

REVISION DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION
SUR L'ILE DE TUBUAI – ARCHIPEL DES AUSTRALES
LOT3 - EXPERTISE

SERVICE DE L'URBANISME

Août 2014

ADVOCAT Géline

Bp 62900 98703 F.A.A.

Vini 87 71 66 58

E-mail advocat.vaiad@gmail.com

VAIAD

Ingénieur conseil

N° RC 42765A

N° Tahiti 579771

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	1
1.1. Objectifs premiers de l'expertise	1
1.2. Révision des objectifs de l'expertise	1
2. ETAT DES LIEUX	3
2.1. Recueil de données	3
2.1.1. Données cartographiques	3
2.1.2. Données topographiques	3
2.1.3. Données pluviométriques et études antérieures.....	3
2.1.4. Occupation des sols	4
2.2. Enquêtes	4
2.2.1. Plan de Prévention des Risques (PPR) et Plan de Gestion et d'Aménagement (PGA).....	4
2.2.2. Dysfonctionnements recensés et travaux sur les rivières	5
2.2.3. Remblais et travaux recensés en zone inondables	6
2.2.4. Rivières, fossés, marécages et pratiques agricoles.....	6
2.3. Reconnaissances	7
2.3.1. Cahier HT N°1/2 Fiches d'ouvrages	7
2.3.2. Remblais	8
2.3.3. Tracés de collecteurs erronés ou modifiés	9
2.3.4. Abords de la traversière	11
2.3.5 Les cours d'eau.....	11
2.4. Etude hydrologique	13
2.4.1. Caractéristiques géologique et topographiques de Tubuai.....	13
2.4.2. Caractéristiques des bassins versants	14
2.4.3. Pluviométrie	15
2.4.4. Evaluation des débits de crue	15
2.5. Capacité des ouvrages de traversée	17
2.5.1. Méthodologie	17
2.5.2. Résultats.....	17

3. DIAGNOSTIC ET DEFINITION DES PRIORITES	19
3.1. Réseau hydrographique	19
3.1.1. Collecteurs dans la plaine côtière.....	19
3.1.2. Marécages	20
3.2. Genèse et propagation des crues	20
3.2.1. Genèse des crues	20
3.2.2. Propagation des crues	20
3.2.3. Facteurs influençant les inondations	21
3.3. Hiérarchisation des rivières de Tubuai	22
3.4. Secteurs dont l'aléa est à réviser	24
3.4.1. Situation.....	24
3.4.2. Définition des levés topographiques complémentaires.....	24
4. REVISION DU ZONAGE DE L'ALEA	25
4.1. Diagnostic des lits mineurs pM60, pM12550 et pM2150	25
4.1.1. Géométrie	25
4.1.2. Modélisation des écoulements	25
4.1.3. Cours d'eau pM60.....	26
4.1.4. Cours d'eau pM12550.....	28
4.1.5. Cours d'eau pM2150.....	30
4.2. Révision de l'aléa associé aux cours d'eau pM60, pM12550 et pM2150	30
4.2.1. Méthodologie	30
4.2.2. Cours d'eau pM60.....	31
4.2.3. Cours d'eau pM12550.....	31
4.2.4. Cours d'eau pM2150.....	32
4.3. Révision de l'aléa sur autres secteurs	33
4.3.1. Remblai de la piste du dépotoir	33
4.3.2. Abords de la traversière sur le versant nord.....	33
4.3.3 Divers	34

5. REDUCTION DE L’ALEA	35
5.1. Préserver le laminage des débits de pointe.....	35
5.1.1. Pressions foncières sur les marécages.....	35
5.1.2. Plan de gestion des marécages et encadrement des pratiques agricoles	35
5.2. Interventions sur les cours d’eau	36
5.2.1. Travaux d’aménagement	36
5.2.2. Travaux d’entretien	36
5.3. Cas des cours d’eau étudiés.....	36
5.3.1. Rivière pM60.....	36
5.3.2. Rivière pM12550.....	37
5.3.3. Cours d’eau pM2150.....	37
6. LIMITES DE L’ETUDE	38

PIECES HORS TEXTE

Cahier hors texte N°1/2 Fiches d’ouvrages

Cahier hors texte N°2/2 Cartographies

Planche 1/10 000 Zonage de l’aléa

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

1.1. Objectifs premiers de l'expertise

La cartographie de l'aléa inondation à Tubuai s'est largement appuyée sur la carte topographique de 1983 et la carte géologique pour délimiter les zones marécageuses en complément de la restitution par photo aérienne de 2005 pour les talwegs et cours d'eau.

Cependant certains marais ont été depuis asséchés ou en partie remblayés sans que les conséquences sur l'aléa inondation n'aient été clairement identifiées.

L'objet de l'expertise est d'actualiser la cartographie de l'aléa inondation sur l'île de Tubuai au regard de ces remblais en se basant sur une analyse de terrain et des enquêtes, une analyse des photos aériennes disponibles, et des levés topographiques à définir.

Les enquêtes et les reconnaissances de terrain n'ayant permis d'identifier que deux zones de remblais notables sur l'île (dont l'un ayant déjà fait l'objet d'une mise à jour du PPRI), il apparaît que l'inadéquation du zonage de l'aléa inondation due aux remblais post Oli a été surévaluée.

1.2. Révision des objectifs de l'expertise

C'est pourquoi, les moyens mis à disposition pour cette expertise ont été ré orientés après la mission sur le terrain afin de revoir le zonage de l'aléa inondation :

- sur les remblais notables identifiés,
- sur les secteurs où apparaissent des incohérences entre le zonage de l'aléa inondation et la restitution de 2005,
- sur deux rivières dont le tracé dans la plaine s'est révélé erroné (pM60 et pM12550).
- sur un cours d'eau dont l'aléa inondation n'a pas été défini en 2010 (pM2150).

L'étude se présente sous 4 phases :

- un d'état des lieux, phase d'acquisition de données et d'études complémentaires
- un diagnostic relatif aux collecteurs d'eaux pluviales et aux mécanismes de crues propres à Tubuai et une hiérarchisation des collecteurs de Tubuai au regard du risque,
- la révision de l'aléa sur les secteurs prioritaires
- des préconisations et des propositions d'aménagement pour réduire l'aléa inondation.

Par la suite, les rivières sont repérées par le point métrique (pM) le long de la route de ceinture auquel se situe l'ouvrage de traversée (valeur arrondie).

2. ETAT DES LIEUX

2.1. Recueil de données

2.1.1. Données cartographiques

Les données cartographiques et photographiques ont été communiquées par le Service de l'Urbanisme. La communication de ces données fait l'objet de la convention de diffusion de données numériques N°34/2014 :

- cartes topographiques 1/5 000 de 2005 du Service de L'urbanisme
- plan PPR de 2010
- prise de vue aériennes de 1982 et 2007 partiel (non référencées)
- mosaïque IKONOS de 2005.

2.1.2. Données topographiques

Les données topographiques ont été acquises en cours d'étude, le cahier des charges ayant été défini à la suite des enquêtes et des reconnaissances de terrain.

Les levés ont été réalisés en aout 2014 par le cabinet de géomètres TopoPacifique.

Les cotes altimétriques sont rattachées au système local qui se réfère au niveau moyen des eaux mesuré entre le 17/12/06 et le 22/12/06 situé à 0.50m au dessus du zéro hydrographique.

Notons que la numérotation des profils en travers est inversée (de l'amont vers l'aval), que les sections des ouvrages de traversée ne sont pas droites et correspondent aux sections externes des ouvrages et enfin que les profils en travers PM60_P3a, b, c et d ont été extrapolés, non levés.

2.1.3. Données pluviométriques et études antérieures

Le **Groupement d'Etudes et de Gestion du Domaine Public** (GEGDP) et le **Bureau Etudes et Génie Civil** (BEGC) de la Direction de l'Equipement ne disposent d'aucune données relatives à Tubuai ni d'études antérieures.

Les données pluviométriques de Tubuai ainsi que les roses des houles de Rurutu nous ont été communiquées par le **Service des Aérodrômes Territoriaux** de la Direction de l'Equipement.

Le **Service de l'urbanisme** nous a communiqué la note méthodologique de réalisation du PPR de Tubuai réalisée par le BRGM (note non datée).

Pour le risque inondation, il est noté que « la problématique inondation à Tubuai concerne peu les crues des cours d'eau mais plutôt les débordements en plaine des marais et des cours d'eau du à l'ensablement des embouchures ». Aucune donnée quantitative n'est indiquée dans le rapport.

2.1.4. Occupation des sols

Le **Service du Développement Rural** nous a communiqué la carte des surfaces agricoles issue d'un recensement conduit en février 2013.

2.2. Enquêtes

Sur place, plusieurs réunions ont été organisées avec les élus, la subdivision de l'Équipement, le Service de l'Urbanisme et le Service du Développement Rural.

25/06/2014	TAHIATA Fernand	Maire
	PATII Philippe	5ème adjoint au maire
	TEINAURI Teave	Subdivision de l'Équipement des Australes (DEQ)
26/06/2014	TAHIATA Fernand	Maire
	YIENG KOW Guy	Maire délégué de TAAHURIA
	HATITIO Mayalène	Maire délégué de MATAURA
	FAATAU Taria	Maire déléguée de MAHU
	PATII Philippe	5e adjoint au maire
	TEMAE TEHEI Félix	Conseiller municipal
	TUREA Patricia	Conseiller municipal
26/06/2014	FEVRE Georges	Antenne du Service de l'Urbanisme (SAU)
27/06/2014	AUDOIN Charly	Antenne du Service du Développement Rural (SDR)
27/06/2014	FEVRE Georges	Antenne du Service de l'Urbanisme (SAU)

Les paragraphes suivants rendent compte des éléments issus des enquêtes auprès des élus et des Services, le cas échéant complétés par le témoignage de riverains.

2.2.1. Plan de Prévention des Risques (PPR) et Plan de Gestion et d'Aménagement (PGA)

Le PPR a été présenté aux élus après 2010 par Monsieur Emmanuel DESGARET. Les élus n'ayant pas été impliqués dans la démarche ont le sentiment que le PPR leur a été imposé.

Le PPR est surtout contraignant au regard du risque tsunami. Le risque inondation semble cohérent aux élus.

La commune ne dispose pas encore de Plan de Gestion et d'Aménagement (PGA).

2.2.2. Dysfonctionnements recensés et travaux sur les rivières

Les événements majeurs auxquels l'île de Tubuai a été confrontée sont les cyclones WASA en 1995 et OLI en 2010.

Les problèmes connus viennent surtout de la mer plutôt que des rivières.

D'un point de vue général, l'ensablement des exutoires sur les cotes Sud et Sud-Ouest exposée aux houles dominantes nécessite des interventions régulières de curage réalisées par la Subdivision de l'Équipement. Ces travaux de curage restent modérés pour éviter l'inondation des terres par remontée de la mer dans les fossés et lits des cours d'eau.

Lors des crues, les marécages se remplissent. Ils sont drainés par des cours d'eau ou des fossés qui permettent leur vidange en 2 à 3 jours voire moins si les exutoires ne sont pas ensablés ou noyés par le niveau marin.

