

Ministère de l'Aménagement
et des relations avec les
Communes

Service de l'Urbanisme
Section Etudes et Plans

Cartographie de l'aléa
inondation au droit des
cours d'eau de Polynésie
Française

Programme ARAI2

Cours d'eau : VAIHIRIA

Rapport

GRI / N°95400V

DECEMBRE 2009

TABLE DES MATIERES

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	1
2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES	2
2.1. Enquête de terrain	2
2.2. Recueil de données	5
2.2.1. Bibliographie	5
2.2.2. Données topographiques	5
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	7
3.1. Généralités	7
3.2. Analyse pluviométrique	7
3.3. Analyse hydrométrique	8
3.4. Détermination des débits de projet	9
3.4.1. Etude BCEOM de 1999	9
3.4.2. Etude LTPP de 2001	9
3.5. Débits de projet retenus	10
4. MODELISATION HYDRAULIQUE	12
4.1. Présentation du modèle STREAM	12
4.2. Construction du modèle	12
4.2.1. Données topologiques	14
4.2.2. Données topographiques	14
4.2.3. Conditions aux limites	15
4.3. Calage du modèle	15
4.4. Evolution du fond du lit mineur	16
5. SIMULATION DES CRUES DE PROJET EN ETAT ACTUEL	18
5.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	18
5.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	19
5.3. Prise en compte du risque d'embacles	19
5.4. Cartographie	22
5.4.1. Classification de l'aléa	22
5.4.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	22
6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	24
6.1. Identification des enjeux et des zones vulnérables	24
6.2. protection des zones à enjeux	24

6.3. Aménagements proposés	24
6.4. Impact sur une crue centennale	26
6.5. Chiffrage estimatif	29
6.6. Propositions d'aménagements complémentaires	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Hydrogrammes de crue de la VAIHIRIA	11
Figure 2 : Plan du modèle à casier global.....	13
Figure 3 : Evolution du fond du lit mineur	17
Figure 4 : Lignes d'eau en état actuel.....	21
Figure 5 : Coupe-type de protection en enrochements	25
Figure 6 : Impact des aménagements en crue centennale.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Hauteur précipitée en mm au poste pluviométrique de VAIHIRIA P2 en fonction de la durée et de la période de retour	8
Tableau 2 : Comparaison des débits de projet obtenus	10
Tableau 3 : Débits de projet de la VAIHIRIA.....	10
Tableau 4 : Conditions aux limites du modèle	15
Tableau 5 : Définition des classes d'aléa.....	22
Tableau 6 : Dimensions des profils recalibrés pour Q100	25
Tableau 7 : Chiffrage estimatif	29

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Localisation des photographies	
Annexe 2 Méthodologie BCEOM pour le calcul des débits caractéristiques des crues des rivières sur l'île de Tahiti	
Annexe 3 Résultats en état actuel	
Annexe 4 Notice du logiciel STREAM	

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Le cours d'eau étudié est la VAHIRIA. Il est situé sur la commune de TEVA I UTA.

Le linéaire à modéliser est de 2 km à partir de l'embouchure.

Le cours d'eau a donné lieu à une étude incluant un modèle hydraulique multidirectionnel dit « à casiers ». Le logiciel utilisé dans le cadre de cette modélisation est le logiciel STREAM développé par Egis Eau.

Dans le cadre de cette étude, il s'agit de mettre à jour ce modèle et de le réutiliser afin de cartographier l'aléa hydraulique de la VAHIRIA pour différentes crues de projet.

2. RECONNAISSANCE DE TERRAIN ET RECUEIL DE DONNEES

2.1. ENQUETE DE TERRAIN

Cette phase importante d'étude a permis :

- d'analyser le processus d'inondation et d'identifier les axes structurant les écoulements (voiries, murs)
- d'identifier toutes les données générales nécessaires à la mise à jour du modèle de simulation
- de relever les éventuels repères de crue existants
- d'identifier l'état d'occupation des sols.

Les principales observations relevées sur le terrain sont les suivantes :

*Remarque : la localisation des photographies ci-dessous est donnée en **annexe 1**.*

- une passerelle, permettant l'accès à quelques habitations isolées, est implantée en amont du modèle. Celle-ci ne constitue pas un rétrécissement de la section d'écoulement.



Photographie n°1 : Passerelle sur la VAIHIRIA en amont de la zone d'étude (source EGIS Eau)

- En amont de la zone modélisée, une partie du lit mineur a récemment été protégée contre l'érosion par la pose d'enrochements



Photographie n2 : Protection des berges de la VAIH IRIA en amont (source EGIS Eau)

- Une deuxième passerelle est implantée 200m en aval de la première. Elle n'induit pas de rétrécissement de la section d'écoulement.



Photographie n3 : Passerelle métallique en amont de la VAIHIRIA (source EGIS Eau)

- une zone d'écoulement privilégiée a été identifiée au niveau du méandre. Les eaux ne pouvant transiter dans le lit mineur filent tout droit et inondent de larges parcelles en aval sur lesquelles sont implantées des serres.



Photographie n°4 : Méandre de la Vaihiria en amont du projet (source EGIS Eau)

- Le long de cette parcelle inondable, une digue latérale rive droite présente des irrégularités. Cette digue a été créée au fil des curages du lit du cours d'eau. Des échancrures ponctuelles de cette digue ont été observées lors de la visite de terrain. Ces passages, pouvant aller jusqu'à 3m, provoquent l'inondation de la zone en cas de crue. Le profil de cette digue est également très irrégulier avec des tronçons plus bas que d'autres.



Photographie n°5 : passage dans la digue latérale (source EGIS Eau)

- Le pont de la route de ceinture en aval constitue un goulet d'étranglement pour le passage des eaux. La route de ceinture est surélevée par rapport au terrain naturel en amont et en aval. Elle constitue donc un obstacle au libre écoulement des eaux. Le seul passage possible est le pont sous la route de ceinture. La capacité de ce pont est déterminante pour l'inondabilité des parcelles en amont de la route de ceinture.
- En aval de la route de ceinture, on observe de vastes parcelles inondées en fonction de la capacité du lit mineur.

2.2. RECUEIL DE DONNEES

Au préalable, un recueil de données approfondi a été effectué en identifiant toutes les sources d'informations existantes.

Cette phase très importante dans le déroulement de l'étude a pour objectif de recueillir :

- Les études hydrauliques existantes sur la VAIHIRIA
- Des données topographiques sur le cours d'eau et son lit majeur permettant de mettre à jour le modèle hydraulique
- Des éventuelles données hydrométriques sur la VAIHIRIA ou des données pluviométriques sur les derniers épisodes pluvieux significatifs relevés sur le secteur

2.2.1. Bibliographie

Des études ont été réalisées sur la VAIHIRIA par BCEOM pour le compte du Ministère de l'Équipement de la Polynésie Française :

- « Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti », février 1999
- « Etude de protection contre les crues de la rivière Vaihiria sur l'île de Tahiti » réalisée par BCEOM en 1999 – un modèle hydraulique a été réalisé dans le cadre de cette étude et sera repris.

2.2.2. Données topographiques

Les informations topographiques recueillies et utilisées dans le cadre de la mise à jour de ce modèle sont les suivantes :

- Restitution photogrammétrique au 1/2000 réalisée en 1998 (vue aérienne datant du 23 août 1998)
- Le plan topographique au 1/500 des parcelles implantées en rive droite en aval du méandre réalisé par le Cabinet de Géomètre TopoPacifique en septembre 2006
- Le plan de recollement de la route Traversière au 1/125 réalisé en octobre 2006 par le Cabinet de Géomètre Huin Topo
- Le levé des profils en travers du lit mineur et des ouvrages hydrauliques réalisé en mai 2009 par le cabinet de géomètre Xavier Doerfler

Le modèle STREAM existant a été réalisé à partir d'une photorestitution et de profils en travers levés en 1998.

Les profils en travers lit mineur, les ouvrages hydrauliques ainsi que la digue rive droite entre le méandre amont et le pont de ceinture ont été mis à jour à partir de données topographiques réalisés dans le cadre de la présente étude.

La route traversière ainsi que la parcelle rive droite en aval du méandre ont également été actualisées avec des levés topographiques plus récents.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de la VAIHIRIA se situe sur l'un des secteurs les plus arrosés de l'île de Tahiti après les secteurs au vent. En effet la pluviométrie moyenne interannuelle est de 2500 à 5000 mm sur les premiers kilomètres en remontant les vallées pour passer à plus de 7500 mm dans les reliefs.

Le climat est de type tropical océanique humide avec une saison des pluies (été austral) de novembre à avril et une saison sèche (hiver austral) de mai à octobre.

La VAIHIRIA prend sa source au pied du mont Urufa situé entre les monts Tetuferu et Punui et dont le versant nord alimente également la Papenoo.

Le bassin versant de la VAIHIRIA a une superficie de 14.6 km², un plus long chemin hydraulique de 12.8 km et culmine à 1493 m d'altitude.

En tête de bassin on retrouve le lac VAIHIRIA qui draine un sous bassin versant de 3.3 km².

Les reliefs de ce bassin versant sont caractérisés par des versants de pentes très importantes. La pente du lit mineur varie entre 7% en amont et moins de 0.6% à l'aval de la route territoriale.

Le bassin versant est essentiellement constitué de forêts. Seule la plaine littorale est urbanisée.

3.2. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

Il existe un seul pluviographe sur le bassin versant de la VAIHIRIA.

Il a été installé à 460m d'altitude et il est géré par la cellule hydrologie du GEGDP (Groupement d'Etudes et de Gestion du Domaine Public) de la Direction de l'Equipement.

On dispose d'enregistrements à cette station de 1987 à 1994 mais d'après J.DANLOUX, ces enregistrements présentent des lacunes d'observations importantes.

En 2000 dans le cadre de l'étude de « Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti », G.WOTLING de l'ORSTOM a effectué, une analyse statistique des enregistrements les plus fiables pour des durées de pluies de 5 min, 15 min, 30 min, 60 mn, 2 heures et 24 heures.

Les ajustements des données avec la loi de Gumbel ont conduit aux résultats suivants :

durée période de retour	15 minutes	30 minutes	60 minutes
2 ans	29.4 mm	45.9 mm	67.1 mm
10 ans	37.9 mm	59.3 mm	87.0 mm
100 ans	48.4 mm	75.9 mm	111.9 mm

Tableau 1 : Hauteur précipitée en mm au poste pluviométrique de VAIHIRIA P2 en fonction de la durée et de la période de retour

Ces analyses statistiques ont été réalisées sur 8 années d'observations.

En raison de ce faible nombre d'années d'observations et des lacunes de certaines d'entre elles ces résultats sont susceptibles d'être affinés ou réajustés au fil d'acquisition de nouvelles mesures.

3.3. ANALYSE HYDROMETRIQUE

Une station hydrométrique, installée vers la cote 25, a mesuré les débits de la VAIHIRIA de 1982 à 1985.

J.DANLOUX estime que les apports du sous bassin drainé par le lac VAIHIRIA sont de l'ordre de 2 à 8 m³/s.

La station a donc jaugé un bassin versant de 9.1km² recevant des apports de 2 à 8 m³/s.

Elle n'a malheureusement pas toujours correctement fonctionné mais a permis d'évaluer certains maxima:

- 177 m³/s le 12/12/1982 (dépression LISA)
- 116 m³/s le 12/03/1983 (cyclone REVA)
- 122 m³/s le 12/04/1983 (cyclone VEENA)
- 210 m³/s le 05/02/1998 (date incertaine)
- 82 m³/s le 20/12/1998

Ces informations sont issues du rapport de « Mission d'assistance technique » réalisé en 1999 par J.DANLOUX.

Après vérification des enregistrements de pluies journalières de la station pluviométrique VAIHIRIA P2 auprès du GEGDP, aucun évènement pluvieux important n'a été relevé depuis 1998.

3.4. DETERMINATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de la VAIHIRIA.

Elles sont rappelées et détaillées ci-dessous.

3.4.1. Etude BCEOM de 1999

Dans le cadre de l'étude "Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti", en absence de données hydrologiques disponibles, BCEOM a proposé, afin d'obtenir un ordre de grandeur du débit de pointe décennal, une formulation du type :

$$Q_{10} = K \times S^{0.85} \times \left(\frac{P_0}{100} \right)^2$$

Avec :

- K est un coefficient régional (K=4 pour la VAIHIRIA)
- S est la superficie drainée en km²
- P₀ est la moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15mn (P₀=25mm pour la VAIHIRIA)

Cette formulation s'applique à des bassins versant de plus de 1km². Elle est déconseillée dans le cas où des phénomènes hypodermiques sont connus ou pressentis et est à relativiser en cas de phénomènes d'écoulement superficiel particuliers tels des débits solides ou des écrêtements non négligeables.

