



ETUDES HYDRAULIQUES SUR LA COMMUNE DE PAÏTA



RAPPORT FINAL

AVRIL 2009
N°4330308.1 – V9



SOMMAIRE

	Pages
1. PREAMBULE.....	6
2. RECENSEMENT DES DONNEES.....	7
3. RECONNAISSANCES DE TERRAIN ET LEVES TOPOGRAPHIQUES	9
3.1. Secteur d'Ondémia	9
3.2. Secteur Carignan-Karikouié	10
3.2.1. Carignan en amont de la RT1.....	10
3.2.2. Karikouié en amont de la RT1	10
3.2.3. Carignan/Karikouié en aval de la RT1	11
3.3. Secteur Tontouta.....	11
3.4. Secteur Katiramona	11
3.5. Secteur Tamoã.....	12
4. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE.....	13
4.1. Présentation des bassins versants étudiés.....	13
4.2. Pluviométrie	14
4.2.1. Données pluviométriques	14
4.2.2. Pluies journalières maximales annuelles.....	14
4.2.3. Méthode du renouvellement	15
4.2.4. Synthèse	15
4.3. Débits caractéristiques de crue.....	15
4.3.1. Méthodologie	15
4.3.2. Méthode rationnelle	17
4.3.3. Méthode de transposition.....	22
4.3.4. Comparaison des méthodes employées sur quelques bassins versants tests	23
4.4. Débits de crue historiques.....	28
4.4.1. Généralités et méthodologie	28
4.4.2. Données disponibles.....	29
4.4.3. Ondémia	30
4.4.4. Carignan - Karikouié	32
4.4.5. Pébô et Kouembélia.....	34
4.4.6. Katiramona.....	36
4.4.7. Tamoã	37
5. ANALYSE HYDRAULIQUE	39
5.1. Méthodologie.....	39
5.1.1. Modélisations hydrauliques simplifiées	40
5.1.2. Rendus cartographiques.....	41
5.2. Secteur d'Ondémia	42
5.2.1. Construction du modèle.....	42
5.2.2. Calage du modèle.....	43
5.2.3. Test de sensibilité	44
5.2.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes	46

5.3. Secteur Carignan/Karikouïé/Katiramona.....	48
5.3.1. Construction du modèle.....	48
5.3.2. Calage du modèle.....	49
5.3.3. Test de sensibilité	50
5.3.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes	52
5.4. Secteur de Tontouta.....	53
5.4.1. Construction du modèle.....	53
5.4.2. Calage du modèle.....	54
5.4.3. Test de sensibilité	55
5.4.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes	55
5.5. Secteur Tamoã amont/Tamoã aval.....	57
5.5.1. Construction du modèle.....	57
5.5.2. Calage du modèle.....	57
5.5.3. Test de sensibilité	60
5.5.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes	61

LISTE DES FIGURES

1 :	Plan de localisation des secteurs étudiés et des stations hydrométriques et postes pluviométriques disponibles à proximité
2 :	Plan de localisation des bassins versants
3 à 8 :	Ajustements des pluies journalières maximales annuelles
9 à 11 :	Ajustements obtenus par la méthode du renouvellement
12-1 et 12-2 :	Secteur d'Ondémia : profils en long de calage
13-1 à 13-3 :	Secteur d'Ondémia : tests de sensibilité
14-1 à 14-2 :	Secteur d'Ondémia : profils en long des crues de référence
15-1 à 15-4 :	Secteur Karikouié aval/Carignan : profils en long de calage
16-1 à 16-3 :	Secteur Karikouié : profils en long de calage
17-1 à 17-3 :	Secteur Katiramona : profils en long de calage
18-1 à 18-4 :	Secteur Carignan/Karikouié/Katiramona : test de sensibilité
19-1 à 19-4 :	Secteur Karikouié aval/Carignan : profils en long de référence
20-1 à 20-3 :	Secteur Karikouié : profils en long des crues de référence
21-1 à 21-3 :	Secteur Katiramona : profils en long des crues de référence
22 :	Fonctionnement hydraulique local entre la RT1 et la Savexpress
23-1 à 23-5 :	Secteur de Tontouta : profils en long de calage
24-1 à 24-3 :	Secteur de Tontouta : tests de sensibilité
25-1 à 25-3 :	Secteur de Tontouta : profils en long des crues de référence
26-1 à 26-10 :	Secteur Tamoá amont/Tamoá aval : profils en long de calage
27-1 à 27-4 :	Secteur Tamoá amont/Tamoá aval : test de sensibilité
28-1 à 32-3 :	Secteur Tamoá amont/Tamoá aval : profils en long de référence

