

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 : AFEU

Rapport

GRI / N°95400V

JANVIER 2010

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	6
2.2.1. Bibliographie	6
2.2.2. Données topographiques	6
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	8
3.4.1. Etude BCEOM de 1999	8
3.4.2. Etude LTPP de 2001	8
3.4.3. Approche de P. STOLLSTEINER	9
3.5. Débits de projet retenus	10
3.6. Détermination du débit de la plus forte crue connue	11
4. MODELISATION HYDRAULIQUE	13
4.1. Présentation du modèle STREAM	13
4.2. Construction du modèle	13
4.2.1. Données topologiques	15
4.2.2. Données topographiques	15
4.2.3. Conditions aux limites	16
4.3. Calage du modèle	16
5. SIMULATION DES CRUES DE PROJET EN ETAT ACTUEL	17
5.1. Mécanismes d'écoulement en crue centennale	17
5.2. Mécanismes d'écoulement en crue décennale	18
5.3. Prise en compte du risque d'embacles	19
5.4. Cartographie de l'aléa	21
5.4.1. Classification de l'aléa	21
5.4.2. Particularités de la cartographie de l'aléa centennal	21
6. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	22
6.1. Identification des enjeux et des zones vulnérables	22

6.2.	Protection des zones à enjeux	22
6.3.	Aménagements proposés	23
6.4.	Impact sur une crue centennale	25
6.5.	Chiffrage estimatif	27
6.6.	Propositions d'aménagements complémentaires	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Hydrogrammes de crue de l'AFEU	12
Figure 2 : Plan du modèle à casier global.....	14
Figure 3 : Lignes d'eau en état actuel.....	20
Figure 4 : Coupe-type de protection en enrochements	24
Figure 5 : Impact des aménagements en crue centennale.....	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Hauteur précipitée en mm au poste pluviométrique de PAPEARI P1 en fonction de la durée et de la période de retour	7
Tableau 2 : Comparaison des débits de projet obtenus	10
Tableau 3 : Débits de projet de l'AFEU.....	10
Tableau 4 : Conditions aux limites du modèle	16
Tableau 5 : Définition des classes d'aléa.....	21
Tableau 6 : Dimensions des profils recalibrés	23
Tableau 7 : Chiffre estimatif.....	27

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 Notice du logiciel STREAM
Annexe 4 Résultats en état actuel

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

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

Le linéaire à modéliser est de 1.6 km à partir de l'embouchure.

L'étude de ce cours d'eau va être réalisée par la mise en œuvre d'un modèle hydraulique multidirectionnel dit « à casiers ». Le logiciel utilisé dans le cadre de cette modélisation est le logiciel STREAM développé par Egis Eau.

Il sera utilisé afin de cartographier l'aléa hydraulique de l'AFEU 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**.*

- Amont du lit de l'AFEU. Le lit mineur amont est resté naturel avec des berges végétalisées et non stabilisées.



Photographie n°1 : Amont du lit mineur de l'AFEU (s ource EGIS Eau)

- Une série de méandres est localisée en amont de la route de ceinture



Photographie n°2 : Méandre sur la zone en amont de la route de ceinture (source EGIS Eau)

- Au niveau de la route de ceinture, deux ponts se succèdent : un récent grâce auquel la circulation des véhicules est assurée et un plus ancien accolé au 1^{er}. Ce pont plus ancien est de capacité limitante puisqu'il présente une arche et crée davantage de perte de charge. Le pont plus récent n'a pas une capacité hydraulique beaucoup plus importante étant donné ses caractéristiques géométriques.



Photographie n°3 : Pont limitant de la route de ceinture (source EGIS Eau)

- En aval immédiat de la route de ceinture, on observe un ancien méandre qui a été coupé. Celui est actuellement souvent plein d'eau stagnante ne s'évacuant pas d'après les riverains. En cas de crue, le cours d'eau retrouve rapidement cet ancien lit.



Photographie n°4 : Ancien méandre en aval du pont de la route de ceinture (source EGIS Eau)

- Les berges sont endiguées par un muret de hauteur plus ou moins importante en aval de la route de ceinture. Ce muret est soit bétonné, soit enroché.



Photographie n°5 : Endiguement des berges en aval de la route de ceinture (source EGIS Eau)

- Un ancien méandre est localisé en rive gauche juste avant l'embouchure. Celui-ci est maintenant une zone marécageuse en eau. Il est connecté au lit mineur en amont et en aval via des buses mais celles-ci ont été endommagées et sont peu fonctionnelles. Néanmoins, l'eau transite toujours derrière le muret avec un faible débit étant donné la taille des buses et leur état et remplit l'ancien méandre sous quelques centimètres d'eau.



Photographie n°6 : Ancien méandre en amont de l'embouchure en rive gauche
(source EGIS Eau)



Photographie n°7 : Buses d'alimentation et de vidange de l'ancien méandre
(source EGIS Eau)

- Les berges sont légèrement endiguées et enrochées jusqu'à l'embouchure



Photographie n°8 : Embouchure de l'AFEU (source EGIS Eau)

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 l'AFEU
- Des données topographiques sur le cours d'eau et son lit majeur permettant de construire le modèle hydraulique
- Des éventuelles données hydrométriques sur l'AFEU ou des données pluviométriques sur les derniers épisodes pluvieux significatifs relevés sur le secteur

2.2.1. Bibliographie

Aucune étude existante n'a été collectée sur l'AFEU. Seule une étude plus générale sur tous les cours d'eau de TAHITI a été utilisée :

- "Etude des priorités d'aménagements des cours d'eau de Tahiti", février 1999, BCEOM

2.2.2. Données topographiques

Les informations topographiques utilisées dans le cadre de la construction de ce modèle ont été définies pour les besoins de la présente étude et ont été levés en août 2009 par le cabinet de géomètre Xavier Doerfler :

- Profils en travers du lit mineur et des ouvrages hydrauliques tous les 80m environ
- Profils en travers du lit majeur tous les 160m environ

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. GENERALITES

Le bassin versant de l'AFEU 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.

Le bassin versant de l'AFEU a une superficie de 7.5 km². Il est essentiellement constitué de forêts. Seule la plaine littorale est urbanisée.

3.2. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

Aucun pluviographe n'est installé sur le bassin versant de l'AFEU. Le pluviographe le plus proche est situé à PAPEARI.

Il a été installé à 1m 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 1992.

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	22.0 mm	35.4 mm	49.5 mm
10 ans	28.1 mm	48.4 mm	67.7 mm
100 ans	35.7 mm	64.5 mm	90.3 mm

Tableau 1 : Hauteur précipitée en mm au poste pluviométrique de PAPEARI P1 en fonction de la durée et de la période de retour

Ces analyses statistiques ont été réalisées sur 6 années d'observations.

En raison de ce faible nombre d'années d'observations, ces résultats sont susceptibles d'être affinés ou réajustés au fil d'acquisition de nouvelles mesures.

3.3. ANALYSE HYDROMETRIQUE

Aucune station hydrométrique n'est installée sur l'AFEU. Nous ne disposons donc d'aucun enregistrement de débits pour ce cours d'eau.

3.4. DETERMINATION DES DEBITS DE PROJET

Différentes méthodes ont été utilisées pour calculer les débits de projet de l'AFEU. 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 l'AFEU)
- 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 l'AFEU)

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 Maripéhe, 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 l'AFEU (coefficients retenus ...).

3.4.3. Approche de P. STOLLSTEINER

P. STOLLSTEINER, dans le cadre d'une mission d'assistance technique pour l'évaluation et la cartographie de l'aléa inondation en Polynésie française propose l'utilisation de la méthode Rationnelle pour la définition des débits de pointe décennaux et de la méthode du gradex pour l'évaluation des débits de pointe centennaux.

Cette méthode est préconisée pour des bassins versants pour lesquels on ne dispose pas de données observées.

Le coefficient de ruissellement décennal est régionalisé sur la base des ajustements débimétriques disponibles. L'intensité retenue est celle survenant sur une durée égale au temps de concentration du bassin versant étudié.

A défaut d'ajustements débimétriques, P. STOLLSTEINER recommande « de choisir le coefficient de ruissellement décennal parmi ceux de l'île la plus proche et la plus semblable en considérant le contexte géologique, l'altitude maximale du bassin versant et son orientation ». Pour l'AFEU, le coefficient de ruissellement décennal retenu est de 0.55.

A défaut d'ajustements pluviométriques sur des courtes durées, P. STOLLSTEINER propose « d'estimer les valeurs fréquentielles des pluies de durée égale au temps de concentration à partir d'informations disponibles sur les pluies journalières » (rapport des pluies sur sites de durée Tc et journalière égal à ce même rapport à la station pluviographique la plus proche ou jugée comparable).

3.5. DEBITS DE PROJET RETENUS

Les débits de projet de l'AFEU 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	140	220
Etude LTPP de 2001	Modèle global	130	229
Etude LTPP de 2001	Formule de Craeger	90	150
P STOLLSTEINER	Méthode rationnelle et gradex	115	173

Tableau 2 : Comparaison des débits de projet obtenus

Les résultats de la formule de Craeger sont inférieurs aux résultats obtenus par les autres méthodes.

Les résultats du modèle global semblent cohérents. Le bassin versant de l'AFEU n'ayant pas une superficie importante, les débits obtenus avec le modèle global semblent pertinents.

Les débits de projet du modèle global sont retenus car ils sont sécuritaires par rapport à ceux obtenus par BCEOM et P.STOLLSTEINER pour la crue centennale.

