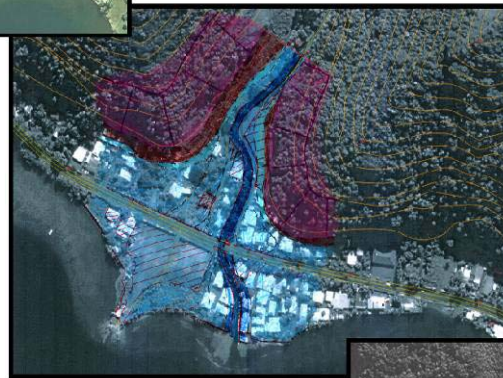


ETUDE DE L'ALEA INONDATION AU DROIT DE COURS D'EAU DE LA POLYNESIE FRANCAISE

RIVIERE PAPEHONU



■ ■ ■ ——— **Rapport d'expertise**

Table des matières

1.	ZONE D'EXPERTISE	3
1.1.	Présentation des caractéristiques générales du bassin versant	3
1.2.	Localisation de la zone d'expertise	4
2.	METHODOLOGIE RETENUE	5
2.1.	L'expertise hydrogéomorphologique	5
2.1.1.	Les unités actives fonctionnelles	6
2.1.2.	Les formes connexes	6
2.1.3.	Prise en compte des aménagements et de l'occupation des sols	7
2.2.	Traduction qualitative des aléas	7
3.	DONNEES DE L'EXPERTISE PAR TRONÇONS HOMOGENES	9
3.1.	Tronçon 1 glaciaire amont de la RT2	10
3.2.	Tronçon 2 l'espace aval de la RT2	12
4.	CONCLUSION	13
4.1.	Evolution de la connaissance de l'aléa	13
4.2.	Propositions de mesures d'aménagement	13
	ANNEXES	14
	BIBLIOGRAPHIE	17

Le bassin versant de la Papehonu même s'il se situe "sous le vent" à l'opposé des reliefs de la côte Est les plus exposés à l'influence directe des dépressions tropicales ; reste néanmoins bien arrosé, avec des valeurs de l'ordre de 3000 mm/ans.

Les crues se produisent préférentiellement lors de la saison humide de décembre à mars en corrélation avec les dépressions tropicales ou les épisodes cycloniques. Toutefois, les conditions orographiques particulières de l'île (effet barrière des reliefs sub-littoraux à pente forte), peuvent également générer des épisodes orageux assez brefs mais de forte intensité, générant des crues soudaines en toute saison, y compris lors de la période sèche.

L'ensemble des caractéristiques physiques (climat, relief) favorise des crues fréquentes et répétitives (1982, 1983, 1985, 1998, 2006, 2007) qui affectent particulièrement la plaine littorale où se concentre l'essentiel de l'urbanisation. Pour les épisodes précités, sur ce petit bassin versant naturel, aucune estimation de débit n'a été trouvée dans la bibliographie.

1.2. Localisation du secteur d'expertise

Le secteur expertisé représente un linéaire de 350 mètres du lit de la Papehonu qui correspond à un glacis cône édifié par ses alluvionnements successifs au niveau du lieu dit Tiamao. Ce pan incliné "en éventail", est disséqué par le lit chenal du torrent bien encaissé ainsi que par la zone de grand écoulement du torrent qui traverse une zone d'habitat pavillonnaire. On peut séparer cet espace en deux unités situées de part et d'autre de la RT2 qui traverse cette zone et joue un rôle hydrodynamique majeur lors du développement des crues,

- Sur la partie haute, la zone de décharge et de grand écoulement des eaux, à la surface du glacis, barrée transversalement à l'aval par le remblai routier de la RT2 qui ralentit les écoulements,
- Sur la partie basse, une zone d'étalement à pente faible très déprimée correspondant à l'espace de la bande sub-littorale partiellement remblayée par des terre-pleins, et qui est recoupée par l'exutoire du cours d'eau.



Secteur d'étude : le glacis échancré et l'exutoire de la Papehonu à proximité de la pointe Tereia.

2. METHODOLOGIE RETENUE

2.1. L'expertise hydrogéomorphologique

Elle s'appuie sur la méthode hydrogéomorphologique, approche naturaliste de terrain aujourd'hui préconisée par les services de l'Etat, pour la cartographie des zones inondables. Elle est basée sur l'identification des unités spatiales homogènes correspondant à différents **lits topographiques que la rivière a façonnés dans le fond de vallée** par accumulation de ses sédiments, pour différentes gammes de crues (fréquentes, moyennes, exceptionnelles).