LISTE DES PLANS

1 :	Secteur d'Ondémia : carte des bassins versants et sous bassins versants
2 :	Secteur d'Ondémia : carte de la topographie levée et plan de principe du modèle
3 :	Secteur d'Ondémia : carte des hauteurs d'eau pour la crue de fréquence centennale
4	Secteur d'Ondémia : carte des aléas
5 :	Secteur Carignan-Karikouïé-Katiramona : carte des bassins versants et sous bassins versants
6-1 et 6-2 :	Secteur Carignan-Karikouïé-Katiramona : carte de la topographie levée et plan de principe du modèle
7-1 et 7-2 :	Secteur Carignan-Karikouïé-Katiramona : carte des hauteurs d'eau pour la crue de fréquence centennale
8-1 et 8-2 :	Secteur Carignan-Karikouïé-Katiramona : carte des aléas
9 :	Secteur de Tontouta : carte des bassins versants et sous bassins versants
10 :	Secteur de Tontouta : carte de la topographie levée et plan de principe du modèle
11 :	Secteur de Tontouta : carte des hauteurs d'eau pour la crue de fréquence centennale
12 :	Secteur de Tontouta : carte des aléas
13-1 et 13-3 :	Secteur Tamoa amont/Tamoa aval : carte des bassins versants et sous bassins versants
14-1 et 14-3 :	Secteur Tamoa amont/Tamoa aval : carte de la topographie levée et plan de principe du modèle
15-1 et 15-3 :	Secteur Tamoa amont/Tamoa aval : carte des hauteurs d'eau pour la crue de fréquence centennale
16-1 et 16-3 :	Secteur Tamoa amont/Tamoa aval : carte des aléas

LISTE DES TABLEAUX

- 1 : Secteur d'Ondémia : résultats du modèle pour les trois crues de référence
- 2 : Secteur Carignan-Karikouïé-Katiramona : résultats du modèle pour les trois crues de référence
- 3 : Secteur de Tontouta : résultats du modèle pour les trois crues de référence
- 4 : Secteur Tamoà amont/Tamoà aval : résultats du modèle pour les trois crues de référence

LISTE DES ANNEXES

- 1 : Formules de détermination du temps de concentration d'un bassin versant
- 2 : Durée de retour des précipitations au poste du Mont Mou (source Météo France)
- 3 : Durée de retour des précipitations au poste de La Tontouta (source Météo France)
- 4 à 9 : Durée de retour des précipitations moyennes (pondérées par le rapport de surface plaine/montagne) calculées entre les postes pluviométriques du Mont Mou et de Tontouta sur différents bassins versants
- 10 : Ajustement de Gumbel obtenu aux stations hydrométriques du secteur d'étude (source DAVAR)
- 11-1 à 11-4 : Hyétogrammes de l'épisode du 14 mars 2003
- 12-1 à 12-4 : Hyétogrammes de l'épisode du 20 février 2000
- 13-1 à 13-3 : Hyétogrammes de l'épisode du 12 -13 janvier 1988

1. PREAMBULE

La commune de Païta a fait l'objet d'une première détermination, par approche hydrogéomorphologique, des zones inondables associées à des cours d'eau ou émissaires de plus ou moins grande importance.

Si cette méthode a permis d'avoir une première "visualisation" de l'emprise inondable, elle n'a, en revanche, pas fourni d'éléments quantitatifs sur le risque inondation, notamment en termes de niveaux d'écoulement et de période de retour associée. Ces éléments sont aujourd'hui indispensables aux collectivités pour évaluer plus précisément les contraintes hydrauliques sur les zones déjà urbanisées ou susceptibles de l'être.

Dans ce contexte, la Direction de l'Equipement de la Province Sud en partenariat avec le Gouvernement de la Nouvelle Calédonie a donc souhaité engager des études complémentaires du type "études hydrauliques simplifiées" sur sept secteurs de la commune de Païta.

La maîtrise d'œuvre a été confiée à la Direction de l'Equipement de la Province Sud.

Un comité technique, composé de la Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales de la Nouvelle Calédonie, de la Direction de l'Environnement et de l'Equipement de la Province Sud, s'est constitué à cet effet pour la rédaction du cahier des charges correspondant et du suivi de l'étude.

Les secteurs étudiés sont les suivants (cf. figure 1) :

- Ondémia ;
- Carignan ;
- Karikouié ;
- Tontouta Village ;
- Katiramona aval ;
- Tamoia amont ;
- Tamoia aval.

La méthodologie mise en œuvre s'appuie sur les étapes suivantes :

- recensement des données ;
- reconnaissance de terrain et levés topographiques ;
- analyse pluviométrique et hydrologique ;
- analyse hydraulique.

2. RECENSEMENT DES DONNEES

Cette première phase d'étude a consisté à recueillir l'ensemble des données disponibles auprès de la DEPS, de la DAVAR et de la commune de Païta (études, cartes, topographie, ...).

Etudes

- Enquêtes historiques de crues – DAVAR – Juillet 2004 ;
- Etude hydrogéomorphologique pour la détermination des zones inondables des bassins versants de Tonghoue, Païta, Plum, Corniche de Mont-Dore, Tamoia en Nouvelle-Calédonie – DAVAR – Carex Hydro/Ministère de l'Equipement – Octobre 2002 ;
- Cartographie hydrogéomorphologique et prise en compte des zones inondables dans les documents d'urbanisme – Nouvelle Calédonie (extrait) – DAVAR – Carex Hydro/Ministère de l'Equipement – Novembre 2001 ;
- Etude hydraulique de la rivière Ouenghi et des endiguements en aval et en amont de la RT1 - Etude hydraulique de la crue du cyclone Anne sur les rivières Dumbea, Karikouié, Carignan et Katiramona au voisinage de la SAVEXPRESS et de la RT1 et sur la rivière Coulée au voisinage de la RT2 – SOGREAH – Octobre 1988 ;
- Etude hydraulique de la zone d'aménagement concerté de Païta – HYDREX – Janvier 1992 ;
- Courbes enveloppes des débits spécifiques maximaux de crue pour le quart Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie – Note technique – DAVAR – Février 2006 ;
- Délimitation de la zone inondable dans l'enceinte de l'aéroport à Tontouta – HYDREX – Juin 1997 ;
- Schéma d'organisation d'ensemble des zones NAR et NAB du village de Païta – Agence d'Urbanisme et d'Aménagement de la Province Sud – Décembre 2004.