Les débits de projet retenus pour l'AFEU sont donc les suivants :

Crue	Crue décennale	Crue centennale
Débit en m ³ /s	130	229
Volume de crue en m ³	1 282 000	2 258 000

Tableau 3 : Débits de projet de l'AFEU

Nous ne disposons pas d'hydrogramme mesuré sur l'AFEU.

L'hydrogramme des crues de projet est donc 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 l'AFEU 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.

3.6. DETERMINATION DU DEBIT DE LA PLUS FORTE CRUE CONNUE

En l'absence de station hydrométrique sur l'AFEU, nous ne disposons d'enregistrements de débit de ce cours d'eau. Aucune information quantitative de débit n'est donc disponible sur la crue maximale observée.

Le débit de la plus forte crue connue ne peut donc être déterminé qu'à partir de données hydrométriques enregistrées sur une rivière voisine.

Nous disposons de l'hydrogramme de crue de la TITAAVIRI mesuré le 5 février 1998 d'un débit de pointe de $320 \text{ m}^3/\text{s}$.

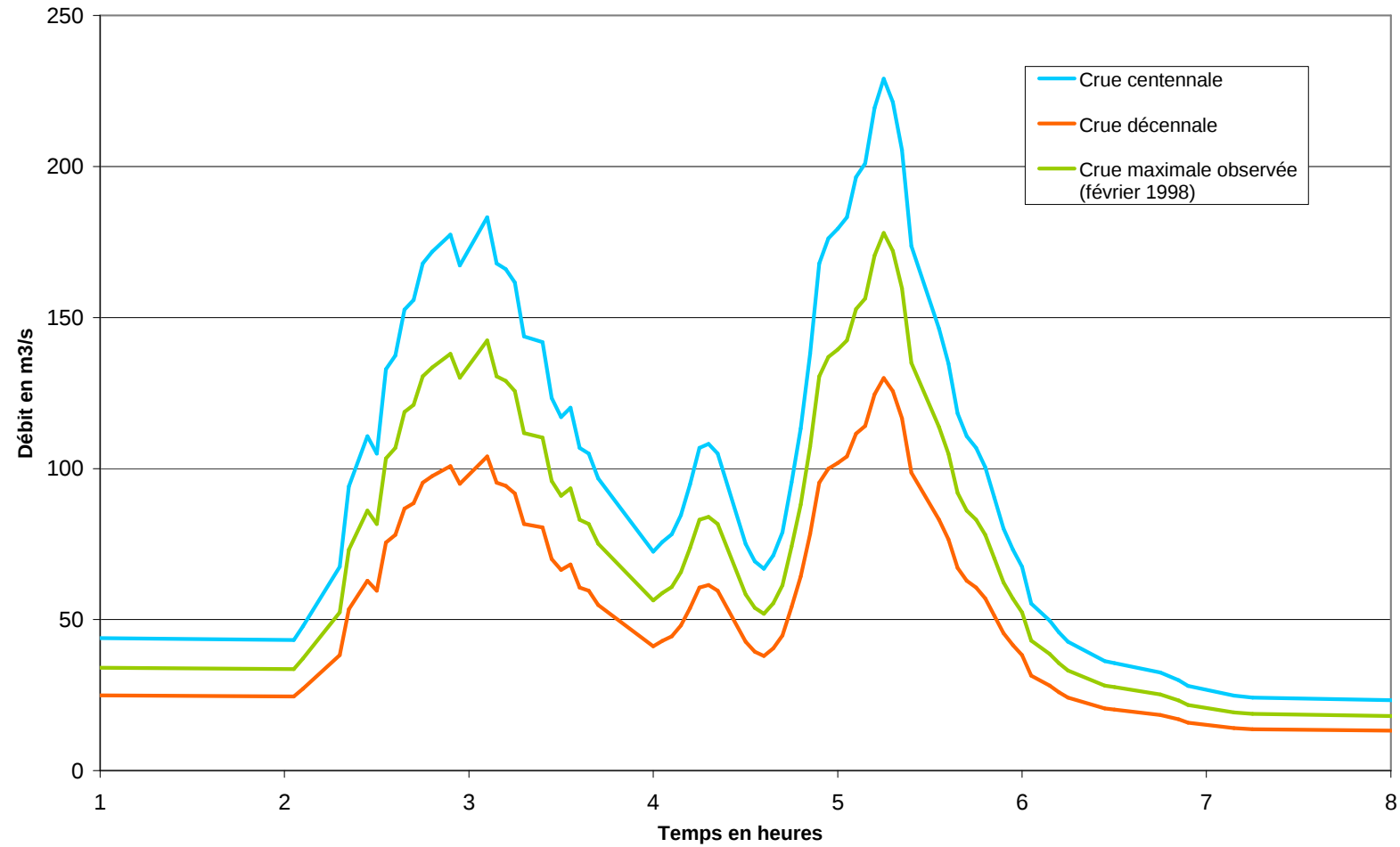
A partir de la formule de Craeger, on obtient un coefficient de Craeger de 56 pour un débit de pointe de $320 \text{ m}^3/\text{s}$ et une surface de bassin versant de la TITAAVIRI de 15.9 km^2 .

La TITAAVIRI étant situé à proximité immédiate de l'AFEU, avec une superficie de bassin versant de 7.5 km^2 , un coefficient de 56, on obtient un débit de pointe de $178 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit de la plus forte crue connue pour l'AFEU pris en compte dans le cadre de cette étude sera donc de $178 \text{ m}^3/\text{s}$.

Son hydrogramme est déduit de celui de la TITAAVIRI par homothétie.

Figure 1 : Hydrogrammes de crue de l'AFEU



4. MODELISATION HYDRAULIQUE

Un modèle hydraulique a été construit dans le cadre de cette étude à partir du logiciel de simulation STREAM.

4.1. PRESENTATION DU MODELE STREAM

Le modèle STREAM, Simulation en TRansitoire des Ecoulements A surface libre Multidirectionnels a été développé par EGIS EAU 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 3**.

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.

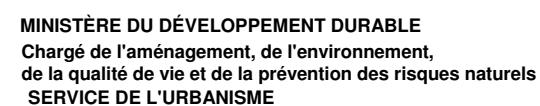
Dans le cas présent, la division a été réalisée après la reconnaissance détaillée du terrain qui permet de localiser ces frontières « physiques » et après compilation des diverses données concernant les crues de référence.

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.

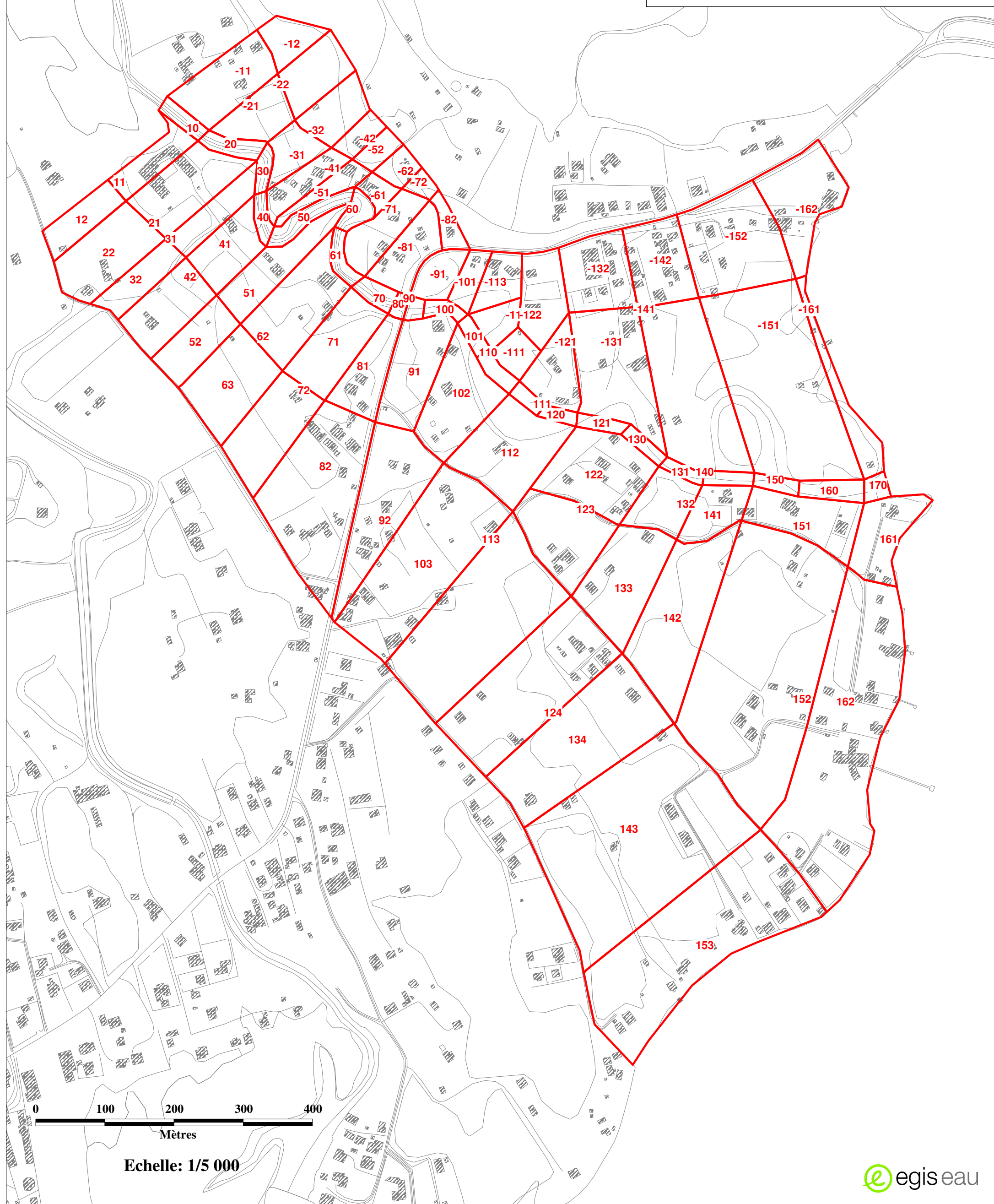
Compte tenu de la précision souhaitée, la longueur moyenne des casiers du lit mineur est de 80 m. L'ensemble des endiguements et des remblais identifiés lors de la reconnaissance de terrain est pris en compte.