La rivière la plus problématique est la rivière qui coupe la route de ceinture (RDC) au **pM60** à l'Est de la mairie. Elle déborde 3 fois par an tandis que le cours d'eau pM630 ne pose jamais de problème. En 2009, la berge rive gauche de la rivière pM60 a été protégée par un mur en béton (*source : Subdivision DEQ*).

La rivière située au Sud à Mahu qui génère le risque moyen à fort dans la plaine ne s'écoule pas selon un axe Nord-Sud. Elle coupe la traversière selon un axe Nord-Est- Sud-Ouest puis coupe la RDC au **pM12500**.

Cette rivière sort de son lit et déborde une fois par an et s'écoule tout droit vers le Sud (*source : Elus*). Elle a été curée récemment en aval de la traversière (*source : riverain*).

Le cours d'eau situé aux abords du snack Mara'ai (pM8750) a fait l'objet de travaux de confortement il y a 3 ans à la demande d'un particulier (*source : Subdivision DEQ*).

Une protection des berges par enrochements est programmée sur la rivière pM4450.

La traversière existe depuis 50 ans et il n'y a pas de problème connu relatif aux ouvrages de traversée des cours d'eau.

2.2.3. Remblais et travaux recensés en zone inondables

Seuls trois remblais majeurs ont été identifiés :

- le remblai le plus important se situe sur une ancienne zone marécageuse au Sud sur la commune de Mahu. Il a été régularisé par le Service de l'Urbanisme et le PPRI a été modifié en conséquence (*source : Antenne SAU*),
- un autre remblai a été réalisé à Mataura pour surélever de 0.3m le terrain de sport et le gymnase (*source : Elus*),
- le dernier remblai identifié concerne le dépotoir et la piste au nord qui a été surélevée pour permettre la mise en sécurité des populations en cas de tsunami (*source : Elus*).

Les buses devant permettre de rétablir la continuité du marécage de part en part de la piste surélevée n'ont pas été posées. Il semble que le marécage situé entre la piste du dépotoir et la piste parallèle située au Nord-Est n'ait plus d'exutoire, les buses sous cette dernière étant *a priori* colmatées (*source : Subdivision DEQ*).

Les autres « remblais » identifiés sont ponctuels et très localisés et concernent les voies d'accès. Ils sont réalisés à la demande par la commune avec de la soupe de corail (*source : riverains*). Les terrains sur lesquels des habitations ont été reconstruites après le passage du cyclone Oli n'ont généralement pas été remblayés, les constructions étant construites sur pilotis (*source : Antenne du SAU*).

2.2.4. Rivières, fossés, marécages et pratiques agricoles

Depuis 2010, Tubuai subit une sécheresse. Les fossés de drainage dans la plaine ont été de ce fait laissés à l'abandon et certaines rivières ont été équipées de « ara patia ».

Les *ara patia* sont des barrages dans le lit mineur constitués de pieux de bois qui permettent à leur amont une retenue d'eau, utilisée pour l'irrigation. Ils ne sont pas amovibles sauf à être détruits.

Les fossés de drainage dans la plaine et les barrages sur les rivières sont gérés et entretenus par les propriétaires ou exploitants agricoles.

Des cultivateurs de taro dont Monsieur Sylvin VIRIANU se sont regroupés pour l'aménagement et la gestion des *ara patia* mais le service AER (Aménagement Equipement Rural) du SDR s'orienterait vers l'aménagement de bassins de rétention pour l'irrigation (*source : SDR*).

Monsieur Sylvin VIRIANU, interrogé par téléphone, confirme la volonté d'aménager des *ara patia*. Ces ouvrages coutumiers permettent non seulement l'irrigation des terrains riverains et la recharge de la nappe alluviale mais aussi la protection des zones habitées en aval en favorisant les débordements vers les zones marécageuses et en ralentissant les écoulements dans les lits fortement encaissés en amont.

Notons qu'un riverain (Monsieur Willson DOOM) indique que l'usage des *ara patia* est un usage coutumier ancien qui avait pour objectifs non seulement de constituer des réserves d'eau pour l'irrigation de terres exploitées mais aussi d'orienter les inondations vers d'autres terres non exploitées ou mises en jachère. Ce dernier point est contesté par Monsieur Charly AUDOIN du SDR mais se rapproche des dires de Monsieur Sylvin VIRIANU.

Certains marécages situés en zone rouge (aléa inondation fort) ont une vocation agricole, exploités comme pâturages ou tarodières. Les faapu (maraichages) se situent préférentiellement en zone verte (aléa inondation faible).

2.3. Reconnaissances

Les reconnaissances ont pour objectifs :

- d'identifier les principaux ouvrages sur la traversière et la RDC afin de hiérarchiser les rivières de Tubuai et caler les débits de crue,
- de situer les terrains remblayés identifiés lors des enquêtes,
- de vérifier le zonage de l'aléa inondation sur les secteurs présentant une incohérence avec la restitution de 2005,
- de lever les ouvrages et d'identifier les tracés réels des rivières pM60 et pM12550.

2.3.1. Cahier HT N°1/2 Fiches d'ouvrages

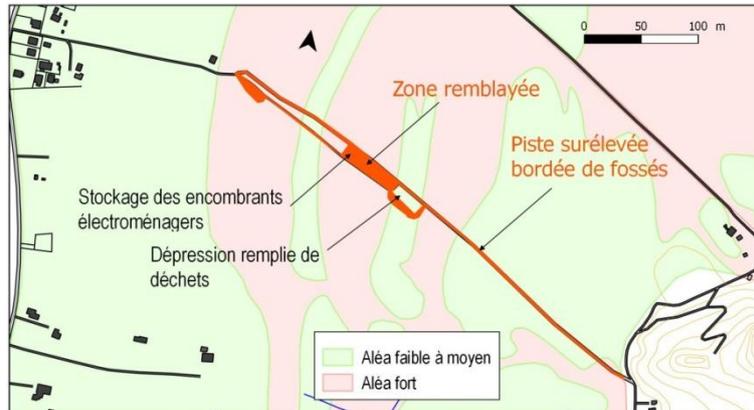
Le cahier hors texte **N°1/2 Fiches d'ouvrage** répertorie :

- les ouvrages de traversée de la RDC drainant les principaux bassins versants,
- les ouvrages de traversée de la RDC drainant de plus petits bassins versants (manque pM730) et quelques ouvrages de drainage de la plaine,
- les ouvrages de traversée de la traversière drainant les principaux bassins versants,
- les ouvrages et sections levés sur la rivière pM60 et sur la rivière pM12550.

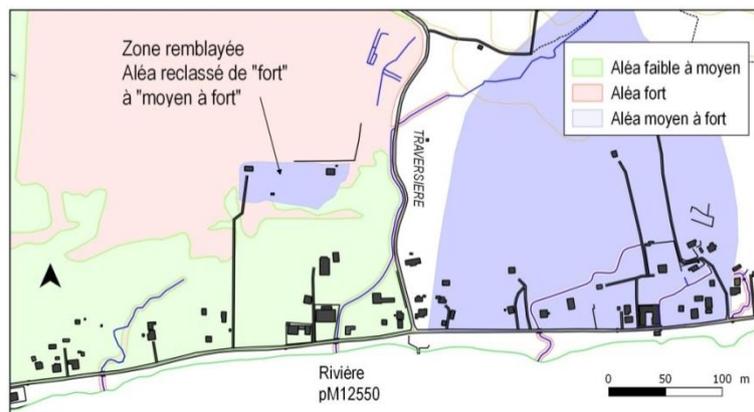
Les ouvrages de traversée sont situés sur la planche « Bassins versants » consignée dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies**.

2.3.2. Remblais

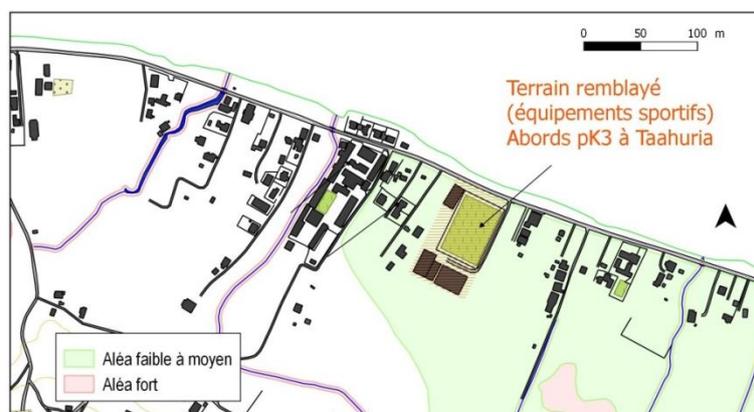
Le remblai au niveau du dépotoir a été levé au GPS. Il est situé à Matura au Sud de l'aérodrome. La piste qui se prolonge jusqu'au versant a été surélevée et des fossés ont été a priori creusés de part en part.



Le remblai situé à Mahu en rive droite de la rivière pM12550, à l'ouest de la traversière a été régularisé et le PPR a été modifié, l'aléa inondation étant déclassé d'aléa fort (zone rouge) à aléa moyen à fort (zone bleue).



Le troisième remblai identifié est celui du terrain de sport et du gymnase de Taahuria.



Les autres travaux de remblaiement sont très localisés et de faible ampleur et consistent à rehausser certains chemins d'accès avec de la soupe de corail. Ces travaux sont effectués par la mairie à la demande.

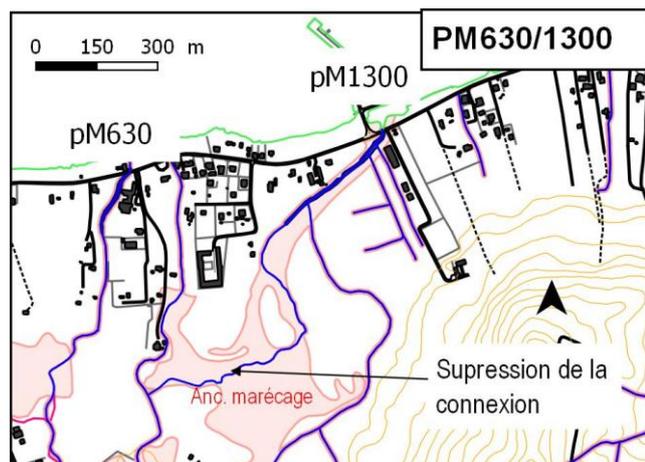
Sans incidence sensible sur l'aléa inondation, ils peuvent induire toutefois une gêne importante en empêchant le drainage naturel de certain secteurs (cas en rive droite de la rivière pM60 à Matura d'un accès devenu très humide, difficilement praticable la plupart du temps, suite à la rehausse d'un chemin d'accès perpendiculaire).