Le débit de pointe centennal est calculé par application de la méthode du gradex avec les caractéristiques suivantes :

- Point pivot à la période de retour 10 ans
- Gradex des pluies sur 15 minutes pour les bassins versants de superficie inférieures à 20 km² et sur 30 minutes pour les autres
- un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5

3.4.2. Etude LTPP de 2001

En 2001, dans le cadre de l'étude « Modélisation hydrologique des cours d'eau de la liaison Tamanu-Taravao », G. WOTLING a mis en œuvre des modélisations successives de la relation pluie-débit sur les cours d'eau situés entre Tamanu et Taravao.

- Pour des superficies drainées inférieures à 2 km², un modèle global a été mis en œuvre permettant d'obtenir des résultats concluants. Ces résultats sont également cohérents pour des superficies comprises entre 2 et 5 km².
- Pour des superficies drainées supérieures à 5 km², deux méthodes ont été utilisées pour la détermination des débits de projet :
 - Pour la Maripehe, la Vaite et la Titaaviri, des modèles spatialisés, basés sur un modèle numérique de terrain, ont été construits,

- Pour les autres cours d'eau, la formule empirique de Craeger (préconisée par G. DANLOUX) a été utilisée :

$$Q = 1.3 \times C \times \left(\frac{A}{2.59} \right)^n$$

Avec : $n = 0.936 \times S^{-0.048}$

A : superficie du bassin versant en km².

C : coefficient de Craeger

Nous ne disposons pas du détail de calcul pour la VAIHIRIA (coefficients retenus ...).

3.5. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de projet de la VAIHIRIA obtenus sont les suivants :

Etude	Méthode de calcul	Q10 en m ³ /s	Q100 en m ³ /s
Etude BCEOM de 1999	Formule empirique et gradex	235	360
Etude LTPP de 2001	Modèle global	121	225
Etude LTPP de 2001	Formule de Craeger	170	330

Tableau 2 : Comparaison des débits de projet obtenus

Le bassin versant de la VAIHIRIA ayant une superficie de 14.6 km², un modèle spatialisé aurait été plus pertinent pour l'évaluation des débits de projet qu'un modèle global.

Les débits de projet du modèle global sont écartés.

Dans le cadre de l'étude LTPP de 2001, les résultats obtenus par l'Etude BCEOM sont privilégiés. Ils sont sécuritaires par rapport à ceux obtenus par la formule de Craeger.

Les débits de projet retenus pour la VAIHIRIA sont donc les suivants :

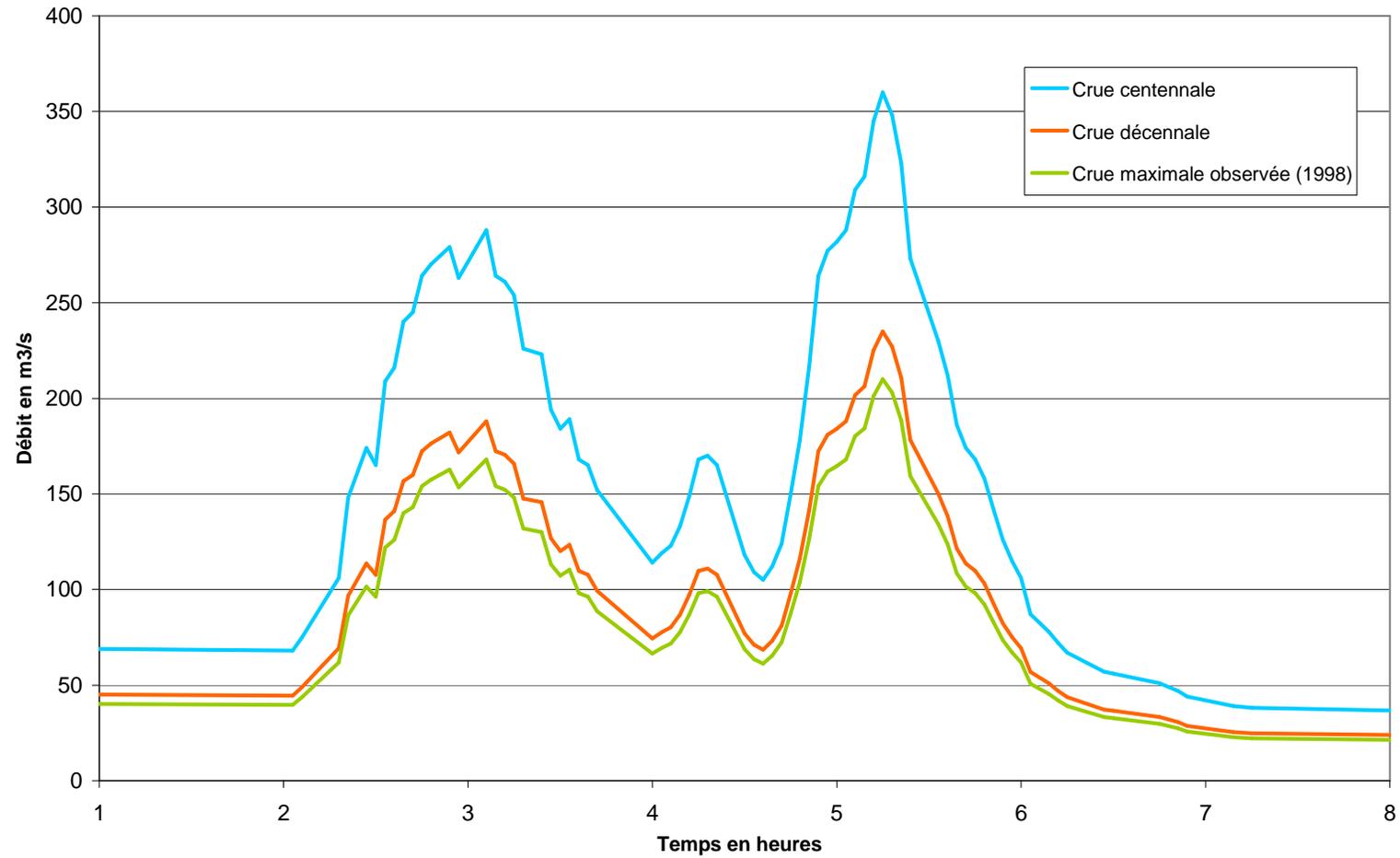
Crue	Crue maximale observée (1998)	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	210	235	360
Volume de crue en m ³		3 550 000	2 317 000

Tableau 3 : Débits de projet de la VAIHIRIA

L'hydrogramme de référence est déduit de l'hydrogramme de crue mesuré le 5 février 1998 sur la TITAAVIRI. Le bassin versant de ce cours d'eau est voisin de celui de la VAIHIRIA et cette crue mesurée en février 1998 est suffisamment récente et a un débit suffisamment important pour pouvoir servir de référence pour la forme de l'hydrogramme de crue.

Les hydrogrammes des crues décennale et centennale sont construits par homothétie en appliquant un coefficient multiplicateur égal au rapport des débits de pointe.

Figure 1 : Hydrogrammes de crue de la VAIHIRIA



4. MODELISATION HYDRAULIQUE

Le modèle hydraulique construit dans le cadre de l'étude BCEOM de 1999 a été repris et réactualisé à partir des données recueillies

4.1. PRESENTATION DU MODELE STREAM

Le modèle STREAM, Simulation en TRansitoire des Ecoulements A surface libre Multidirectionnels a été développé par BCEOM et mis en œuvre sur de nombreux cours d'eau.

Ce modèle dit « modèle à casiers » décrit fidèlement le lit mineur et le champ d'inondation à l'aide d'un découpage fin de l'espace. Le principe de base de cette modélisation est, en effet, de ne pas imposer a priori une « grille » de représentation de l'espace, mais au contraire d'épouser la réalité des écoulements. Les casiers sont ainsi délimités en fonction des axes structurant les flux (lits et chenaux, endiguement, déversoirs ...) et des sections les plus représentatives des conditions d'écoulement (profils en travers, singularités ...).

La répartition des écoulements (qui fait partie de la simulation proprement dite) permet de reconstituer l'aspect multidirectionnel qui est variable avec l'importance de la crue.

Ce modèle est donc particulièrement bien adapté à la modélisation des phénomènes hydrauliques complexes dans des zones de frange littorale.

Une notice de présentation détaillée du logiciel est fournie en **annexe 4**.

4.2. CONSTRUCTION DU MODELE

L'utilisation du modèle STREAM suppose une décomposition de la zone d'étude en un nombre suffisant de casiers permettant de reconstituer fidèlement les mécanismes de l'écoulement.

La division en casiers s'applique aussi bien à des casiers « physiques » délimités par des frontières « physiques » de type seuil (remblais, digues ...) qu'à des frontières de type quelconque.

Dans ce dernier cas, la division est effectuée lorsque cela est possible, après observation des lignes de courant (ou isobathes) des crues de référence, de sorte que l'on puisse appliquer des lois unidimensionnelles en chacune de ces frontières.

Dans le cas présent, la division a été réalisée après la reconnaissance détaillée du terrain qui permet de localiser ces frontières « physiques » et après compilation des diverses données concernant les crues de référence.

Le modèle est plus large que la zone d'étude pour compenser les imprécisions des conditions aux limites.

Le plan de la topologie du modèle (découpage en casiers) est donné sur la Figure 2.

Compte tenu de la précision souhaitée, la longueur moyenne des casiers du lit mineur varie entre 75 m et 150 m.

L'ensemble des endiguements et des remblais identifiés lors de la reconnaissance de terrain est pris en compte. La totalité du modèle comprend 64 casiers répartis en 16 étages.

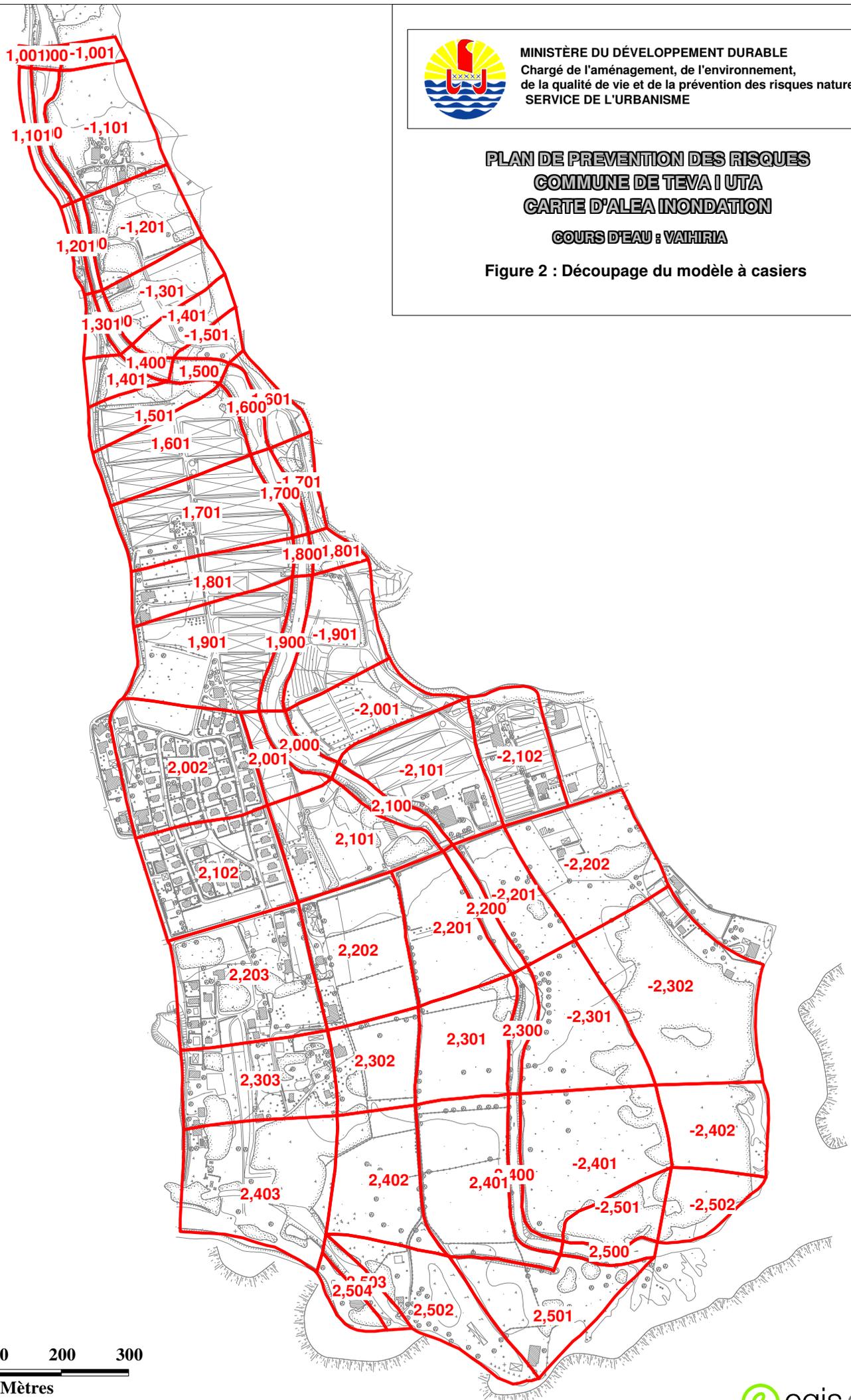


MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES COMMUNE DE TEVA I UTA CARTE D'ALEA INONDATION

COURS D'EAU : VAHIRIA

Figure 2 : Découpage du modèle à casiers



0 100 200 300
Mètres

Les données nécessaires au modèle sont :

- ♦ **les données topologiques** qui définissent la structure du modèle (repérage et disposition des casiers, nature des liaisons entre casiers et avec l'extérieur),
- ♦ **les données topographiques** : ce sont les profils des interfaces de casiers et les lois de remplissage de ces casiers, les ouvrages et les singularités hydrauliques,
- ♦ **les conditions aux limites** : il s'agit des conditions hydrologiques amont liées aux débits et hydrogrammes de crues résultant des investigations hydrologiques, et des conditions d'écoulement aval (niveau ou courbe de tarage).

