projets de constructions (type d'ouvrage, hauteur, surface, mode de fondation, positionnement sur le terrain, disposition des accès, mode de gestion des eaux pluviales et usées...) conduirait, par combinaison, à un tel nombre de cas de figures qu'il serait irréaliste de vouloir définir des prescriptions pour chacune d'elles dans ce document d'orientation. Le présent règlement envisage des cas très généraux, aussi il est recommandé d'avoir recours à un spécialiste pour l'adaptation, à des cas spécifiques, des règles qui s'y attachent.

Règles applicables aux voiries

Les mesures qui suivent sont imposées sauf en cas de disposition contraire qui serait issue d'une étude technique spécifique, laissée à la libre approbation du maître d'ouvrage :

- la géométrie des talus amonts doit respecter, les dispositions proposées dans le cadre des "règles applicables aux terrassements" ci-après ;
- les eaux pluviales doivent être évacuées en évitant l'érosion et les infiltrations dans le sol.

Règles applicables aux terrassements

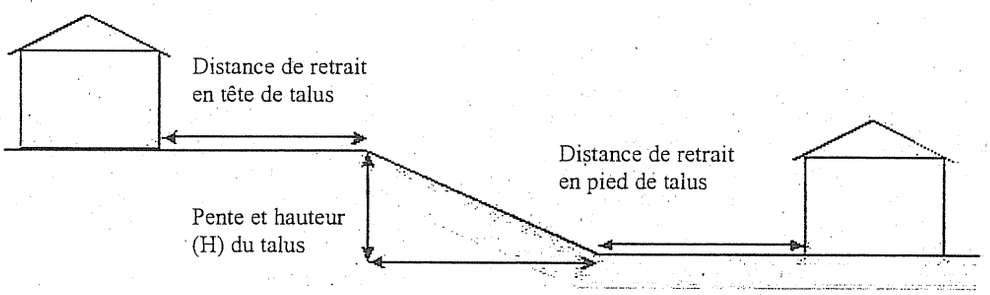
On distingue 4 types de sols en Polynésie (Cf : Annexe 4) :

- la "lave saine rocheuse ou brèchique" qui ne présente aucune altération ;
- le "mamu resistant" correspondant à un matériaux rocheux ou très peu altéré (le plus souvent de couleur grise lorsqu'il provient d'un niveau de lave massive ou vacuolaire, la roche mère est bien discernable, il ne se désagrège pas sous la main et contient des éléments peu ou pas altérés) ;
- le "mamu meuble", correspondant par opposition, à tous les matériaux ne répondant pas à la description des deux alinéas précédents.
- les formations remaniées, naturelles ou pas, que sont les brèches de pente, les éboulis, les colluvions, les remblais, etc.

L'identification du matériau doit être faite par un spécialiste, dans le cas contraire c'est la règle la plus contraignante qui s'applique (les règles suivantes sont énoncées de la moins contraignante (C1), à la plus contraignante (C4)).

C1 : Dans la lave saine rocheuse ou bréchique, la pente peut être supérieure à 50° (2,5⅃3), sous réserve que la hauteur du talus soit inférieure ou égale à 6 mètres. En cas de risque de chute de blocs généré par l'ouverture du talus, les mesures appropriées doivent être prises : purge, bridage, gunitage, clouage, pose de grillages, de filets...

Les distances de retrait à respecter pour les constructions sont de 2 mètres en tête et 2 mètres en pied de talus.



C2 : Dans le "mamu résistant", les talus peuvent atteindre une pente maximale de 50° (2,5⅃3) sous réserve que leur hauteur soit inférieure ou égale à 6 mètres. En cas de risque de chute de blocs ou d'éboulement généré par l'ouverture du talus, les mesures appropriées doivent être prises : purge, bridage, gunitage, clouage, pose de grillages, de filets...

Si le talus est stable, les distances de retrait à respecter pour les constructions sont de 1 x H en tête et en pied de talus.

C3 : Dans le "mamu meuble" doté d'une cohésion, sans influence d'une nappe d'eau, la pente des talus peut atteindre 45° (1⅃1) sous réserve que les talus ne fassent pas plus de 6 mètres de haut. Les distances de retrait à respecter pour les constructions sont de 1,5 x H en tête et en pied de talus.

C4 : Dans les formations remaniées, les terrassements ne doivent pas excéder 3 mètres de hauteur avec une pente maximale de 25°. Les distances de retrait à respecter pour les constructions sont de 1,5 x H en tête et en pied de talus.

Compte tenu des distances de retrait à respecter mentionnées ci-dessus et de manière générale, tout talus susceptible d'entraîner une contrainte dans une parcelle voisine est interdit sauf accord amiable.

Il est rappelé qu'une étude géotechnique spécifique peut conduire à définir des distances de retrait adaptées au contexte. Celles-ci peuvent s'avérer supérieures ou inférieures à celles indiquées en C1, C2, C3 et C4.

Par ailleurs, les mesures suivantes doivent être respectées :

- évacuer systématiquement l'ensemble des déblais, sauf ceux qui sont destinés à des remblais faisant partie intégrante de l'aménagement ;
- systématiser les mesures d'accompagnement destinées à maîtriser les écoulements d'eaux pluviales et protéger des phénomènes d'érosion les surfaces mises à nu ;
- protéger les talus de l'érosion par de la végétation couvrante lorsqu'ils sont peu pentus (< 35°), et par d'autres dispositifs adaptés lorsqu'ils sont raides ;
- interdire la mise en place des remblais de plus de 2 mètres d'épaisseur sur des pentes présentant une pente entre 15° et 25°, et interdire les remblais dans des zones présentant une pente supérieure à 25° ;
- limiter la mise en place de soutènements en enrochements à une hauteur maximale de 2 mètres, dans les pentes inférieures à 25° ;
- lors de travaux en période pluvieuse, prendre des mesures pour prévenir la détérioration des talus (pose de membranes imperméables en parement par exemple).

Rappel : les mesures qui précèdent peuvent être adaptées ou précisées dans le cadre d'une étude technique telle que préconisée au chapitre 2.1.1.3 (3e partie) ci-après.

Concernant les terrassement routiers, il est recommandé de terrasser "raide" et prévoir les mesures de soutènement idoines qui par leur seule présence protégeront les talus de l'érosion, plutôt que de taluter plus mollement sans pouvoir drainer et protéger efficacement contre l'érosion les grandes surfaces mises à nu, du fait de la difficulté de les remettre en végétation en particulier.

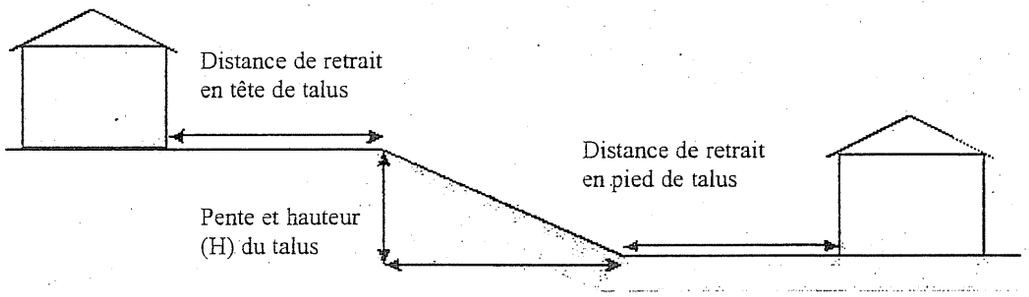
Règles applicables aux constructions

Les mesures suivantes ne s'appliquent qu'aux constructions comprenant 3 niveaux et moins (pour les autres se référer au paragraphe suivant "2.1.1.3").