2.3.3. Tracés de collecteurs erronés ou modifiés

Les reconnaissances et enquêtes de terrain ont permis de relever des différences entre le réseau hydrographique de la carte SAU et le réseau hydrographique actuel :

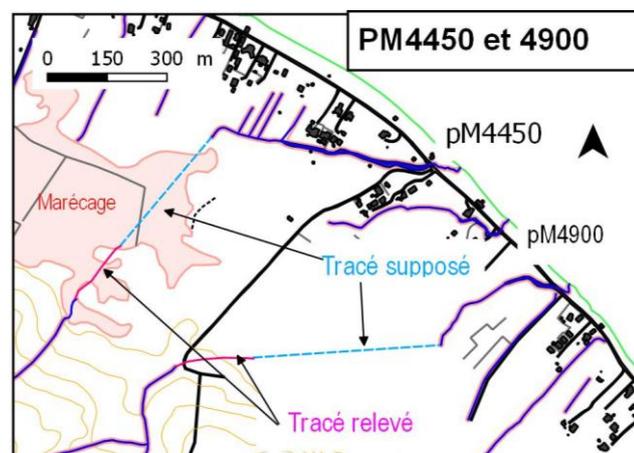
- existence d'une connexion entre le lit aval du cours d'eau pM60 et le lit amont du cours pM630. La connexion se situe au droit d'un *ara patia* (barrage en pieux de bois) et le lit du cours d'eau **pM60** en aval est colmaté (cf. planche *Géométrie du lit mineur* répertoriée dans le cahier HT **N°2/2 Cartographies**),

- suppression de la connexion entre les cours d'eau pM630 et pM1300 qui permettaient une décharge du lit pM630 vers le lit pM1300,

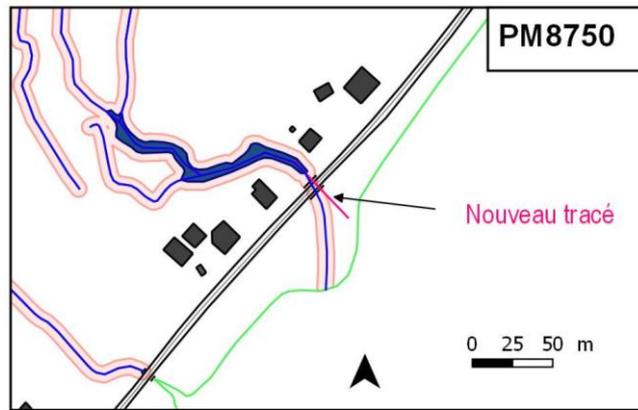


- existence d'un fossé entre le talweg débouchant en pied de versant et le cours d'eau **pM4450** (dans l'axe du talweg),

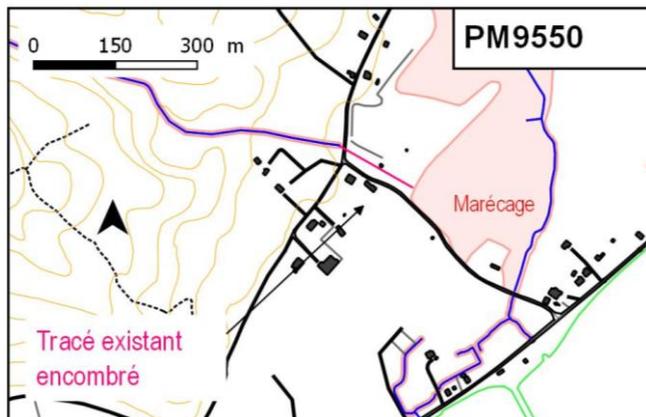
- existence d'un ouvrage de traversée de la route d'accès au versant et d'un lit plus ou moins marqué entre le talweg et le lit du cours d'eau **pM4900**,



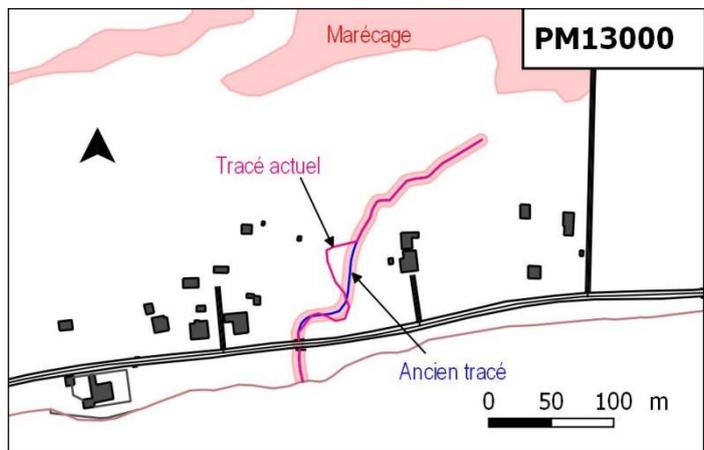
- existence d'un ouvrage de traversée de la route qui longe le pied de versant et d'un lit en aval orienté NO-SE vers le cours d'eau PM9550. Ce lit disparaît 150m environ en aval de la route qui longe le pied de versant (lit colmaté dans une forêt dense de purau),



- déviation du fossé de drainage pM8750 en aval de la RDC par aménagement de murs latéraux en béton,



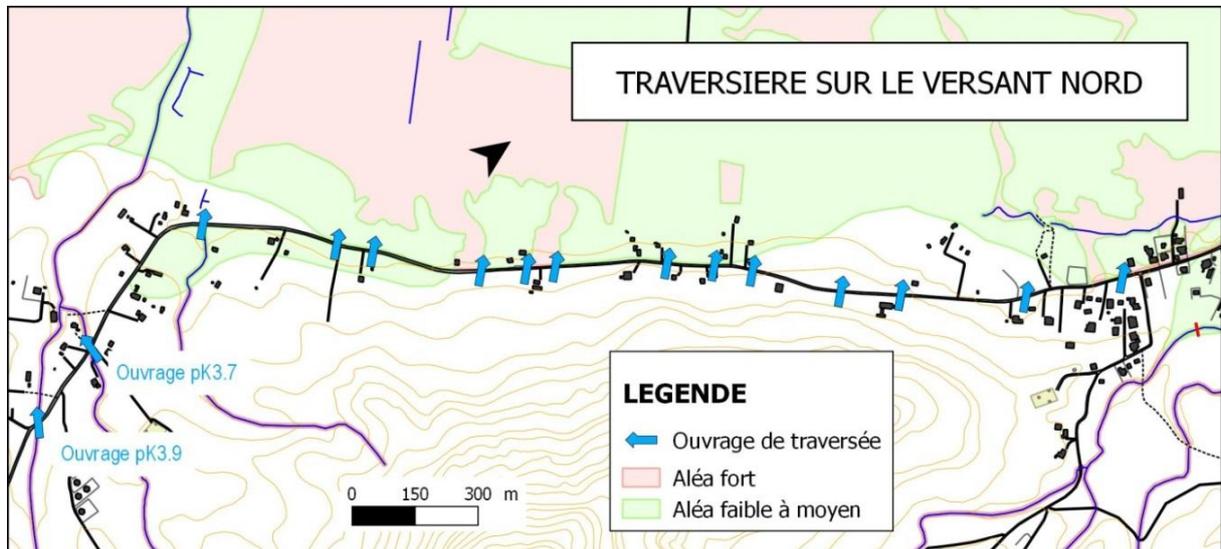
- accentuation du méandrage du fossé de drainage pM13000 pour limiter l'incidence de la houle (curage récent lors de notre passage),



- situation de l'exutoire du talweg situé au nord du pM12000 au **pM12550** via un lit orienté NE-SO qui traverse la traversière au pK7.1 puis la longe sur près de 240m colmaté (cf. planche *Géométrie du lit mineur* répertoriée dans le cahier HT N°2/2 **Cartographies**).

2.3.4. Abords de la traversière

Tous les ouvrages de traversée de la route traversière ont été identifiés afin de vérifier le zonage de l'aléa inondation qui ne suit pas les courbes de niveau indiquées sur la carte du SAU. Ces ouvrages sont au nombre de 20 dont 16 drainent des bassins versants de petite taille via des ouvrages longitudinaux (fossés, caniveaux).



2.3.5 Les cours d'eau

Les cours d'eau reconnus au delà de la RDC sont les cours d'eau pM60 et pM12550 en raison de leur tracé méconnu (cf. §2.3.3.). Les reconnaissances ont eu pour objectifs de définir les tracés actuels et de relever les ouvrages transversaux.

Les sections 4 et 5 du cahier hors texte **N°1/2 Fiches d'ouvrage** permettent de visualiser les ouvrages existants sur ces rivières et les planches *Géométrie du lit mineur* présentées dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies** permettent de les situer.

2.3.5.1. Cours d'eau pM60

La particularité de la rivière pM60 tient à la présence de *ara patia* (barrage coutumier en pieux de bois) qui favorisent des dépôts et le maintien d'un plan d'eau à leur amont. Ces ouvrages induisent des débordements pour les crues fréquentes, l'arase moyenne de ces ouvrages étant à niveau ou supérieure aux berges



La berge rive gauche sur le cours aval est protégée et rehaussée par un mur en béton (0.3m à 0.65m par rapport au terrain naturel).

2.3.5.2. Cours d'eau pM12550

Du pied de versant au débouché sur la plage, les berges du cours d'eau pM12550 sont généralement rehaussées par des ouvrages :

- digues en terre arborées en rive gauche amont assurant une rehausse de moins d'1m,
- route traversière en rive gauche surélevée de 0.2 à 0.65m et digue ou merlon de curage en rive droite permettant une rehausse de 0.65 à 0.75m par rapport au terrain naturel,
- mur en béton en rive gauche au droit du bâtiment religieux (rehausse de 0.75m) puis murs en rives gauche et droite jusqu'à la RDC (rehausses de 0.5m à 0.75m en rive gauche et de 1.5m en rive droite).

Le tronçon en amont de la traversière sur un linéaire d'environ 125ml ne présente pas de rehausse des berges.

Lors de notre passage, le lit du cours d'eau le long de la traversière venait d'être curé.