Cartes

- Cartes d'inondabilité potentielle sur la commune de Païta établies par la DAVAR – Carex Environnement/Ministère de l'Equipement/Hydrex – Juin 2003 ;
- Cartes des aléas d'inondabilité potentielle sur la commune de Païta établies par la DAVAR - Carex Environnement/Ministère de l'Equipement/Hydrex – Juin 2003.

Topographie

- Cartes IGN au 1/50 000^{ème} ;
- Plans photogrammétriques au 1/10 000^{ème} et au 1/2 000^{ème} ;
- Plans de récolement : lotissement Valboisé-Baronnet, lotissement Beauvallon, lotissement Ragot, lotissement Nagouta, VU35, RT1 au droit de la Karenga.

Données pluviométriques

- Poste journalier de Tamoa : précipitations journalières maximales annuelles et supérieures à 50 mm de 1989 à 2003 (Météo France) ;
- Poste de Tontouta : précipitations journalières maximales annuelles et supérieures à 50 mm de 1951 à 2005 (Météo France) ;
- Poste journalier de Port Laguerre : précipitations journalières maximales annuelles et supérieures à 50 mm de 1952 à 2005 (Météo France) ;
- Poste journalier du Mont Mou : précipitations journalières maximales annuelles et supérieures à 50 mm de 1987 à 2005 (Météo France) ;
- Poste journalier de Païta : précipitations journalières maximales et supérieures à 50 mm de 1985 à 2005 ;
- Courbes Intensité-Durée-Fréquence au Mont Mou et à Tontouta (Météo France) ;
- Hyétoigramme de l'épisode du 27 mars 1996 à Ouinne, au Mont Mou (DAVAR) et à Tontouta (Météo France) ;
- Hyétoigramme de l'épisode du 13 janvier 1988 à Dumbea Nord, au Mont Mou, à Canon (DAVAR) et à Tontouta (Météo France) ;
- Hyétoigrammes des épisodes du 29 février 2000 et du 14 mars 2003 à Dumbéa, à Ouinne, au Mont Mou (DAVAR) et à Tontouta (Météo France).

Données hydrométriques

- Station de la Tontouta : débits instantanés maximaux annuels et débits instantanés supérieurs à 110 m³/s de 1969 à 2005 (DAVAR) ;
- Station de Dumbea Nord : débits instantanés maximaux annuels et débits instantanés supérieurs à 30 m³/s de 1963 à 2003 (DAVAR) ;
- Station de la Couvelée : débits instantanés maximaux annuels et débits instantanés supérieurs à 20 m³/s de 1967 à 2003 (DAVAR) ;
- Estimation des débits caractéristiques de crue aux stations de Dumbéa Nord, la Couvelée et de la Tontouta (DAVAR).

Autres

- Photographies aériennes (septembre 2005).

Ces données ont été exploitées au cours des différentes phases d'étude.

3. RECONNAISSANCES DE TERRAIN ET LEVES TOPOGRAPHIQUES

Sur les sept secteurs, des reconnaissances détaillées de terrain ont préalablement été effectuées.

Ces enquêtes de terrain ont permis :

- d'apprécier le fonctionnement et l'organisation du réseau hydrographique superficiel (fossés, creeks, ...) et enterré, ainsi que les mécanismes de débordement ;
- de visualiser l'occupation des sols : habitations, murets, clôtures, ... ;
- de cerner les dysfonctionnements actuels : points noirs, ouvrages insuffisants, obstacles aux écoulements, zones inondées, ... ;
- de repérer des niveaux atteints lors des crues antérieures par des enquêtes auprès des riverains ; les nombreuses laisses de crue répertoriées sont ainsi venues compléter le recensement déjà effectué par la DAVAR ;
- de définir les levés topographiques nécessaires, qui ont été réalisés dans un second temps : profils en travers du lit mineur, altimétrie du lit majeur, levé des ouvrages hydrauliques de franchissement et des sections couvertes, nivellement des laisses de crue repérées sur le terrain, etc ; ces levés ont été confiés au cabinet Laurent Vautrin, géomètre expert.

Plusieurs entrevues avec la commune de Païta, y compris sur site, nous ont permis d'acquérir des informations complémentaires sur les dysfonctionnements hydrauliques et les secteurs inondés lors des dernières crues.

Les informations collectées sont présentées secteur par secteur.

3.1. SECTEUR D'ONDÉMIA

Le bassin versant d'Ondémia a une superficie totale de l'ordre de 6,7 km² (voir plan 1) et se décompose sur l'aval en un bras principal et trois affluents rive gauche de respectivement 1,1 km², 0,34 km² et 0,85 km². L'ensemble conflue entre la RT1 et la SAVEXPRESS.

La partie amont du bras principal (sur laquelle on distingue deux autres affluents, l'un rive gauche, l'autre rive droite) est relativement pentue (pente de l'ordre de 1,5 à 2 %) et totalement naturelle. Elle présente peu d'enjeu excepté un lotissement en construction, le lotissement Valboisé-Baronnet.