Le mode de fondation, les niveaux d'encastrement et la stabilité générale de la pente englobant le projet sont à établir en fonction des données géotechniques au droit du projet.

Par ailleurs, les mesures qui suivent sont imposées sauf pour les exceptions mentionnées et pour toute disposition contraire qui seraient issue d'une étude technique spécifique :

- les éléments de fondation doivent être solidarisés entre eux ;
- lorsque les fondations reposent sur des formations géologiques qui ne sont pas en place (formations remaniées telles que brèches de pente, colluvions, éboulis...) celles-ci doivent être définies par une étude technique appropriée ;
- les structures (refends, poteaux, voiles, planchers, etc.) doivent être rigidifiées par des dispositifs appropriés ;
- les constructions doivent participer à la stabilisation des déblais meubles, par exemple en prévoyant des sous-sol enterrés côté amont, et/ou limiter leur hauteur en construisant partiellement "sur pilotis", côté aval ;
- l'implantation des constructions par rapport aux talus doit respecter les distances de retrait édictées au paragraphe "2.1.1.2. Règles applicables aux terrassements". Il peut être dérogé à cette règle si la construction participe au confortement du talus et que sa hauteur est supérieure ou égale à celle du talus (sous réserve d'une étude technique appropriée justifiant le confortement).



- la construction doit être protégée contre tout phénomène instable pouvant se développer en amont (jusqu'à la crête) ou en aval dans le versant et ayant la possibilité de se propager jusqu'aux édifices concernés. Cette mesure vise notamment les risques s.l. de chutes de blocs initialement localisés dans la pente ou au sein de barres rocheuses (fracturées, brèchiques, en surplomb...), particulièrement lorsque la pente exède 20° (3J1). Elle vise également les risques s.l. de glissement en masse, de ravinement ou de coulée boueuse pouvant se propager jusqu'aux constructions. Lorsque ces phénomènes se développent en aval, ils risquent également de provoquer un déchaussement des fondations des ouvrages par évolution régressive dans le versant. En cas de risque avéré, un dispositif de protection adéquat doit être mis en œuvre, à titre passif (1) (mur, merlon de terre, filet, fossé...) ou à titre actif (2) (purge, bridage, gunitage, clouage...).

Il est par ailleurs recommandé de :

- limiter dans la mesure du possible les ouvertures côté exposé aux phénomènes dynamiques provenant de l'amont du versant ;
- privilégier côté amont, des murs en béton armé ou des dispositifs équivalents pour d'autres types de construction (structure en bois ou métallique).

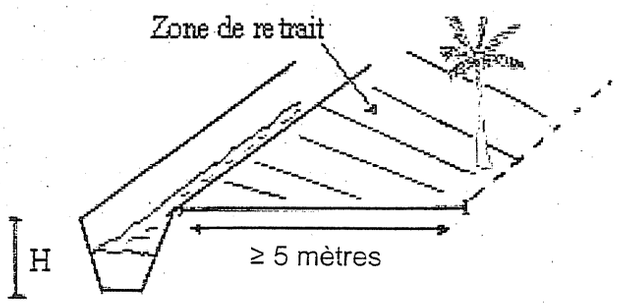
(1) Dispositif de protection passive : c'est-à-dire ne s'opposant pas au déclenchement des phénomènes instables, mais en empêchant la propagation jusqu'aux constructions à protéger. Ce type de dispositif est généralement adopté lorsque les phénomènes instables présentent une zone de départ dans une parcelle tierce, ou difficile d'accès, ou lorsque les dispositifs de protection active se révèlent trop complexes ou onéreux.

(2) Dispositif de protection active : qui s'oppose directement au déclenchement des phénomènes instables. Ce type de dispositif est généralement réservé aux phénomènes dont l'origine est située dans l'emprise de la parcelle, ou aux phénomènes assez simples à traiter directement dans la zone de départ de l'instabilité.

Règles relatives aux écoulements d'eau

Les mesures suivantes doivent être respectées sauf indication contraire dans le cadre d'une étude spécifique telle que préconisée au chapitre "2.1.1.3".

- canaliser les eaux pluviales recueillies par la construction et les zones imperméabilisées, jusqu'à un talweg naturel ou un collecteur prévu à cet effet afin d'éviter tout désordre dans les pentes ;
- mettre en place un dispositif de drainage et d'évacuation latérale afin d'éviter les écoulements au sein des talus ;
- permettre la circulation des eaux à travers les dispositifs de soutènement ;
- réaliser les plates-formes avec une légère pente inverse et des aménagements imperméabilisants ou des plantations, afin de réduire les infiltrations et de faciliter le drainage superficiel ;
- mettre en place un système de drainage périphérique aux fondations et canaliser les eaux vers un point bas ;
- raccorder les eaux usées au réseau d'assainissement municipal lorsque celui-ci existe ;
- en l'absence de réseau d'assainissement, traiter les eaux usées de manière individuelle suivant les règles en vigueur et évitant toute implantation au sein de matériaux déjà mobilisés (colluvions, éboulis, remblais...) ;
- permettre que chaque parcelle au sein des lotissements (nouveaux) puisse évacuer ses eaux pluviales à travers le réseau pluvial du lotissement et si nécessaire à travers des zones communes ou des servitudes spécifiques, permettant de réaliser les aménagements nécessaires ;
- imposer l'aménagement de bassins de décantation ou de dissipation d'énergie pour réguler les rejets pluviaux et les apports terrigènes dans le lagon (lotissements ou habitats collectifs) ;
- respecter une distance de sécurité en bordure des axes d'écoulement supérieure ou égale à 5 mètres du sommet des berges du lit mineur.



Règles relative à la gestion du couvert végétal

Le déboisement est soumis à autorisation. Il doit être effectué en vérifiant qu'il n'aggrave pas le risque.

La végétalisation et/ou le reboisement des sols mis à nu est à réaliser rapidement et au plus tard avant le mois de novembre, pour éviter leur érosion par les eaux de pluie.

2.1.1.3 - *Constructions et aménagements à enjeux forts et/ou talus supérieur à 6 mètres*

Préambule

Les constructions visées sont les bâtiments de catégorie C et D, ceux de catégorie B comportant 4 niveaux et plus, ainsi que les bâtiments à risque spécial.

Il s'agit par ailleurs des constructions et aménagements impliquant la création d'un talus d'une hauteur supérieure à 6 mètres.

Règles applicables

Les constructions sont autorisées en mettant en œuvre une étude technique réalisée par un bureau d'étude compétent, afin de définir les mesures de construction adaptées au projet et au site.

Dans ce cas, les mesures de protection et de mise en œuvre préconisées doivent être appliquées.

La réalisation de l'étude est à la charge exclusive du maître d'ouvrage. Il lui appartient également expressément, de prendre toutes les mesures adéquates permettant l'application de ces règles.