La totalité du modèle comprend 90 casiers répartis en 17 étages.



COURS D'EAU : AFEU

Figure 2 : Découpage du modèle à casiers



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).

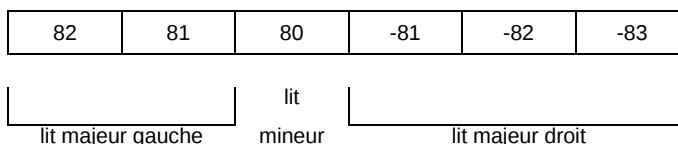
4.2.1. Données topologiques

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 l'AFEU 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 août 2009 pour les besoins de l'étude.
 - Dans le lit majeur, les profils ont été définis suite au découpage en casiers de la zone d'étude et levés en août 2009 par le cabinet de géomètre Doerfler.
 - 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).

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 ci-dessus.

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

	Q pointe	Niveau aval du lagon
Crue maximale observée	178 m ³ /s	0.5 m NGPF
Crue décennale	130 m ³ /s	0 m NGPF
Crue centennale	229 m ³ /s	1 m NGPF

Tableau 4 : Conditions aux limites du modèle

Remarque : Nous ne disposons pas d'informations sur la surcote marine observée lors de l'épisode de février 1998. Un niveau moyen de 0.50 m NGPF est imposé en aval du modèle hydraulique.

4.3. CALAGE DU MODELE

Les enquêtes de terrain ne nous ont pas permis de recueillir des informations précises sur les dernières crues observées, notamment sur celle de février 1998.

Les informations collectées auprès des riverains font état :

- d'inondations au niveau de l'ancien méandre en rive gauche de l'AFEU en aval de la route de ceinture,
- d'habitations inondées en rive droite en aval immédiat du pont,
- d'une insuffisance de la capacité du pont.

Les riverains interrogés n'ont pu donner aucune information en termes de hauteur relative à une crue historique.

Le calage du modèle a donc été réalisé essentiellement à partir des enquêtes de terrain, en estimant les coefficients de strickler caractérisant le frottement en fonction de la nature du lit.

Les coefficients de Strickler utilisés varient :

- Entre 16 et 18 en lit mineur
- Entre 10 et 12 au niveau des berges
- Entre 7 et 8 en lit majeur

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 4**.

Les lignes d'eau sont données en **Figure 3**.

5.1. MECANISMES D'ÉCOULEMENT EN CRUE CENTENNALE

D'importants débordements sont observés en amont de la zone modélisée. Le lit mineur laisse transiter entre 115 et 150 m³/s en amont soit environ 60% du débit centennal total en amont du pont de la route de ceinture.

En rive gauche, les habitations en bordure de cours d'eau sont inondées sous des hauteurs d'eau ne dépassant pas 1m excepté pour deux habitations implantées en amont pour lesquelles les hauteurs d'eau atteignent plus d'1m.

En amont du 2^{ème} méandre (casiers 50 et 60), le champ d'inondation s'étend sur une largeur moyenne de 150m. Le lit majeur en rive gauche devient plus étroit au niveau de ce méandre avec une rehausse nette et rapide du terrain naturel.

Les débits débordés reviennent alors au lit mineur et le champ d'inondation se limite à la bordure du lit du fait du caractère encaissé du lit au droit de ce point.

Le lit majeur rive gauche s'élargit ensuite en amont immédiat de la route de ceinture sur une 60^{aine} de mètres de large avec des hauteurs d'eau ne dépassant 1 m qu'en bordure immédiat du lit mineur. La route de ceinture n'est pas submergée en rive gauche, le débit débordé revient au lit mineur.

En rive droite, le champ d'inondation est plus vaste avec des hauteurs d'eau inférieures à 0.5m en amont du modèle.

En amont immédiat de la route de ceinture, les hauteurs d'eau peuvent dépasser 1m au niveau des points bas du terrain naturel. La route de ceinture étant en remblai, celle-ci fait obstacle aux écoulements et transforme le lit majeur amont en zone de stockage avant débordement par-dessus la route de ceinture.

Un débit de 60 m³/s environ transite par la route de ceinture en rive droite tandis que 140 m³/s transitent sous le pont.

Les vitesses d'écoulement restent inférieures à 0.5m/s en lit majeur excepté au droit des méandres et au passage de la route de ceinture. La route de ceinture se comporte hydrauliquement comme un seuil et est franchie sous une faible lame d'eau. Ce passage provoque une accélération ponctuelle de l'écoulement rapidement atténuée en aval dès que le champ d'inondation s'élargie et que les hauteurs d'eau augmentent.

En aval du pont, les débordements en rive gauche restent essentiellement limités aux zones non urbanisées. Ils touchent quelques habitations sous des hauteurs d'eau inférieures à 50cm. Deux bâtiments implantés en bordure de lit mineur au droit du casier 130 ainsi que quelques bâtiments en bordure de littoral sont inondés avec des hauteurs d'eau comprises entre 50cm et 1m.

En rive droite, les débordements envahissent toute la rive droite sur une largeur de 500m. Les hauteurs d'eau restent limitées à 50cm maximum essentiellement à l'exception de la bordure du lit mineur, de quelques points bas topographiques ainsi que quelques zones en bordure littorale.

La zone inondable rive droite rejoint la zone inondable de la PAUI.

L'ancien méandre en rive droite de l'AFEU en amont immédiat de l'embouchure est maintenant une zone marécageuse (voir photographies de l'enquête de terrain). Le terrain étant instable et envahi par la végétation, il a été impossible de réaliser des levés topographiques sur cette zone. Par mesure de précaution et du fait de son caractère marécageux, cette zone est classée en aléa fort avec des hauteurs d'eau de plus de 1m.

5.2. MECANISMES D'ÉCOULEMENT EN CRUE DECENNALE

En crue décennale, en amont du 2^{ème} méandre, la zone inondable reste limitée à proximité du lit mineur en rive droite. Elle est plus étendue en rive gauche mais les habitations touchées sont inondées sous moins de 50cm d'eau à l'exception d'un bâtiment. Les habitations touchées se situent pour la plupart dans le méandre.

En aval, la rive gauche n'est pas inondée : les débordements amont retournent au lit mineur au droit du casier 50.

Les débordements se produisent en rive droite au niveau de points faibles des berges et s'étalent en amont de la route de ceinture, inondant plusieurs habitations sous moins de 50cm d'eau.

La route de ceinture n'est submergée qu'en limite de modèle en rive droite sur une 50^{aine} de mètres. La quasi-totalité du débit passe sous le pont de la route de ceinture : 108m³/s passe sous le pont contre 4m³/s en rive droite alors que le débit décennal total est de 130m³/s. 18m³/s sont écrêtés entre l'amont du modèle et le pont de la route.

En aval du pont, en rive gauche, peu d'habitations sont inondées, la zone inondable restant limitée à des zones non urbanisées.

En rive droite, on observe deux axes principaux d'écoulement :

- L'un en bordure de lit mineur
avec des hauteurs d'eau comprises entre 50cm et 1m pour certaines habitations implantées près du lit mineur
- L'autre à l'extrémité droite du modèle
avec un débit de 5 m³/s en aval de la route qui s'écrête pour ne pas dépasser

quelques centaines de l/s au niveau de la frange littorale. Les hauteurs d'eau ne dépassent pas 0.5m.

Les vitesses d'écoulement ne dépassent pas 0.5m/s à l'exception de la surverse sur la route de ceinture où le passage de cet obstacle sous une lame d'eau faible provoque une mise en vitesse de l'écoulement.

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.

La simulation d'embâcles au niveau du pont de la route de ceinture induit une rehausse de 45 cm du niveau d'eau en lit mineur au droit du pont. L'impact de cette obstruction remonte quasiment jusqu'en amont du modèle.

En lit majeur rive droite, les niveaux d'eau augmentent jusqu'à 26 cm. Jusqu'au niveau du casier 50, l'impact est de +20 cm en moyenne. En amont, il reste inférieur à 10cm.

En rive gauche, les hauteurs d'eau augmentent jusqu'à 39 cm en amont immédiat de la route de ceinture. L'impact est de +20 cm en moyenne en aval du casier 50 et il reste inférieur à 10 cm en amont.

En rive gauche en aval de la route de ceinture, la diminution du niveau d'eau varie de 16 cm en aval immédiat du pont à 5 cm au niveau de l'embouchure.

En rive droite, le long du lit mineur, le niveau d'eau diminue de quelques centimètres (maximum 10 cm) jusqu'au niveau du casier 140. Cette partie du lit majeur est sous influence des niveaux du lit mineur.