Seule une zone organisée autour de la RT1 est fortement urbanisée et présente donc un enjeu important en regard de l'aléa inondation.

La RT1, en remblai, crée un obstacle à l'écoulement des crues et induit une sur-inondation des secteurs situés en amont.

La SAVEXPRESS, édifiée essentiellement en remblai, crée également un obstacle important mais les premiers enjeux sont localisés 400 m en amont.

Les informations de crues recensées sont identifiées sur le plan 1 et correspondent aux principaux épisodes du secteur (13 janvier 1988 et 14 mars 2003).

3.2. SECTEUR CARIGNAN-KARIKOUÏÉ

Les bassins versants des rivières Carignan et Karikouïé ont, au droit de la RT1, une superficie de respectivement 23,9 et 28,4 km² (voir plan 5). Les deux creeks confluent entre la RT1 et la SAVEXPRESS, juste en aval du lotissement Bernard qui s'étend entre les deux.

Dans la suite, nous nommerons Karikouïé aval, le creek né de la confluence entre le Carignan et la Karikouïé.

De façon globale, ces deux bassins versants peuvent être considérés comme quasiment complètement naturels, hormis le secteur de Païta centre, urbanisé.

3.2.1. Carignan en amont de la RT1

Le Carignan, en amont de la RT1, s'étend sur un linéaire d'environ 12,5 km et se dissocie en deux tronçons relativement homogènes.

Le premier, le plus amont, représente un linéaire d'environ 8,5 km et se caractérise par un chevelu hydrographique assez dense (avec la présence de trois affluents principaux en rive droite), un lit mineur marqué (offrant une importante capacité d'écoulement), un lit majeur quasi inexistant et une forte pente (de l'ordre de 3 à 4 %, hors extrémité amont pouvant présenter des pentes dépassant 30 %). Quelques enjeux habités relativement épars ont été recensés au cours des reconnaissances de terrain.

Le second tronçon s'étend sur un linéaire de 4 km et se caractérise par un large lit majeur (250 à 350 m de largeur), une pente faible (0,6 %), et la présence d'un affluent majeur en rive droite (drainant un bassin versant d'une superficie de 5,5 km²). Quasiment aucun enjeu habité ne se situe sur tout ce secteur, excepté juste en amont de la RT1, un groupement de 5 ou 6 habitations localisé en extrémité de lit majeur rive gauche.

3.2.2. Karikouïé en amont de la RT1

Comme le Carignan, la Karikouïé, en amont de la RT1, s'étend sur un linéaire d'environ 12,5 km et se dissocie en deux tronçons relativement homogènes.

Le premier, le plus amont, représente un linéaire d'environ 9,5 km et se caractérise par la présence d'un affluent principal en rive gauche, un lit mineur marqué (offrant une importante capacité d'écoulement), un lit majeur relativement réduit (de l'ordre de 100 à 150 m de largeur) et une forte pente (de l'ordre de 2,5 à 3 %, hors extrémité amont pouvant présenter des pentes dépassant 30 %). Quelques enjeux habités relativement épars ont été recensés au cours des reconnaissances de terrain.

Le second tronçon s'étend sur un linéaire de 3 km et se caractérise par un large lit majeur (allant de 200 à plus de 600 m de largeur), une pente faible (0,7 %), et la présence d'un affluent majeur en rive gauche (d'une superficie de 3,4 km²). Au cours des reconnaissances de terrains, plusieurs secteurs à enjeux ont été recensés :

- un premier lotissement localisé en rive droite de la Karikouïé, juste en amont de la confluence avec son principal affluent rive gauche ;
- un second lotissement s'étendant sur toute la largeur du lit majeur rive droite de la Karikouïé, juste en aval de la confluence avec son principal affluent rive gauche ;
- le collège de Païta localisé en rive droite de la Karikouïé, 500 m en aval de ce dernier lotissement ;
- un groupement d'habitations localisé en rive droite de la Karikouïé juste en amont de la RT1 et dont la situation est critique en crue.

3.2.3. Carignan/Karikouïé en aval de la RT1

Ce secteur se caractérise par la présence du lotissement Bernard, précédemment cité, implanté entre les deux creeks sur un linéaire d'environ 1 km, depuis la RT1, jusqu'à la confluence entre le Carignan et la Karikouïé.

De par sa situation géographique, ce lotissement est touché de façon importante en cas de forte crue (type 1988) malgré la présence de merlons en bordure des lits mineurs. A titre d'illustration, certains riverains, habitant sur la partie aval du lotissement, ont, lors de l'événement de 1988, été évacués en barque, certaines maisons étant inondées sous près de deux mètres d'eau.

Par ailleurs, des témoignages recueillis ont indiqué qu'au cours de ce même événement, un transfert des eaux s'était effectué depuis la Karikouïé aval vers la Katiramona par déversement par-dessus la bretelle de raccordement entre la RT1 et la Savexpress, construite en remblai.

L'ensemble des informations de crues recensées sont identifiées sur le plan 5.

3.3. SECTEUR TONTOUTA

Cette zone d'étude se caractérise par la présence de deux creeks principaux : le Pebô et la Kouembelia.

Les bassins versants du Pebô et de la Kouembelia (voir plan 9) ont une superficie de respectivement 5,2 km² (au droit de la RT1) et 3,3 km² (au droit du pont de la cité Martinet) et s'étendent d'Est en Ouest.