Il est précisé qu'une fois l'autorisation obtenue, la réalisation des travaux et la conformité de leur exécution vis-à-vis des règles de construction applicables, sont de la responsabilité exclusive des intervenants dans l'acte de bâtir.

L'étude technique demandée devra traiter les points suivants :

1° Nature géologique et caractéristiques géotechniques du terrain ;

2° Stabilité des terrains d'assise et des pentes en amont (glissements de terrain, coulées de débris...) et en aval, à l'état initial et après d'éventuels terrassements ;

3° Drainage périphérique aux constructions ;

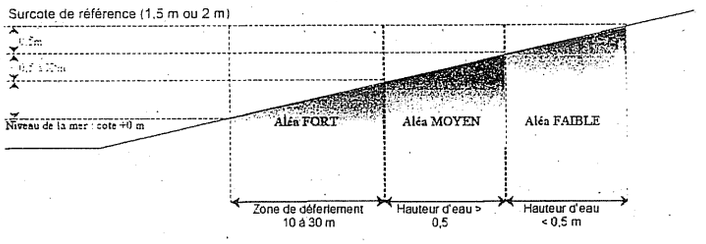
4° Mesures de protection et dispositions constructives applicables aux ouvrages ;

Cette étude peut être annexée à une étude d'impact lorsque celle-ci est demandée.

2.1.2 - *Aléa inondation lié aux surcotes marines*

2.1.2.1 - *Préambule*

Pour mémoire, il est rappelé que la zone d'aléa moyen liée aux surcotes marines correspond à l'aire inondée avec une hauteur d'eau comprise entre 0,5 mètre et la côte de référence, pour une houle de référence en pleine mer.



A cette houle est associée une cote de référence au rivage qui est indiquée sur le plan de zonage. A Punaauia, elle est de 1,5 mètre à 2 mètres.

2.1.2.2 - *Interdictions*

Sont interdits :

- les bâtiments à risque normal de la catégorie D sauf si l'impossibilité d'implantation en dehors de ces zones est justifiée par l'étude de plusieurs sites ;

- les bâtiments et équipements à risque spécial, tel que le stockage de produits polluants et/ou dangereux sauf si l'impossibilité d'implantation en dehors de ces zones est justifiée par l'étude de plusieurs sites ;
- les dépôts de matériaux divers susceptibles d'être emportés par le courant.

2.1.2.3 - *Autorisations*

En dehors de ces cas de figure d'interdiction, les constructions et aménagements sont autorisés en prenant les mesures adéquates leur permettant d'être hors d'eau ou permettant de réduire le risque.

Pour ce qui est autorisé, les prescriptions suivantes doivent être appliquées :

- les parties habitables sont implantées à une cote de plancher dont la hauteur libre (sous poutre) doit être supérieure ou égale à la cote de référence (par rapport au niveau de la mer) ;
- les aménagements doivent gêner au minimum les écoulements ;
- l'édification sur vide sanitaire est privilégiée aux remblais ;
- les fondations sous la cote de référence doivent résister aux affouillements, aux tassements différentiels et à l'érosion. Pour les bâtiments sur pilotis, la transparence hydraulique sous le bâtiment doit être maintenue. Les vides sanitaires sont aérés, vidangeables et non transformables ;
- sous la cote de référence, les murs doivent résister aux pressions hydrostatiques, aux chocs et à l'immersion (chaînage vertical et horizontal de la structure, utilisation de matériaux non putrescibles et non corrodables...) ;
- sous la cote de référence, l'utilisation de matériaux d'équipement des constructions insensibles aux effets de l'eau doit être privilégiée ;
- les surfaces parallèles au rivage sont minimisées ;
- les clôtures doivent permettre une transparence lorsqu'elles s'opposent au courant. Elles ne doivent pas comporter de muret à la base sauf s'il s'agit d'un mode de protection et qu'il n'y pas d'aggravation du risque par ailleurs ;
- le mobilier urbain, les structures de jeux et de loisir, les dispositifs d'éclairage..., doivent résister aux effets d'une inondation (vis-à-vis du risque d'entraînement notamment) ;
- les stations d'épuration sont implantées avec des installations techniques, la crête des bassins et un lieu de stockage des produits de traitement, à 0,5 mètre au dessus de la cote de référence.

2.1.2.4 - *Règles particulières*

Des mesures spécifiques permettant d'adapter les dispositions qui précèdent, peuvent être mises en œuvre, si elles sont issues d'une étude propre au site et au projet de construction ou d'aménagement, menée par un organisme spécialisé. Dans ce cas, l'étude définit les règles à appliquer et indique clairement en quoi il n'y aurait pas aggravation du risque. En aucun cas l'étude en question ne peut remettre en cause la cote de référence et les dispositions afférentes.

2.1.3 - *Aléa inondation lié aux cours d'eau*

2.1.3.1 - *Préambule*

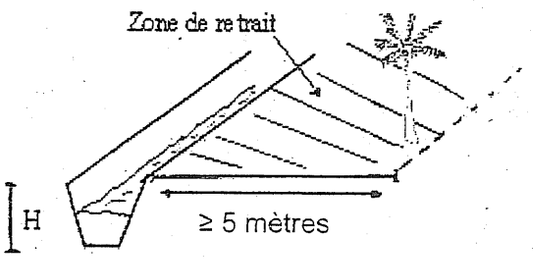
Il est considéré une cote de référence qui est indiquée sur le plan de zonage. Il peut s'agir d'une valeur de crue de référence (centennale ou autre...). A défaut, cette cote est égale à la cote au sol à laquelle on ajoute 1 mètre.

2.1.3.2 - *Interdictions*

Sont interdits :

- les bâtiments à risque normal de catégorie D sauf si l'impossibilité d'implantation en dehors de ces zones est justifiée par l'étude de plusieurs sites ;
- les bâtiments et équipements à risque spécial tel que le stockage de produits polluants et/ou dangereux sauf si l'impossibilité d'implantation en dehors de ces zones est justifiée par l'étude de plusieurs sites ;
- les dépôts de matériaux divers susceptibles d'être emportés par le courant et de former des barrages ;
- le déboisement des rives ;
- les sous-sols.

Par ailleurs, aux abords des cours d'eau et talwegs, toute construction doit garder une zone de retrait de largeur supérieure ou égale à 5 mètres du sommet des berges du lit mineur.



2.1.3.3 - *Autorisations*

En dehors de ces cas de figure d'interdiction, les constructions et aménagements sont autorisés en prenant les mesures adéquates leur permettant d'être hors d'eau ou permettant de réduire le risque.