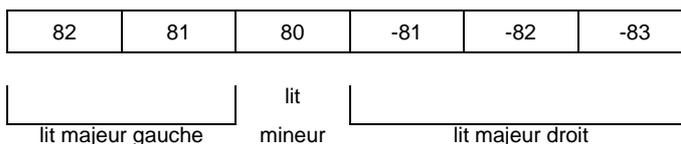
4.2.1. Données topologiques

Il s'agit de l'implantation des casiers et de leurs interfaces dans le secteur d'étude.

Ils sont décrits de l'amont vers l'aval par étages successifs (tranche perpendiculaire à l'écoulement).

La numérotation s'effectue à partir du lit mineur de la Vaihiria qui est numéroté en dizaine ; la rive droite est composée des unités négatives, et la rive gauche des unités positives :

par exemple :



Les liaisons entre les casiers sont soit des profils en travers, soit des singularités (seuils, digues, remblais).

4.2.2. Données topographiques

On distingue :

- les profils en travers aux interfaces,
- les lois de remplissage des casiers,
- les ouvrages et singularités hydrauliques.
- **LES PROFILS EN TRAVERS**
 - Dans le lit mineur, il s'agit des profils en travers levés en mai 2009 pour les besoins de l'étude.
 - Dans le lit majeur, les profils ont été relevés à partir du plan au 1/2000 établi par restitution photogrammétrique en 1998 et de plans plus récents pour quelques zones (voir 2.2.2).
 - A chaque profil sont associés une distance amont et une distance aval par rapport aux casiers adjacents et un coefficient de rugosité (affiné au calage).
- **LES LOIS DE REMPLISSAGE**

Elles sont calculées par interpolation entre les profils amont et aval du casier.
- **LES OUVRAGES ET SINGULARITES**

Il s'agit en général de digues, de remblais, de seuils et des ouvrages. Les données nécessaires sont la longueur, les cotes d'arase et un coefficient de perte de charge singulière (affiné lors du calage).

Ces données sont issues de l'étude de 1999 et des compléments topographiques plus récents recueillis. La modélisation de la digue rive droite de la Vaihiria entre le méandre amont et le pont de la route de ceinture a été mise à jour à partir des levés réalisés pour les besoins de l'étude.

4.2.3. Conditions aux limites

Les conditions aux limites du modèle sont constituées par l'hydrogramme de la crue simulée en limite amont du modèle.

La constitution de cet hydrogramme amont (forme et valeurs des débits de projet) a été exposé au paragraphe 3

La condition limite aval est constituée du niveau marin estimé dans le lagon.

	Q pointe	Niveau aval du lagon
Crue maximale observée	210 m ³ /s	1 m NGT
Crue décennale	235 m ³ /s	1 m NGT
Crue centennale	360 m ³ /s	1.2 m NGT

Tableau 4 : Conditions aux limites du modèle

4.3. CALAGE DU MODELE

Le modèle a été calé dans le cadre de l'étude de 1999 sur la crue observée en février 1998 d'un débit de pointe de 210 m³/s.

Aucune laisse de crue n'a pu être relevée suite à cet évènement pluvieux. Le modèle a donc été calé à partir des témoignages recueillis sur le terrain.

Ce calage a été rendu difficile du fait des phénomènes importants d'érosion et d'engraissement qui ont modifié la capacité de transit du lit mineur au cours de la crue.

Le calage a surtout permis de reproduire les mécanismes d'écoulements observés par les riverains.

Après vérification auprès du GEGDP, aucun évènement pluvieux majeur n'a été observé depuis cette crue de février 1998.

Nous ne pouvons donc pas caler le modèle sur un évènement pluvieux plus récent.

Le calage de l'étude de 1999 a donc été conservé.

Les coefficients de Strickler utilisés varient :

- Entre 16 et 17 en lit mineur
- Entre 4 et 6 en lit majeur

4.4. EVOLUTION DU FOND DU LIT MINEUR

Les profils en travers levés pour les besoins de l'étude en 2009 ont été comparés à ceux levés en 1998 lors de la construction du modèle hydraulique.

Les profils en long du fond de la rivière sont donnés en Figure 3.

On observe un approfondissement généralisé du fond du lit avec un dépôt de sédiments en partie aval.

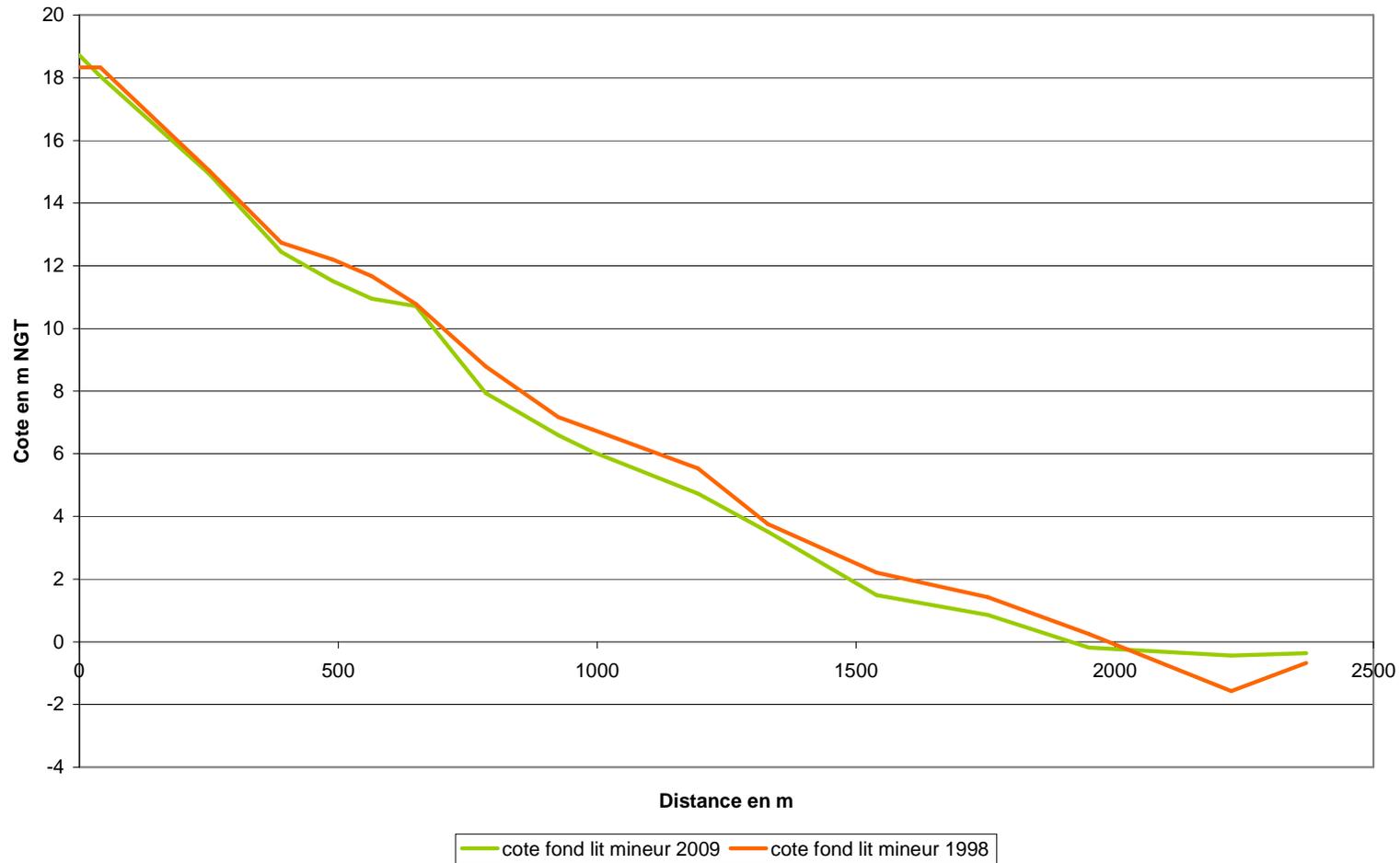
Chacune des crues charrie une quantité importante de sédiments en aval.

Après chaque crue, des équipes chargées du curage du lit évacuent une grande partie de ces sédiments.

Cet approfondissement peut être dû à un curage récent du fond du lit. Les matériaux extraits du fond du lit sont déposés sur les berges, ce qui explique l'augmentation de la capacité du lit en amont par rapport à 1998.

Cet approfondissement peut également être dû à un déficit en sédiments venant de l'amont en cas d'extraction de matériaux plus en amont de la rivière.

Figure 3 : Evolution du fond du lit mineur



5. SIMULATION DES CRUES DE PROJET EN ETAT ACTUEL

Le modèle est ensuite utilisé pour simuler plusieurs crues de différentes périodes de retour :

- La crue la plus importante observée
- La crue décennale
- La crue centennale

Les résultats de la modélisation se présentent sous la forme de cotes d'eau maximales au centre des casiers et de débits aux interfaces entre casiers. Ils sont donnés en **annexe 3**.

Les lignes d'eau sont données en Figure 4.

5.1. MECANISMES D'ÉCOULEMENT EN CRUE CENTENNALE

En amont du premier méandre, des débordements importants interviennent en rive gauche et droite.

Les débordements restent limités en rive droite par le talus du relief. Un débit de 30 m³/s en moyenne transite en rive droite avec des vitesses d'écoulement de l'ordre de 0.9 m/s. Une partie de ce débit inonde la route traversière.

En rive gauche, les débits débordés sont plus importants puisque le champ d'inondation est beaucoup plus large qu'en rive droite. Ils varient entre 50 et 90 m³/s avec des vitesses moyennes d'écoulement de l'ordre de 0.8 m/s.

Au droit de ce méandre, une partie des eaux débordées filent tout droit pour inonder une parcelle sur laquelle sont installées des serres et une autre partie retourne dans le lit mineur du fait de la rehausse de la route traversière qui devient un obstacle à l'écoulement des eaux débordées.

Au niveau de la rive droite en amont de la route traversière, les habitations et les serres sont submergées sous des hauteurs d'eau comprises entre 0.5 et 1 m sauf le long du lit mineur où elles dépassent 1m. Le débit transitant sur cette zone est en moyenne de 60 m³/s et les vitesses moyennes d'écoulements sont d'environ 0.5 m/s.

En rive gauche, les débordements sont limités le long du lit mineur du fait du relief. Plus en aval la plaine s'élargit et de nouveaux débordements surviennent. Les hauteurs de submersion sont inférieures à 0.5 m sauf en bordure du lit mineur où elles atteignent parfois 1 m. Les vitesses moyennes d'écoulement sont de 0.4 m/s. Les zones touchées par les inondations sur ce secteur sont essentiellement agricoles.

En aval de la zone d'étude, la route territoriale qui coupe la plaine fait obstacle aux écoulements des eaux.

L'ouvrage de franchissement sur le lit mineur est très insuffisant pour permettre le passage du débit de pointe de la crue centennale.

La route territoriale étant en remblai par rapport au terrain naturel amont, la plaine amont stocke les eaux débordées avant surverse sur la route. La zone inondable amont s'étend sur une largeur de 700 m du fait de cet obstacle.

Les vitesses d'écoulement sont faibles en amont de la route du fait du stockage et augmentent au passage de la route. Cette mise en vitesse au droit de la route s'atténue rapidement en aval.

En amont de la route, en rive droite, une partie du débit de crue transite à travers le lotissement qui est à moitié submergé sous de faibles hauteurs d'eau.

Les écoulements franchissent ensuite la route territoriale et s'étendent en aval très largement.