Leurs pentes moyennes sont de respectivement 3,4 et 1,8 %.

Le Pebo possède un affluent principal, en rive droite (bassin versant Pebo2a sur le plan 9), qui conflue en amont de la zone urbaine.

La Kouembelia possède également un affluent principal, en rive droite, qui conflue juste en amont du pont de la cité Martinet, soit plutôt en aval de la zone urbaine.

En termes d'enjeux, on note la présence d'un centre urbain dense au nord de la RT1, qui s'étend à la fois entre le Pebô et la Kouembelia et entre la Kouembelia et son affluent rive droite.

Au Sud de la RT1, on recense essentiellement la présence de la zone aéroportuaire.

Les informations de crues collectées sont détaillées sur le plan 9 et correspondent aux principaux épisodes du secteur (13 janvier 1988 et 14 mars 2003).

3.4. SECTEUR KATIRAMONA

Le bassin versant de la Katiramona (voir plan 5) a une superficie de 11,6 km² au droit de la RT1, et de 13,7 km² au droit de la Savexpress. Il s'étend globalement d'Est en Ouest et ne remonte par conséquent pas très haut dans le massif montagneux (à titre de comparaison, le sommet du bassin versant de la Katiramona se situe à 366 m contre 1 210 m pour la Karikouïé dont le bassin versant s'étend du Nord vers le Sud).

La pente du bassin versant varie d'amont en aval entre 1,5 et 0,6 %.

En amont de la RT1, le creek se caractérise par la présence de plusieurs affluents, aussi bien en rive gauche qu'en rive droite et un lit majeur relativement étroit (50 à 150 m). Quelques enjeux, essentiellement localisés en rive gauche de la Katiramona, ont été recensés en amont immédiat de la RT1.

En aval de la RT1, le lit majeur de la Katiramona est beaucoup plus étendu (de l'ordre de 500 m de largeur). On notera la présence d'une école en aval immédiat de la RT1, en rive gauche, surélevée et donc a priori non inondable. Par ailleurs, un lotissement (lotissement Georges) s'étend sur un linéaire d'environ 700 m en rive gauche de la Katiramona et a déjà été plusieurs fois inondé par débordement de la Katiramona. Les eaux débordantes se déversent vers un affluent rive gauche de la Katiramona, qui conflue avec cette dernière en aval de la Savexpress. Le secteur situé entre la Katiramona et cet affluent doit faire l'objet de la création de la zone d'aménagement concerté de Païta.

En aval de la Savexpress, plusieurs habitations sont localisées à proximité du lit mineur en rive gauche et ont déjà été inondées.

3.5. SECTEUR TAMOA

Le bassin versant de la Tamoia a une superficie totale de l'ordre de 102 km² (voir plan 13-1 à 13-3) en aval du secteur d'étude. Il s'étend selon une direction Nord-Est/Sud-Ouest sur un linéaire d'environ 22 km depuis l'altitude 1 100 m NGNC jusqu'au niveau de la mer.

Le bassin versant est intercepté par la RT1 au droit de laquelle il se décompose en plusieurs sous bassins versants dont les principaux sont :

- le bassin versant amont de la Tamoia d'une superficie de 27 km², intégrant le bassin versant de la Nenu d'une superficie de 5,8 km² ;
- le bassin versant de la Neti d'une superficie de 2,7 km² ;
- le bassin versant de la Bangou d'une superficie de 17,4 km².

Le bassin versant de la Tamoia est quasiment totalement naturel. On recense une seule zone d'habitat dense située sur la partie aval de la Nenu. Les autres enjeux habités sur le bassin versant sont des habitations isolées, essentiellement localisées en rive droite de la Tamoia en amont de sa confluence avec la Nenu.

En aval de la RT1, le bassin versant de la Tamoia se caractérise par un lit mineur très marqué et un lit majeur relativement plat dont les limites de l'encaissant ne sont pas francs.

Les informations de crues recensées sont identifiées sur les plans 13-1 à 13-3 et correspondent aux principaux épisodes du secteur (13 janvier 1988 et 14 mars 2003).

4. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE

4.1. PRÉSENTATION DES BASSINS VERSANTS ÉTUDIÉS

La figure 2 présente la localisation des bassins versants étudiés ainsi que ceux pris comme référence pour l'analyse hydrologique ultérieure.

Les caractéristiques morphométriques de ces bassins versants sont récapitulées dans le tableau suivant.

Notons que pour chaque bassin versant, la part de superficie située en zone montagneuse a été évaluée selon la délimitation représentée sur la figure 2 et établie par analyse des lignes de niveau de la carte IGN. Ce pourcentage de zone montagneuse est également récapitulé dans le tableau suivant.