Pour ce qui est autorisé, les prescriptions suivantes doivent être appliquées :

- les parties habitables sont implantées à une cote de plancher dont la hauteur libre (sous poutre) doit être supérieure ou égale à 1 mètre (cote de référence par rapport au niveau du sol) ;
- les aménagements doivent gêner au minimum les écoulements ;
- l'édification sur vide sanitaire est privilégiée aux remblais ;
- les fondations sous la cote de référence doivent résister aux affouillements, aux tassements différentiels et à l'érosion. Pour les bâtiments sur pilotis, la transparence hydraulique sous le bâtiment doit être maintenue. Les vides sanitaires sont aérés, vidangeables et non transformables ;
- les planchers ou radier d'ouvrage sous la cote de référence doivent résister aux sous-pression ;
- sous la cote de référence, les murs doivent résister aux pressions hydrostatiques, aux chocs et à l'immersion (chaînage vertical et horizontal de la structure, utilisation de matériaux non putrescibles et non corrodables...) ;
- sous la cote de référence, l'utilisation de matériaux d'équipement des constructions insensibles aux effets de l'eau doit être privilégiée ;
- les surfaces perpendiculaires à l'écoulement sont minimisées ;
- les clôtures doivent permettre une transparence de 90 % lorsqu'elles s'opposent au courant. Elles ne doivent pas

comporter de muret à la base sauf s'il s'agit d'un mode de protection contre les inondations et qu'il n'y pas d'aggravation du risque par ailleurs ;
- le mobilier urbain, les structures de jeux et de loisir, les dispositifs d'éclairage, ... doivent résister aux effets d'une inondation (vis-à-vis du risque d'entraînement notamment) ;
- les lotissements sont dotés de caniveaux revêtus, correcte-ment dimensionnés et dotés de dispositifs de réduction de vitesse si nécessaire ;
- dans les secteurs de pente moyenne supérieure à 5°, toute création d'une surface aménagée (lotissement notamment) d'une superficie totale supérieure à 1 hectare doit faire l'objet d'une étude hydrologique et hydraulique afin de déterminer l'impact hydraulique à l'exutoire ou aux exutoires d'aménagement. Il ne doit pas y avoir en aval augmentation du risque de dégâts du fait des aménagements réalisés. En ce sens, l'étude doit conclure à la nécessité ou non de mettre en œuvre un dispositif afin d'écrêter les crues. Le dispositif doit être mis en place à la charge du lotisseur si il est jugé nécessaire ;
- les stations d'épuration sont implantées avec des installations techniques, la crête des bassins et un lieu de stockage des produits de traitement, à 0,5 mètre au dessus de la cote de référence.

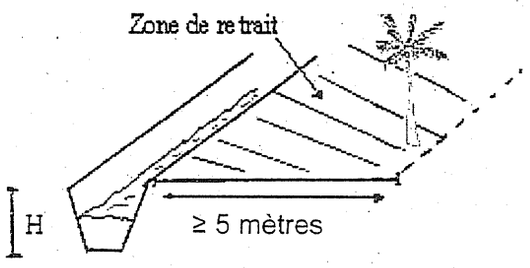
2.1.3.4 - *Règles particulières*

Des mesures spécifiques éventuellement en contradiction avec les dispositions qui précèdent, peuvent être mises en œuvre, si elles sont issues d'une étude propre au site et au projet de construction ou d'aménagement, menée par un organisme spécialisé. Dans ce cas, l'étude définit les règles à appliquer et indique clairement en quoi il n'y aurait pas aggravation du risque en amont ou en aval.

2.1.4 - *Mesures relatives à la gestion des écoulements quelle que soit la nature de la zone*

2.1.4.1 - *Préambule*

Il est rappelé au préalable qu'aux abords des cours d'eau et talwegs, toute construction doit garder une zone de retrait de largeur supérieure ou égale à 5 mètres du sommet des berges du lit mineur.



2.1.4.2 - *Cas général*

En ce qui concerne l'entretien des cours d'eau :

Toute construction est interdite au sein de la servitude de 5 mètres de large de part et d'autre des cours d'eau, instaurée pour permettre leur entretien et leur curage, à l'exception des ouvrages de protection des berges ou de franchissement dûment autorisés.

Si une propriété privée empiète sur les 5 mètres de servitude de curage, l'entretien est à la charge du propriétaire.

En ce qui concerne l'aménagement des cours d'eau :

- les ouvrages de protection des berges doivent respecter les règles de l'art. Ceux en enrochements ou en gabions doivent comporter une "butée de pied" et des couches de transition. Ils ne doivent pas être édifiées avec une pente excessive ;
- les aménagements proposant une couverture de cours d'eau sont autorisés selon les spécifications suivantes :
  - dimensionnement au débit centennal, sauf impossibilité technique ;
  - réalisation d'entonnements progressifs à l'entrée des ouvrages afin d'éviter de favoriser les mises en charge des ouvrages et permettre une mise en vitesse progres-sive de l'écoulement notamment dans le cas de solutions à base de buses ;
  - pose soignée des canalisations en prévoyant des raccordements "en douceur" des collecteurs secondaires (faibles pertes de charge) ;
  - réalisation de bassins de dissipation à l'aval des ouvrages, si la vitesse de sortie des ouvrages est supérieure à 3 mètres/seconde ;
  - réalisation d'une fosse à sédiments en amont pour éviter l'entraînement de sédiments grossiers et le risque d'une éventuelle érosion des ouvrages ;
  - réalisation de dispositifs anti-embâcle en amont ;
  - prévoir un aménagement permettant un entretien du réseau, c'est à dire faire en sorte qu'il soit au moins accessible et visitable. Cela signifie une hauteur minimale au plafond de 1,6 mètre ;
  - prévoir en surface, une alternative au système d'évacuation des débits, acceptant un fonctionnement exceptionnel (sauf impossibilité technique) ;
- le calibrage des cours d'eau ou leur canalisation doit être réalisé au moins au débit centennal sauf impossibilité technique.

En ce qui concerne les réseaux d'évacuation des eaux pluviales :

- dans les secteurs de pente moyenne supérieure à 5°, toute création d'une surface aménagée (lotissement notamment) d'une superficie totale supérieure à 1 hectare doit faire l'objet d'une étude hydrologique et hydraulique afin de déterminer l'impact hydraulique à l'exutoire ou aux exutoires d'aménagement. Il ne doit pas y avoir en aval augmentation du risque de dégâts du fait des aménagements réalisés. En ce sens, l'étude doit conclure à la nécessité ou non de mettre en œuvre un dispositif afin d'écrêter les crues. Le dispositif doit être mis en place à la charge du lotisseur si il est jugé nécessaire ;
- chaque parcelle aménagée doit évacuer ses eaux pluviales collectées dans le réseau prévu à cet effet ou dans un talweg, et non dans les pentes ;
- les zones aménagées (les lotissements en particulier) sont dotées de caniveaux revêtus, correctement dimensionnés et dotés de dispositifs de réduction de vitesse si nécessaire ;
- l'exutoire des collecteurs d'eaux pluviales dans les cours d'eau doit être calé suffisamment haut pour éviter toute remontée du niveau du cours d'eau en crue dans ces collecteurs ;
- les berges et le fond du lit au droit d'un exutoire de collecteur d'eaux pluviales doit faire l'objet de protections ponctuelles ;
- la réalisation d'un bassin de dissipation d'énergie est obligatoire si la vitesse d'écoulement en sortie de collecteur dépasse 3 mètres/seconde.