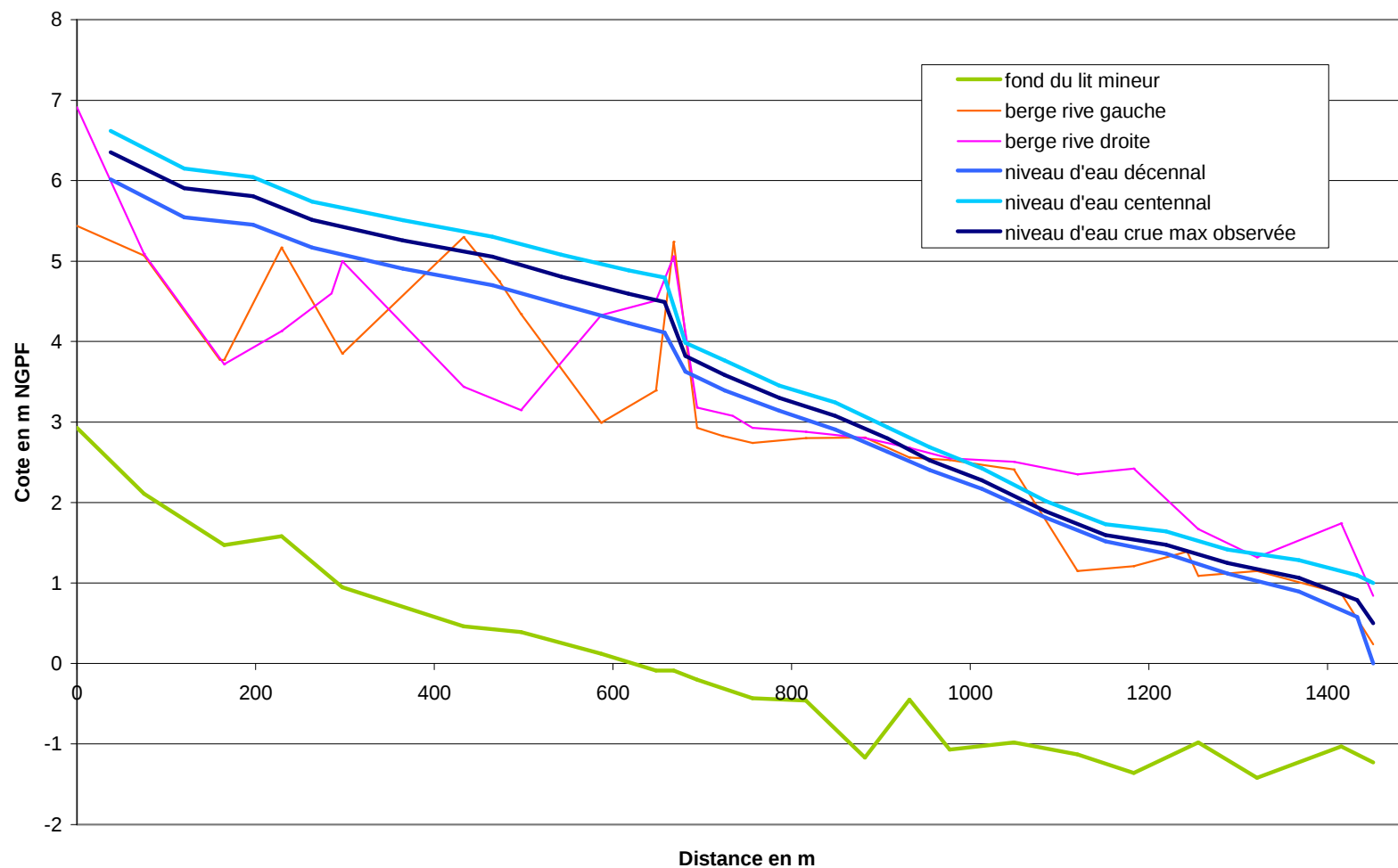
Sur la partie droite, la diminution du débit transitant sous le pont provoque une augmentation du débit surversant sur la route de ceinture à droite du modèle.

Les niveaux d'eau augmentent donc en aval de ce tronçon de route :

- + 24 cm en aval immédiat de la route
- + 35 cm sur la frange littorale

L'enveloppe de la zone inondable avec prise en compte des embâcles est cartographiée avec l'aléa centennial.

Figure 3 : Lignes d'eau en état actuel



5.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

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

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 centennal

Dans le cadre de l'aléa centennal, 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.

En aval du pont de la route de ceinture, l'endiguement des berges nous a conduits à considérer une bande de 10m de largeur de façon à prendre en compte le phénomène d'accélération dans le lit mineur et les survitesses ponctuelles au droit des digues en cas de débordement.

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.

Une autre modification de classe d'aléa a été effectuée en rive droite en aval du pont de la route de ceinture. Une zone isolée sur laquelle sont implantées deux habitations a été classée en aléa moyen alors que celle-ci est inondée sous des hauteurs d'eau inférieures à 50 cm avec des vitesses d'écoulement inférieures à 0.5 m/s (aléa faible). Etant isolée et entourée de terrains classés en aléa moyen, elle n'est accessible qu'en passant dans des zones classées en aléa moyen. Sa classe d'aléa a donc été modifiée.

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 l'AFEU, deux secteurs en aléa fort ont été identifiés :

- Une zone d'urbanisation diffuse en amont en rive gauche du cours d'eau : les hauteurs d'eau sont supérieures à 1m en amont du modèle et au niveau du méandre, les vitesses d'écoulement sont supérieures à 0.5m/s
- Une zone d'urbanisation diffuse en aval de la route de ceinture en rive droite classée en aléa fort du fait de hauteurs d'eau de 1m.

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 au niveau du méandre.

Le recalibrage envisagé ne permet pas de protéger totalement **et de mettre hors d'eau** la zone amont contre une crue centennale.

Après différents tests effectués, une protection totale des zones amont n'est possible qu'après réfection du pont de la route de ceinture et recalibrage total jusqu'au pont du cours d'eau.

La perte de charge due au pont a une incidence sur les niveaux d'eau amont sur 200 à 300m environ. Pour abaisser les niveaux d'eau en amont et supprimer les débordements, un recalibrage total est ensuite nécessaire, les berges amont étant particulièrement basses au niveau de certains profils.

Cette solution, particulièrement coûteuse, permettrait de mettre toute la zone amont hors d'eau, ce qui n'est pas l'objectif premier de ces aménagements qui est de simplement diminuer l'aléa au niveau de quelques habitations. Cela modifierait également totalement le fonctionnement de la rivière et les impacts en aval ne seraient pas acceptables. Le lit devrait être recalibré ou les berges rehaussées jusqu'à la mer.

Pour la zone aval, après avoir effectué différents tests, les conclusions sont similaires à celles de la zone amont.

Deux solutions ont été analysées :

- Un recalibrage du lit depuis la route de ceinture jusqu'à la zone à protéger : ce recalibrage important permet de diminuer les niveaux d'eau en lit majeur mais pas suffisamment au droit de la zone à enjeux au vu des travaux envisagés (seulement quelques centimètres). Un recalibrage total jusqu'à la mer serait nécessaire mais étant donné la position des habitations en bordure immédiate de part et d'autre du lit mineur, nous ne disposons pas de l'emprise nécessaire à un recalibrage au droit des zones à protéger.
- Une rehausse des digues : une rehausse très importante est nécessaire en aval immédiat de la route de ceinture où les berges sont particulièrement basses par rapport à la ligne d'eau (voir profil en long état actuel). Cette rehausse ne peut être envisagée sans élargir les digues de part et d'autre du lit ce qui n'est pas possible étant donné l'emprise disponible au droit des zones à protéger.

Ces différents tests ont conduit à la conclusion suivante : pour protéger de façon significative les zones à enjeux aval, il convient soit de tout recalibrer ce qui pose des problèmes d'emprise, soit de rehausser les digues existantes en mettant en place des rideaux de palplanches ou des murs de soutènement, seule méthode ne nécessitant pas des emprises trop importantes. Au vu des hauteurs d'eau sur ce secteur à enjeux qui ne dépassent pas 1.10m au droit des habitations, des tels travaux paraissent disproportionnés.

6.3. AMENAGEMENTS PROPOSES

Les aménagements sont les suivants :

▪ RECALIBRAGE DU LIT AU DROIT DES ZONES HABITEES AMONT

Le lit mineur a été recalibré de façon à diminuer le débit transitant en lit majeur et baisser les hauteurs d'eau et les vitesses.

Les cotes des berges actuelles ont été conservées et la largeur du lit en fond a été fixée à 30m.

Les dimensions du lit recalibré sont les suivantes :

Profil	Largeur en fond en m	Largeur au miroir en m	Cote fond en m NGPF
0010	30	40	2.93
1020	30	40	2.11
2030	30	40	1.47
3040	30	40	1.22
4050	30	40	0.95

Tableau 6 : Dimensions des profils recalibrés

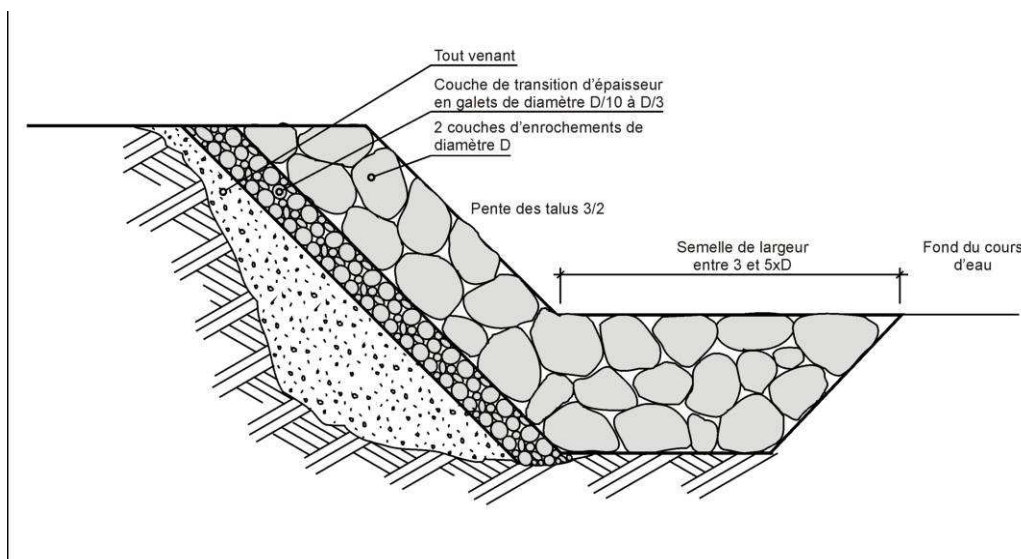
Il est conseillé de combiner ce recalibrage à la mise en place d'enrochements de façon à limiter l'érosion des berges qui a été observée en amont.