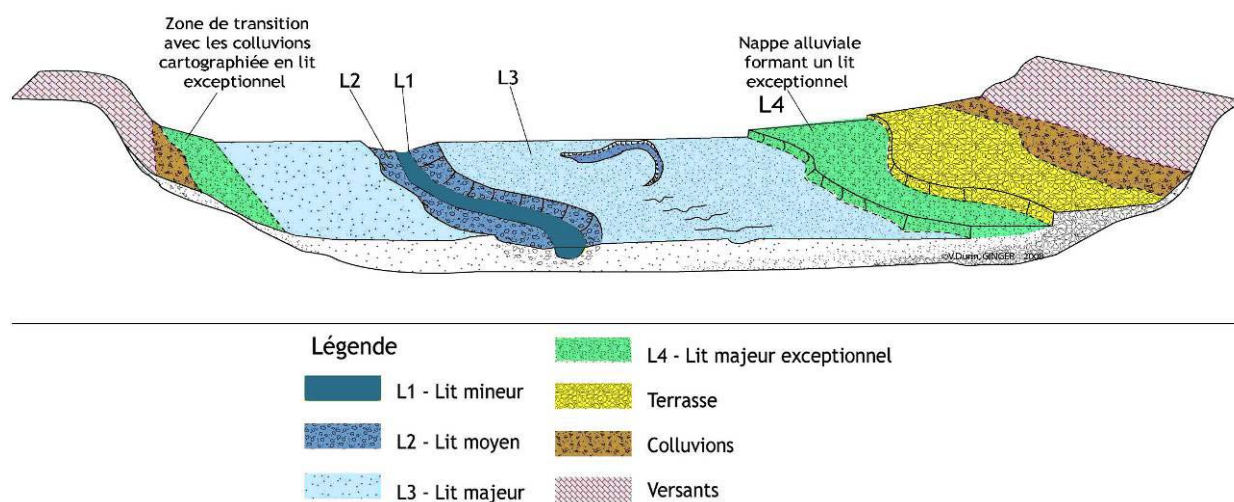
L'analyse hydrogéomorphologique se pratique sur le terrain et par photo-interprétation de clichés aériens. Dans le cas de la Papehonu, nous avons travaillé à partir de clichés stéréoscopiques issus d'une image QuickBird haute résolution (0.6 m) de 2004 fournie par le service de l'urbanisme (convention N° 27/2009), qui constitue également le support de restitution cartographique.



Vallée de la Papehonu (QuickBird 2004)

Dans le détail, cette cartographie dissocie d'une part les unités hydrogéomorphologiques actives de la plaine alluviale (bleu et turquoise) ; et d'autre part, les terrains encaissants non inondables correspondant aux terrasses anciennes (jaune) et au substratum rocheux (rose) qui constituent les versants.

Fig. 2 : schéma d'organisation de la plaine alluviale hydrogéomorphologique et de son encaissant (source GINGER)



L'ensemble des éléments cartographiés dans le cadre du diagnostic hydrogéomorphologique sont présentés ci-dessous par grandes unités :

2.1.2 Les unités actives fonctionnelles

- **Le lit mineur**, incluant le lit d'étiage correspond au lit intra-berges et aux secteurs d'alluvionnement immédiats (plages de galets). Il est emprunté par la crue annuelle, dite crue de plein-bord, n'inondant que les secteurs les plus bas et les plus proches du chenal d'écoulement permanent toujours en eau.
- **Le lit moyen**, fonctionnel pour les crues fréquentes à moyennes (période de retour 2 à 10 ans) assure la transition entre le lit mineur et le lit majeur. Il constitue ce que l'on appelle **la zone de mobilité du cours d'eau**, où les mises en vitesse et les transferts de charge importants induisent une dynamique morphogénique complexe et changeante en liaison avec la présence de chenaux et axes de crue.
- **Le lit majeur** est fonctionnel pour les crues plus rares (période de retour 20 à 100 ans). Il présente un modelé plus plat, situé en contrebas de l'encaissant. La dynamique des inondations dans ces secteurs, privilégie en général les phénomènes de décantation car ils sont submergés par des lames d'eau plus faibles que les unités précédentes. Toutefois, quand ils sont parcourus par d'anciens chenaux, ou gouttières connectées avec les talwegs latéraux, ils peuvent conserver ce que l'on appelle **des axes de grand écoulement**, qui restent relativement dynamiques en termes de hauteur et de vitesse.
- **Le lit majeur exceptionnel** marque généralement les parties inférieures des glacis de raccordement avec les versants où le contact avec l'encaissant est peu marqué dans des secteurs où le substratum basaltique est altéré (mamu) ou dans les zones de colluvions.

2.1.2 Les formes connexes

- **Les points de sortie ou de débordement** correspondent à des secteurs privilégiés d'évacuation d'une partie des débits du chenal principal vers un bras de décharge ou d'un axe d'écoulement dans le lit majeur.
- **Les Bras secondaires de décharge et axe d'écoulement** sont représentés par une flèche localisant la ligne de courant. Il s'agit de dépressions recoupant la plaine alluviale, mises en eau lors des plus fortes crues avec une hauteur d'eau et des vitesses plus importantes que dans le reste du champ d'inondation, traduisant un aléa plus fort.
- **Cônes de déjection** : Les cours d'eau à caractère torrentiel à forte pente au contact des plaines littorales proches du niveau de base côtier sont

couronnés à leur exutoire par une accumulation de sédiments grossiers qui constituent des cônes de déjection.