Page LEXPOL 56 sur 63

En ce qui concerne les travaux d'infrastructure routière :

- les travaux d'infrastructures sont réalisés après la mise en œuvre préalable d'études hydrauliques menées pas des organismes spécialisés ;
- les ouvrages permettant de relier entre elles les principales zones habitées des îles ou conduisant à des bâtiments ou équipements à risque normal de catégorie D, doivent être dimensionnés au débit centennal, sauf impossibilité technique ;
- les autres ouvrages sont dimensionnés au moins au débit décennal, sauf impossibilité technique, lorsque les informations relatives aux débits fréquentiels sont disponibles ;
- les remblais peuvent être utilisés sous réserve de participer à la maîtrise des débits et qu'ils n'entraînent pas une aggravation du risque en amont ou en aval ;
- de façon générale, sauf impossibilité technique, les ouvrages ne doivent pas modifier le lit mineur (pas de contraction de la section) afin notamment de ne pas augmenter la vitesse ou créeer des embâcles. L'usage de buses n'est pas recommandé et dans tous les cas, les ouvrages associant plusieurs buses lattéralement et/ou verticalement, sont interdits sauf si un dispositif anti-embacle adéquat est présent en amont.

2.1.4.3 - *Règles particulières*

Des mesures spécifiques permettant d'adapter les dispositions qui précèdent, peuvent être mises en œuvre, si elles sont issues d'une étude propre au site et au projet de construction ou d'aménagement, menée par un organisme spécialisé. Dans ce cas, l'étude définit les règles à appliquer et indique clairement en quoi il n'y aurait pas aggravation du risque en amont ou en aval.

2.2 - *Mesures sur l'existant*

2.2.1 - *Aléa mouvement de terrain*

Lorsqu'un nouveau réseau collectif public d'eaux usées est mis en service, le raccordement doit intervenir dans un délai de deux ans à compter de la date de mise en service.

Avant chaque saison cyclonique (considérée à partir du mois de novembre), il doit être procédé à l'élagage des arbres au sein des talus ou des versants, jusqu'à une hauteur de 20 mètres, afin de limiter le risque d'éboulement après arrachement. Cette prescription vaut essentiellement pour des constructions ou des aménagements situés en pied de talus à une distance horizontale égale à moins de trois fois la hauteur du talus.

Il est fortement recommandé de se conformer rapidement aux règles relatives à la maîtrise des eaux édictées au chapitre 2.1.1 (3e partie).

En cas de destruction induite par un sinistre (autre qu'un phénomène naturel), la reconstruction ou la réparation des bâtiments est possible conformément aux règles décrites au chapitre 2.1.1. (3e partie).

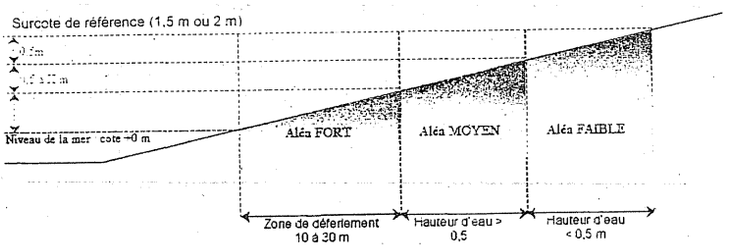
En cas de destruction due à un phénomène naturel tel que les mouvements de terrain, la reconstruction est possible sous réserve de la réalisation d'une étude technique par un bureau d'étude compétent qui définisse les mesures de construction et de protection adaptées au projet et au site.

Concernant les talus existant, si ceux-ci ne respectent les dispositions énoncées au chapitre 2.1.1. (3e partie), il est vivement conseillé de faire procéder à un diagnostic de stabilité.

2.2.2 - *Aléa inondation lié au cours d'eau et aux surcotes marines*

2.2.2.1 - *Préambule*

Pour mémoire, il est rappelé que la zone d'aléa moyen liée aux surcotes marines correspond à l'aire inondée avec une hauteur d'eau comprise entre 0,5 mètre et la côte de référence, pour une houle de référence en pleine mer.



A cette houle est associée une cote de référence au rivage qui est indiquée sur le plan de zonage. A Punaauia, elle est de 1,5 mètre à 2 mètres.

2.2.2.2 - *Autorisations*

De manière générale, les travaux concernant les bâtiments et aménagements existants sont autorisés notamment dans les cas suivants :

- mise aux normes et/ou mise en sécurité des personnes, des biens et des activités ;
- entretien et gestion courante ;
- les changements de destination ou d'affectation des constructions sans aggravation du risque et dans le respect des dispositions prévues pour les constructions nouvelles ;
- reconstruction après un sinistre sans lien avec un phénomène d'inondation, sans aggravation du risque et dans le respect des dispositions prévues pour les constructions nouvelles.

2.2.2.3 - *Mesures spécifiques*

Les mesures ci dessous sont des mesures obligatoires dans un délai de 5 ans et dans l'enveloppe de 10 % de la valeur vénalè du bien concerné :

- les réseaux électriques situés au dessous de la cote de référence devront être dotés de dispositifs de mise hors circuit automatique ou rétablis au-dessus de la cote de référence. Un dispositif manuel est également admis en cas d'occupation permanente des locaux. La mise hors service devra être effective en cas de montée des eaux ;
- les menuiseries, portes, fenêtres ainsi que tous les vantaux situés au dessous de la côte de référence devront être constitués soit avec des matériaux insensibles à l'eau, soit avec des matériaux convenablement traités.

Dans un délai de 5 ans, sans considérer d'enveloppe pour les travaux, les stations d'épurations doivent être traitées comme pour une installation nouvelle.

Dans un délai de 5 ans, les installations à risque spécial (celles pour lesquels les conséquences en cas de phénomène naturel dommageable dépasseraient largement l'emprises de ces installations), doivent faire l'objet d'un diagnostic définissant précisément l'aléa et les mesures de réduction à adopter. La mise en œuvre de ces mesures est obligatoire dans la limite de 2 ans.

2.3 - *Mesures de prévention de protection et de sauvegarde*

2.3.1 - *Aléa mouvement de terrain*

Des mesures d'information, en direction des particuliers et des professionnels, sur les risques de chute de pierres et de blocs existants sur une partie du territoire de la commune ainsi que sur les règles à respecter en matière de construction et d'utilisation du sol sont fortement recommandées.

La végétation arborée sera maintenue et entretenue lorsqu'elle permet de faire obstacle aux chutes de blocs et qu'elle n'aggrave pas le risque d'éboulement.

2.3.2 - *Aléa inondation*

Les torrents ou talwegs seront entretenus, c'est-à-dire curés et mis au gabarit suffisant (le gabarit suffisant est idéalement le débit centennal) chaque fois que nécessaire, par les services compétents. Dans tous les cas, il faut éviter tout engravement et tout développement de végétation, synonyme de réduction de la capacité de débit.

Il est recommandé :

- que les propriétaires riverains ou les services compétents dégagent les arbres menaçants susceptibles d'encombrer les cours d'eau ;
- de rendre obligatoire la consultation des services compétents lorsqu'un impact est pressenti et contrôler systématiquement les aménagements au droit des zones inondables ;
- de développer une réflexion globale d'aménagement par bassin versant afin de réaliser notamment des aménagements cohérents avec l'urbanisation future ;
- d'envisager dès la conception, des mesures compensatoires limitant, voire annulant, les impacts des ouvrages projetés ;
- d'envisager, dans les rivières à forte pente et à forte activité (vis-à-vis de l'érosion), des aménagements tels que :
  - réalisation de seuils (stabilisation du lit) ou ;
  - pièges à sédiments (protection des ouvrages).