Les hauteurs d'eau dépassent localement 1m au niveau des zones topographiquement basses. Les vitesses d'écoulement ne dépassent pas 0.5 m/s.

5.2. MECANISMES D'ÉCOULEMENT EN CRUE DECENNALE

Le débit de pointe décennal de 235 m³/s est déjà très supérieur aux capacités de transit du lit mineur.

Les débordements et mécanismes d'écoulements de la crue décennale sont similaires à ceux de la crue centennale avec des débits débordés bien moindres et des hauteurs d'eau plus faibles.

Le débit de la crue maximale observée étant proche de celui de la crue décennale, les mécanismes d'inondation et les enveloppes de zones inondables sont très proches.

5.3. PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'EMBACLES

Une simulation a été réalisée en crue centennale en prenant en compte une obstruction de moitié de la section d'écoulement des ouvrages hydrauliques.

Deux ouvrages sont concernés :

- La deuxième passerelle en amont immédiat du méandre : celle-ci risque d'être emportée en cas de très forte crue
- Le pont de la route de ceinture en aval dont la section est limitante et qui constitue le seul point d'évacuation avant submersion de la route en remblai

Aucune obstruction n'a été simulée sur la passerelle en amont du modèle. Celle-ci étant implantée en condition limite amont du modèle, l'impact d'embâcles ne serait pas mesurable.

La diminution de la section d'écoulement de la passerelle en amont du méandre provoque une rehausse des niveaux d'eau de 5 cm. En aval de la passerelle, les

niveaux d'eau en lit majeur augmentent de 2 cm environ sur une centaine de mètres en aval du pont. L'impact des embâcles s'annule ensuite.

La simulation d'embâcles au niveau du pont de la route de ceinture induit une rehausse de 65 cm du niveau d'eau en lit mineur au droit du pont. L'impact de cette obstruction remonte jusqu'à 400m en amont en lit mineur.

En lit majeur, les niveaux d'eau augmentent de :

- 5 à 10 cm en rive droite
- 8 à 20 cm en rive gauche

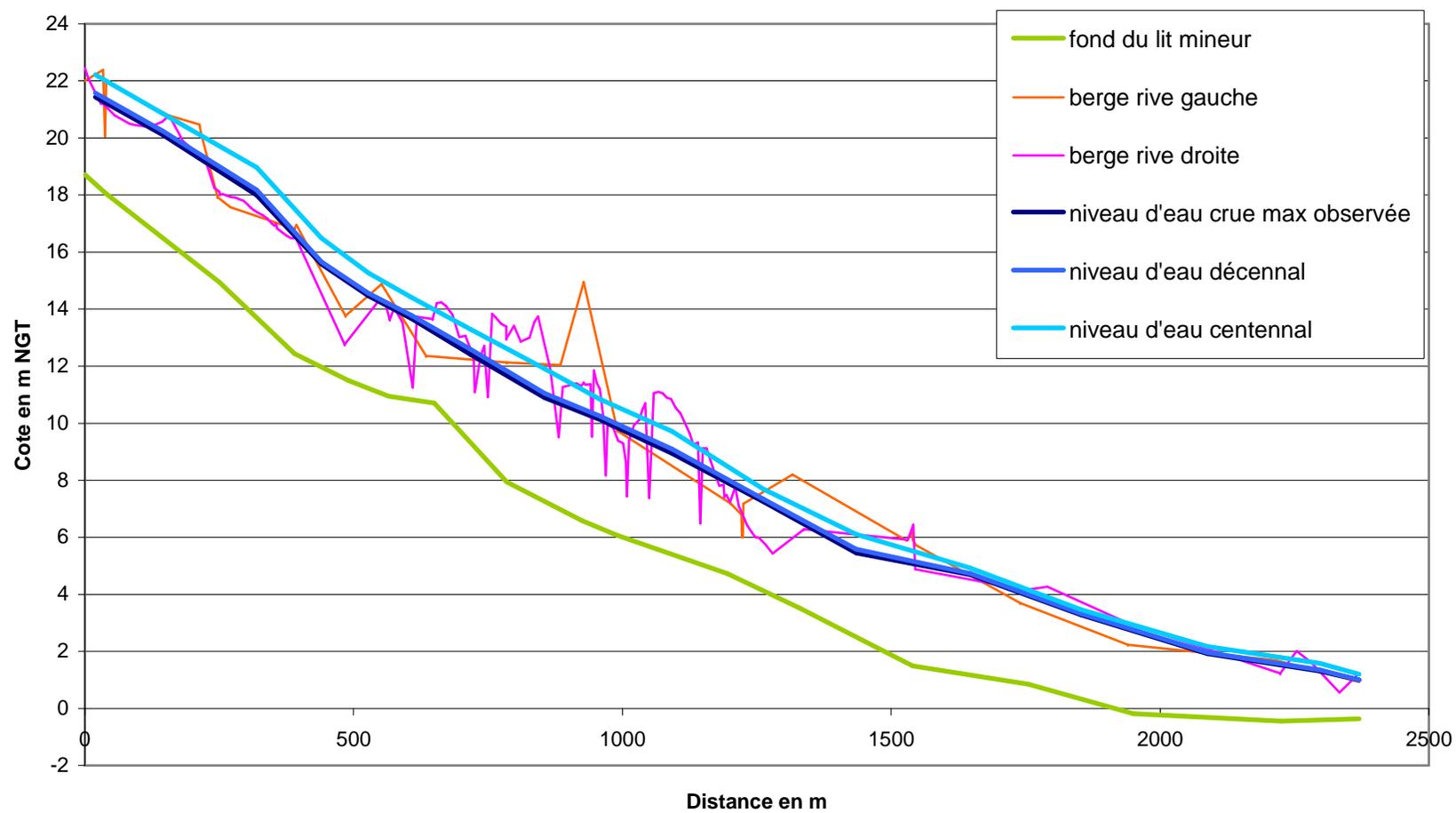
En aval de la route de ceinture, la diminution du niveau d'eau varie de 25 cm en aval immédiat du pont à 2 cm au niveau de l'embouchure.

En rive gauche, en lit majeur, les niveaux d'eau diminuent d'une dizaine de centimètres à proximité du lit mineur et de quelques centimètres en limite de zone inondable.

En rive droite, on observe une diminution du niveau d'eau variant entre 15 et 2 cm à proximité du lit mineur et une augmentation des cotes d'eau maximales de 14 à 4 cm en limite de zones inondables.

Cette augmentation est due à une modification de la répartition des débits. Le débit ne pouvant transiter en lit mineur du fait des embâcles se reporte en rive droite.

Figure 4 : Lignes d'eau en état actuel



5.4. CARTOGRAPHIE

5.4.1. Classification de l'aléa

La cartographie fournie comprend :

- **CARTE 1** : cartographie de l'enveloppe d'inondation de la crue maximale observée
- **CARTE 2** : cartographie de l'aléa inondation de la crue décennale
- **CARTE 3** : cartographie de l'aléa inondation de la crue centennale
- **CARTE 4** : cartographie de l'enveloppe d'inondation de la crue centennale en tenant compte du risque d'embâcles

Les cartographies d'aléa ont été établies sur la base des règles suivantes :

Vitesse Hauteur	Vitesse < 0.5m/s	Vitesse > 0.5m/s
Hauteur < 0.5m	Faible	Moyen
0.5m < Hauteur < 1m	Moyen	Fort
Hauteur > 1m	Fort	Très fort

Tableau 5 : Définition des classes d'aléa

La précision des cartographies reste liée à la densité et à la précision de la topographie existante en lit majeur. Les limites précises de l'enveloppe des zones inondables restent donc entachées d'une certaine imprécision.

5.4.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennial

Dans le cadre de l'aléa centennial, le phénomène d'érosion de berges a été pris en compte dans la cartographie de l'aléa. Une bande d'aléa très fort de 5 m de large en bordure de lit mineur a été ajoutée à la cartographie finale.

Cette bande permet de préserver un espace non constructible en bordure de lit pour prendre en compte le risque de destruction de berges suite à une érosion trop importante.

Actuellement, des enrochements verticaux ont été mis en place en différents points de la VAHIRIA dont récemment en amont du secteur étudié.

Le manque d'informations sur leur installation ne permet pas de dire s'ils résisteront à une crue importante. Une bande inconstructible en bordure de lit est donc sécuritaire vis à vis de ce risque particulier.

Une autre modification de classe d'aléa a été effectuée en rive droite en amont du pont de la route de ceinture.

La classe d'aléa de deux zones isolées a été modifiée :

- Une zone d'aléa faible (hauteur inférieure à 0.5m et vitesse inférieure à 0.5m/s) est passée en aléa moyen puisque celle-ci était isolée et entourée de zones en aléa moyen
- Deux petites zones en aléa moyen le long de la route et du lit mineur entourées de zones en aléa fort ont été classées en aléa fort.

Etant isolées et entourées de terrains classés en aléa supérieur, elles ne sont accessibles qu'en passant dans des zones classées en aléa supérieure. Leur classe d'aléa a donc été modifiée en conséquence.

6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

6.1. IDENTIFICATION DES ENJEUX ET DES ZONES VULNERABLES

Les enjeux principaux sont les zones habitées selon un ordre de priorité :

- Urbanisation dense
- Urbanisation diffuse
- Habitation isolée

Ces enjeux sont particulièrement vulnérables s'ils sont classés en aléa fort ou très fort.

Dans le cas de la VAHIRIA, deux secteurs particulièrement vulnérables ont été identifiés :

- Une zone d'urbanisation diffuse en amont au niveau des passerelles piétonnes classée en aléa fort et très fort. Les vitesses d'écoulement sont importantes du fait de la pente sur ce secteur et les hauteurs d'eau dépassent 1m au droit de certaines habitations.
- Une habitation en rive gauche en amont du pont de la route de ceinture implantée très près du lit mineur et classée en aléa très fort

6.2. PROTECTION DES ZONES A ENJEUX

L'objectif est de protéger ces zones vulnérables en réduisant leur classe d'aléa tout en aggravant le moins possible la situation ailleurs.

Un recalibrage est envisagé pour protéger les zones habitées amont. L'implantation d'une digue de protection n'est pas possible étant donné la largeur disponible le long du cours d'eau.

Une réfection du pont de la route de ceinture est également proposée de façon à améliorer le fonctionnement hydraulique en amont de la route et à diminuer l'inondation des habitations amont.

Ce pont sera d'un gabarit suffisant pour laisser transiter un débit centennal avec un tirant d'air de 1m environ.

6.3. AMENAGEMENTS PROPOSES

Les aménagements sont les suivants :

- **RECALIBRAGE CENTENNAL DU LIT AU DROIT DES ZONES HABITEES AMONT**

Le lit mineur a été recalibré de façon à laisser transiter une crue centennale sans débordement.

Les dimensions du lit recalibré sont les suivantes :

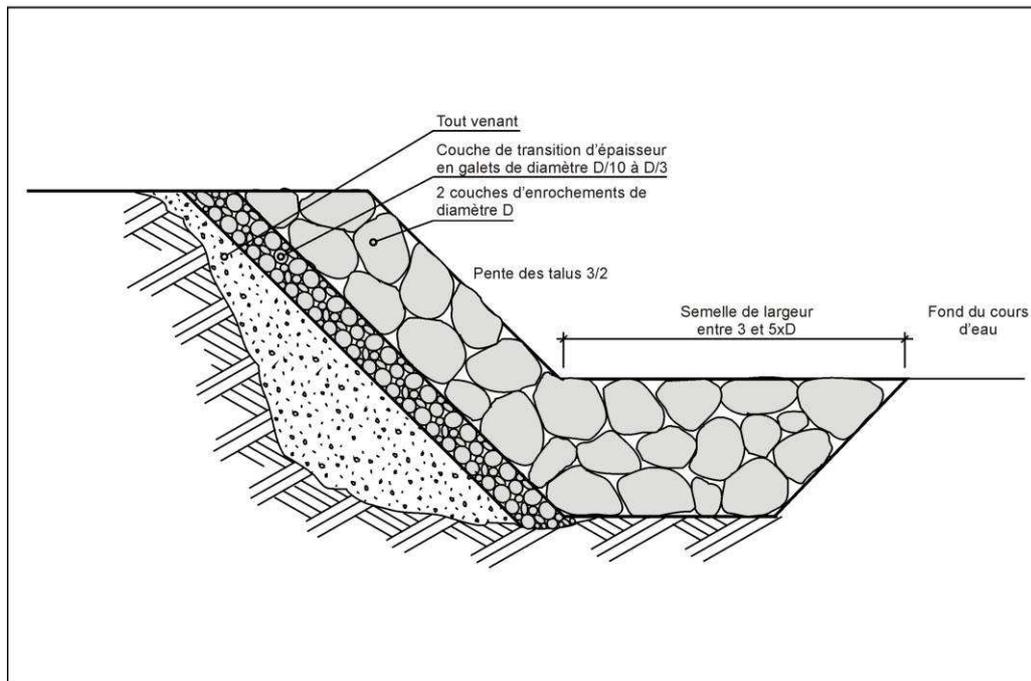
Profil	Largeur en fond en m	Pente des berges	Cote fond en m NGPF	Cote des berges en m NGPF
11001200	21	3/2	14.40	18.00
12001300	20	3/2	12.44	16.80
13001400	29	3/2	11.50	15.20
14001500	40	3/2	10.95	14.60

Tableau 6 : Dimensions des profils recalibrés pour Q100

Il est conseillé de combiner ce recalibrage à la mise en place d'enrochements liés de façon à limiter l'érosion des berges.