2.4. Etude hydrologique

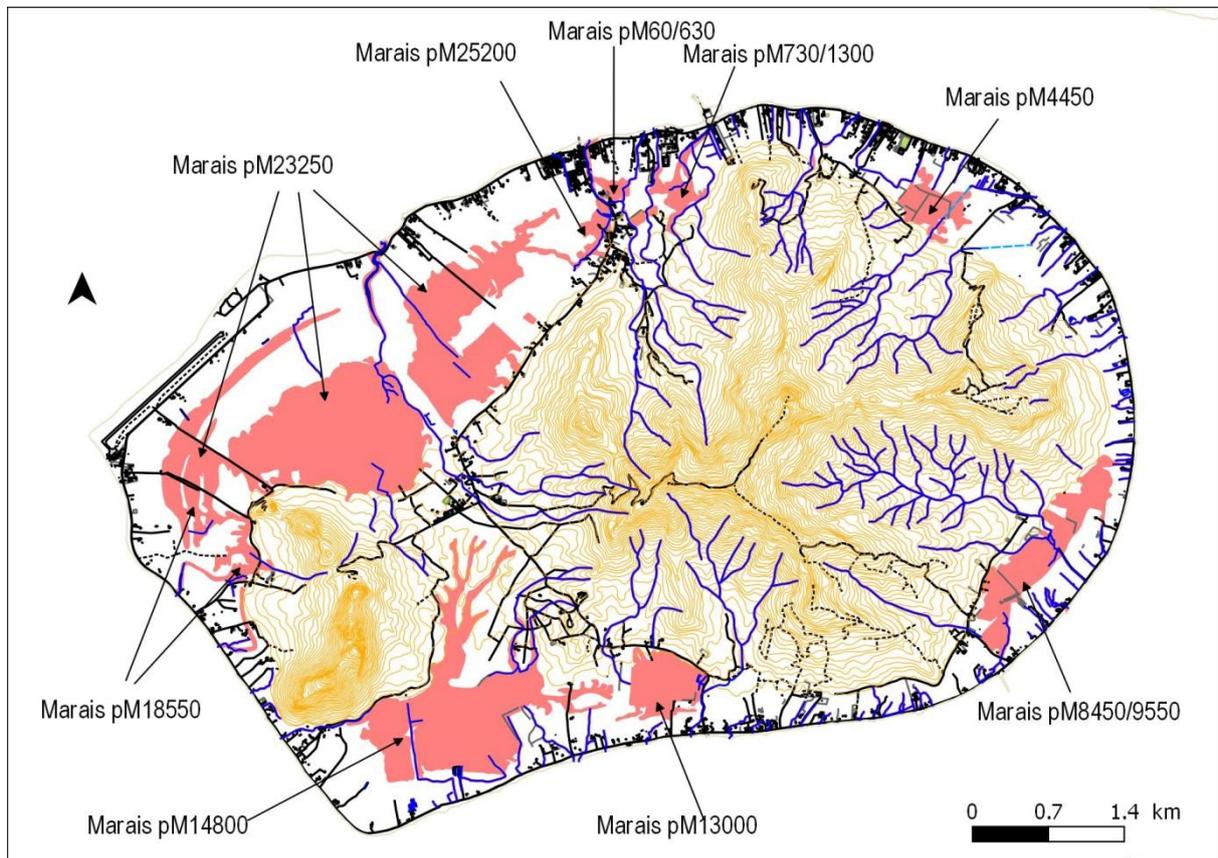
2.4.1. Caractéristiques géologique et topographiques de Tubuai

La partie émergée de Tubuai s'est formée entre 10 et 8.8 millions d'années par la mise en place successive de coulées subaériennes de basaltes alcalins puis de basanites et enfin de coulées de néphélinites et de téphrites et de protrusions phonolitiques.

Tubuai a ensuite subi une subsidence, les carbonates du récif-barrière et les sables coralliens du lagon ennoyant progressivement ses unités volcaniques.

Sous l'influence des courants liés aux vents dominants les sables coralliens s'accroissent à la périphérie de l'île sous forme d'un cordon délimitant de vastes zones marécageuses particulièrement développées à l'ouest de l'île.

Le graphique ci-dessous permet de situer les marécages¹ qui sont identifiés par le ou les collecteurs principaux les drainant.



¹ La délimitation des marécages est issue de la carte géologique du BRGM éditée en 2000 (levés de 1992 à 1996). Les marécages constituent l'ensemble des zones d'aléa fort (hors linéaire des cours d'eau) proposés par le PPRI de 2010.

La zone côtière présente ainsi une morphologie très plate et de faible altimétrie qui présente une forme de cuvette enclavée entre le cordon de sables coralliens à la périphérie de l'île (sur laquelle est implantée la route de ceinture) et les versants.

2.4.2. Caractéristiques des bassins versants

Les principaux bassins versants débouchant dans la plaine ont été définis en pied de versant, généralement à la cote 5m (la contribution de la plaine aux débits instantanés de crue est négligée en raison des très faibles pentes de la plaine côtière).

Les bassins versants drainés par les principaux collecteurs au droit de la traversière ont été de même définis.

Les limites des bassins ont été reportées sur la planche *Bassins versants* consignée dans le cahier **HT N°2/2 Cartographies**.

Le tableau ci-après répertorie les caractéristiques des bassins ; S est la superficie drainée, L le plus long drain, im et ip les pentes moyenne et pondérée de ce dernier et Tc le temps de concentration retenu, évalué par la formule de Kirpich.

Collecteur		S (ha)	L(m)	im(m/m)	ip(m/m)	Tc(mn)
Traversière	pK3.7	75.4	1 970	19%	6.8%	19
	pK3.9	26.1	1 620	18%	7.7%	15
	pK5.8	74.5	1 720	21%	8.0%	16
Plaine côtière	pM60	244.1	2 960	13%	4.3%	31
	pM730	81.4	2 540	16%	3.5%	30
	pM1300	73.1	1 800	11%	1.1%	35
	pM 2150	73.3	1 430	17%	13.4%	11
	pM 4450	93.3	2 200	19%	10.5%	17
	pM 4900	126.3	2 710	15%	8.1%	23
	pM 8450	313.6	3 190	12%	3.8%	34
	pM 9550	70.0	1 810	16%	8.6%	16
	pM 12550	160.8	2 220	17%	6.2%	22

Les principaux marais situés à l'ouest constituent l'exutoire de plusieurs collecteurs. La superficie globale des versants drainés par les principaux marais est indiquée ci-dessous :

Marais	pM13000	pM15000	pM18550	pM23250
Versants drainés (ha)	123.1	313.0	64.6	298.9

2.4.3. Pluviométrie

Le tableau des hauteurs précipitées sur des durées de 6mn à 24h et de périodes de retour 2 ans à 100 ans, issu des ajustements des observations à la station pluviographique de Tubuai Aéro (Météo France) de 1966 à 2009, est reporté ci-dessous.

Hauteur précipitées en mm								
durée	Période de retour en années							
	2	5	10	20	25	30	50	100
6mn	14.4	18.3	21.5	24.5	25.5	26.3	28.4	31.3
15mn	23.6	28.8	32.4	35.9	37	38	40.4	43.8
30mn	34.5	40.8	45	49.3	50.7	51.8	54.8	58.9
1h	46.9	58.6	66.7	74.5	77	79.2	84.6	92.1
2h	62.4	81.6	95.3	108.4	112.8	116.4	125.4	138
3h	72.3	93.8	108.3	122.8	127.6	131.6	141.6	155.6
6h	90.5	114.2	131	147.8	153.3	157.9	169.4	185.5
12h	109.7	136.6	154.9	173	179	184	196.4	213.8
24h	130.4	162.4	184.6	206.4	213.5	219.5	234.5	255.4

Une double régression linéaire des hauteurs précipitées sur la durée puis sur la période de retour a permis de définir les coefficients de Montana pour des épisodes de durée inférieure à 120mn :

Domaine de validité	Coefficients de Montana	Période de retour (ans) T					
		2 ans	5 ans	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
d≤30mn	a(T,d)	5.61	7.56	9.23	11.66	13.66	15.80
	b(T,d)	-0.46	-0.51	-0.54	-0.57	-0.59	-0.61
30mn<d≤120mn	a(T,d)	7.44	7.84	7.86	7.51	6.99	6.28
	b(T,d)	-0.55	-0.51	-0.48	-0.44	-0.39	-0.35

2.4.4. Evaluation des débits de crue

A défaut de toute évaluation antérieure des débits de crue, les débits instantanés sont évalués par application de la méthode Rationnelle basée sur la pluviométrie de Tubuai et le temps de concentration de Kirpich.

Les débits rares sont aussi évalués par application de la **méthodologie recommandée par le Service de l'Urbanisme**² (méthode du Gradex avec un pivot décennal), le rapport débit de pointe sur débit moyen étant forfaitairement retenu à 1.5³.

² Dans le cadre de l'élaboration des Plan de Prévention des risques

³ Etudes des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti – BCEOM 1999

2.4.4.1. Coefficients de ruissellement

L'évaluation du coefficient de ruissellement décennal résulte d'une confrontation des seuils de protection attribués aux capacités des ouvrages évaluées (§2.5. et 4.1) et des témoignages relatifs aux dysfonctionnements des ouvrages (cf. §2.2.2.), notamment :

- fréquence pluri annuelle des dysfonctionnements sur la rivière pM60 (topographie disponible),
- fréquence annuelle des débordements en amont de la traversière sur la rivière pM12550 (topographie disponible),
- capacité au moins cinquantennale des ouvrages de traversées de la traversière (pas de dysfonctionnement connus depuis sa création, capacité des ouvrages limités au débits critiques en raison des fortes pentes).

Le coefficient de ruissellement décennal retenu est 0.35 (un tel coefficient est raisonnable et sécuritaire pour une île de petite taille et de faible altitude, a priori exposée à une pluviométrie homogène).

Les coefficients de ruissellement élémentaires de périodes de retour 2, 5 et 30, 50 et 100 ans sont déduits des coefficients élémentaires décennaux par application respective d'une minoration de 15% et 10 % et d'une majoration de 10%, 25% et 50%.

2.4.4.2. Résultats

Les débits cinquantennaux et centennaux évalués par la méthode du Gradex sont proches des débits centennaux évalués par la méthode Rationnelle (inférieurs de moins de 5% pour les débits cinquantennaux et de moins de 20% pour les débits centennaux).

Compte tenu des objectifs de l'étude (zonage de l'aléa), les débits retenus sont ceux évalués par la méthode Rationnelle. Ils sont récapitulés en m³/s dans le tableau ci-dessous.

Collecteur		Débits instantanés de crue de période de retour				
		2ans	10ans	20ans	50ans	100ans
Traversière	pK3.7	5.4	8.4	10.2	13	17
	pK3.9	2.0	3.2	4.0	5	7
	pK5.8	5.8	9.1	11.1	14	19
Plaine côtière	pM60	13.8	21.4	25.8	32	41
	pM730	4.7	7.1	8.6	11	14
	pM1300	3.8	6.0	7.3	9	12
	pM 2150	6.6	10.7	13.2	17	23
	pM 4450	6.9	10.8	13.2	17	22
	pM 4900	8.3	12.7	15.4	20	26
	pM 8450	16.7	26.2	31.6	40	51
	pM 9550	5.4	8.5	10.3	13	18
pM 12550	10.8	16.7	20.3	26	34	

2.5. Capacité des ouvrages de traversée

2.5.1. Méthodologie

Les capacités des ouvrages de traversée de la RDC et de la traversière sont évaluées par application de la formule de Manning Strickler. Elles sont limitées au débit critique dans le cas d'écoulement torrentiel.

Les coefficients de Strickler retenus sont 40 à 45 pour les ouvrages sur la traversière selon les pertes de charges liées à leur géométrie et 40 à 50 pour les ouvrages sur la RDC qui ne disposent pas de radier.

Pour les ouvrages de traversée de la traversière, la pente est évaluée à partir des courbes de niveau indiquée sur la carte du SAU.

Pour les ouvrages de traversée de la RDC, à défaut de données topographiques, l'évaluation est réalisée sous hypothèse d'une pente de 0.1% à 0.2% selon la distance du pied de versant au débouché sur la plage (à l'exception de l'ouvrage pM23250 situé à plus de 7km du pied de versant pour lequel une pente de 0.02% a été retenue).

Le tirant d'air retenu est 15 % de l'ouverture totale pour les ouvrages de la RDC et 20% pour les ouvrages de la traversière sujets à un transport solide plus important.