Photographie n°1bis : Amont du lit mineur de l'AFEU (source EGIS Eau)- localisation identique à la photographie n°1.

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 4 : Coupe-type de protection en enrochements



6.4. IMPACT SUR UNE CRUE CENTENNALE

L'impact de ce recalibrage sur une crue centennale et son implantation sont donnés en Figure 5.

Ce recalibrage permet de diminuer les hauteurs d'eau de plus de 60cm pour les casiers les plus en amont.

Au niveau des deux habitations en rive gauche en amont pour lesquelles les hauteurs d'eau dépassaient 1m, celles-ci sont toujours inondées mais sous moins de 1m d'eau. Ces habitations passent donc en aléa moyen.

Au droit du méandre en rive gauche (casier -41), les hauteurs d'eau ne dépassaient pas 1m au niveau des habitations mais les vitesses d'écoulement atteignaient 0.5m/s.

Après recalibrage, la vitesse d'écoulement moyenne passe de 0.5m/s à 0.2m/s. Ces habitations passent donc également en aléa moyen.

Ces aménagements n'ont pas d'impact en aval ou ceux-ci restent inférieurs à 1cm. On n'observe aucune augmentation du niveau d'eau excepté en lit mineur en aval immédiat du recalibrage.



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 : AFEU

Figure 5 : Impact des aménagements
en crue centennale

Recalibrage du lit mineur

**Impact en terme de niveau d'eau
Z100 aménagé - Z100 actuel**

- supérieure à 1 cm
- compris entre -1 et -5 cm
- compris entre -5 et -10 cm
- inférieur à -10 cm

9.72 Cote centennale état aménagé
9.67 Cote centennale état actuel

0 100 200 300
Mètres

Echelle: 1/3 000

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	30 000	2 400	72 000 000
Enrochements des berges recalibrées	m ³	4 000	10 000	40 000 000
Sous total				112 000 000
Divers et aléa 20%				22 400 000
TOTAL arrondi				135 000 000

Tableau 7 : Chiffrage estimatif

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

Les divers et aléas comprennent les postes annexes (géotextile, dressage de talus, etc.)

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 PIEGES 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

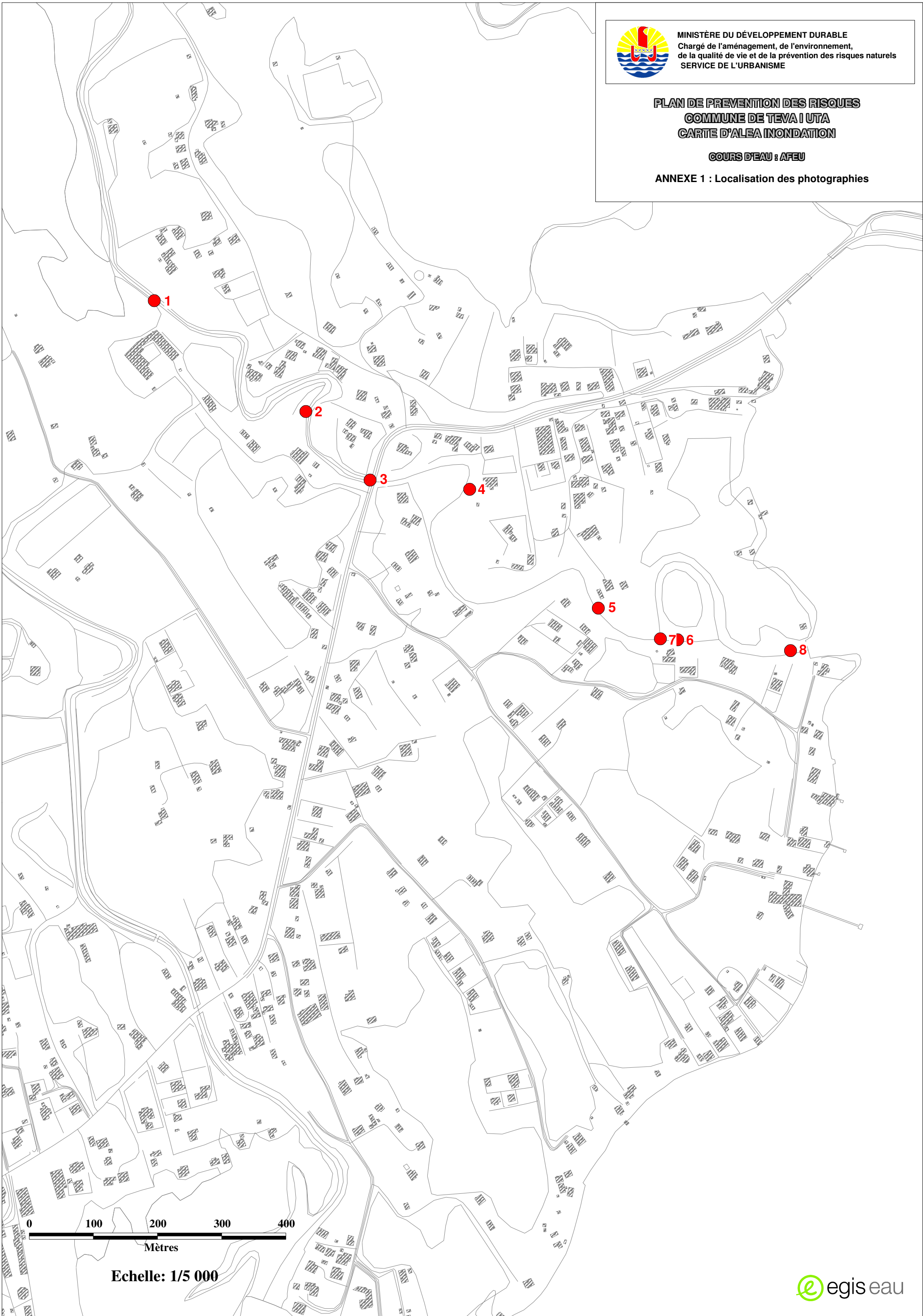


MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
Chargé de l'aménagement, de l'environnement,
de la qualité de vie et de la prévention des risques naturels
SERVICE DE L'URBANISME

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

COURS D'EAU : AFEU

ANNEXE 1 : Localisation des photographies



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 dixièmes de mm pour éviter une sous-estimation flagrante des débits pour les petits bassins versants côtiers.

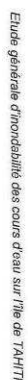
P₀ est directement lue sur les isohyètes issues des travaux de G.WOTLING.

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.



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 Q_{100}/Q_{10} .**

Annexe 3
Notice du logiciel STREAM

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**



BCEOM

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'INGÉNÉRIE



STREAM

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

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 m^2
 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 :