Surélevés par rapport au reste de la vallée, ces derniers, affectés tout ou partie de leur surface par des inondations avec une activité hydrodynamique variable en fonction des caractéristiques du bassin versant amont (taille, lithologie, nature du couvert végétal...)

2.1.3 Prise en compte des aménagements et de l'occupation des sols

Les aménagements anthropiques, l'urbanisation, ainsi que certains éléments du milieu naturel (verrous rocheux) ont des incidences directes multiples et variées sur la dynamique des écoulements au sein du champ d'inondation.

Les éléments suivants sont cartographiés : ponts, digues, seuils, remblais d'infrastructures linéaires ou surfaciques, autant d'ouvrages longitudinaux ou transversaux susceptibles de faire obstacle aux écoulements ou de favoriser l'évacuation des crues vers l'aval.

Même si la méthode hydrogéomorphologique ne permet pas d'évaluer l'influence de ces aménagements sur la variation de la ligne d'eau ou des vitesses, elle permet toutefois, de donner un avis d'expert sur leur impact en termes hydrodynamique (surcote, sédimentation etc...). Une attention particulière est portée sur le terrain sur objets naturels ou ouvrages transversaux **pouvant générer des embâcles** aggravant ainsi notablement les risques d'inondation.



Formation d'embâcles et impact sédimentaire lié à la présence d'un bloc rocheux dans le lit

2.2. Traduction Qualitative des aléas

La détermination qualitative des aléas découle du fonctionnement de la rivière tel qu'il a été apprécié par le diagnostic hydrogéomorphologique et confirmé par les informations issues de témoignages historiques (enquêtes riverains, photographies, presse, relevés de laisses de crues). Elle se déroule en deux séquences successives :

- Dans un premier temps, **un diagnostic par photo-interprétation** permet en fonction de l'intensité des dynamiques de corrélérer des indices morphologiques à des niveaux d'aléas.

Les témoignages géomorphologiques laissés par les crues ne permettent pas d'en déduire directement des hauteurs d'eau ni une hiérarchisation des hauteurs. Par contre, on sait globalement que telle ou telle forme topographique implique certaines gammes de vitesses et hauteurs d'eau.

Les aléas sont définis sur la totalité de l'emprise de la plaine alluviale. En termes cartographique le niveau d'aléa correspond à la traduction d'une forme hydrogéomorphologique conformément au schéma ci-contre et au tableau présenté ci-après :

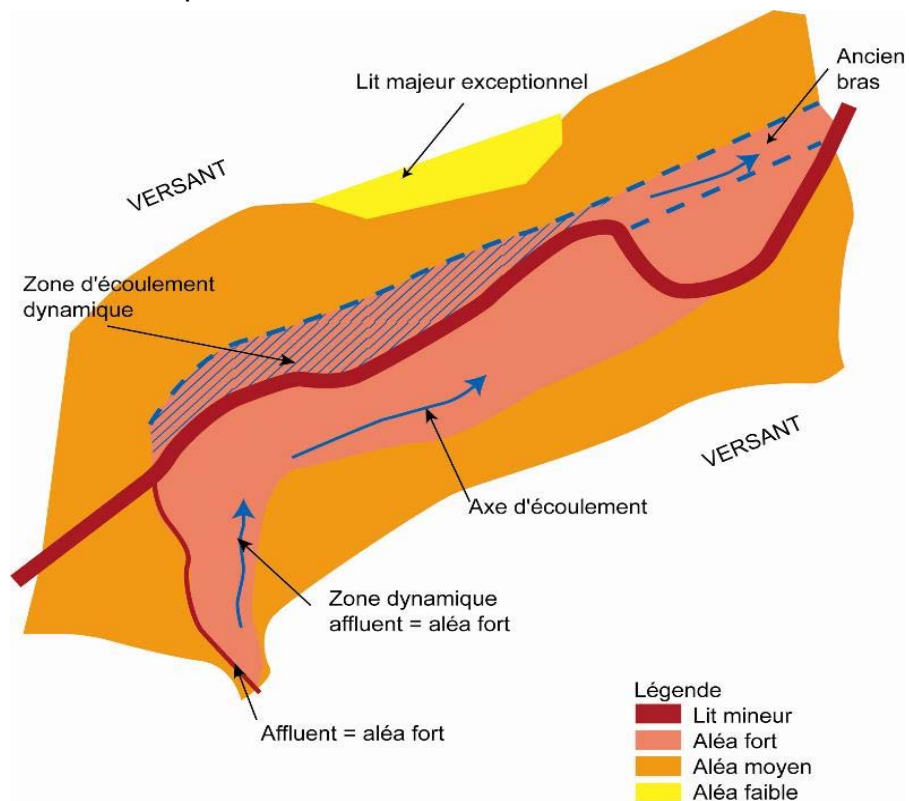


Fig. 2 Transcription des lits hydrogéomorphologiques en termes d'aléa.
GINGER- 2004