Bassin versant	Superficie (km ²)	Pourcentage de zone montagneuse	Pente globale pondérée (m/m)	Longueur hydraulique (km)
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouié	24,9	38 %	0,022	10,9
Karikouié en amont de la confluence avec le Carignan	29,0	52 %	0,017	12,2
Katiramona au droit de la Savexpress	13,7	31 %	0,004	13,6
Ondémia au droit de la RT1	3,9	0 %	0,015	4,3
Bangou au droit de la RT1	17,4	28 %	0,019	8,5
Tamoa au droit de la RT1	27,0	74 %	0,032	9,5
Pebô au droit de la RT1	5,2	29 %	0,029	6,5
Kouembelia au droit du pont de la cité Martinet	3,3	0 %	0,015	5,5

En termes d'occupation des sols, l'ensemble des bassins versants étudiés est globalement très naturel. L'urbanisation est généralement éparse, excepté pour le centre ville de Païta (qui se répartit sur les bassins versants de Carignan, Karikouié, Ondémia et Katiramona) et de Tontouta village (qui s'étend pour sa part sur les bassins versants du Pebô et de la Kouembelia), toutefois, l'imperméabilisation associée est minime en regard de la superficie globale des bassins versants.

Concernant les bassins versants pris comme référence pour l'analyse hydrologique ultérieure, ils sont au nombre de quatre et localisés quasiment en intégralité dans le massif montagneux. Leurs superficies sont précisées ci-après :

Bassin versant	Superficie (km ²)
Couvelée	40
Dumbea Est	56,8
Dumbea Nord	32,2
Tontouta	385

4.2. PLUVIOMÉTRIE

4.2.1. Données pluviométriques

Six postes pluviométriques sont disponibles à proximité des secteurs étudiés : il s'agit des postes journaliers de Port Laguerre, Tamoã, Païta, Liliane ainsi que des postes avec acquisition plus précise (pas d'acquisition 6 min) de Tontouta et du Mont Mou.

Ces postes sont localisés sur la figure 1.

Quatre d'entre-eux se trouvent dans la plaine côtière :

- le poste de Tontouta se situe à proximité du secteur Tontouta Village ;
- les postes de Port Laguerre et Païta sont situés à proximité des secteurs d'Ondémia, de Carignan, Karikouié et Katiramona ;
- le poste de Tamoã se situe à proximité des secteurs de Tamoã amont et Tamoã aval.

En ce qui concerne les postes de Liliane et du Mont Mou, ils se situent respectivement en amont des secteurs Tontouta Village et Carignan/Karikouié/Katiramona/Ondémia, plutôt à l'intérieur des terres, dans le massif montagneux. Remarquons toutefois qu'ils ne se situent pas à la même altitude (900 m NGNC pour le poste du Mont Mou et 30 m NGNC pour le poste de Liliane).

4.2.2. Pluies journalières maximales annuelles

L'analyse effectuée ici s'appuie sur l'exploitation des données journalières maximales annuelles disponibles à ces six postes (dont le nombre diffère de façon importante d'un poste à l'autre). Cette exploitation a consisté en la réalisation d'un ajustement graphique (Gumbel) à partir desquels ont été extraits des ordres de grandeur des pluies journalières décennales et centennales.

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures 3 à 8 et les valeurs extraites de ces ajustements sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Poste pluviométrique	Altitude du poste (m NGNC)	Nombre d'années exploitées	Pluie journalière décennale (mm)	Pluie journalière centennale (mm)
Port Laguerre	30	53,5	165	240
Tamoã	65	14,3	190	310
Païta	19	54,9	190	310
Liliane	30	14,0	330	540
Tontouta	36	55	165	265
Mont Mou	900	13,2	290	470

Notons que les échantillons de données disponibles sur le poste de Tamoã, de Liliane ainsi que du Mont Mou sont peu riches (15 à 16 années).

Il résulte par conséquent pour ces trois postes une incertitude sur la droite d'ajustement et donc sur les valeurs de pluies journalières décennales et surtout centennales.

4.2.3. Méthode du renouvellement

Compte tenu de la remarque précédente, une seconde analyse a été menée sur ces trois postes pluviométriques en s'appuyant sur un échantillon de données de plus grande importance (méthode du renouvellement), constitué de l'ensemble des cumuls pluviométriques journaliers supérieurs à un certain seuil.

Des ajustements graphiques, réalisés selon une loi exponentielle, sont présentés sur les figures 9 à 11 et les valeurs extraites de ces ajustements sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Poste pluviométrique	Altitude (m NGNC)	Seuil considéré (mm)	Nombre d'années disponibles	Nombre de données exploitées	Pluie journalière décennale (mm)	Pluie journalière centennale (mm)
Tamoa	65	70	15	32	180	270
Liliane	30	70	14,0	38	340	595
Mont Mou	900	70	13,2	51	320	530

4.2.4. Synthèse

Le tableau suivant reprend les valeurs de pluies journalières décennales et centennales pouvant finalement être retenues sur les six postes exploités.

Poste pluviométrique	Méthode statistique retenue	Pluie journalière décennale (mm)	Pluie journalière centennale (mm)
Port Laguerre	Ajustement de Gumbel sur les pluies maximales annuelles	165	240
Tamoa	Méthode du renouvellement	180	270
Païta	Ajustement de Gumbel sur les pluies maximales annuelles	190	310
Liliane	Méthode du renouvellement	345	595
Tontouta	Ajustement de Gumbel sur les pluies maximales annuelles	165	265
Mont Mou	Méthode du renouvellement	320	530

Sur la base de ces résultats, on peut distinguer en première approche deux zones pluviométriques principales : la première est représentée par les postes du Mont Mou et de Liliane, localisés à l'intérieur des terres dans le massif montagneux et soumis à des événements pluviométriques importants (même si altimétriquement le poste de Liliane se trouve beaucoup plus bas que celui du Mont Mou) ; la seconde correspond à une zone de plaine côtière soumise à des intensités pluviométriques de moins grande ampleur.