Etant donné les pentes importantes d'écoulement, particulièrement en amont, les vitesses dépassent facilement 3 m/s. Il est donc nécessaire de protéger les berges par la mise en place d'enrochements suivant des pentes de 3H/2V.

Figure 5 : Coupe-type de protection en enrochements



▪ **REFECTION DU PONT DE LA ROUTE DE CEINTURE POUR UNE PROTECTION CENTENNALE**

Le pont de la route de ceinture doit être recalibré pour améliorer la situation.

Actuellement, deux ponts sont implantés en parallèle :

- Un ancien pont voûté de capacité limitante
- Un nouveau sur lequel circulent les véhicules de largeur identique au premier mais sans voûte (de capacité sensiblement meilleure)

L'ancien pont contrôle le fonctionnement hydraulique actuel du fait de sa capacité limitante.

Il s'agira de refaire un nouveau pont en détruisant les anciens.

Cette réfection ne règlera pas tous les problèmes d'inondation puisque le lit amont n'est pas de capacité suffisante pour faire transiter une crue centennale. Des débordements amont font que la totalité du débit centennial n'arrive pas au pont ; une grande partie transite de chaque côté en lit majeur.

Cela améliorera néanmoins la situation et dans le cadre du dimensionnement, il s'agit de faire l'hypothèse que tout le débit centennial peut arriver au droit du pont sans débordement.

Ce pont est dimensionné avec un tirant d'air de 1m :

- Cote fond du lit : 1.49 m NGPF (cote actuelle)
- Cote sous poutre : 5.85 m NGPF
- Largeur de l'ouverture du pont : 50m
- 1 pile centrale profilée prise en compte
- Culées verticales profilées

6.4. IMPACT SUR UNE CRUE CENTENNALE

L'impact de ces aménagements sur une crue centennale et leur implantation sont donnés en Figure 6.

On observe une nette amélioration de la situation au niveau des zones vulnérables amont. Les habitations ne sont plus inondées du fait du recalibrage centennial.

Ce recalibrage entraîne une augmentation du débit transitant dans le lit mineur de la Vaihiria ponctuellement et une augmentation des niveaux d'eau au niveau des serres en rive droite et des terrains en rive gauche :

- +2 cm au niveau des serres
- +3 à 5 cm en rive droite

Le nouveau pont entraîne une diminution des hauteurs d'eau en rive droite en amont de la route territoriale de 2 cm notamment au niveau du quartier densément urbanisé.

En aval cette diminution de débit surversant sur la route diminue les cotes maximales de 1 ou 2 cm en moyenne excepté pour le casier le plus à droite en aval de la route.

En rive gauche, le débit débordé en amont ayant augmenté du fait du recalibrage, la réfection du pont permet de diminuer la ligne d'eau du lit mineur mais n'améliore pas la situation pour l'habitation implantée en bordure de rivière. Seule la mise en place d'un merlon de protection pourrait significativement réduire les inondations mais celle-ci étant située trop près du lit, il n'y a pas l'emplacement nécessaire à la mise en place d'une protection à la parcelle.

En rive gauche en aval de la route, les hauteurs d'eau augmentent de quelques centimètres en bordure de lit jusqu'à 5 cm en s'éloignant du lit mineur.

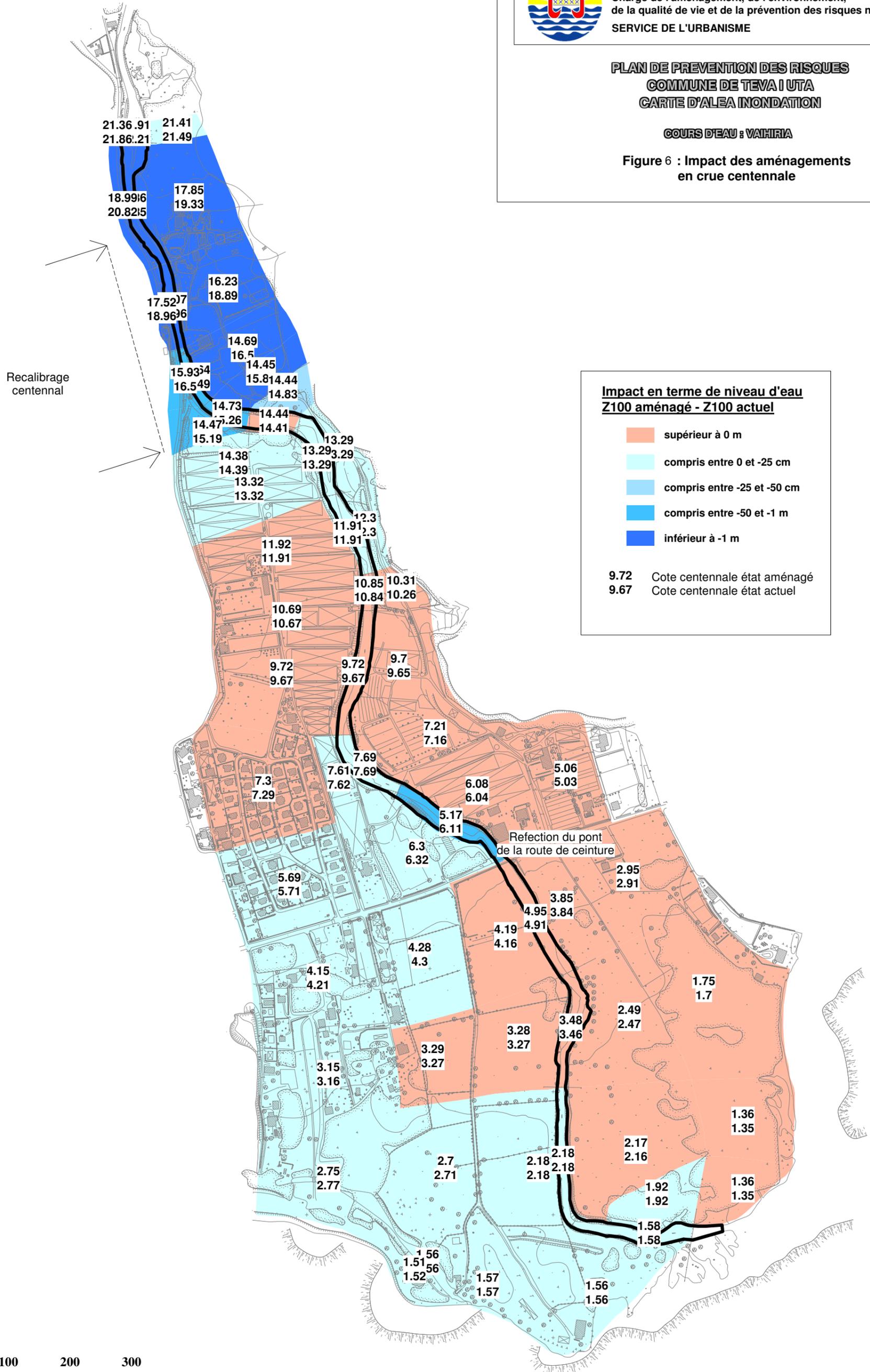
L'impact sur les vitesses d'écoulement a également été examiné et l'augmentation maximale de vitesse en lit majeur est de +0.03 m/s.



PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
COMMUNE DE TEVA I UTA
CARTE D'ALEA INONDATION

COURS D'EAU : VAHIRIA

Figure 6 : Impact des aménagements
en crue centennale



6.5. CHIFFRAGE ESTIMATIF

Les aménagements proposés précédemment sont définis au stade faisabilité.

Une topographie plus précise des berges serait nécessaire afin de préciser davantage le calage des cotes topographiques retenues.

Le tableau suivant donne un estimatif du coût financier de ces travaux :

Désignation	Unité	Quantitatif	Prix unitaire HT en FCFP	Prix HT en FCFP
Déblais pour recalibrage et mise en place des enrochements (comprenant évacuation)	m ³	45 000	2 400	108 000 000
Enrochements des berges recalibrées	m ³	12 000	10 000	120 000 000
Déblais pour la réfection du pont de la route territoriale (sur 50m environ)	m ³	10 500	2 400	25 200 000
Réfection du pont de la route territoriale	m ²	650	500 000	325 000 000
Sous total				578 200 000
Divers et aléa 20%				115 640 000
TOTAL ARRONDI				700 000 000

Tableau 7 : Chiffrage estimatif

Ces prix ne tiennent pas compte d'éventuelles acquisitions foncières.

6.6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS COMPLEMENTAIRES

Des aménagements complémentaires peuvent être envisagés de façon à pérenniser ces travaux de protection contre les inondations :

▪ MISE EN PLACE DE PIÈCES A EMBACLES

Des pièges à embâcles peuvent être installés en amont des zones habitées. Ils peuvent se caractériser par des pieux implantés dans le lit mineur de manière transversale. Ils seront implantés en décalé pour permettre une section d'écoulement suffisante en cas de crue.

▪ IMPLANTATION DE SEUILS DE STABILISATION DE FOND

Une fois le lit mineur recalibré, les vitesses d'écoulement seront modifiées et cela peut avoir un impact sur le phénomène de transport solide. L'implantation de seuils de fond permettant d'éviter l'incision du fond du lit mineur notamment au niveau des méandres est conseillée.

ANNEXES

Annexe 1
Localisation des photographies

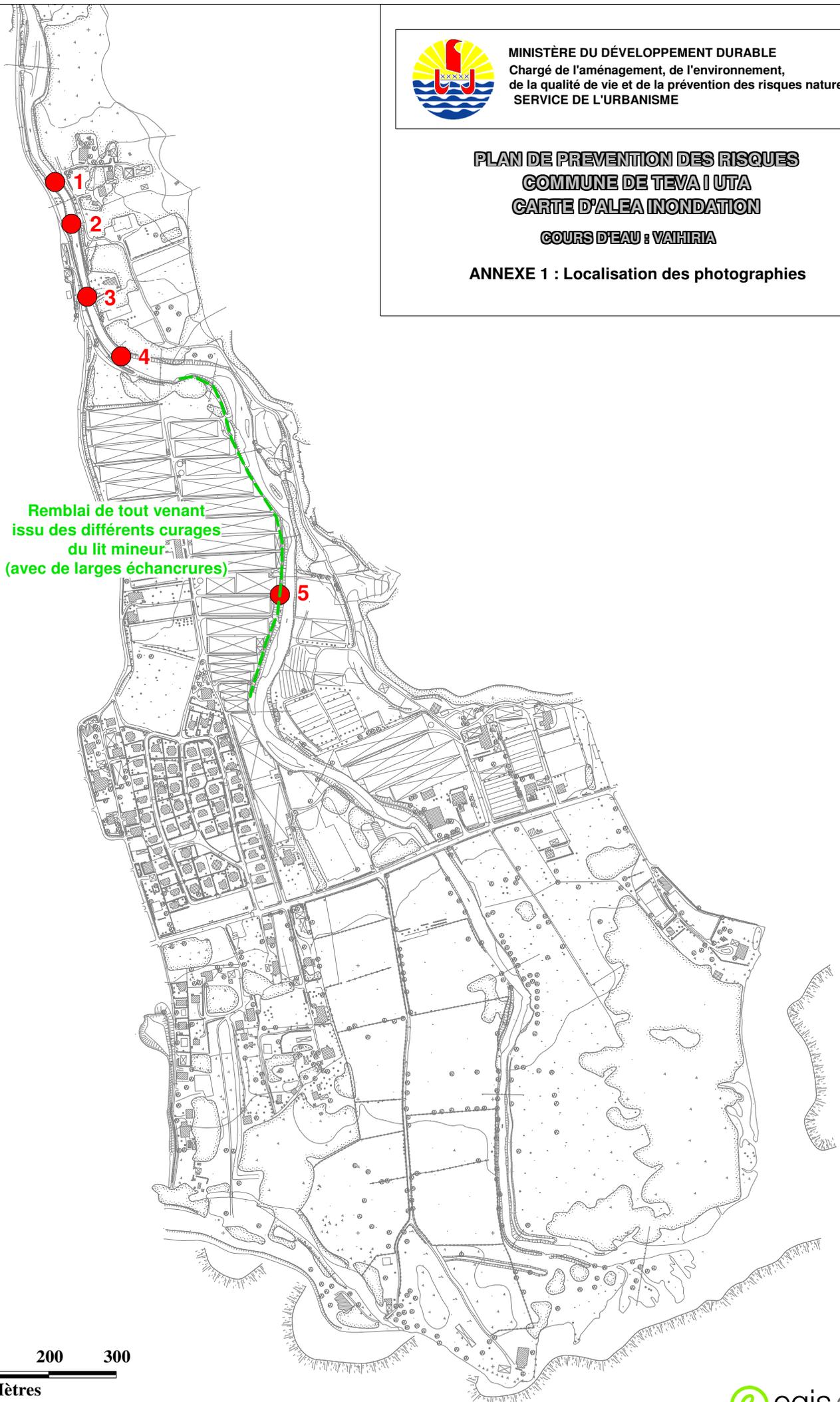


MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

**PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
COMMUNE DE TEVA I UTA
CARTE D'ALEA INONDATION**

COURS D'EAU : VAHIRIA

ANNEXE 1 : Localisation des photographies



0 100 200 300
Mètres

Annexe 2
Méthodologie BCEOM pour le calcul des débits caractéristiques des
crues des rivières sur l'île de Tahiti