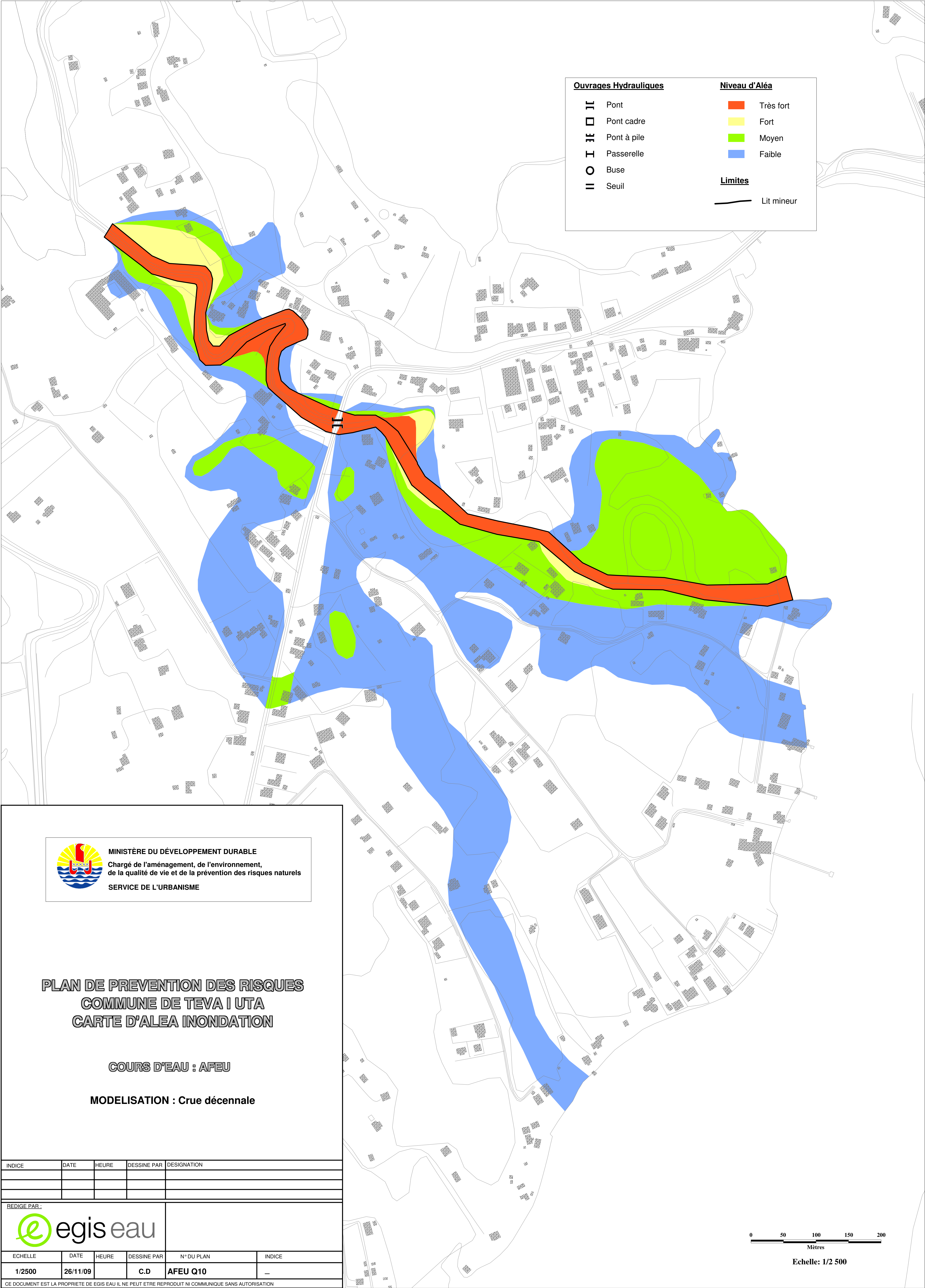
Ville de MONTPELLIER
Direction Départementale de l'Équipement de l'HERAULT

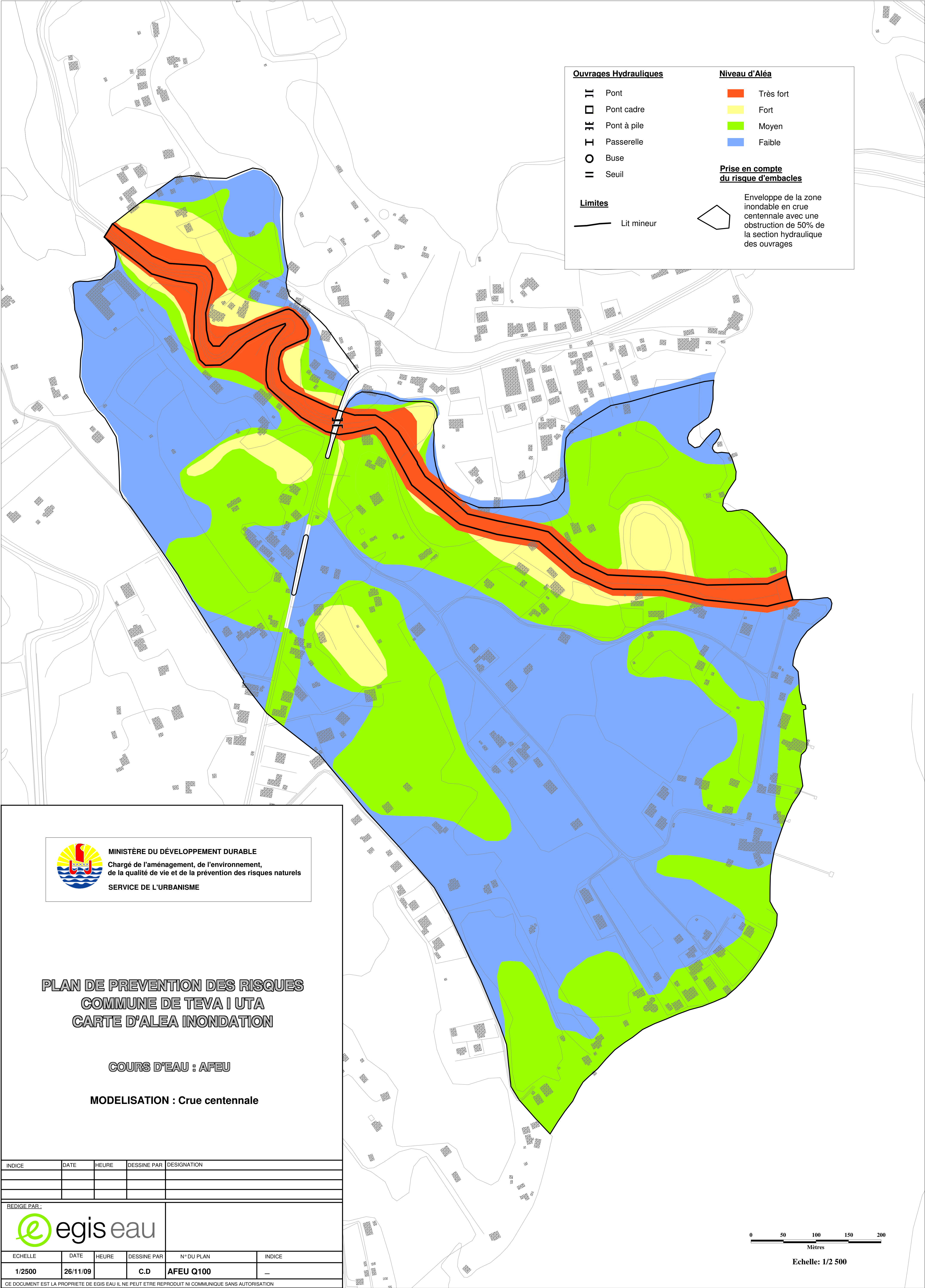


- Dans le cadre de l'aménagement du LEZ, fleuve côtier méditerranéen, pour la protection contre les crues et le développement des activités liées à la rivière (plan d'eau et ZAC d'ANTIGONE, projet Lez-Vert, création de Port-Marianne), la Ville de Montpellier a opté en 1988 pour une modélisation mathématique 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.



Annexe 4
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

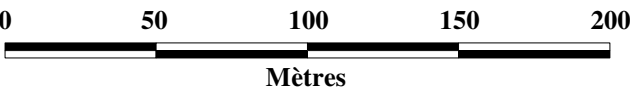
COURS D'EAU : AFEU

MODELISATION : Crue centennale

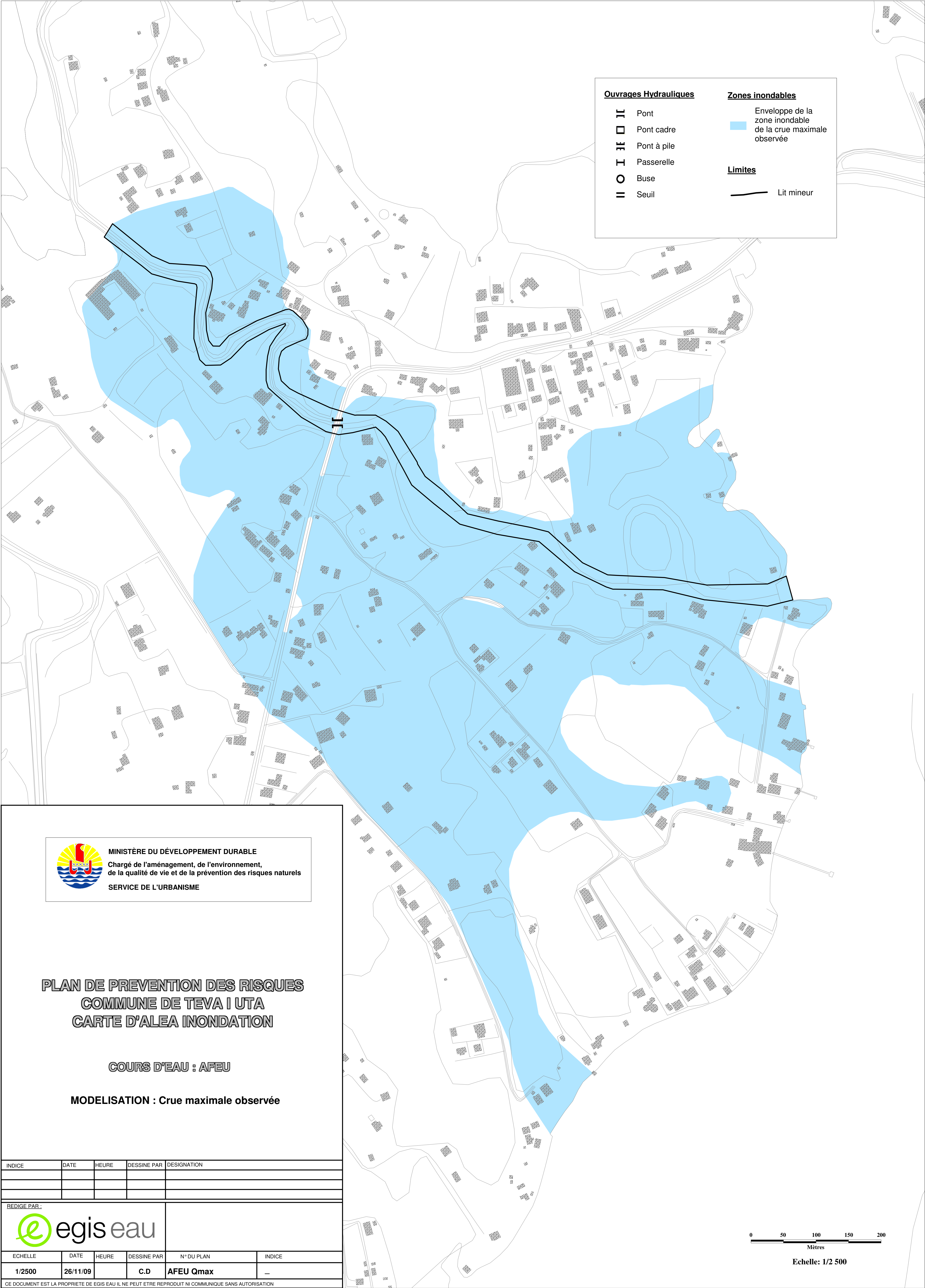
INDICE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	DESIGNATION	
REDIGE PAR :					
					