2.5.2. Résultats

Collecteur		Travée	Pente retenue	capacité m3/s	Vitesse m/s	Seuil de protection
Traversière	pK3.7	1 rectangulaire 4mx1.7mht	2%	20.8	3.7	>100ans
	pK3.9	1 rectangulaire 2.1mx1.2mht	2%	6.2	3.1	100ans
	pK5.8	2 arches 2.5mx2.0mht	2%	30.2	4.0	50-100ans
Plaine côtière	pM60	1 rectangulaire 6.6mx1.2mht	0.1%	7.2	1.1	<1an
	pM630	2 1/2 circulaires 2.5mx1.6m	0.1%	5.8	0.9	/
	pM730	/	0.1%	/	/	/
	pM1300	4 rectangulaires 3x1.8mx1.5mht + 1mx1.5mht	0.1%	7.5	0.9	20ans
	pM 2150	2 1/2 circulaires 2.4mx1.2m	0.2%	4.6	1.1	<1an
	pM 4450	2 1/2 circulaires 2.5mx1.7m	0.1%	9.8	1.0	5-10ans
	pM 4900	3 rectangulaires 2.3mx1.1mht	0.1%	5.3	0.8	<1an
	pM 8450	3 arches 1mx1.3mht	0.1%	2.4	0.7	<<1an
	pM 9550	3 arches 1mx0.7mht	0.1%	1.1	0.7	<<1an
	pM12550	1 rectangulaire 3.8mx0.9mht + 1 arche 1.0mx0.9mht	0.2%	3.5	1.2	<<1an
pM23250	5 arches 22.5mx2.1mht	0.02%	10.5	0.5	5ans	

Ces évaluations sont sommaires en raison :

- de l'hypothèse de pente qui sous-entend l'aptitude du cours d'eau à chasser le cordon sableux généralement formé au débouché sur la plage,
- de la négligence de l'éventuel gain de section du à la chasse des matériaux sous l'ouvrage en cours de crue (notamment pour les ouvrages présentant des vitesses moyennes supérieures à 1m/s (ouvrages pM60, pM2150 et pM12550),

L'étude des cours d'eau ayant fait l'objet de levés topographiques (cf. §4.1 et §4.2) montre que les capacités peuvent en effet être sensiblement différentes :

- la capacité du pont pM60 atteint 14m³/s sous 1.2m/s en raison du gain de section,
- la capacité du pont pM12550 est portée à 13.5m³/s soit un seuil de protection de 5 à 10 ans en raison du gain de section et de l'évasement de la section à l'aval immédiat du pont (pas d'influence aval pour les crues fréquentes et courantes),
- la pente de la ligne d'eau au niveau du pont pM2150 n'excède probablement pas 0.1% en état actuel en raison de l'état du lit en aval de la RDC (qui masque partiellement une des travées) et du débouché sur la plage (qui présente un important cordon sableux).

3. DIAGNOSTIC ET DEFINITION DES PRIORITES

3.1. Réseau hydrographique

3.1.1. Collecteurs dans la plaine côtière

3.1.1.1. Typologie des collecteurs de la plaine côtière

On distingue 3 catégories de collecteurs :

- Les cours d'eau ou rivières qui drainent les plus gros bassins versants (de 0.5km² à plus de 3km²),
- les cours d'eau secondaires qui drainent de petits bassins versants situés sur le relief (moins de 50ha),
- les ouvrages de drainage dont le bassin versant sur le relief est réduit voir nul et dont le rôle est principalement le drainage de la plaine.

Les ouvrages de drainage peuvent constitués des affluents des cours d'eau principaux ou secondaires ou disposer d'un exutoire propre sous la route de ceinture.

3.1.1.2. Incidence de l'évolution géologique de Tubuai

La subsidence subie par les édifices volcaniques et leur ennoiment par les sables coralliens du lagon confèrent à la zone côtière une morphologie très plate et de faible altimétrie. Elle s'apparente généralement à une cuvette en raison du cordon de sables coralliens formé en périphérie de l'île sous influence des courants lagunaires dus aux vents dominants.

Les collecteurs dans la traversée de la plaine côtière ont **une pente réduite** (de moins de 1% sur l'amont à 0.1% ou 0.2% sur l'aval) et sont peu encaissés. Ils sont généralement **sous influence du niveau marin** (au droit de la RDC, le fil d'eau des collecteurs est généralement situé sous le niveau moyen de l'océan).

Les collecteurs sont généralement très **sensibles à la houle** qui peut provoquer par remontée des inondations dans la plaine. La houle dominante est orientée Sud Sud-Ouest et la houle cyclonique vient du Nord. Au Sud, le récif particulièrement développé permet toutefois d'amortir la houle.

Sur les cotes exposées, l'absence de curage des débouchés sur la plage induit une réduction des sections d'écoulement et des pentes et favorise les débordements lors des crues. A contrario, le cordon sableux protège des remontées d'eau de mer dans les collecteurs qui sont néfastes à l'agriculture et peuvent aussi provoquer des débordements.

3.1.2. Marécages

La formation de la plaine côtière explique la présence de nombreux marécages.

Les marécages pM23250 et pM18550 situés au Nord ouest de l'île ont pour seul exutoire les collecteurs éponymes. Autrefois connectés, ils ont été déconnectés par l'aménagement de la piste de mise en sécurité des personnes en cas de tsunami (piste du dépotoir) qui a été réalisé sans pose de buses transversales.

Les autres marécages disposent de plusieurs exutoires.

Notons que les cours d'eau pM60, pM730 et pM12550 ne traversent pas mais longent les marécages respectifs pM60/630, pM730/1300 et pM13000.

3.2. Genèse et propagation des crues

3.2.1. Genèse des crues

Les crues prennent naissance sur les versants. Elles sont rapides et de type torrentiel.

Les débordements du lit mineur sur les versants sont limités en raison de leur encaissement et de leurs pentes élevées (généralement plus de 10%).

Les versants sont une zone de production de matériaux qui peuvent être à l'origine de formation d'embâcles.

Seuls les versants contribuent au débit de crue instantané en raison des très faibles pentes dans la plaine côtière.

3.2.2. Propagation des crues

Au débouché dans la plaine côtière (cote 5m approximativement), la pente des cours d'eau chute à moins de 1% puis se réduit à quelques pour-mille à l'approche de la route de ceinture.

Au delà d'un certain seuil, des débordements se produisent et les eaux de débordement s'étalent dans la plaine sous de faibles vitesses d'écoulement. Les débits instantanés de crue subissent alors un laminage sensible.

Ce laminage est d'autant plus important que la plaine permet un stockage temporaire des eaux (remplissage des marais).

Ainsi, les débits aux abords de la route de ceinture sont sensiblement inférieurs aux débits de crue générés en pied de versant.

3.2.3. Facteurs influençant les inondations

Le premier facteur aggravant les inondations est la réduction de la capacité des exutoires qu'elle soit due à :

- une surcote marine,
- la houle qui crée non seulement une surcote à l'exutoire mais peut aussi créer un mouvement des masses d'eau inverse à celui de l'écoulement.
- l'ensablement des exutoires du à la houle et aux courants lagunaires sous l'effet des vents dominants qui demande un entretien régulier des débouchés de la subdivision de l'Equipement.

Houle et surcote marine réduisent voire annulent la capacité des collecteurs à chasser les matériaux sableux accumulés dans le lit par dépôt régressif, généralement jusqu'au droit de l'ouvrage de traversée de la RDC.

La réduction de la capacité des exutoires peut être aussi due à la suppression volontaire ou consécutive à l'absence d'entretien d'un bras de décharge.

Un second facteur aggravant les inondations sur la bordure littorale généralement urbanisée est la réduction du laminage naturel des crues qu'elle soit due :

- au remblaiement et au drainage de terres marécageuses en vue de cultures ou d'urbanisation. La réduction du volume des marécages en induisant une réduction du volume de stockage réduit le laminage des débits de crues en aval,
- à l'abandon de pratiques anciennes telles l'aménagement des *ara patia* situés sur le cours amont au droit des marécages qui favorisent les débordements et ralentissent les écoulements,
- à l'aménagement de digues rapprochées sur les cours amont pour la protection de terres agricoles.

D'autres facteurs peuvent aggraver les inondations. Notons :

- le risque d'embâcles,
- l'aménagement d'ouvrage de retenue (seuil ou *ara patia*) au droit de zones vulnérables,
- l'endiguement rapproché des cours d'eau sur l'aval sans aménagement compensatoire en amont (rehausse de la ligne d'eau) ou au droit si une seule rive est protégée. Les digues constituent aussi un risque en cas de rupture ou de submersion.

3.3. Hiérarchisation des rivières de Tubuai

Les rivières et principaux marécages sont hiérarchisés sur la base de plusieurs critères qui traduisent le niveau de d'aléa (les collecteurs secondaires et de drainage de la plaine ont été exclus) :

- superficie du bassin versant (note de 1 à 3),
- situation d'un marécage sur le cours d'eau permettant la réduction de l'aléa.

Le critère est relativisé en fonction du rapport des surfaces du marécage et de son bassin versant (note de 0 à 3). La note est réduite d'un point en cas de situation du marais en bordure de cours d'eau,

- exposition aux houles.

Le critère est apprécié au regard de la fréquence moyenne annuelle des houles orientée dans l'axe de l'exutoire (selon la rose des houles annuelles observée à Rurutu entre 1989 et 2009, note de 1 à 3).

La somme des notes relatives à ces critères constitue la note attribuée à l'aléa.

Le critère correspondant au rapport de la capacité de l'ouvrage de traversée de la RDC sur le débit instantané décennal a finalement été abandonné en raison d'une part de l'imprécision de l'évaluation des capacités de l'ouvrage de traversée due à l'absence de donnée topographique et d'autre part de l'existence parfois d'un ou plusieurs ouvrages de décharges,

Le dernier critère est la vulnérabilité des champs d'inondation définie par la densité de l'urbanisation (note de 1 à 3).

Le produit des notes vulnérabilité et aléa constitue la note attribué au risque inondation lié au collecteur.

Le tableau page suivante récapitule cette hiérarchisation. Il est présenté du risque le plus faible au risque le plus fort.

Cours d'eau ou marais (pM)	Superficie drainée		Présence de marécage			Exposition à la houle			Aléa	Vulnérabilité	Risque
	ha	note	Situation	S _{marais} /S _{bv}	note	orientation	fréquence %	note			
Marais 18550	64.6	1	marais 18550	45%	0	Sud ouest	3.7	1	2	1	2
Rivière 4900	126.3	2		0%	3	Est	2.4	1	6	1	6
Rivière 8450	313.6	3	marais 8450/9550	11%	1	Sud Est	10.1	2	6	1	6
Rivière 4450	93.3	1	marais 4450	23%	1	Est	2.4	1	3	2	6
Marais 14800	313	3	marais 14800	44%	0	Sud	17.8	3	6	1	6
Rivière 1300	73.1	1	marais 730/1300	5%	2	protégé par quai	0	1	4	2	8
Rivière 9550	70	1	marais 8450/9550	11%	1	Sud Est	10.1	2	4	2	8
Marais 23250	298.9	3	marais 23250	100%	0	Nord Est	0.7	1	4	2	8
Rivière 730	81.4	1	en bordure marais 730/1300	5%	1	Nord	0.8	1	3	3	9
Rivière 2150	73.3	1		0%	3	Nord	0.8	1	5	2	10
Rivière 12550	160.8	2	en bordure marais pM13000	24%	0	Sud	17.8	3	5	2	10
Marais 13000	123.1	2	marais 13000	24%	1	Sud	17.8	3	6	2	12
Rivière 60	244.1	3	en bordure marais pM60/630	2%	1	Nord	0.8	1	5	3	15

Cette hiérarchisation simplifiée des collecteurs en terme de risque inondation met en avant :

- la rivière pM60,
- la rivière pM12550 et le marais associé pM13000,
- le cours d'eau pM2150.