4.3. DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DE CRUE

4.3.1. Méthodologie

Compte tenu de l'absence de stations hydrométriques sur les rivières étudiées, l'analyse a été menée sur la base :

- des données pluviométriques existantes sur les bassins versants étudiés : il s'agit, à titre de rappel, des postes journaliers de Port Laguerre, Tamoa, Païta, ainsi que des postes avec acquisition plus précise (pas d'acquisition 6 min) de Tontouta, de Liliane et du Mont Mou ;

- des données hydrométriques existantes à proximité et jugées suffisamment fiables par la DAVAR : il s'agit des stations de la Couvelée, Dumbea Nord, Dumbea Est (ces trois stations sont localisées à l'Est de Païta) et Tontouta (localisée au Nord de Païta).

Ces postes pluviométriques et stations hydrométriques sont localisés sur la figure 1.

Etant donnée la difficulté d'estimer de façon fiable des débits de crue (surtout lorsqu'on ne dispose pas de données hydrométriques sur le bassin versant), plusieurs approches ont été comparées sur différents bassins versants tests répartis sur la zone d'étude de façon à retenir des fourchettes de valeurs possibles.

Deux méthodes ont été mises en œuvre pour l'analyse, chacune pouvant, en regard des postes ou stations disponibles à proximité, être déclinée sous plusieurs formes :

- application de la méthode rationnelle avec des coefficients a et b de Montana déterminés à partir des IDF disponibles aux postes du Mont Mou et de Tontouta ;
- application de la méthode de transposition (appelée aussi méthode d'analogie) permettant d'évaluer les débits ruisselés sur un bassin versant à partir d'un autre bassin versant proche, semblable de par ses caractéristiques morphométriques et sur lequel les débits de crue sont connus (grâce à une station hydrométrique existante par exemple).

Remarque :

Une troisième méthode a été mise en œuvre : la méthode SPEED, mise au point par SOGREAH et prise comme base de réflexion lors des études hydrauliques effectuées sur la commune du Mont Dore¹.

Cette méthode, qui utilise différentes relations associées à la théorie et à l'expérience (théorie de l'hydrogramme unitaire, théorie du Gradex, formules de Montana et du temps de concentration),

s'appuie sur la formulation suivante : $Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (P_T - P_0)$

avec :

- Q_T : débit de pointe de la crue de période de retour T (m³/s) ;
- S : superficie du bassin versant (en km²) ;
- P_T : pluie journalière de période de retour T (en mm) ;
- P_0 : seuil probabiliste de ruissellement.

Toutefois, les ajustements de débits réduits $\left(Q_{re} = \frac{12Q}{S^{0,75}} \right)$ effectués à partir des données disponibles aux stations hydrométriques du secteur (débits instantanés maximaux annuels) ainsi que les ajustements pluie-débit mis en œuvre pour la détermination de P_0 n'ont pas fournis de résultats fiables et exploitables.

En effet et d'abord, tous les ajustements "pluie-débit réduit" réalisés n'ont pas permis d'évaluer une valeur de P_0 fiable et cohérente. Pour certains ajustements, la droite d'ajustement des débits réduits tracée est même supérieure à celle des pluies (ce qui n'était pas le cas dans l'étude des zones inondables réalisées sur la commune du Mont Dore car les pluviométries locales étaient beaucoup plus importantes).

¹ Etude hydraulique sur la commune du Mont Dore - rapport 4330067 - octobre 2006

Les postes utilisés dans le cadre de l'application de cette méthode minimisent donc les pluies qui se sont effectivement abattues sur les bassins versants des rivières équipées de station hydrométrique et considérées pour cette analyse.

Ensuite la superposition des ajustements réalisés sur les débits réduits (issus de l'exploitation des données des différentes stations hydrométriques disponibles) n'a pas abouti à l'obtention d'une seule et unique droite, comme cela devrait être le cas.

Pour l'ensemble de ces raisons, la méthode n'a donc pas été retenue pour la suite de l'analyse.

4.3.2. Méthode rationnelle

4.3.2.1 Généralités

L'estimation du débit décennal ou centennal d'un ruisseau par application de la méthode rationnelle nécessite, outre les caractéristiques du bassin versant (superficie, coefficient de ruissellement, temps de concentration), la détermination des coefficients a et b de Montana décrivant l'intensité pluviométrique.

La formule rationnelle s'exprime ainsi : $Q_T = \frac{C_T I_T A}{3,6}$

avec :

- Q_T : débit de crue de période de retour T (m³/s) ;
- C_T : coefficient de ruissellement considéré pour une crue de période de retour T ;
- A : superficie du bassin versant (en km²) ;
- I_T : intensité de pluie (mm/h) de période de retour T calculée sur le temps de concentration t du bassin versant : $I_T = a_T t^{b_T}$ où a_T et b_T sont les coefficients de Montana pour la période de retour T.

Remarque :

Notons que la valeur de débit obtenue est directement proportionnelle au coefficient de ruissellement et plus indirectement au temps de concentration du bassin versant, deux paramètres dont la détermination reste entachée de fortes incertitudes et qui ont fait l'objet de l'analyse suivante.