ALEA FORT	Comprend le lit mineur, l'ensemble du lit moyen avec les chenaux annexes et les anciens bras en connexion directe avec le chenal d'écoulement principal (espace de mobilité du cours d'eau), les portions du lit majeur recelant des axes de crues. En termes hydrodynamique cet ensemble peut être qualifié de zone de grand écoulement (hauteurs supérieures à 1 m et vitesses élevées).
ALEA MOYEN	Comprend le reste du lit majeur correspondant aux zones d'interfluves séparant les axes d'écoulements dynamiques ainsi que certaines bordures externes de la plaine alluviale. Cet ensemble peut être qualifié de zone d'expansion . Mobilisée tout ou partie pour les crues rares les aléas en termes de hauteur et surtout de vitesses y sont plus modérés.
ALEA FAIBLE	Cet ensemble est généralement associé aux espaces qualifiés de lit majeur exceptionnel dans le diagnostic hydrogéomorphologique, c'est-à-dire aux zones d'interface et de raccordement avec le versant correspondant généralement à des matériaux d'altération ou colluvions qui empâtent les pieds de versants. Ils ne sont atteints que lors des événements exceptionnels avec des hauteurs d'eau qui sont faibles et pas de dynamique vitesse.

- Par la suite, **l'analyse terrain** couplée à l'information topographique disponible sur la zone d'étude et aux informations historiques récoltées sur site permet d'améliorer le diagnostic On peut ainsi définir localement :

- les secteurs où les hauteurs d'eau seront de l'ordre du mètre ou plus pour une crue historique ;
- les secteurs où les écoulements seront rapides et dangereux (analyses de terrain, témoignages, proximité par rapport à la zone d'écoulement dynamique...)
- les secteurs d'étalement des débordements (espaces de large plaine),...

L'intégration de ces données semi-quantitatives permet à un deuxième niveau d'apporter certaines nuances aux corrélations précédemment effectuées venant ponctuellement conforter (et dans certains cas aggraver) les aléas définis d'après les principes de base énoncés précédemment

Enfin, même si la traduction de l'aléa a été réalisée sur la base du fonctionnement naturel des cours d'eau, l'expertise de terrain permet également **d'apprécier les effets d'aménagements anthropiques** susceptibles de modifier les conditions hydrodynamiques au sein des plaines alluviales (ponts, digues, remblais). Cette prise en compte ne se traduit pas nécessairement par une modification du niveau d'aléa (car seule une étude hydraulique permet de quantifier précisément leurs impacts sur les écoulements), mais des étiquettes signalétiques ont été rajoutées pour attirer l'attention des services, et indiquer en première analyse leur influence probable sur les crues.

3. DONNEES DE L'EXPERTISE PAR TRONÇONS HOMOGENES

Conformément aux principes de l'analyse hydrogéomorphologique, le linéaire étudié a été découpé en sections homogènes qui reflètent la morphologie et l'activité hydrodynamique au sein de la plaine alluviale. Pour chacun des 2 tronçons identifiés (cf. plan ci-dessous) le commentaire intègre les aspects géomorphologiques qui sont traduits directement en aléas.

On trouvera en annexe de ce document les cartes globales hydrogéomorphologie et aléas qualitatifs du secteur d'étude présentés sur fond de plan orthophotos en niveau de gris à l'échelle du 1/1500^e. Leur précision maximale correspond à cette échelle de report.



Fig. 3 Localisation des tronçons homogènes.