3 - *Zone d'aléa faible à moyen*

Dans cette zone, il convient de mettre en œuvre les dispositions communes à l'ensemble de la Polynésie.

De plus, pour tout projet nouveau le maître d'ouvrage devra prendre en compte l'aléa présent afin de ne pas augmenter ou créer de risques. A ce titre toutes les dispositions du chapitre 2.1.4 (3e partie) "Mesures relatives à la gestion des écoulements quelle que soit la nature de la zone", sont applicables.

Il est en outre recommandé de suivre les recommandations de toutes natures énumérées au chapitre 2.1.1 (3e partie) précédent.

Au droit des zones à aléa inondation faible à moyen ou des zones d'inondations pluviales, il est recommandé de :

- rehausser les habitations d'une hauteur à préciser suivant le contexte au moyen d'un vide sanitaire ou de poteaux ;
- construire en R + 1, avec les pièces habitables au premier étage.

4 - *Autres zones*

Les zones non colorées ne font pas l'objet de règles particulières en dehors des dispositions indiquées en partie 2 du présent règlement.

Les zones non cartographiées du PPR sont à priori en "zone naturelle" au sens du PPR. Il s'agit en général de zones à relief escarpé où l'aléa mouvement de terrain est élevé. Le règlement applicable est celui du chapitre 1er de la troisième partie du présent règlement.

Annexes

Annexe 1 : Délibération n° 2001-10 APF du 1er février 2001

DELIBERATION n° 2001-10 APF du 1er février 2001 complétant le livre 1er de la première partie du code de l'aménagement en matière de plans de prévention des risques naturels prévisibles.

La commission permanente de l'assemblée de la Polynésie française,

Vu la loi organique n° 96-312 du 12 avril 1996 modifiée portant statut d'autonomie de la Polynésie française, ensemble la loi n° 96-313 du 12 avril 1996 complétant le statut d'autonomie de la Polynésie française ;

Vu le code de l'aménagement de la Polynésie française ;

Vu l'avis du comité d'aménagement du territoire en sa séance du 7 novembre 2000 ;

Vu la délibération n° 2001-3 APF du 11 janvier 2001 portant délégation de pouvoirs de l'assemblée de la Polynésie française à sa commission permanente ;

Vu l'arrêté n° 1647 CM du 4 décembre 2000 soumettant un projet de délibération à l'assemblée de la Polynésie française ;

Vu la lettre n° 119-2001 APF/CP du 25 janvier 2001 portant convocation en séance des conseillers territoriaux ;

Vu le rapport n° 9-2001 du 1er février 2001 de la commission permanente ;

Dans sa séance du 1er février 2001,

Adopte :

Article 1er.— Un titre 8 nouveau est inséré dans le livre 1er de la première partie du code de l'aménagement.

TITRE 8
PLANS DE PREVENTION
DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES

Chapitre 1er
GENERALITES

Art. D. 181-1.— Les plans de prévention des risques naturels prévisibles dits PPR 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.

Ils prévoient également les mesures de prévention à mettre en œuvre par les particuliers, les collectivités locales et leurs établissements publics afin de limiter les risques.

Art. D. 181-2.— Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :

1° De délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient y être autorisés, de prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités ;
2° De délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux, et d'y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1° du présent article ;
3° De définir les mesures de prévention et de protection qui doivent être prises dans les zones mentionnées aux 1° et 2° du présent article, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers ;
4° De définir, dans les zones mentionnées aux 1° et 2° du présent article, 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, qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° du présent article peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, l'autorité compétente peut, par arrêté, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

Les travaux de prévention imposés en application du 4° à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du présent code avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10 % de la valeur vénale ou estimée du bien à la date d'approbation du plan.

Art. D. 181-3.— Le projet de plan comprend :

1° Une note 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 en tant que de besoin :

- 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.

Art. D. 181-4.— En application du 3° de l'article D. 181-2, le plan peut notamment prescrire aux particuliers ou à leurs groupements la réalisation de travaux contribuant à la prévention des risques et leur confier la gestion de dispositifs de prévention des risques.

Le plan indique si la réalisation de ces mesures est rendue obligatoire et, si oui, dans quel délai.

Art. D. 181-5.— Le plan de prévention des risques approuvé prévaut sur le plan général d'aménagement ou le plan d'aménagement de détail et, en leur absence, sur les règles générales d'urbanisme.

Chapitre 2
ETABLISSEMENT ET REVISION DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES

Art. D. 182-1.— L'établissement du plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) est ordonné par arrêté du conseil des ministres, qui doit déterminer le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte.

L'arrêté est notifié aux maires des communes concernées par le périmètre du PPR.

Art. D. 182-2.— 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.

Art. D. 182-3.— §1. Lorsqu'un projet de plan de prévention des risques contient certaines des dispositions mentionnées aux 1° et 2° de l'article D. 181-2 et que l'urgence le justifie, le conseil des ministres peut les rendre immédiatement opposables à toute personne publique ou privée par arrêté.

Les documents relatifs aux prescriptions rendues ainsi opposables dans une commune sont soumis aux mesures de publicité prévues à l'article D. 182-5.

Ces dispositions cessent d'être opposables si elles ne sont pas reprises dans le plan approuvé ou si le plan n'est pas approuvé dans un délai de trois ans.

§2. Dans le cas où une construction, la création ou le développement d'un lotissement, l'exploitation d'une carrière, un travail d'exhaussement ou d'affouillement du sol, ou l'exécution de tout autre ouvrage ou de tous travaux immobiliers seraient incompatibles avec les dispositions du projet de PPR, le Président du gouvernement décide qu'il sera sursis à statuer sur la demande d'autorisation de travaux immobiliers.

Cette décision doit être motivée.

En aucun cas, le sursis à statuer ne peut excéder deux ans. Il peut être renouvelable une fois pour une période d'un an. A l'issue de ce délai, une décision accordant ou refusant la demande doit, sur simple réquisition de l'intéressé par lettre recommandée, être prise par l'autorité chargée de la délivrance de l'autorisation dans les formes et délais requis en la matière.

Art. D. 182-4.— Le président de la commission des PPR transmet pour avis le projet de PPR aux conseils municipaux des communes concernées. Leur avis est réputé favorable s'il n'est pas émis dans un délai de deux mois.

Après les consultations susmentionnées, le projet est soumis à enquête publique dans les formes prévues à l'article D. 134-1 du présent code.

A l'issue de l'enquête publique, le projet, éventuellement modifié pour tenir compte des avis, est transmis à nouveau aux conseils municipaux des communes concernées. Leur avis est réputé favorable s'il n'est pas émis dans un délai de deux mois.

Le projet est ensuite soumis à l'avis du comité d'aménagement du territoire.

Le PPR est approuvé par arrêté du conseil des ministres.

Art. D. 182-5.— L'arrêté approuvant le PPR fait l'objet d'un affichage, pendant un mois au minimum, dans chaque mairie sur le territoire de laquelle le plan est applicable et d'un communiqué par voie de presse en vue d'informer les populations concernées.