3.4. Secteurs dont l'aléa est à réviser

3.4.1. Situation

Les secteurs sur lesquels l'aléa est à réviser sont :

- les rivières dont le tracé ne correspond pas à celui envisagé lors de l'élaboration du PPR 2010 (rivières pM60 et 12550 qui sont par ailleurs en tête du classement risque inondation)
- la rivière pM2150 dont les abords sont classés en zone à risque nul et qui présente un risque au regard de notre hiérarchisation,
- les remblais notables modifiant le zonage de l'aléa (piste du dépotoir),
- les secteurs dont le zonage présentent des incohérences au regard des courbes de niveau de la restitution du SAU (abords de la traversière)

3.4.2. Définition des levés topographiques complémentaires

Une mission topographique de 6 jours a été prévue dans le cadre de l'étude.

Etant donnés les enjeux, la taille des secteurs à réviser et le peu de points topographiques disponibles dans la plaine côtière sur la restitution du SAU, il a été décidé en accord avec le Maître d'Ouvrage de concentrer les levés topographiques sur les rivières pM60 et pM12550 et dans une moindre mesure sur le cours d'eau pM2150.

Aucun levé topographique n'est envisagé sur les remblais, ceux réalisés au niveau du dépotoir ayant été situés lors des reconnaissances par GPS.

Les levés suivants ont ainsi été réalisés :

- levé de profils en travers du lit mineur dans la plaine et des ouvrages transversaux afin de pouvoir extrapoler un profil en long et de situer les zones de débordements préférentiels,
- levé des digues en terres (pM12550) situées en rive gauche amont de la rivière pM12550, justifié par la vulnérabilité des terrains en contre-bas,
- levé d'un semis de points dans le lit majeur accessible pour définir au mieux les champs d'inondation.

Les levés relatifs au cours d'eau pM2150 sont réduits en raison des enjeux.

4. REVISION DU ZONAGE DE L'ALEA

4.1. Diagnostic des lits mineurs pM60, pM12550 et pM2150

Afin de définir les secteurs de débordements préférentiels, la capacité des lits mineurs est évaluée sur la base des données topographiques disponibles.

4.1.1. Géométrie

La géométrie du lit mineur est définie par les profils en travers du lit mineur et des ouvrages transversaux fournis par les levés topographiques complémentaires en complément des reconnaissances de terrain.

Les planches *Géométrie du lit mineur* consignées dans le cahier **HT N°2/2 Cartographies** permettent de situer :

- les ouvrages transversaux et les profils en travers du lit mineur,
- les tronçons homogènes en terme d'ouvrages longitudinaux de protection,
- les tronçons homogènes en terme de pente du fond (compte tenu des vitesses d'écoulement dans le lit mineur aux abords de la RDC, l'hypothèse de chasse du cordon de matériaux sableux au débouché et des dépôts régressifs est retenue).

Les ouvrages transversaux et sections représentatives sont consignés dans le cahier **HT N°1/2 Fiches d'ouvrages**. Pour le cours d'eau pM2150, seul l'ouvrage de traversée de la RDC est répertorié.

4.1.2. Modélisation des écoulements

4.1.2.1. Méthodologie

Les capacités des lits mineurs sont évaluées par modélisation des écoulements :

- modélisation mathématique des écoulements sur les tronçons aval de faible pente des rivières pM60 et pM12550. Le modèle mis en œuvre est le modèle HEC-RAS développé par l'US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, qui permet la modélisation des écoulements en régime permanent graduellement varié,
- modélisation simplifiée basée sur la formule de Manning-Strickler pour les tronçons amont de plus fortes pentes des rivières pM60 et pM12550 et pour le cours d'eau pM2150.

Compte tenu des vitesses d'écoulement en jeu, les modélisations sont menées sous hypothèse de chasses des matériaux en aval au niveau du cordon sableux mais aussi sur l'ensemble du lit (transport des atterrissements).

4.1.2.2 Calage des modèles

Le calage du modèle est basé sur les coefficients de Strickler moyens suivants :

- 20 à 30 pour le fond d'amont en aval selon encombrement,
- 15 à 25 pour les berges naturelles selon l'encombrement,
- 60 pour une berge protégée par un mur en béton.

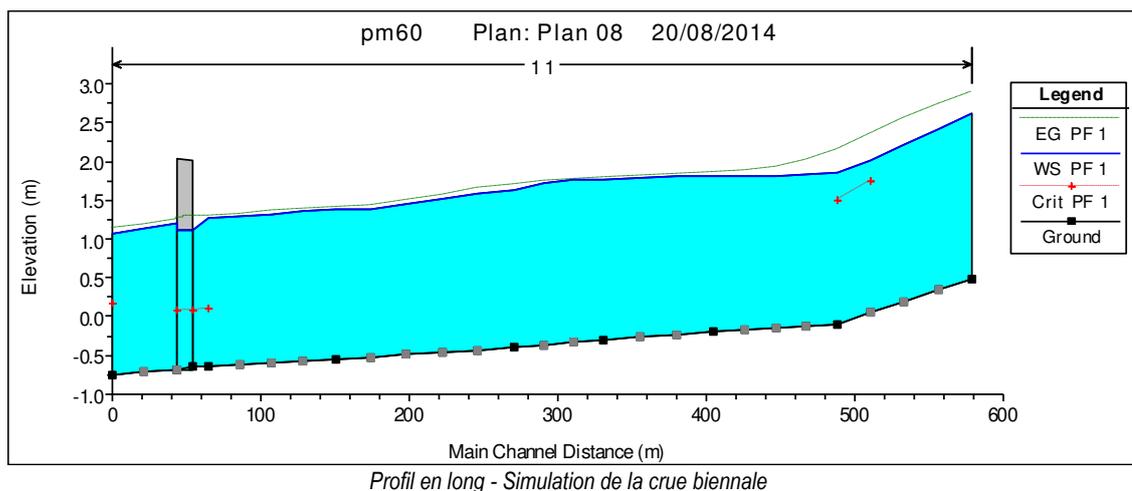
4.1.2.3. Conditions aux limites aval

Les conditions aux limites aval sont pour les crues fréquentes à courantes le niveau moyen des mers et pour les crues rares une surcote de 1m conformément au scénario préconisé pour l'établissement des PPRI.

4.1.3. Cours d'eau pM60

La modélisation du tronçon aval (P17 à l'aval de la passerelle P5/6) montre que :

- les premiers débordements s'observent en RD au droit des profils P10 et P9 pour un débit inférieur au débit annual,
- pour la crue biennale (13.8m³/s), le pont de la RDC est noyé par l'aval (hors surcote marine). Les débordements sont généralisés en rive droite jusqu'en P7. des débordements ont lieu de P11 à P9 malgré le mur d'endiguement.



Les capacités évaluées par modélisation mathématique de l'exutoire jusqu'à l'aval de la passerelle P5/6 et par modélisation simplifiée en amont (capacités intrinsèques) sont récapitulées dans le tableau suivant. Les capacités des sections P3d, P3c, P3b et P3a ne tiennent pas compte de la présence des *ara patia* (sections extrapolées en amont immédiat).

La capacité des ponts correspond à un fonctionnement normalisé à surface libre.

Profil	Capacité en m3/s				Seuil de protection (année)			
	TN ou route RG	berge RG	berge RD	TN RD	TN RG	RG	RD	TN RD
Section P17	20 (TN)	26 (mur)	12	15.5	5-10	20	1	2-5
Pont RDC P16/15		14				2		
P14 mur RG	26	23	9	15	20	20	<1	2-5
P13 mur RG	13 (TN)	18.5 (mur)	9.5	14.5	1-2	5-10	2-5	2-5
P11 mur RG	6.5 (TN)	12 (mur)	7.5	11.5	<1	1-2	<1	1-2
P10 mur RG	8 (TN)	10.5 (mur)	5	12	<1	1	<1	1-2
P9	13 (route)	8	6	11.5	1-2	<1	<1	1-2
P7 mur RG	17 (route)	9	9	17	5	<1	<1	5
Canal P6	15 (route)	11	13	14	2-5	1	2	2
Passerelle P6/5		14				2		
canal P4		16.5	15			2-5	2-5	
Seuil P4		8.5				<1		
Section P3c		46	23			100	10-20	
Section P3b		46	22			100	10-20	
Section P3a		56	43			>100	100	
Pont P2/3		42				100		
Section P1		68	50			>100	>100	

Le lit a une capacité au moins centennale en amont de l'ancien pont P3a. Jusqu'au milieu de la dérivation (P3c), la capacité reste centennale en rive gauche mais chute en rive droite à un seuil de protection de 10 à 20ans.

Sur ces tronçons, la capacité est réduite par la présence des *ara patia* (P3a, puis, P3b et P3c) qui provoquent des débordements pour des débits très fréquents.

En tête du canal, la capacité décroît à un seuil de protection inférieur à 5 ans. Les débordements sont pluriannuels en raison de la présence du seuil en béton P4 (capacité inférieure au débit annuel) et d'un ara patia (P3d).

Le long de la traversière et en aval, la capacité du lit mineur chute à un seuil de protection inférieur à 1 an.

En rive gauche, les rehausses dues à la route (P6 à P9) et à des murs en béton (P10 à P13) assurent un seuil de protection supérieur, de 1 à 5 ans.

Le terrain naturel en rive droite aux abords du lit mineur permet d'assurer un seuil de protection de 2 à 5 ans sauf au droit du tronçon P9 - P11 qui présente un seuil de protection inférieur, de 1 à 2 ans.

La planche « Débordements du lit mineur » consignée dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies** permet de situer les débordements et leur fréquence.