Tronçon 1 glacis amont de la RT2

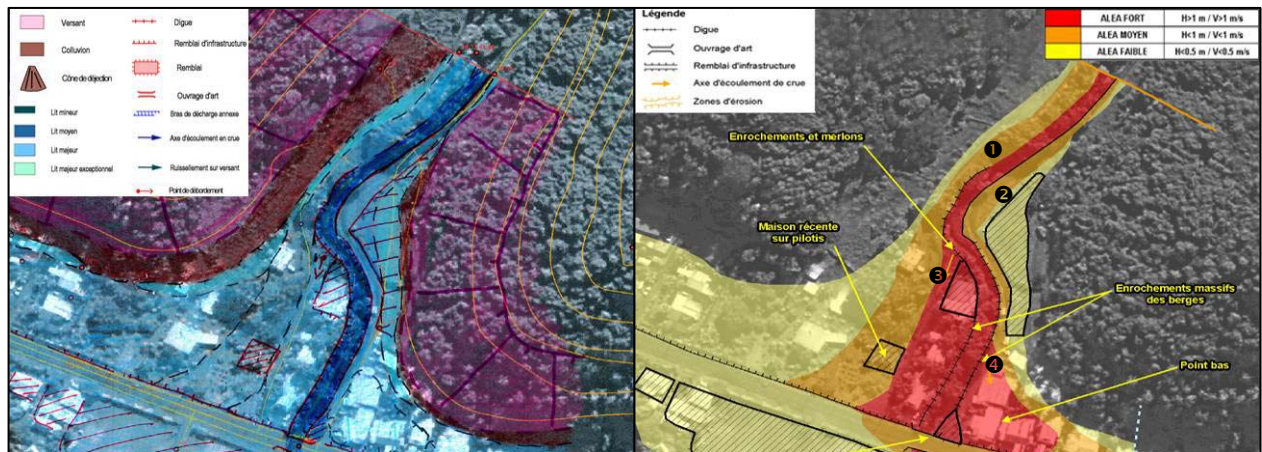


Fig. 4 Tronçon 1 : hydrogéomorphologie et qualification des aléas

Au débouché de la section rocheuse constituant la terminaison des planèzes qui arment les versants de l'arrière pays, la Papehonu a construit un glacis cône qui domine la partie supérieure de la plaine littorale en amont de la RT2.

Cette formation sédimentaire correspond à l'accumulation de matériaux hétérogènes (limons-sables et cailloutis avec des petits blocs) déposés suite à la rupture de pente liée à la proximité du niveau de base. L'ensemble est recoupé sur 180 m par la bande active du cours d'eau dont le lit décrit un double coude et s'infléchit vers le sud.

- Le chenal d'écoulement de la rivière large de 4 à 5 mètres incise les dépôts du cône emboîté dans les colluvions qui empâtent les pieds de versant. Sa pente assez forte (2%), lui confère encore une forte hydraulité qui se traduit par une charge de fond assez grossière et des vitesses importantes qui nécessitent une protection en enrochement généralisée des berges. Dans ce corridor étroit, la mobilité du lit mineur qui remobilise fréquemment les matériaux, fait qu'il n'y a pas vraiment de lit moyen (photo)



La bande active (de la Moaroa)

- Quand le débit de plein bord est atteint, dans le chenal, les débordements s'effectuent tout d'abord latéralement avec des dynamiques modérées sur les bordures du lit majeur (épaulements ① et ②) de la partie amont ; puis au droit des points de sortie ③ et ④ en extrados de méandre avec des intensités beaucoup plus importantes liées notamment aux vitesses.

De fait, en fonction de ces dynamiques, à partir du point ③ on identifie sur un linéaire de 100 mètres une zone de grand écoulements classée en aléa fort qui s'ouvre en éventail jusqu'au remblai routier de la route territoriale. Les habitations situées à proximité du chenal de part et d'autre des berges sont donc particulièrement exposées même si les berges sont protégées par des enrochements massifs en gros blocs.



Habitations exposées de part et d'autre des berges.



Ouvrage hydraulique limitant sur la RT2

A l'aval, le remblai transversal de la RT2 positionné entre 0,5 et 1,5 m par rapport au terrain naturel favorise un surstockage et un étalement des écoulements. Ce phénomène est accentué par le sous-dimensionnement de l'ouvrage hydraulique (pont cadre béton 4m L x 1,7 m h) dont le tirant d'air est assez faible (< à 1,5 m) du fait de l'engravement du fond du chenal. Par ailleurs la présence d'une canalisation couplée au tablier (photo) qui diminue encore la section utile,

constitue un caractère aggravant qui accentue les risques d'embâcles déjà importants. Dans ce cas de figure il n'est pas exclu que sur une section de 100 m linéaire, la route territoriale puisse être temporairement coupée.

Tronçon 2 Frange littorale

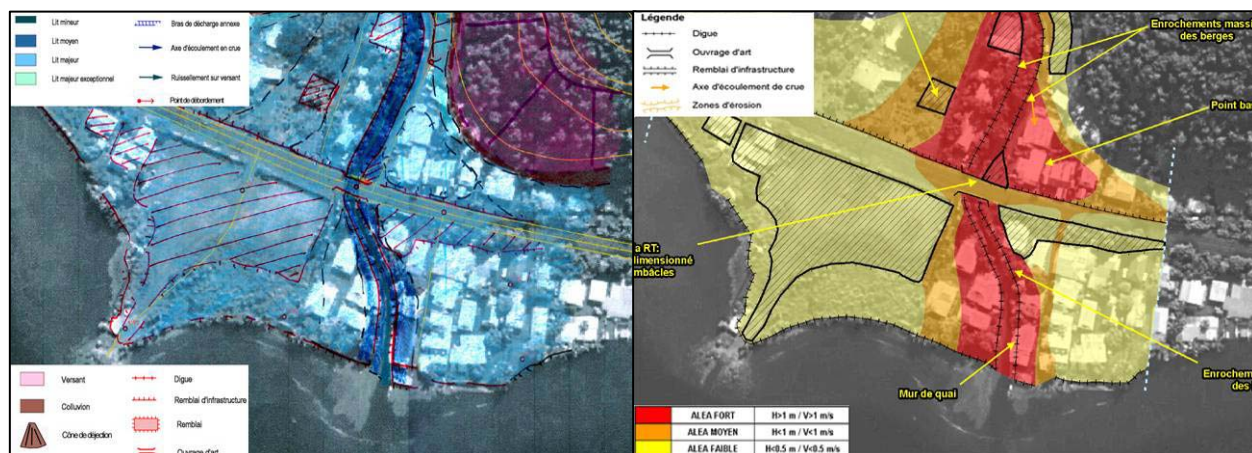


Fig. 5 Tronçon 2 : hydrogéomorphologie et qualification des aléas

En aval de la route territoriale on se situe naturellement dans une zone d'étalement des eaux correspondant au plancher de la zone sub-littorale qui se développe en pente douce entre les cotes 1,5 et 0,5 m NGP. En rive droite, l'espace de la pointe Teria a été remblayé et aménagé (terre-plein, pylône radio-electrique) ce qui favorise un déport de la bande active vers le Sud-Est.