Suite à une approche croisée faisant intervenir:

- les résultats des ajustements statistiques des observations hydrométriques effectués par J.DANLOUX à partir des données de la cellule hydrologie du GEGDP.
- l'application des méthodes empiriques développées sur l'île de TAHITI jusqu'à présent, à l'ensemble des bassins versants étudiés dans le cadre de l'étude des priorités d'aménagement des cours d'eau de Tahiti
- les résultats et premiers enseignements des modélisations pluie-débit réalisées par G.WOTLING de l'ORSTOM
- la synthèse des témoignages collectés sur l'ensemble des bassins versants étudiés dans le cadre de l'étude précitée

Il apparaît qu'une **approche hydrologique sur l'île de TAHITI ne peut se faire sans tenir compte de la dispersion spatiale des pluies et des conditions hydrogéologiques et hydrauliques d'écoulements.**

La dispersion spatiale des pluies est relativement bien connue depuis les travaux de Geoffroy WOTLING, en revanche les conditions d'écoulements souterrains demeurent très peu connues.

Par ailleurs les natures de lit des cours d'eau et les laminages de crues liées aux conditions d'écoulements hydrauliques sont très hétérogènes d'un bassin versant à l'autre.

On devine cependant des fonctionnements hydrologiques généraux par secteur géographique même si à l'intérieur de chaque secteur on peut retrouver des cas de fonctionnement très différent du général.

Ce qui nous amène à **régionaliser le calcul des débits.**

CALCUL DU DEBIT DE POINTE DECENNAL :

Nous proposons, dans un cadre général, une **formulation des débits de pointe décennaux** en considérant les paramètres suivants:

- **la superficie** du bassin versant
- **la pluviométrie** sur ce bassin versant sur une durée caractéristique
- **une correction géographique** fonction de conditions d'écoulements "présumées"

La durée caractéristique retenue a été le quart d'heure même pour les bassins versants les plus importants dont le temps de concentration est supérieur à cette durée.

En effet cette durée caractéristique est un paramètre général médian pour rester dans le cadre d'une formulation générale. Elle ne doit pas être rattachée au cas du bassin versant étudié.

Les coefficients de la formule ont été calés sur les données et informations recueillies sur près d'une quarantaine de bassins versants

On obtient alors:

$$Q_{10} = K \times S^{0.85} \times (P_0/100)^2$$

avec: K coefficient dépendant du secteur d'implantation du bassin versant.

S superficie du bassin versant en km².

P₀ moyenne sur le bassin versant de la hauteur de précipitations de période de retour 1 an en dixième de mm sur 15 minutes.

La valeur minimale de P₀ retenue est de 160 dixième de mm pour éviter une sous-estimation flagrante des débits pour les petits bassins versants côtiers.

P₀ est directement lue sur les isohyètes issues des travaux de G.WOTLING.

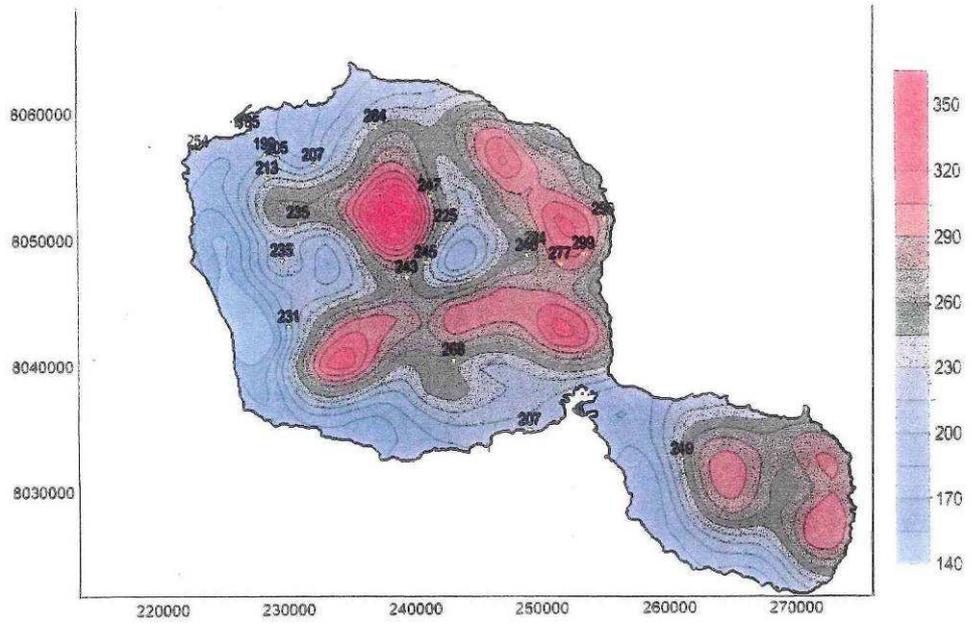
DOMAINE DE VALIDITE DE LA FORMULE PROPOSEE

Il est impératif de rappeler le cadre et les limites d'application de la formule énoncée ci-dessus:

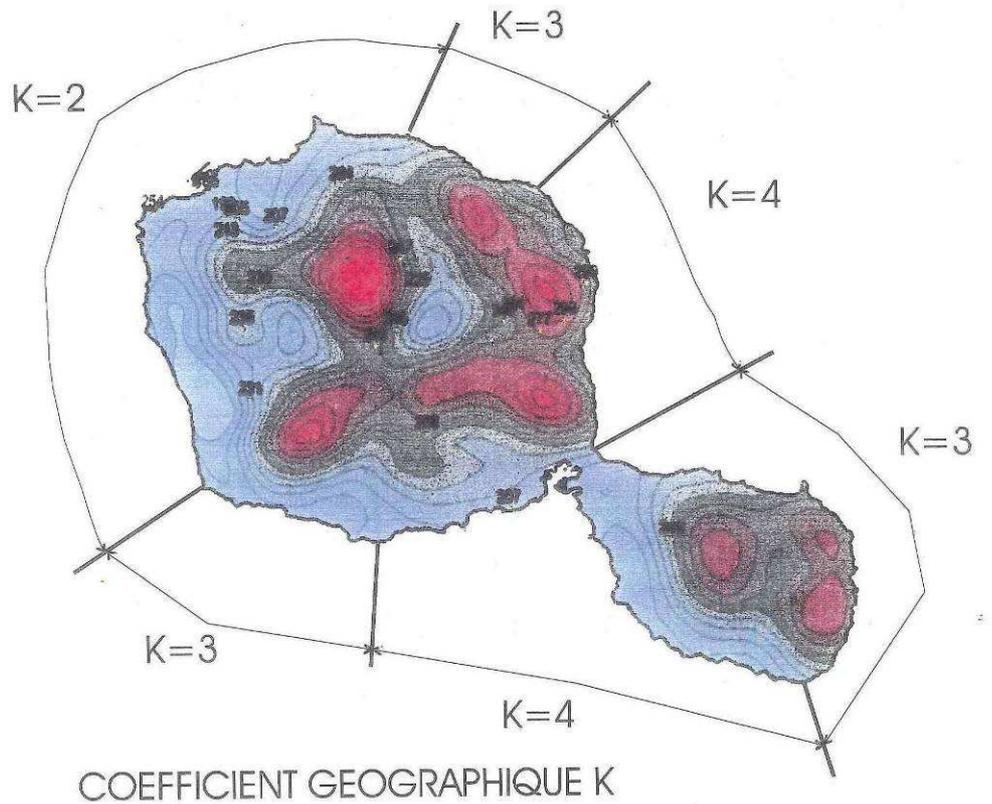
- **elle s'applique à l'ensemble des bassins versants de TAHITI de plus de 1 km² dans le cadre d'une recherche d'un ordre de grandeur du débit de pointe décennal et dans le cas où des mesures de débits n'existent pas.**
- **son application dans le cas d'un bassin versant sur lequel il est connu ou pressenti des phénomènes hypodermiques particuliers est fortement déconseillée**
- **son application dans le cas d'un bassin versant sur lequel il est connu ou pressenti des phénomènes d'écoulements superficiels particuliers, tels que des débits solide ou des écrêtements non négligeables, est à relativiser avec précautions**

Par ailleurs la formule proposée pourra être réajustée par étapes successives au fil de l'acquisition de nouvelles données ou informations sur les débits.

P0 (Intensité sur 15 minutes)



Evaluation de la variabilité spatiale des paramètres de Gumbel pour les intensités sur 15 mn.



EVALUATION DES DEBITS DE POINTE DE PERIODE DE RETOUR SUPERIEURE A 10 ANS

Pour des périodes de retour supérieures à 10 ans nous proposons l'application de la **méthode du Gradex**, en effet cette méthode semble adaptée aux événements hydrologiques de TAHITI car au delà d'une certaine quantité de pluie le déficit d'écoulement ne semble plus augmenter pour de nombreux cas.

En faisant l'hypothèse par ailleurs qu'une précipitation d'une certaine durée alimente l'écoulement pendant la même durée il en résulte qu'à partir d'une certaine valeur de la précipitation (point pivot) **la relation pluie-volume de ruissellement devient linéaire** et la loi de probabilité des volumes de ruissellement devient parallèle à la loi de probabilité des pluies.

Une fois le volume de ruissellement déterminé, le débit de pointe instantané doit être estimé par l'application d'un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané.

Nous ne disposons malheureusement d'aucune donnée sur ce coefficient sur l'île de TAHITI.

En métropole, l'analyse statistique des principaux résultats de plus de 250 études de crues extrêmes sur des bassins versant de quelques km² à quelques milliers de km², donne ce coefficient égal en moyenne à 1.6.

Nous proposons alors de **calculer les débits de pointe de période de retour 50 et 100 ans par l'application de la méthode du Gradex avec un point pivot à la période de retour 10 ans, un Gradex des pluies sur 15 minutes pour les bassins versants de superficie inférieures à 20 km² et sur 30 minutes pour les autres, et un coefficient de passage du débit moyen au débit instantané de 1.5.**

Dans l'état actuel des connaissances, **on gardera la valeur 2 comme coefficient plafond du rapport Q100/Q10.**