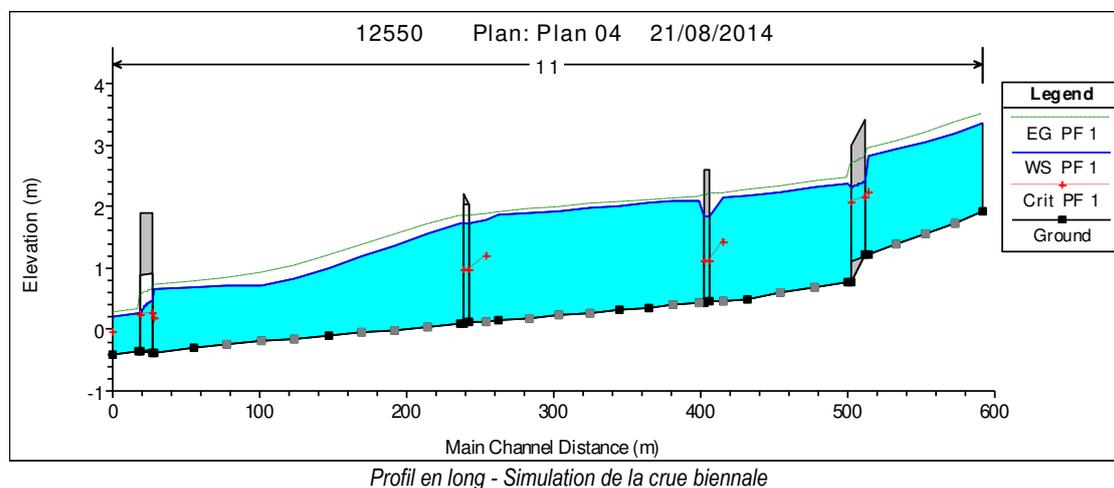
4.1.4. Cours d'eau pM12550

La modélisation du tronçon aval (P17 à l'aval de la passerelle P5/6) donne les résultats suivants :

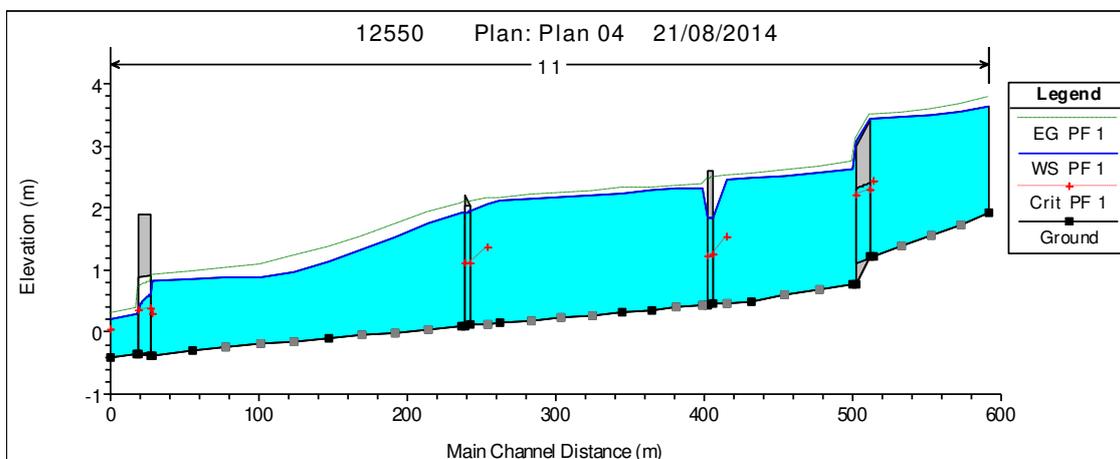
- la crue annuelle (7.2m³/s) entraîne un débordement en rive gauche au droit du profil P8 qui est toutefois contenu par la route surélevée.

Le pont P6a/b est noyé par l'aval et fonctionne en charge.

Le pont de la traversière est en charge, noyé par l'aval. Il induit une rehausse de la ligne d'eau en amont qui atteint la berge rive gauche. Ainsi, la moindre perte de charge liée à des déchets végétaux par exemple entraîne des débordements en rive gauche en amont du pont.



- La crue biennale (9.2m³/s) génère des débordements en P8 en rives gauche et droite et en amont du pont de la traversière qui est submergé (en théorie).



Profil en long - Simulation de la crue biennale

- une surcote marine de 1m est sensible sur le tronçon en aval du pont P9/10.

Les capacités évaluées par modélisation mathématique de l'exutoire jusqu'en amont de la traversière (P3) et par modélisation simplifiée en amont (capacités intrinsèques) sont récapitulées dans le tableau suivant.

Les capacités des ponts correspondent à un fonctionnement à surface libre.

Profil	Capacité en m ³ /s				Seuil de protection (année)			
	TN RG	berge RG	berge RD	TN RD	TN RG	RG	RD	TN RD
Pont RDC		13.5				5-10		
P12 murs RG RD	15.5	20.5	>28	16.5	10-20	30-50	>100	10-20
P11 Mur RG	11	19.5	10	12.5	5	30-50	2-5	5-10
Pont P9/8		8.5				1-2		
Section P8	4.5	7.5	8.5	5.5	<1	1	1-2	<1
Section P7a	8	9.5	13	6	1-2	2	5-10	<1
Pont P6a/b		7				1		
section P6	8.5	12.5	12.5	7.5	1-2	5-10	5-10	1
Pont traversière P4/5		6				<1		
Section P3		10	8	8.5		2-5	1-2	1-2
Section P2	9	30	22	45	2	100	50	>100
Section P1	7	38	20		1	>100	50	
Pont P0a/b		15				10		

La capacité du tronçon amont endigué est importante, au moins centennale en rive gauche.

Le pont en amont (P0a/b) qui est ancien (dalle béton reposant sur des troncs de *aito*), a une capacité décennale et en charge permet d'évacuer le débit centennal sans débordement sur la piste transversale à la vallée.

En aval de ce tronçon endigué et tout le long de la traversière, la capacité chute à un seuil de protection de moins d'1 an à 2 ans (fonctionnement en charge des ponts P6a/b et P4/5 de la traversière).

Le tronçon aval, de P11 à la RDC, a une capacité au moins quinquennale (TN rive droite en P11).

La planche « Débordements du lit mineur » consignée dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies** permet de situer les débordements et leur fréquence.

4.1.5. Cours d'eau pM2150

Dans le cadre de l'étude, le cours d'eau pM2150 en amont de la RDC n'a pas pu être reconnu et les levés topographiques sont très restreints.

Sur l'amont (P1), la capacité du lit mineur est de l'ordre de quelques m³/s, inférieure au débit annual. Le lit disparaît ensuite dans une zone marécageuse.

Au droit de la section P4, en amont de la RDC, le lit a une capacité de l'ordre du débit annual (de 4 à 5.5m³/s selon la pente).

Le pont sous la RDC a une capacité à surface libre qui n'excède pas 4m³/s (inférieur au débit annual) si le cordon sableux est très important sur la plage ou de 6m³/s (débit biennal) sinon.

4.2. Révision de l'aléa associé aux cours d'eau pM60, pM12550 et pM2150

4.2.1. Méthodologie

L'analyse morphologique sur la plaine côtière n'est pas réalisable en raison des conditions de formation de cette dernière.

La définition du zonage de l'aléa inondation est basée sur la localisation des débordements et sur l'analyse des points topographiques disponibles dans le lit majeur. Elle s'appuie sur la précédente détermination réalisée en 2010, notamment sur les hauteurs d'eau.

4.2.2. Cours d'eau pM60

Les zones d'aléa fort correspondent aux marécages et à une enveloppe des collecteurs (dont l'ancien bras de décharge pM630).

Les enveloppes du lit pM60 sont élargies :

- localement sur le cours amont, afin de prendre en compte la mobilité du lit (progression des coudes)
- en rive droite, en amont du pont amont (P2/3) afin de prendre en compte la formation d'un embâcle sur le pont amont (P2/3),
- en aval, en rive gauche au droit des endiguements (murs) pour prendre en compte l'effet de surverse.

La zone d'aléa moyen à fort en rive droite correspond à une dépression du terrain naturel qui induit des hauteurs d'eau supérieures à 0.5m.

La planche « Aléa inondation rivière pM60 à MATAURA » consignée dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies** permet de visualiser le zonage de l'aléa proposé.

4.2.3. Cours d'eau pM12550

Les zones d'aléa fort correspondent au marécage pM13000 et à une enveloppe des collecteurs (rivière et fossés). Cette enveloppe sur la rivière pM12550 est élargie :

- en amont, sur les secteurs pentus de façon à contenir le champ d'inondation pour les crues fréquentes,
- en aval en rive droite en raison de points bas du terrain naturel,
- en aval rive gauche au droit des digues (murs) pour prendre en compte l'effet de surverse.

La zone d'aléa moyen à fort dans le lit majeur rive gauche correspond à une zone susceptible d'être inondée en cas de formation d'embâcles sur le pont amont (P0) ou de rupture des digues amont (zone enveloppe).

La frange littorale est classée en aléa faible en raison des faibles pentes qui induisent de faibles vitesses d'écoulement.

La planche « Aléa inondation rivière pM12550 à Mahu » consignée dans le cahier hors texte **N°2/2 Cartographies** permet de visualiser le zonage de l'aléa proposé.

4.2.4. Cours d'eau pM2150

La zone d'aléa fort correspond à une enveloppe du cours d'eau pM2150 et du fossé pM2700.

L'enveloppe du tracé amont a été élargie afin de contenir le lit relevé lors des levés topographiques et le terrain naturel en contre-bas aux abords de la route (la courbe de niveau 5m est fautive en rive droite). A défaut de données topographiques suffisantes, elle a été prolongée jusqu'à l'ouvrage de traversée vers le fossé pM2700.

L'enveloppe du fossé pM2700 a été prolongée en amont jusqu'à l'ouvrage de traversée sous la route.

Le laminage des débits de pointe à l'entrée dans la plaine et l'occupation des sols (forêt principalement sauf localement des champs cultivés), laissent à penser que la lame d'eau s'étend transversalement et longitudinalement dans la plaine sans vitesse élevée. Le champ d'inondation aval est ainsi classé en zone d'aléa faible. Il est bordé forfaitairement par les routes transversales à la RDC.

Rappelons que le cours d'eau pM2150 n'a pas été reconnu en amont de la RDC, qu'il n'existe pas de témoignage à son sujet et que les levés topographiques sur le cours d'eau et la plaine sont très sommaires.

4.3. Révision de l'aléa sur autres secteurs

4.3.1. Remblai de la piste du dépotoir

Les abords du dépotoir et la piste remblayés sont classé en zone d'aléa faible à moyen.

A l'est du dépotoir, la piste est bordée de part en part d'une bande d'aléa fort correspondant aux fossés qui la bordent.



4.3.2. Abords de la traversière sur le versant nord

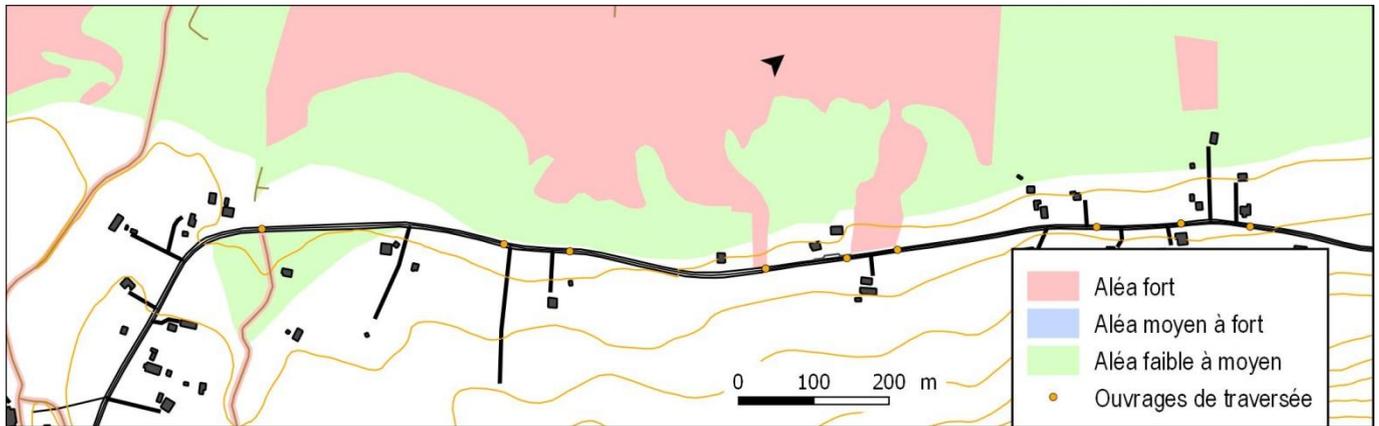
L'aléa au Nord ouest de la traversière (versant nord) est dû au remplissage des marécages pM23250 et 25200. Sauf cas particulier (écoulements concentrés ou zones marécageuses localisées), il ne peut pas couper la courbe de niveau 5m.