Cette dernière correspond à un couloir d'une quinzaine de mètres de part et d'autre du chenal d'écoulement où les dynamiques resteront importantes notamment en termes de vitesses ce qui justifie le maintien d'un classement en aléa fort. Les habitations situées le long de cet axe sont soumises assez facilement aux débordements, comme en témoignent les travaux de rehaussement des berges (enrochements supplémentaires et murs de protection en agglomérés). Au-delà, les eaux s'évalent vers les parties externes et l'aléa diminue avec la distance.



Exutoire du chenal en aval de la RT

En bordure de l'exutoire littoral, la surcote marine générée lors des tempêtes ou des cyclones (1m en moyenne) peut ralentir les écoulements et favoriser une surinondation des terrains adjacents qui sont très bas (0,5m) notamment en rive droite où un mur de quai de protection a été construit.

CONCLUSION

4.1. Evolution de la connaissance de l'aléa

Par rapport à la cartographie antérieure qui relevait également de l'expertise de terrain, l'analyse réalisée en juillet 2009 vient affiner de manière plus précise l'ensemble des dynamiques qui concernent la zone d'expansion et d'étalement des crues que constitue le glacis-cône de la Papehonu. Elle permet en particulier, de faire apparaître la localisation et le fonctionnement des principaux points de débordement actifs, lorsque le débit de plein bord est atteint dans le lit mineur pour les fortes crues.

D'une manière générale, ce nouveau document confirme certains éléments déjà identifiés lors de l'analyse physiographique précédente, notamment la vulnérabilité importante des habitations situées en amont de la RT2. La nouvelle cartographie souligne également l'impact important du remblai transversal de la RT2 et son rôle aggravant dans la traduction de l'aléa par effet de barrage et surstockage, notamment au niveau du point bas rive gauche identifié sur la carte.

L'ensemble de ces indices révèle une activité hydrodynamique intense qui affecte potentiellement à des degrés divers, l'ensemble de la surface du glacis-cône depuis le point de sortie ②, jusqu'à l'exutoire littoral.

4.2. Propositions de mesures d'aménagement

Sur cet espace de plaine littorale assez contraint et déjà largement urbanisé, les mesures permettant de réduire l'aléa sont limitées.

- La vulnérabilité de l'urbanisation existante dans la bande active est aggravée par un effet de rétention avec surcote liée à la présence du remblai linéaire et le sous dimensionnement du pont de la RT2, par ailleurs potentiellement sensible à des embâcles. Pour limiter la hauteur d'eau amont, sachant qu'il apparaît très difficile compte tenu des contraintes géométriques de reprendre l'ouvrage actuel (élargissement ou rehaussement), il pourrait être envisagé d'étudier la création d'un drain d'évacuation secondaire avec un franchissement en dalots sous la route.

Ce dernier pourrait être positionné en rive droite à l'endroit où le chenal s'infléchit vers l'Est (cf. croquis schématique). Après le franchissement de la RT il pourrait prendre la forme d'un cuvelage béton, d'une centaine de mètres qui rejoindrait le littoral en longeant le terre-plein existant. Les conditions de faisabilité de cet ouvrage ainsi que ses principales caractéristiques (côte radier amont, gabarit, pente) devront faire l'objet d'une étude complémentaire du fonctionnement hydraulique aux abords immédiats de la RT accompagnée d'une topographie de relevés topographiques précis du secteur.



Schéma de principe de création d'un exutoire secondaire

ANNEXES

-

Cartographie hydrogéomorphologique

Cartographie qualitative des aléas

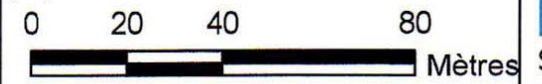


Ministère de l'aménagement et
des relations avec les communes
Cellule de l'urbanisme

Cartographie hydrogéomorphologique des zones inondables de la rivière Papehonu



Echelle: 1:1 500



SPI INFRA

LEGENDE

Plaine alluviale fonctionnelle

Unités hydrogéomorphologiques actives

- Lit mineur
- Lit moyen
- Lit majeur
- Lit majeur exceptionnel
- Zone sub-littorale