Annexe 3
Résultats en état actuel



MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES COMMUNE DE TEVA I UTA CARTE D'ALEA INONDATION

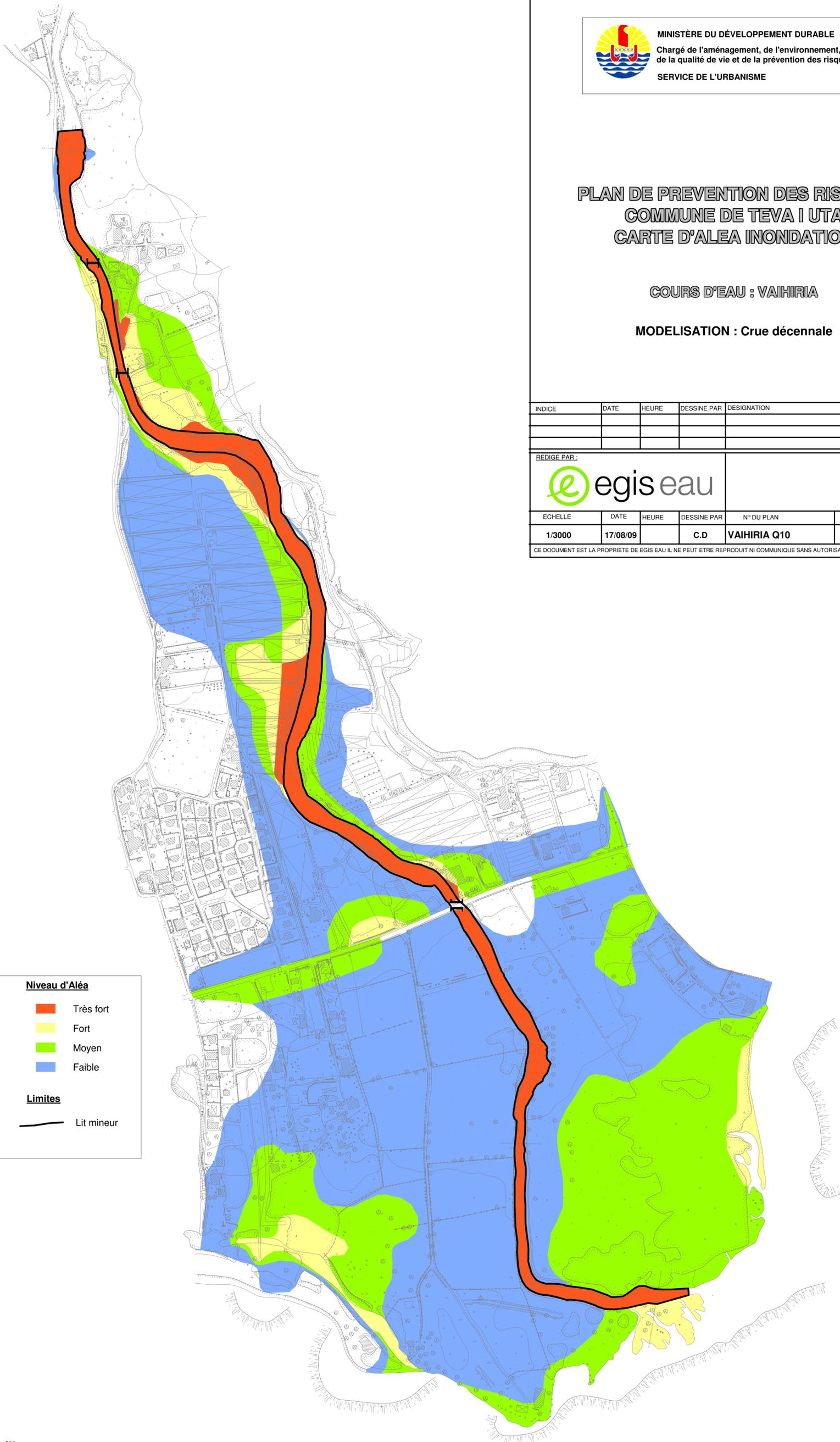
COURS D'EAU : VAHIRIA

MODELISATION : Crue décennale

INDICE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	DESIGNATION	
REDIGÉ PAR :					
					
ECHELLE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	N° DU PLAN	INDICE
1/3000	17/08/09		C.D	VAHIRIA Q10	-
CE DOCUMENT EST LA PROPRIETE DE EGIS EAU IL NE PEUT ETRE REPRODUIT NI COMMUNIQUE SANS AUTORISATION					

Ouvrages Hydrauliques		Niveau d'Aléa	
II	Pont	■	Très fort
□	Pont cadre	■	Fort
III	Pont à pile	■	Moyen
I	Passerelle	■	Faible
○	Buse		
	Seuil		
		Limites	
		—	Lit mineur

0 50 100 150 200
Mètres
Echelle: 1 / 3 000





MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
COMMUNE DE TEVA I UTA
CARTE D'ALEA INONDATION

COURS D'EAU : VAHIRIA

MODELISATION : Crue centennale

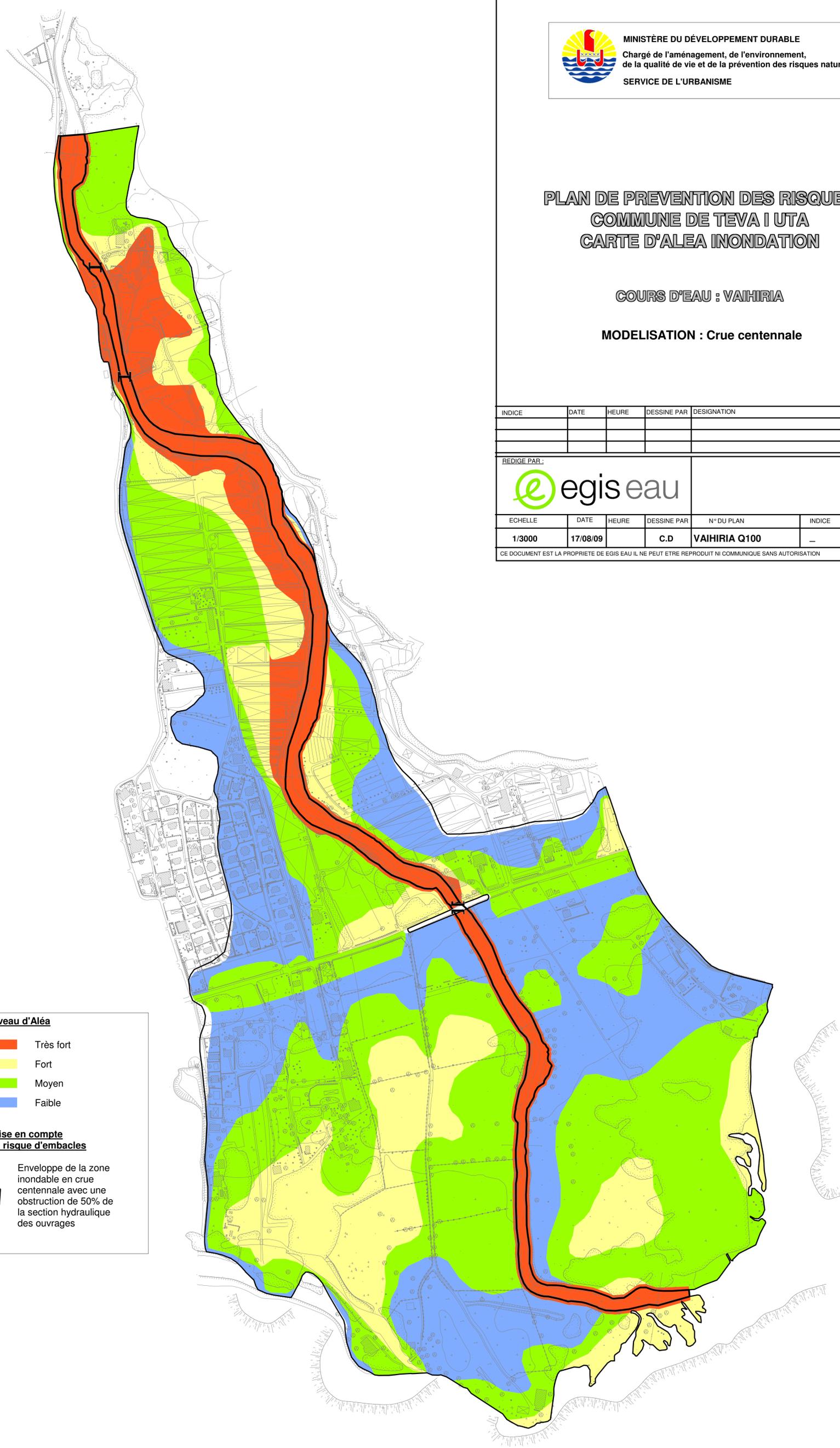
INDICE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	DESIGNATION

REDIGE PAR :



ECHELLE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	N° DU PLAN	INDICE
1/3000	17/08/09		C.D	VAHIRIA Q100	-

CE DOCUMENT EST LA PROPRIETE DE EGIS EAU IL NE PEUT ETRE REPRODUIT NI COMMUNIQUE SANS AUTORISATION



Ouvrages Hydrauliques

- Pont
- Pont cadre
- Pont à pile
- Passerelle
- Buse
- Seuil

Niveau d'Aléa

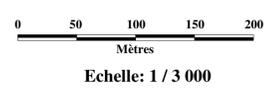
- Très fort
- Fort
- Moyen
- Faible

Prise en compte du risque d'embacles

- Enveloppe de la zone inondable en crue centennale avec une obstruction de 50% de la section hydraulique des ouvrages

Limites

- Lit mineur





MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES COMMUNE DE TEVA I UTA CARTE D'ALEA INONDATION

COURS D'EAU : VAHIRIA

MODELISATION : Crue maximale observée

INDICE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	DESIGNATION	
REDIGÉ PAR :					
					
ECHELLE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	N° DU PLAN	INDICE
1/3000	17/08/09		C.D	VAHIRIA Qmax	-

CE DOCUMENT EST LA PROPRIETE DE EGIS EAU IL NE PEUT ETRE REPRODUIT NI COMMUNIQUE SANS AUTORISATION

Ouvrages Hydrauliques

-  Pont
-  Pont cadre
-  Pont à pile
-  Passerelle
-  Buse
-  Seuil

Zones inondables

 Enveloppe de la zone inondable de la crue maximale observée

Limites

 Lit mineur

0 50 100 150 200
Mètres

Echelle: 1 / 3 000

Casiers	Z_max en m NGT	Z_10ans en m NGT	Z_100ans en m NGT
-1001	21.29	21.33	21.49
1000	21.43	21.57	22.21
1001	21.05	21.25	21.86
-1101	18.46	18.65	19.33
1100	20.11	20.23	20.85
1101	20.09	20.21	20.82
-1201	17.31	17.66	18.90
1200	17.99	18.18	18.96
1201	17.98	18.17	18.96
-1301	15.96	16.09	16.51
1300	15.58	15.66	16.49
1301	15.59	15.68	16.50
-1401	15.52	15.63	15.84
1400	14.46	14.55	15.26
1401	14.43	14.52	15.19
-1501	14.57	14.67	14.83
1500	13.67	13.78	14.41
1501	13.67	13.78	14.39
-1601	12.42	12.59	13.29
1600	12.41	12.59	13.29
1601	12.43	12.62	13.32
-1701	12.14	12.16	12.30
1700	10.90	11.04	11.91
1701	10.87	10.98	11.91
-1801	9.73	9.82	10.31
1800	10.14	10.25	10.85
1801	9.96	10.14	10.69
-1901	8.86	9.05	9.70
1900	8.94	9.10	9.71
1901	8.95	9.10	9.71
-2001	7.07	7.09	7.20
2000	7.25	7.34	7.69

2001	7.21	7.29	7.60
2002	6.72	6.88	7.30
-2102	4.97	4.98	5.05
-2101	5.97	5.98	6.07
2100	5.45	5.58	6.11
2101	6.12	6.16	6.33
2102	5.41	5.46	5.69
-2202	2.80	2.83	2.93
-2201	3.68	3.73	3.84
2200	4.69	4.74	4.91
2201	3.56	3.66	4.18
2202	3.55	3.67	4.33
2203	3.52	3.63	4.14
-2302	1.66	1.72	1.72
-2301	2.37	2.39	2.48
2300	3.29	3.33	3.46
2301	2.66	2.75	3.28
2302	2.83	2.89	3.29
2303	2.32	2.52	3.14
-2402	1.21	1.24	1.35
-2401	1.79	1.85	2.16
2400	1.93	1.97	2.18
2401	1.90	1.95	2.18
2402	2.07	2.19	2.70
2403	2.08	2.21	2.75
-2502	1.14	1.18	1.35
-2501	1.62	1.67	1.92
2500	1.31	1.35	1.58
2501	1.31	1.35	1.56
2502	1.39	1.43	1.56
2503	1.32	1.38	1.55
2504	1.25	1.31	1.51

Liaison	Q_max en m³/s	V_max en m/s	Q_10ans en m³/s	V_10ans en m/s	Q_100ans en m³/s	V_100ans en m/s
-10011000	-0.4	-0.2	-0.7	-0.3	-2.6	-0.5
-10011101	0.4	0.0	0.7	0.0	2.6	0.0
1000	210.0	0.0	235.0	0.0	360.0	0.0
10001001	0.3	0.0	0.7	0.0	3.7	0.4
10001100	209.0	2.7	233.3	2.9	353.5	3.4
10011101	0.2	0.0	0.6	0.0	3.7	0.0
-11011100	-22.4	-0.8	-26.4	-0.9	-37.7	-0.9
-11011201	22.2	0.0	25.7	0.0	39.8	0.4
11001101	18.6	0.8	19.5	0.8	31.4	0.8
11001200	174.0	2.8	191.6	2.9	283.1	3.3
11011201	15.9	0.6	16.3	0.7	33.5	0.9
-12011200	-35.7	-0.4	-51.9	-0.5	-68.9	-0.5
-12011301	56.8	0.0	68.3	0.0	93.9	0.8
12001201	8.2	-0.2	10.7	-0.2	23.6	-0.2
12001300	130.1	3.7	129.9	3.7	217.8	4.1
12011301	19.7	0.0	25.6	0.0	52.2	0.0
-13011300	17.4	0.4	20.8	0.4	22.0	0.4
-13011401	39.0	0.5	47.5	0.5	83.2	0.7
13001301	-16.3	-0.2	-21.4	-0.2	-45.0	-0.3
13001400	162.9	3.1	170.1	3.1	263.1	3.8
13011401	3.3	0.0	4.2	0.0	12.0	0.5
-14011400	8.6	0.4	11.4	0.4	34.4	0.5
-14011501	30.2	0.8	36.1	0.8	48.8	0.9
14001401	7.9	0.2	9.9	0.2	38.8	0.3
14001500	163.2	2.8	171.5	2.9	258.5	3.4
14011501	11.1	0.4	13.9	0.4	43.6	0.6
-15011500	28.5	0.7	33.7	0.7	45.7	0.7
-15011601	1.8	0.0	2.3	0.0	3.0	0.0
15001501	9.8	0.0	11.5	0.2	58.5	0.7
15001600	187.9	3.3	196.6	3.3	245.5	3.5
15011601	13.9	0.3	22.3	0.3	101.9	0.5