Le plan est tenu à la disposition du public au service de l'urbanisme, dans chaque mairie concernée et dans chaque circonscription administrative territoriale concernée.

Art. D. 182-6.— Un PPR peut être révisé selon la procédure décrite aux articles D. 182-1 à D. 182-5 du présent code.

Toutefois, lorsque la révision n'est que partielle, les consultations et l'enquête publique mentionnées à l'article D. 182-4 ne sont effectuées que dans les communes sur le territoire desquelles les modifications proposées seront applicables.

Les documents soumis à consultation ou enquête publique comprennent alors :

1° Une note synthétique présentant l'objet des modifications envisagées ;
2° Un exemplaire du plan modifié avec l'indication, dans le document graphique et le règlement, des dispositions qui ont fait l'objet d'une modification et le rappel, le cas échéant, de la disposition précédemment en vigueur.

L'approbation du nouveau plan emporte abrogation des dispositions correspondantes de l'ancien plan.

Art. A. 182-1.— La commission des plans de prévention des risques naturels prévisibles est composée comme suit :

- le ministre chargé de l'aménagement du territoire ou son représentant, président ;
- le maire de chaque commune concernée ou son représentant ;
- le chef du service de l'urbanisme ou son représentant ;
- le directeur de l'équipement ou son représentant ;
- le délégué à l'environnement ou son représentant ;
- le chef de service du développement rural ou son représentant ;
- le chef de la circonscription administrative concernée ou son représentant ;
- le chef de la subdivision administrative concernée ou son représentant.

Art. A. 182-2.— Le président de la commission peut inviter à ces séances toutes personnes qu'il estime utiles d'entendre.

Chapitre 3
SANCTIONS

Art. D. 183-1.— 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.

Art. D. 183-2.— Le droit de visite prévu à l'article D. 116-3 est ouvert aux représentants de l'autorité administrative compétente.

Art. 2.— Le Président du gouvernement de la Polynésie française est chargé de l'exécution de la présente délibération qui sera publiée au *Journal officiel* de la Polynésie française.

Annexe 2 : Arrêtés n° 1352 CG
et n° 1353 CG du 21 septembre 1983

- les constructions des services et collectivités publiques ;
- les constructions réalisées par toute personne physique ou morale dont la responsabilité peut être engagée sur le fondement de la présomption établie par les articles 1792 et suivants du code civil, à propos de travaux de bâtiments ;
- les établissements recevant du public, dont ceux abritant des salles de spectacles ou un hébergement de nuit, et ceux dépendant d'un service, établissement ou collectivité public, excepté, après avis de la commission des établissements classés et de la sécurité, les bâtiments dont l'effectif du public pris en compte n'atteindrait pas le seuil déterminé pour la 4e catégorie de la nomenclature métropolitaine,

doivent être aptes à résister à des vents atteignant la vitesse de 204 kilomètres/heure.

A ce titre, ces constructions doivent respecter les règles techniques définies en métropole par le "document technique unifié" dit règles NV 65, révisées 1967, 1970, 1974, 1975, et annexes.

En prenant en compte les pressions extrêmes déterminées pour la région III, site exposé.

Annexe 3 : Extraits du code de l'aménagement
D. 311-1, D. 311.8, D. 312 2, D. 333-1, D. 333-2

Art. D. 311-1.— Les propriétaires ou locataires doivent nettoyer et tenir en bon état de propreté les cours, jardins, passages, terrains vagues ou autres emplacements qui leur appartiennent ou dont ils jouissent. Ils sont tenus d'effectuer les débroussaillements et d'assurer l'écoulement des eaux. Les propriétaires fonciers doivent veiller, en particulier, à ce

que les eaux pluviales dirigées et les eaux usées ou autres déchets provenant de leurs propriétés ne pénètrent pas dans une propriété voisine. Ils doivent, à leurs frais, remédier à cet inconvénient et, en cas de carence, le faire dans un délai prescrit par le service de l'hygiène.

Les propriétaires ou locataires doivent en outre nettoyer quotidiennement les trottoirs, publics et privés, bordant leurs propriétés. Il leur est interdit d'obstruer les caniveaux ou d'y entreposer ainsi que sur les trottoirs des matériaux quelconques. Les passages ou seuils enjambant des fossés ou ruisseaux doivent être établis de façon à permettre le nettoyage et assurer un écoulement suffisant. S'ils sont équipés de buses, la largeur de celles-ci doit être limitée à celle du passage ou seuil. Ces buses doivent en outre assurer une stabilité suffisante. L'emploi de matériaux de récupération (drums ou similaires) est interdit.

Art. D. 311-8.— Il est interdit de jeter dans le lagon et dans les rivières, ou de déposer sur les berges, des immondices, des résidus d'élagage d'arbres, des détritus de toute sorte, y compris les matières fécales.

Les abords des concessions maritimes doivent être régulièrement nettoyés par les soins des riverains et débarrassés des matières, résidus et immondices déposés par la mer et les rivières.

Art. D. 312-2.— Les propriétaires sont tenus de nettoyer les fossés et les ruisseaux traversant leurs propriétés. Les fossés, caniveaux et ruisseaux doivent être entretenus en état de propreté ; ils ne doivent en aucun cas être comblés. Ils sont régulièrement curés et débroussaillés.

Art. D. 333-1.— Sauf autorisation du service de l'hygiène, seules les eaux pluviales peuvent être déversées dans les ruisseaux ou rivières traversant ou longeant les propriétés, à l'exclusion des eaux et matières usées. Il ne doit en résulter ni ravinement, ni destruction des berges. Celles-ci doivent être entretenues par les riverains. L'écoulement doit être également assuré par les riverains, par nettoyage, curage ou faucardage. Sur injonction du service de l'hygiène, une grille de retenue permanente des immondices doit être placée en aval du cours des ruisseaux traversant chaque propriété ; cette grille a une hauteur minimum de 20 centimètres au-dessus du niveau des basses eaux et est constituée de barreaux de 1 à 2 centimètres de diamètre espacés entre eux de 5 centimètres.

Art. D. 333-2.— L'évacuation des eaux pluviales doit être assurée rapidement et sans stagnation.

Les gouttières, cheneaux et tuyaux de descente doivent être établis pour assurer l'évacuation vers l'extérieur de la totalité des eaux pluviales. En particulier, les gouttières et cheneaux encastrés et masqués par des acrotères doivent comporter des trop-pleins ouvrant directement sur l'extérieur. Les cheneaux et gouttières doivent être maintenus en bon état de fonctionnement et d'étanchéité.

Les eaux pluviales ne doivent pas être laissées stagnantes aux abords des habitations. Les terrains en contrebas, où l'évacuation des eaux pluviales n'est pas assurée, doivent être drainés et remblayés.

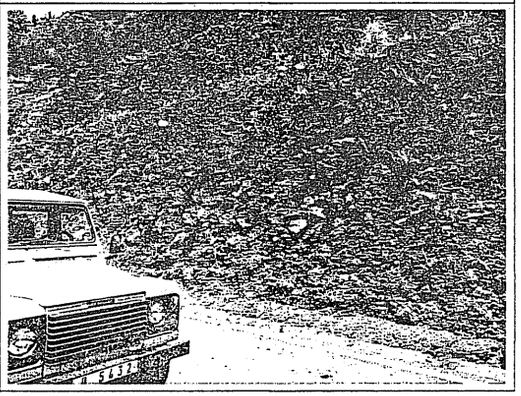
Il est interdit de déverser des eaux usées, des détritus ou autres immondices dans les cheneaux, gouttières ou tuyaux de descente d'eaux pluviales.