Structures secondaires

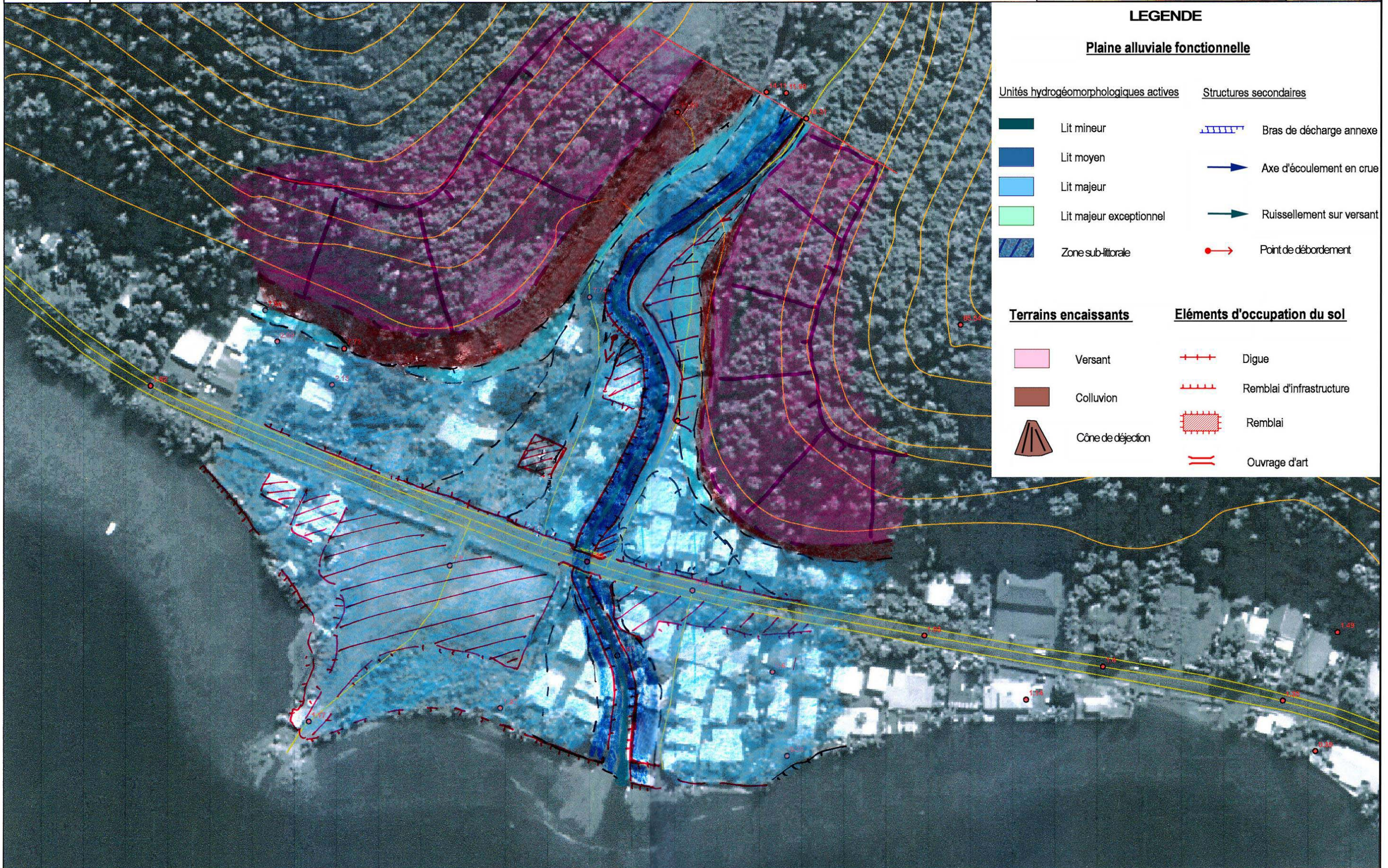
- Bras de décharge annexe
- Axe d'écoulement en crue
- Ruissellement sur versant
- Point de débordement

Terrains encaissants

- Versant
- Colluvion
- Cône de déjection

Éléments d'occupation du sol

- Digue
- Remblai d'infrastructure
- Remblai
- Ouvrage d'art





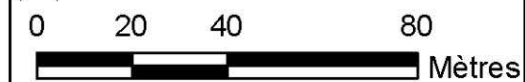
Ministère de l'aménagement et
des relations avec les communes
Cellule de l'urbanisme

Carte des zones de débordement et de zonage des aléas issus de l'expertise de terrain