-16011600	0.9	0.0	1.4	0.0	-2.2	0.1
-16011701	0.8	0.2	1.2	0.2	4.5	0.4
16001601	-10.9	0.0	-16.3	0.0	-47.3	-1.0
16001700	192.9	3.1	211.2	3.2	287.5	3.4
16011701	14.0	0.0	14.4	0.2	55.9	0.4
-17011700	0.8	0.0	1.2	0.0	4.5	0.0
-17011801	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17001701	8.1	0.0	13.3	0.0	-22.9	-0.7
17001800	185.3	2.7	199.2	2.8	309.0	3.5
17011801	12.1	0.0	18.6	0.0	38.7	0.3
-18011800	-0.2	0.0	-0.4	0.0	-2.1	-0.4
-18011901	0.2	0.0	0.4	0.0	2.0	0.0
18001801	16.7	1.3	17.4	1.6	45.0	2.4
18001900	168.6	2.6	181.5	2.6	262.7	2.9
18011901	26.1	0.0	35.4	0.3	79.9	0.4
-19011900	-26.8	-0.3	-29.0	-0.3	-35.4	-0.4
-19012001	21.2	0.0	21.7	0.0	26.9	0.5
19001901	-18.3	0.6	-20.0	0.8	-24.4	0.8
19002000	159.0	2.8	174.6	2.9	243.9	3.5
19012001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19012002	9.6	0.0	16.3	0.0	68.3	0.0
-20012000	-0.9	0.1	-1.4	0.1	-5.6	-0.2
-20012101	22.1	0.0	23.1	0.0	31.9	0.0
20002001	30.5	0.2	37.1	0.2	68.2	0.3
20002100	127.6	2.6	136.2	2.6	170.0	2.7
20012002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20012101	30.3	0.0	36.8	0.0	67.8	0.0
20022102	7.4	0.0	15.1	0.0	66.5	0.0
-21022101	-17.3	0.0	-18.0	0.0	-23.7	0.0
-21022202	17.2	0.0	17.9	0.0	23.3	0.0
-21012100	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
-21012201	4.7	0.0	5.1	0.0	8.0	0.0
21002101	-1.5	0.0	-2.2	0.0	-4.8	0.0
21002200	129.0	0.0	138.2	0.0	171.5	0.6

21012102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21012201	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21012202	28.3	1.6	34.2	1.7	65.5	2.0
21022203	7.3	0.8	14.7	1.0	66.1	1.6
-22022201	-8.9	0.0	-10.1	0.0	-14.3	0.0
-22022302	25.7	0.0	27.6	0.0	36.7	0.0
-22012200	-25.0	0.0	-28.4	0.0	-36.5	0.0
-22012301	20.7	0.0	23.2	0.0	29.7	0.0
22002201	13.2	0.0	15.7	0.0	27.6	0.0
22002300	90.7	2.0	94.2	2.0	107.5	2.1
22012202	-1.8	-0.1	-1.9	-0.1	-17.1	-0.2
22012301	10.7	0.2	14.9	0.3	44.0	0.4
22022203	0.2	0.0	0.3	0.0	5.8	0.1
22022302	26.8	0.0	31.5	0.0	43.6	0.4
22032303	6.4	0.0	13.3	0.0	67.6	0.0
-2302	-27.2	0.0	-28.4	0.0	-39.8	0.0
-23022301	-22.2	-0.2	-22.5	-0.2	-23.1	-0.3
-23022402	14.0	0.2	15.9	0.2	17.0	0.2
-23012300	-26.4	0.0	-26.9	0.0	-31.3	0.0
-23012401	29.8	0.2	32.0	0.3	39.3	0.3
23002301	0.4	0.0	0.7	0.0	1.5	0.0
23002400	64.6	1.7	67.0	1.7	74.7	1.7
23012302	-4.4	-0.1	-5.5	-0.1	-11.6	-0.1
23012401	14.7	0.0	20.0	0.0	46.4	0.0
23022303	0.8	0.0	1.1	0.0	4.3	0.1
23022402	21.1	0.0	24.2	0.0	29.8	0.3
23032403	5.9	0.0	11.7	0.1	65.9	0.3
-2402	-21.7	0.0	-24.1	0.0	-27.9	0.0
-24022401	-12.5	0.0	-13.5	0.0	-12.6	0.0
-24022502	4.3	0.1	5.1	0.1	3.1	0.0
-24012400	-8.3	-1.0	-11.8	-1.1	-29.6	-1.3
-24012501	23.9	0.2	27.8	0.2	53.3	0.3
24002401	30.5	1.8	30.5	1.8	30.8	1.8
24002500	29.2	1.0	30.4	1.0	38.4	1.0

24012402	-1.6	0.0	-3.6	0.0	-22.9	-0.2
24012501	41.3	0.3	45.1	0.6	70.6	1.4
24022403	3.0	0.1	-5.2	0.1	-29.3	-0.2
24022502	18.5	0.0	20.5	0.0	26.9	0.3
24030	0.0	0.0	0.2	0.0	17.5	0.0
24032503	3.9	0.3	5.1	0.3	10.9	0.5
24032504	0.0	0.0	0.2	0.0	6.5	0.0
-25022501	-20.2	-0.3	-23.1	-0.3	-39.7	-0.4
-25020	24.4	0.0	28.0	0.0	40.3	0.0
-25012500	3.6	0.2	4.7	0.2	13.6	0.3
25002501	2.0	0.1	2.0	0.1	3.4	0.1
25000	32.6	0.0	35.3	0.0	48.8	0.0
25012502	-3.0	0.1	-3.6	0.1	-3.1	0.1
25010	43.7	0.0	47.7	0.0	73.7	0.0
25022503	4.2	0.1	4.8	0.1	4.5	0.1
25020	10.8	0.0	11.7	0.0	22.0	0.0
25032504	5.1	0.2	6.5	0.2	8.5	0.2
25030	2.8	0.0	3.2	0.0	5.9	0.0
25040	5.1	0.0	6.6	0.0	14.5	0.0

Annexe 4
Notice du logiciel STREAM

STREAM

Simulation en **TR**ansitoire
des **E**coulements
A surface libre **M**ultidirectionnels



**PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
D'INONDATION**

**AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES DE
PROTECTION CONTRE LES CRUES**

**MISE HORS D'EAU ET IMPACT
D'INFRASTRUCTURES**



BCEOM

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'INGÉNIEURIE



STREAM

**Simulation en TRansitoire
des Ecoulements
A surface libre
Multidirectionnels**

**PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
D'INONDATION**

**AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES DE
PROTECTION CONTRE LES CRUES**

**MISE HORS D'EAU ET IMPACT
D'INFRASTRUCTURES**

LOGICIEL STREAM

Concepteur : BCEOM

Objet

Simulation en TRansitoire des Ecoulements A surface libre Multidirectionnels .

Plans d'eau, chaînes d'étangs soumis à des conditions aux limites multiples : niveaux ou débits imposés, relations cote-débit ...

Domaines d'application

Etudes des phénomènes hydrauliques complexes (échanges lit mineur-lit majeur, champs d'inondation hétérogènes, écoulements maillés, deltas ...), des processus de propagation des débits entre l'amont et l'aval d'un cours d'eau, entre des étangs et des chenaux.

La modélisation fine de ces phénomènes permet en particulier de réaliser la cartographie des risques d'inondation (Plan de Prévention des Risques Inondation), de définir des aménagements de protection contre les crues et de prendre en compte les impacts d'éventuels aménagements nouveaux (seuils, projets routiers, mise hors d'eau d'infrastructures).

Principes

Ce modèle est basé sur une représentation discrétisée des écoulements dans l'espace et dans le temps. L'unité de découpage dans l'espace, appelée "casier", est prise aussi petite que le nécessitent la bonne description des phénomènes réels et la précision souhaitée des résultats.

La construction du modèle a été réalisée de manière à permettre tout découpage de l'espace, quelle que soit la complexité qu'imposent à celui-ci la géographie ou le comportement hydraulique du système physique.

Les casiers sont ainsi délimités en fonction des axes structurant les flux (lits et chenaux, endiguements, déversoirs, ...) et des sections les plus représentatives des conditions d'écoulement (profils en travers, singularités, ...).

Ce découpage principal peut être suivi d'une partition supplémentaire des casiers ainsi définis, pour affiner encore la représentation discrétisée du système.

C'est à la condition d'une telle modélisation fidèle du système physique que **les équations dites de SAINT-VENANT** peuvent valablement être utilisées pour en décrire le fonctionnement.

STREAM résoud ces équations par un schéma implicite aux différences finies exprimant les termes différentiels sous forme discrétisée entre chaque pas de temps et d'espace.

Données

- **Structure et géométrie du système**

Nombre de casiers, disposition, lois hauteurs d'eau-surfaces au miroir des casiers, type et caractéristiques des liaisons entre casiers (lois de seuil, d'orifice ou profils en travers et coefficient de rugosité, STRICKLER).

- **Type des conditions aux limites**

Débit, cote ou loi débit-cote imposée.

- **Les conditions initiales du système**

- **Paramètres de simulation**

Paramètres du calcul, conditions aux limites amont, latérales, internes et aval, coefficient de rugosité et de perte de charge.

Sorties

- Tableau des maximas issus de la simulation.
- Images instantanées de l'état du système (cotes-débits-vitesses),
- Evolution dans le temps des variables : cote-débit-vitesse aux casiers choisis.

- *Cartes de la surface libre, des champs de vitesses d'écoulement, des champs de débit et des cotes d'eau au centre des casiers.*
- *Tracé des isobathes (courbes d'égales hauteurs d'eau) et des iso-vitesses.*
- *Calcul d'impact sur les hauteurs d'eau d'une hypothèse d'aménagement et reproduction sur une carte.*
- *Calcul de durées de submersion ou de dépassement de seuils, etc ...*

Equations

Exprimé dans un espace à deux dimensions x et y, le système d'équations différentielles de SAINT-VENANT comprend :

- **Une équation de continuité, exprimant la conservation des volumes d'eau :**

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \text{div} (h V) = q$$

soit :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hV_x)}{\partial x} + \frac{\partial (hV_y)}{\partial y} = q$$

- **Une équation dynamique vectorielle, exprimant la conservation de la quantité de mouvement :**

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla V \cdot V = -g(\text{grad } Z + J)$$

soit, en projections sur les axes x et y :

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -g \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + J_x \right)$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = -g \left(\frac{\partial Z}{\partial y} + J_y \right)$$

- avec
- Z cote de la surface libre
 - V vecteur vitesse, de composantes V_x et V_y
 - J gradient de la charge hydraulique, de composantes J_x et J_y
 - q apport ou perte au m²
 - x,y coordonnées dans le plan
 - h hauteur d'eau.

**ETUDE HYDRAULIQUE ET CARTOGRAPHIE
DES ZONES INONDABLES DU LEZ
ENTRE PRADES ET PALAVAS**

(1988 - 1990)

Client : Ville de MONTPELLIER
Direction Départementale de l'Équipement de l'HERAULT



- Dans le cadre de l'aménagement du LEZ, fleuve côtier méditerranéen, pour la protection contre les crues et le développement des activités liées à la rivière (plan d'eau et ZAC d'ANTIGONE, projet Lez-Vert, création de Port-Marianne), la Ville de Montpellier a opté en 1988 pour une modélisation mathématique des écoulements multidirectionnels en régime transitoire. Ce modèle a permis d'explicitier la genèse des crues du Lez depuis Prades sur son cours inférieur, de définir la limite des zones inondables sur la commune et d'évaluer l'impact de divers projets d'urbanisme sur l'ensemble de la zone d'étude (Prades à Palavas).
- Ce modèle a été complété en 1990 pour le compte de la D.D.E. de l'Hérault, et, a été mis en oeuvre dans le cadre de l'élaboration de Plan d'Exposition aux Risques d'Inondation du Lez.