Les eaux pluviales sont dirigées vers les installations collectives d'évacuation (égouts, fossés ou caniveaux de voies publiques), vers la mer, les ruisseaux ou rivières, ou vers des puisards absorbants ou puits perdus ouverts, par des caniveaux maçonnés de section et de pente suffisantes.

Section 2 abrogée par la délibération n° 87-48 du 29 avril 1987 portant réglementation de l'hygiène des eaux usées (JOPF 1987, page 854).

Annexe 4 : Classification lithologique du mamu usuellement admise en Polynésie

Classe de Mamu	Description lithologique	Exemples
C1 Lave saine, rocheuse ou bréchique	Le plus souvent de couleur grise lorsqu'il provient de lave compacte ou vacuolaire, sa roche mère est bien discernable. Il ne se désagrège pratiquement pas sous la main et contient des boules peu ou pas altérées.	
C2 mamu résistant	De couleur gris ou ocre, plus rarement rouge, la structure et la texture y sont bien visibles. Assez cohérent, il a la consistance de la craie. Il contient toujours des panneaux beaucoup moins altérés.	
C3 mamu meuble	Souvent bariolé, sa structure et sa texture sont encore visibles. Il contient déjà une proportion notable de « pâte » emballant les blocs, et les boules en voie d'altération. Il se désagrège à la main.	
	De couleur le plus souvent ocre ou rouge, la structure ayant disparue. On peut y trouver parfois quelques boules moins altérées.	

Classe de Mamu	Description lithologique	Exemples
C4 Formations remaniées	Ces formations sont issues du remaniement de matériaux en place à la suite de glissements (colluvions) ou d'éboulements (éboulis) anciens, ou de remblais.	

(1) La carte d'aléa mouvement de terrain, la carte d'aléa inondation, la carte d'aléa surcote marine liée au cyclones et tsunamis et le plan de zonage réglementaire peuvent être consultés au service de l'urbanisme ou à la mairie de Punaauia.

LISTE DES OUVRAGES DISPONIBLES A L'IMPRIMERIE OFFICIELLE

(Prix TTC)

- Livret d'apprentissage anticipé de la conduite	**670 F CFP**
- Rapport annuel 2008 de la commission de contrôle budgétaire et financier de l'assemblée de la Polynésie française (JOPF n° 52 NS du 21/09/09)	**861 F CFP**
- Budget général de la Polynésie française et budget des comptes spéciaux 2009	2 294 F CFP
- Notices des produits médicamenteux de la pharmacopée chinoise (JOPF n° 4 NS/2009)	1 092 F CFP
- Annexe à la loi du pays n° 2008-7 du 25 août 2008 relative au droit de douane (JOPF n° 42 NS du 5 septembre 2008)	2 835 F CFP
- Annexe à la loi du pays n° 2008-8 du 25 août 2008 relative à la nomenclature combinée (JOPF n° 43 NS du 5 septembre 2008)	2 877 F CFP
- Plan général d'aménagement de la commune de Nuku Hiva (JOPF n° 52 NS/2008)	263 F CFP
- Affiches "Accident du Travail"	174 F CFP
- Affiches "Défense de consommer"	174 F CFP
- Affiches "Loi sur l'ivresse"	267 F CFP
- Affiches "Réglementation sur le commerce des boissons" (français et tahitien)	696 F CFP
- Association des PTOM à la Communauté européenne	798 F CFP
- Barême des ANFA (10 F la feuille ou 1 840 F l'ensemble)	2134 F CFP
- Budget général de la Polynésie française et budget des comptes spéciaux 2008	2 090 F CFP
- Budget général de la Polynésie française et budget des comptes spéciaux 2007	1 971 F CFP
- Budget général de la Polynésie française et budget des comptes 2006	2 667 F CFP
- Budget général de la Polynésie française et budget des comptes 2005	2 604 F CFP
- Code des marchés publics (Septembre 2004)	2 415 F CFP
- Code du travail (édition 2004)	3 938 F CFP
- Code de l'environnement (JOPF n° 1 NS du 27 février 2004) (broché)	882 F CFP
- Code de l'éducation (JOPF n° 3 NS du 25 août 2000)	441 F CFP
- Code de l'expropriation pour cause d'utilité publique	1 355 F CFP
- Code des communes de la Polynésie française	429 F CFP
- Code pénal (JOPF n° 8 NS du 2 août 1996)	378 F CFP
- Code de procédure pénale (JOPF n° 9 NS du 16 août 1996)	704 F CFP
- Code de procédure civile (broché)	630 F CFP
- Code de la mer en tahitien	798 F CFP
- Comptes-rendus intégraux des débats de l'assemblée de la Polynésie française *(abonnement annuel)*	4 209 F CFP
- Convention collective des assurances	331 F CFP
- Convention collective de l'automobile	336 F CFP
- Convention collective du bâtiment et des travaux publics	940 F CFP
- Convention collective des banques	496 F CFP
- Convention collective du commerce	525 F CFP
- Convention collective du gardiennage	352 F CFP
- Convention collective de l'industrie hôtelière de Polynésie française	536 F CFP
- Convention collective de l'industrie	431 F CFP
- Convention collective de l'imprimerie, de la presse et de la communication	743 F CFP
- Convention collective du nettoyage	410 F CFP
- Examen pratique du permis de conduire (véhicules de catégorie A et sous-catégorie A1)	718 F CFP
- Instruction comptable de la Polynésie française (JOPF n° 1 NS du 2 janvier 2007 *broché*)	1 040 F CFP
- Instruction budgétaire et comptable M114 des communes	1 250 F CFP
- Recueil des textes sur la déconcentration de l'administration de la Polynésie française	945 F CFP
- Répertoire général des textes promulgués au BOEFO et JOPF de 1843 à 1996 (mise à jour)	3 413 F CFP
- Statut de la fonction publique : *Tome 1 :* Dispositions générales (mise à jour au 31 janvier 2004)	2 629 F CFP
- Table analytique et chronologique (année 1995)	2 027 F CFP
- Table analytique et chronologique (année 1996)	2 095 F CFP
- Table analytique et chronologique (année 1997)	2 504 F CFP
- Table analytique et chronologique (année 1998)	2 914 F CFP
- Table analytique et chronologique (année 1999)	3 192 F CFP
- Table chronologique (année 2000)	1 250 F CFP
- Table chronologique (année 2001)	1 386 F CFP
- Table chronologique (année 2002)	1 460 F CFP
- Tarif des douanes (édition 2004)	5 670 F CFP

Consulter l'Imprimerie Officielle pour les autres ouvrages

43, rue des Poilus-Tahitiens — B.P. 117 - 98713 Papeete — Tél. : 50.05.80 - Fax : 42.52.61 — Lundi à Jeudi : 7 h à 14 h 45 et Vendredi : 7 h à 12 h 45