Aléas qualitatifs pour la rivière Papehonu



Echelle: 1:1 500

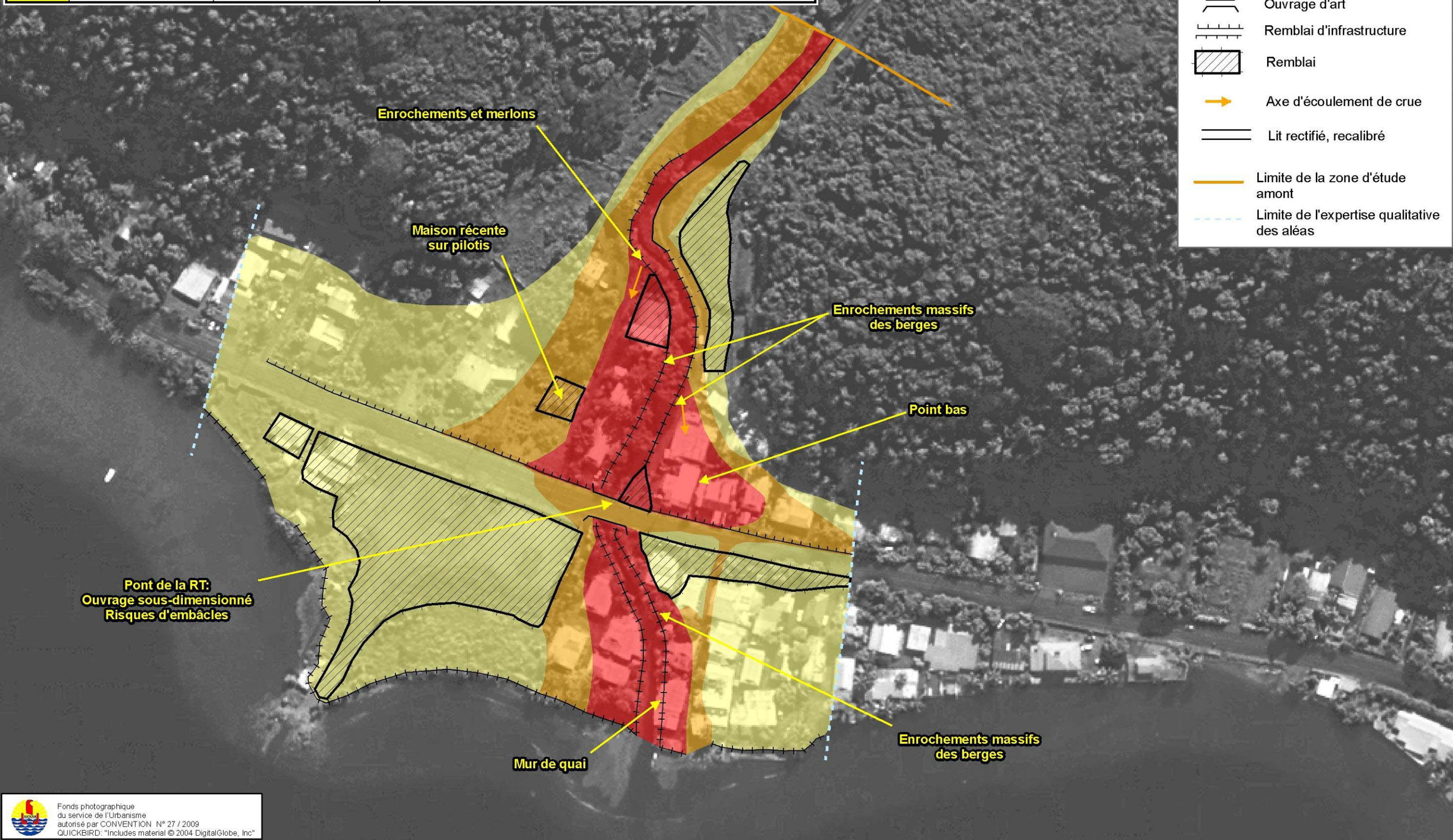


SPI INFRA

	ALEA FORT	H>1 m / V>1 m/s	hauteur d'eau importante et/ou vitesse forte
	ALEA MOYEN	H<1 m / V<1 m/s	hauteur d'eau n'excédant pas le mètre et vitesse modérée
	ALEA FAIBLE	H<0.5 m / V<0.5 m/s	hauteur d'eau et vitesse faible

Légende

- Digue
- Ouvrage d'art
- Remblai d'infrastructure
- Remblai
- Axe d'écoulement de crue
- Lit rectifié, recalibré
- Limite de la zone d'étude amont
- Limite de l'expertise qualitative des aléas



Fonds photographique
du service de l'Urbanisme
autorisé par CONVENTION N° 27 / 2009
QUICKBIRD: "Includes material © 2004 DigitalGlobe, Inc"

BIBLIOGRAPHIE

DANLOUX.J, FERRY.L, janvier 1983, Note sur les crues consécutives au passage de la dépression tropicale "Lisa".

CAUCHARDT.G, PASCAL R, PASTUREL J, 1993, La climatologie des îles, in Atlas de la Polynésie Française, ORSTOM - Papeete, pp 42-43

MONIOD.F, mars 1995, Connaissance et gestion des hydrosystèmes des îles hautes du sud-ouest Pacifique, in Colloque Environnement dans le Pacifique Sud, pp 97-106.

WOTLING.G, mars 2001, (IRD-GEGDP) Notice technique pour l'évaluation de l'aléa hydrologique à Tahiti