ECHELLE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	N° DU PLAN	INDICE
1/2500	26/11/09		C.D	AFEU Q100	—

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

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



Echelle: 1/2 500



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

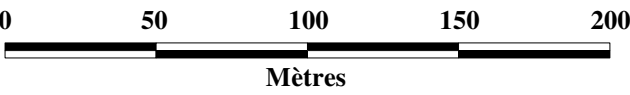
COURS D'EAU : AFEU

MODELISATION : Crue maximale observée

INDICE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	DESIGNATION

REDIGE PAR :					
ECHELLE	DATE	HEURE	DESSINE PAR	N° DU PLAN	INDICE
1/2500	26/11/09		C.D	AFEU Qmax	—

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



Echelle: 1/2 500

Casiers	Z_max en m NGPF	Z_10ans en m NGPF	Z_100ans en m NGPF	Z_100ans avec embâcles en m NGPF
-12	5.72	5.36	6.05	6.09
-11	6.12	5.76	6.39	6.41
10	6.35	6.02	6.62	6.64
11	6.31	5.97	6.55	6.56
12	6.34	6.34	6.34	6.34
-22	5.79	5.36	6.05	6.09
-21	5.92	5.55	6.16	6.20
20	5.91	5.55	6.15	6.19
21	5.90	5.55	6.14	6.18
22	5.71	5.46	5.94	5.99
-32	5.79	5.33	6.04	6.09
-31	5.81	5.45	6.04	6.09
30	5.81	5.45	6.04	6.09
31	5.81	5.45	6.04	6.09
32	5.71	5.45	5.93	5.97
-42	5.77	5.33	6.03	6.07
-41	5.46	5.11	5.72	5.81
40	5.51	5.17	5.74	5.83
41	5.53	5.19	5.75	5.83
42	4.81	4.73	5.55	5.63
-52	6.06	6.06	6.06	6.06
-51	5.35	5.01	5.60	5.70
50	5.26	4.91	5.51	5.64
51	5.12	4.74	5.38	5.54
52	4.82	4.74	5.52	5.59
-62	6.98	6.98	6.98	6.98
-61	5.05	4.76	5.30	5.49
60	5.06	4.70	5.30	5.49
61	4.81	4.46	5.08	5.35
62	4.81	4.48	5.08	5.34
63	4.66	4.34	5.05	5.26
-72	6.53	6.53	6.53	6.53
-71	4.81	4.46	5.08	5.35
70	4.60	4.23	4.88	5.27
71	4.61	4.30	4.84	5.10
72	4.05	3.84	4.17	4.39
-82	5.71	5.71	5.71	5.71
-81	4.60	4.23	4.88	5.27
80	4.49	4.11	4.80	5.25
81	4.58	4.30	4.75	4.95
82	3.73	3.55	3.83	3.97
-91	3.59	3.39	3.76	3.63

Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes – Service de l'Urbanisme
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française – ARAI 2

90	3.82	3.63	3.98	3.75
91	3.59	3.39	3.77	3.72
92	2.69	2.22	2.89	3.13
-101	3.57	3.38	3.75	3.61
100	3.59	3.39	3.77	3.63
101	3.30	3.14	3.45	3.34
102	3.08	2.87	3.25	3.14
103	2.57	2.10	2.73	2.95
-113	3.36	3.19	3.52	3.40
-112	3.32	3.16	3.47	3.36
-111	3.08	2.92	3.25	3.14
110	3.08	2.91	3.25	3.14
111	2.80	2.63	2.94	2.85
112	2.68	2.44	2.84	2.77
113	2.33	1.89	2.53	2.76
-122	2.59	2.59	2.60	2.59
-121	2.28	1.81	2.67	2.43
120	2.53	2.40	2.69	2.60
121	2.28	2.17	2.43	2.34
122	2.34	2.04	2.49	2.47
123	2.22	1.89	2.44	2.51
124	2.29	1.89	2.45	2.68
-132	1.82	1.82	1.82	1.82
-131	1.64	1.53	1.84	1.73
130	1.89	1.81	2.02	1.95
131	1.59	1.52	1.73	1.67
132	2.20	1.95	2.30	2.30
133	1.94	1.53	2.11	2.25
134	2.09	1.78	2.39	2.57
-142	1.24	1.24	1.40	1.33
-141	1.49	1.40	1.66	1.59
140	1.47	1.37	1.64	1.58
141	2.10	1.90	2.17	2.17
142	1.57	1.07	1.89	2.25
143	1.48	1.15	1.91	2.26
-152	1.09	1.05	1.24	1.19
-151	1.15	1.09	1.30	1.26
150	1.25	1.12	1.42	1.38
151	1.64	1.59	1.67	1.69
152	1.53	1.00	1.89	2.25
153	1.03	0.73	1.90	2.25
-162	1.03	1.00	1.14	1.12
-161	1.06	1.02	1.09	1.08
160	1.06	0.90	1.29	1.25
161	1.27	1.17	1.35	1.40

162	1.06	0.79	1.89	2.25
170	0.79	0.58	1.10	1.08

Liaison	Q_max en m ³ /s	V_max en m/s	Q_10ans en m ³ /s	V_10ans en m/s	Q_100ans en m ³ /s	V_100ans en m/s	Q_100ans avec embâcles en m ³ /s	V_100ans avec embâcles en m/s
-1211	-0.1	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0
-1222	-0.4	-0.1	0.0	0.0	-1.0	-0.1	-1.2	-0.1
-1110	-46.2	-0.6	-25.4	-0.5	-66.7	-0.6	-67.2	-0.6
-1121	44.8	0.4	24.7	0.3	64.3	0.4	64.7	0.4
10	178.0	0.0	130.0	0.0	229.0	0.0	229.0	0.0
1011	6.0	0.2	2.5	0.2	11.4	0.3	12.1	0.3
1020	125.4	2.2	101.7	2.1	150.4	2.4	149.2	2.3
1112	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1121	5.4	0.3	2.4	0.3	11.3	0.4	11.9	0.4
1222	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-2221	-0.6	-0.1	-0.1	0.0	-2.6	-0.1	-3.1	-0.1
-2232	-2.8	-0.1	0.0	0.0	4.4	-0.1	4.8	-0.1
-2120	20.8	0.2	11.5	-0.2	28.9	0.2	28.6	0.2
-2131	22.8	0.3	12.7	0.3	31.9	0.4	32.2	0.4
2021	15.0	0.1	7.2	0.1	26.4	0.2	27.5	0.2
2030	129.9	1.3	104.7	1.2	151.8	1.4	149.2	1.4
2122	0.3	0.1	0.0	0.0	1.1	0.1	1.3	0.1
2131	19.1	0.2	8.1	0.2	34.4	0.3	36.0	0.2
2232	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.8	-0.1	1.0	-0.1
-3231	-5.2	-0.2	-0.9	-0.1	-6.5	-0.2	-6.5	-0.2
-3242	1.1	0.1	0.1	0.0	2.2	0.1	2.5	0.1
-3130	10.9	-0.4	6.8	-0.4	10.8	0.2	-10.5	-0.2
-3141	18.2	0.4	9.7	0.0	36.5	0.5	39.7	0.5
3031	6.7	0.1	3.4	0.1	8.3	0.1	8.8	0.1
3040	126.7	2.2	102.4	2.0	145.8	2.3	139.2	2.2
3132	0.5	0.1	0.0	0.0	1.9	0.1	2.3	0.1
3141	20.3	0.4	11.2	0.4	30.1	0.4	32.8	0.4
3242	0.1	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	2.8	0.0
-4241	1.1	0.0	0.0	0.0	2.2	0.2	2.5	0.2
-4252	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-4140	-14.9	-0.3	-7.4	-0.3	-15.1	-0.3	-14.9	-0.3
-4151	32.8	0.3	16.1	0.3	51.3	0.4	54.4	0.4
4041	-16.8	-0.2	-9.0	-0.2	-12.9	-0.2	-10.3	-0.1
4050	127.8	1.5	103.5	1.4	140.3	1.5	132.6	1.4
4142	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.3	13.0	0.3

Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes – Service de l'Urbanisme
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française – ARAI 2