Afin d'assurer une cohérence au zonage, nous proposons :

- de délimiter l'aléa faible à moyen en dessous de la courbe de niveau 5m,
- de maintenir les zones d'aléa fort en bordure de route si elles correspondent à des zones marécageuses,
- de déclasser les zones d'aléa fort en bordure de route en zone d'aléa faible à moyen lorsque les zones marécageuses ont été aménagées et remplacées par des cultures incompatibles avec des zones marécageuses.

L'aléa au droit des ouvrages de traversée (sauf traversée pK3.3) n'est pas modifié en raison de la taille réduite des bassins versants.

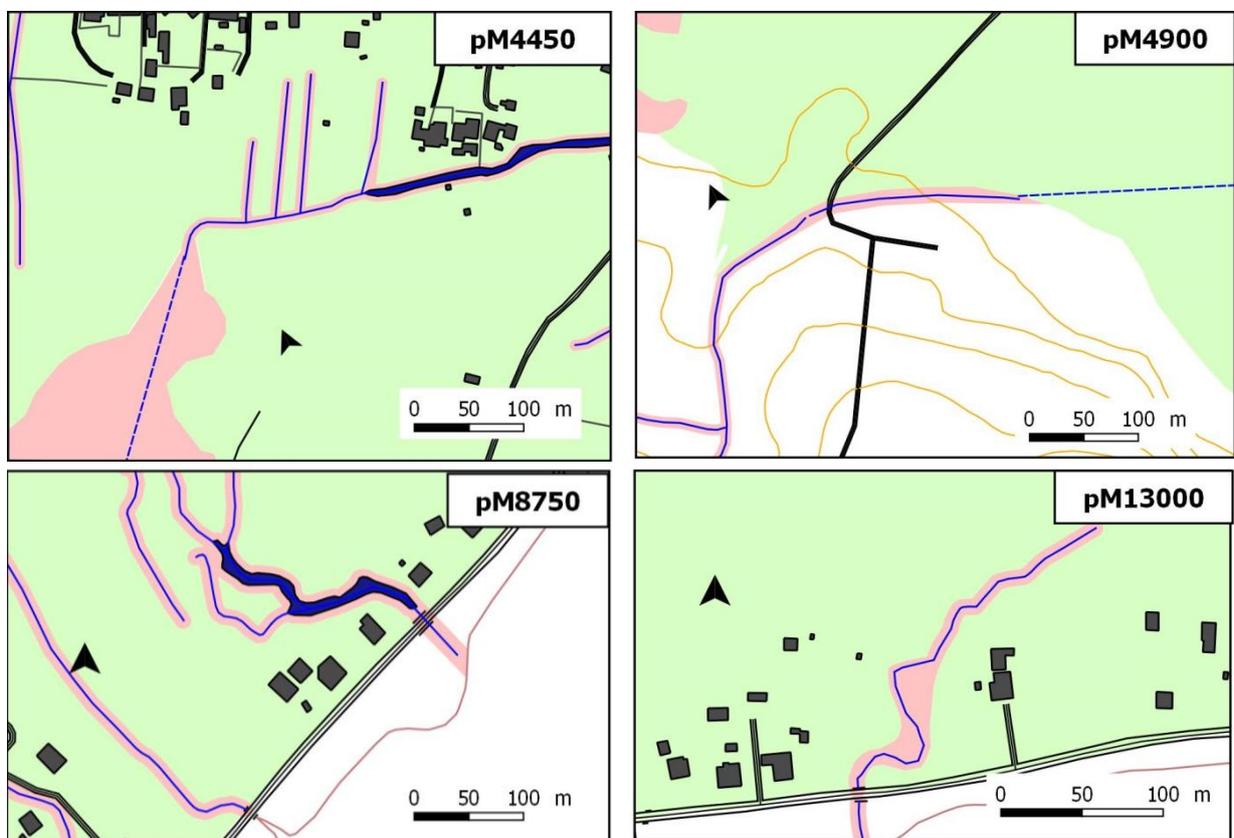
Le zonage relatif au collecteur traversant la route au pK3.3 est modifié ; les constructions en bordure de route au sud du virage sont situées à niveau de la traversière, ce secteur ne peut donc pas être une zone de stockage.



4.3.3 Divers

Les zonages de l'aléa fort entre la tête du collecteur pM4450 et le marécage ont été reliés.

Le zonage de l'aléa a été adapté aux nouveaux tracés levés au GPS lors du terrain (pM4900, 8750 et 13000).



5. REDUCTION DE L'ALEA

5.1. Préserver le laminage des débits de pointe

5.1.1. Pressions foncières sur les marécages

Seul un remblai réalisé en vue d'urbanisation a été identifié dans le marécage pM13000, situé au sud de Tubuai, à l'ouest de la traversière. Sa superficie est supérieure à 1ha.

La superposition des marécages au recensement agricole de 2013 et au recensement des pâturages de 2007 montre que les marécages sont sujets à une pression foncière :

- les pâturages s'étendent dans les principaux marécages mais les pâturages n'induisent pas de remaniement du sol d'un point de vue topographique,
- le taro et le tarua, cultures adaptées aux sols marécageux, sont localement cultivés dans les marécages. Ces derniers sont alors localement défrichés et remaniés sans être remblayés,
- les terres cultivées (autres que taro et tarua) s'étendent sur les bordures de certains marécages. Ces cultures demandent un remaniement du sol dans les marécages, les sols devant être correctement drainés.

5.1.2. Plan de gestion des marécages et encadrement des pratiques agricoles

Au préalable, les marécages et leurs enjeux doivent être identifiés (protection des avaliers contre les crues ou enjeux agricoles ou enjeux environnementaux, etc.)

Un plan de gestion pourrait être mis en œuvre permettant sur le plan hydraulique :

- de préserver les marécages et leur continuité (à travers le Plan de Gestion et d'Aménagement de la commune de Tubuai par exemple),
- de favoriser leur alimentation en période de crue (aménagement de *ara patia*, de seuils ou de vannages sur les cours d'eau dans la partie haute de la plaine, aménagement ou réhabilitation de bras de décharge, etc.).

Le plan de gestion des marécages nécessite un encadrement des pratiques agricoles par le SDR et un accompagnement des exploitants par la subdivision de l'Équipement pour les aménagements dans les cours d'eau (par exemple, établissement d'un cahier des charges situant les ouvrages de retenue et encadrant leur gabarit, proposant un plan d'entretien, etc.).

5.2. Interventions sur les cours d'eau

5.2.1. Travaux d'aménagement

Si les enjeux sont la protection des zones vulnérables urbanisées, les cours d'eau peuvent faire l'objet d'aménagements lourds de type aménagement d'un canal suspendu dans la traversée de la plaine permettant de collecter la crue sur le pied du versant et de la faire transiter à l'aval.

Pour des seuils de protection plus modestes, la réhabilitation ou la création de bras de décharge permet d'augmenter la capacité de transit des crues. Le cas échéant, elles peuvent être associées à un recalibrage des collecteurs ou à un endiguement rationnel des berges.

5.2.2. Travaux d'entretien

Les travaux d'entretien concourent à la réduction de l'aléa :

- en maintenant la capacité des collecteurs (curage du cordon sableux aux débouchés, curage des collecteurs mais aussi curage sous les ouvrages transversaux),
- en assurant la pérennité des ouvrages, notamment des ouvrages de protection (digues).

5.3. Cas des cours d'eau étudiés

5.3.1. Rivière pM60

Dans le cas de la rivière pM60, la réduction de l'aléa peut être obtenue par un aménagement lourd de type canal suspendu dans la traversée de la plaine côtière.

Ce scénario d'aménagement permet d'envisager un seuil de protection élevé (du fait de la suppression de la contrainte liée à la pente du collecteur).

Un autre scénario peut être envisagé qui associe l'aménagement de bras de décharge, le laminage des crues dans les marécages (pM60/630 mais aussi pM25200 via un ouvrage sous la traversière) et le recalibrage des collecteurs existants.

Le choix de l'un ou l'autre des scénarii dépend principalement des objectifs poursuivis (seuil de protection) et du coût d'aménagement. Toutefois les pratiques agricoles, la ressource en eau (alimentation des aquifères), la diversité biologique, les aspects paysagers, etc.... peuvent être des critères décisionnels.

5.3.2. Rivière pM12550

Dans le cas de la rivière pM12550, la réduction de l'aléa nécessite :

- de préserver sur le cours amont l'endiguement rive gauche qui contient les débordements vers la frange littorale urbanisée. Un plan de gestion et d'entretien des digues devra être mis en œuvre,
- de réduire le risque de contournement de cet endiguement (recalibrage du pont amont, aménagement d'un piège à matériaux pour réduire le risque d'embâcles...),
- d'augmenter la capacité du pont de la traversière et du lit en amont (recalibrage du lit ou endiguement de la berge rive gauche),
- de réduire les débits de pointe en favorisant les débordements vers le marécage pM13000 et d'augmenter la capacité en aval (élargissement du lit, confortement des digues).

5.3.3. Cours d'eau pM2150

Dans le cas du cours d'eau pM2150, le désensablage du débouché et de l'ouvrage de traversée et le recalibrage du lit aval (qui masque la travée rive droite) permettraient une augmentation significative de la capacité de l'exutoire.

Les inondations en amont sur des terrains non vulnérables sont à maintenir pour limiter l'aléa en aval.

6. LIMITES DE L'ETUDE

La révision de l'aléa inondation sur Tubuai est proposée au niveau expertise.

En l'absence de donnée complémentaire (levé de terrain ou topographiques), elle se base sur la restitution du SAU dont les courbes de niveau sont parfois approximatives et sur le zonage établi en 2010 (notamment la situation des marécages issue de la carte géologique du BRGM).

Les résultats des modélisations conduites pour définir l'aléa associé aux rivières pM60 et pM12550 restent des ordres de grandeurs (y compris modélisation mathématique) en raison des données topographiques ponctuelles. La précision des champs d'inondation définis est assujettie à la densité des points topographiques disponibles.

Quant au zonage de l'aléa associé au cours d'eau pM2150, il est peu précis en raison du peu de données collectées.