4151	3.5	0.2	2.1	0.0	8.9	0.3	12.0	0.3
4252	-0.1	0.0	0.0	0.0	11.4	0.1	14.7	0.1
-5251	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-5262	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-5150	32.7	0.4	16.0	0.3	51.0	0.4	54.1	0.4
-5161	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
5051	55.1	0.4	31.3	0.3	77.7	0.4	81.6	0.4
5060	104.5	1.5	87.6	1.4	112.5	1.5	104.2	1.3
5152	0.3	0.0	0.0	0.0	-3.1	-0.1	-3.0	-0.1
5160	23.5	0.3	12.7	0.2	32.9	0.4	29.4	0.3
5162	34.5	0.4	20.5	0.4	55.2	0.4	65.6	0.4
5263	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.2	11.8	0.2
-6261	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-6272	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-6160	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.7	-0.1
-6171	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.8	0.2
6061	121.2	1.9	98.8	1.7	131.5	1.9	115.7	1.6
-6071	6.6	0.4	1.0	0.0	13.7	0.5	17.2	0.4
6162	-13.0	-0.3	-10.7	-0.3	-14.4	-0.3	21.7	-0.2
-6171	-6.7	0.1	-0.9	0.1	-12.7	-0.1	-12.8	-0.1
6170	127.7	1.6	108.5	1.5	144.1	1.6	107.0	1.1
6263	10.2	0.2	4.5	0.2	10.6	0.2	16.4	0.3
6271	22.3	0.3	6.3	0.2	43.9	0.4	69.0	0.4
6372	8.2	0.0	3.6	0.0	13.7	0.4	26.4	0.4
-7271	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-7282	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-7181	0.1	0.0	0.0	0.0	1.2	0.1	5.1	0.2
7071	-0.7	-0.1	0.0	0.0	4.1	0.1	20.7	0.4
-7081	1.4	0.1	0.7	0.1	1.6	0.1	-2.7	-0.1
7080	126.1	1.5	107.7	1.4	138.3	1.5	88.5	1.0
7172	5.5	0.0	1.9	0.0	5.6	0.3	11.8	0.3
7181	16.8	0.2	2.0	0.1	41.9	0.3	77.6	0.4
7282	11.6	0.2	3.4	0.1	18.5	0.2	37.6	0.3
-8281	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-8291	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-8180	1.4	0.2	0.5	0.2	2.5	0.3	2.6	0.2
-8191	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8081	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	2.9	0.3
8090	127.5	-3.6	108.1	-3.1	140.6	-4.0	88.2	-4.9

Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes – Service de l'Urbanisme
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française – ARAI 2

8182	7.7	0.0	1.4	0.0	14.7	0.0	24.7	0.0
8191	9.0	1.1	0.0	0.0	27.2	1.5	55.7	1.9
8292	18.9	1.5	4.4	1.1	32.3	1.7	61.3	2.0
-9190	-5.0	-2.2	-2.7	-2.0	-7.6	-2.2	-3.8	-1.8
-91101	6.6	-0.2	4.3	-0.2	9.2	-0.1	7.0	-0.2
-91100	-3.9	-1.1	-3.4	-1.0	-4.1	-1.1	-3.5	-0.9
9091	3.5	1.9	1.4	1.5	6.1	2.1	1.7	1.3
90100	119.1	2.0	104.2	1.9	127.3	2.1	82.7	1.7
9192	3.1	0.0	1.8	0.0	4.6	0.0	2.3	0.2
91100	-10.3	-1.2	-8.8	-1.2	13.5	-1.3	41.7	1.3
91102	9.4	0.3	8.0	0.0	17.3	0.3	14.0	0.3
92102	-2.1	0.0	-0.4	0.0	-3.4	-0.1	-0.9	-0.1
92103	22.3	0.2	5.1	0.1	35.7	0.3	62.6	0.3
-101100	-15.9	-1.3	-12.0	-1.3	-20.2	-1.3	-16.8	-1.2
-101113	22.4	0.5	16.2	0.5	29.3	0.5	23.8	0.5
100101	101.4	1.8	85.1	1.6	117.8	2.0	104.1	1.8
101102	23.6	1.6	10.7	1.2	38.7	1.9	27.7	1.7
-101112	-21.7	-1.1	-16.0	-1.1	-27.6	-1.1	-22.8	-1.1
101110	99.5	1.7	90.3	1.6	106.9	1.7	99.3	1.7
102110	-4.0	-0.8	-2.3	-0.7	9.3	-0.9	5.8	-0.8
102112	30.5	0.3	16.6	0.3	44.1	0.4	35.0	0.4
103112	-0.3	0.0	0.0	0.0	-1.1	-0.1	1.5	0.1
103113	19.8	0.2	3.6	0.1	34.5	0.2	57.3	0.3
-113112	22.4	0.2	16.2	0.2	29.2	0.2	23.7	0.2
-113122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-112111	0.7	0.2	0.3	0.0	1.6	0.2	0.9	0.2
-112122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-111110	0.5	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.6	0.0
-111122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-111121	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0
110111	99.1	1.8	88.2	1.8	116.1	2.0	104.6	1.9
111112	1.2	0.6	0.0	0.0	7.5	1.1	3.3	0.9
-111121	1.7	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	2.9	0.0
111120	96.2	2.0	88.2	1.9	104.2	2.0	98.6	2.0
112120	1.4	0.6	0.0	0.0	10.6	1.2	5.8	1.0
112122	26.7	0.3	14.3	0.3	36.4	0.4	31.4	0.3
112123	2.6	0.0	0.3	0.0	4.7	0.2	2.2	0.1
113123	2.5	0.1	-0.1	0.0	4.5	0.1	10.6	0.2
113124	13.1	0.2	1.3	0.1	25.0	0.2	42.0	0.2

Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes – Service de l'Urbanisme
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française – ARAI 2

-122121	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-122132	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-121120	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	-0.9	-0.8	-0.6
-121131	1.9	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	3.9	0.0
120121	97.4	1.9	88.2	1.8	109.8	2.0	102.7	2.0
121122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-121131	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
121130	97.4	2.1	88.2	2.0	109.8	2.2	102.6	2.2
122123	1.0	0.1	0.0	0.0	1.8	0.1	-1.9	-0.1
122130	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.6	0.8	0.5
122132	23.7	0.4	11.2	0.2	32.3	0.4	30.2	0.4
123133	3.7	0.0	0.0	0.0	7.1	0.2	10.2	0.2
124133	2.6	0.0	0.0	0.0	2.7	0.1	9.5	0.2
124134	9.9	0.1	0.6	0.0	20.9	0.2	33.8	0.2
-132131	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-132142	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-131130	-17.9	-2.0	-13.5	-1.9	-26.3	-2.1	-21.7	-2.1
-131141	19.4	0.2	13.3	0.2	34.1	0.2	24.9	0.2
130131	79.5	1.9	74.7	1.9	85.1	2.0	81.3	1.9
131132	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-131141	25.8	1.6	19.3	1.5	34.1	1.5	30.7	1.5
131140	56.2	1.3	56.1	1.4	52.4	1.2	52.1	1.2
132133	4.2	0.1	0.6	0.0	5.2	0.2	4.0	0.1
132141	20.5	0.3	9.6	0.2	27.8	0.4	26.1	0.4
133142	5.9	0.1	0.4	0.0	13.4	0.2	19.4	0.2
134142	1.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.1	5.6	0.1
134143	7.7	0.0	0.4	0.0	16.6	0.2	28.7	0.2
-142141	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.0	-0.2	0.0
-142152	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0
-141140	7.7	0.9	4.5	0.9	13.1	-0.9	8.3	-0.8
-141151	36.9	0.3	28.0	0.2	54.3	0.3	46.4	0.3
140141	-1.3	-0.6	0.0	0.0	-4.9	-0.9	-5.4	-0.9
140150	60.9	1.6	59.6	1.6	68.2	1.6	62.3	1.5
141142	3.8	0.0	0.5	0.0	5.0	0.1	3.9	0.1
141151	15.3	0.4	8.8	0.3	17.9	0.4	18.1	0.4
142152	6.7	0.1	0.3	0.0	15.7	0.1	22.3	0.2
143152	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	3.4	0.0
143153	4.8	0.0	0.3	0.0	7.8	0.1	14.1	0.1
-152151	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.2	0.0

Ministère de l'Aménagement et des Relations avec les Communes – Service de l'Urbanisme
Cartographie de l'aléa inondation au droit des cours d'eau de Polynésie française – ARAI 2

-152162	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0
-151150	-5.2	-0.9	0.0	0.0	-18.1	-1.4	-14.9	-1.3
-151161	33.0	0.2	24.0	0.1	56.7	0.3	50.6	0.3
-151160	8.3	1.0	3.2	0.7	15.0	-0.7	10.1	-0.7
150151	-6.0	-1.0	-3.3	-0.8	-8.3	-1.1	-9.4	-1.1
150160	61.3	1.4	59.5	1.4	58.4	1.2	56.4	1.2
151152	1.0	0.1	0.8	0.0	1.1	-0.1	-3.4	-0.1
151160	5.9	0.8	2.7	0.6	9.0	1.0	10.4	1.0
151161	2.8	0.0	2.0	0.0	2.8	0.0	2.8	0.1
152162	4.4	0.2	0.6	0.0	8.1	0.1	9.6	0.1
1530	4.0	0.0	0.3	0.0	4.4	0.0	5.1	0.0
153162	-0.1	0.0	0.0	0.0	-2.0	-0.1	4.4	-0.1
-162	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
-162161	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
-161	-14.5	0.0	-7.3	0.0	-60.9	0.0	-55.4	0.0
-161170	18.5	1.8	16.7	1.7	-5.9	-0.9	-6.2	-0.9
160170	74.1	1.5	63.7	1.5	81.7	1.4	75.8	1.3
161	-2.8	0.0	-1.9	0.0	-0.2	0.0	-0.2	0.0
161162	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	0.0	-2.4	-0.1
161170	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.6	2.5	0.8
1620	4.3	0.0	0.5	0.0	3.9	0.0	4.6	0.0
1700	92.6	0.0	80.3	0.0	78.4	0.0	72.1	0.0