4.3.2.2 Hypothèses retenues

4.3.2.2.1 Choix du coefficient de ruissellement

- La détermination du coefficient de ruissellement d'un bassin versant s'avère toujours complexe et marquée par une incertitude difficilement quantifiable.

Le coefficient est fonction de nombreux paramètres : antécédents pluviométriques (le sol est-il à saturation ?), géologie locale (terrain argileux ?), superficie du bassin versant, intensité pluviométrique de l'événement considéré (court et intense, long et de faible intensité ?), densité de l'urbanisation et donc taux d'imperméabilisation du bassin versant.

- Compte tenu de la relative faible urbanisation des bassins versants étudiés, seule une distinction de coefficients de ruissellement selon l'événement considéré (décennal ou centennal) ainsi que selon la pente des terrains en présence a été réalisée dans un premier temps.

	Zone de plaine	Zone montagneuse
C ₁₀	0,5	0,8
C ₁₀₀	0,7	1

- Ainsi chaque bassin versant a été découpé en deux zones comme présenté dans le paragraphe 4.1 et représenté sur la figure 2 :
 - l'amont du bassin versant dont la pente moyenne est forte et qui correspond à une zone montagneuse sur laquelle le ruissellement est quasi-total pour un événement décennal et considéré comme complet pour un événement centennal ;
 - l'aval du bassin versant qui s'étend dans la plaine côtière avec des pentes d'écoulement plus faible et qui offre par conséquent un ruissellement moins important.
- Ceci se justifie bien pour les bassins versants de grande superficie qui, suivant le même principe que l'abattement spatial, ne sont pas saturés en tout point de l'espace au même instant. Toutefois, pour les bassins versants de petite taille (superficie inférieure ou de l'ordre de 5 km²), cette vision paraît moins appropriée. En effet, pour de tels bassins versants, l'hypothèse d'une saturation complète des terrains semble plus adéquate. C'est pourquoi nous proposons dans un second temps, pour ces petits bassins versants, de prendre des coefficients de ruissellement égaux à 0,7 et à 1 respectivement pour un événement de fréquence décennale et centennale.
- Ce découpage permet alors d'approcher un coefficient de ruissellement moyen sur l'ensemble des bassins versants étudiés :

Bassin versant	Superficie (km ²)	Pourcentage de zone montagneuse	C ₁₀ moyen	C ₁₀₀ moyen
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	24,9	38 %	0,61	0,81
Karikouïé en amont de la confluence avec le Carignan	29,0	52 %	0,66	0,86
Katiramona au droit de la Savexpress	13,7	31 %	0,59	0,79
Ondémia au droit de la RT1	3,9	0 %	0,7	1
Bangou au droit de la RT1	17,4	28 %	0,58	0,78
Tamoa au droit de la RT1	27,0	74 %	0,72	0,92
Pebô au droit de la RT1	5,2	29 %	0,7	1
Kouembelia au droit du pont de la cité Martinet	3,3	0 %	0,7	1

4.3.2.2.2 Évaluation du temps de concentration

- De nombreuses formulations sont disponibles pour l'évaluation du temps de concentration d'un bassin versant.

Quatre méthodes ont été testées sur cinq bassins versants témoins : Giandotti, Passini, Dujardin, Desbordes (les formules sont fournies en annexe 1).

Notons que :

- les formules de Giandotti et Passini s'appliquent aux bassins versants ruraux ; elles sont fonction de la pente, de la superficie et de la longueur du bassin versant et sont donc indépendantes du coefficient de ruissellement considéré ;
 - les formules de Desbordes et Dujardin sont utilisées pour les bassins versants mixtes : la première est plutôt à tendance urbaine tandis que la seconde est plus adaptée aux bassins à dominante rurale ; elles sont fonction de la superficie, de la pente et du coefficient de ruissellement considéré et donc indépendantes de l'allongement du bassin versant.
- Les résultats issus des tests réalisés pour un coefficient de ruissellement correspondant à un événement de fréquence centennale sont récapitulés ci-après :

	Giandotti		Passini		Dujardin		Desbordes	
	Temps de concentration (min)	Vitesse de transfert (m/s)	Temps de concentration (min)	Vitesse de transfert (m/s)	Temps de concentration (min)	Vitesse de transfert (m/s)	Temps de concentration (min)	Vitesse de transfert (m/s)
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	152	1,4	256	0,8	87	2,4	51	4,0
Karikouïé en amont de la confluence avec le Carignan	178	1,2	308	0,7	102	2,1	57	3,7
Katiramona au droit de la Savexpress	203	0,7	290	0,5	111	1,3	60	2,4
Ondémia au droit de la RT 1	135	0,5	137	0,5	60	1,2	34	2,1
Pebô au droit de la RT 1	95	1,1	113	0,9	44	2,4	27	3,9

L'analyse de ces résultats amène les remarques suivantes :

- la formule de Desbordes, appropriée aux bassins versants à dominante urbaine, fournit des temps de concentration très courts auxquels correspondent par conséquent des vitesses de transfert très fortes (2,1 à 4,0 m/s) ; ces vitesses ont été évaluées sur la base du rapport $\frac{L}{t}$, L étant le plus long parcours hydraulique et t le temps de concentration du bassin versant ;
- les formulations de Giandotti et Passini fournissent au contraire des temps de concentration relativement longs auxquels sont associés des vitesses de transfert apparaissant faibles pour des crues exceptionnelles (0,5 à 1,4 m/s) ;
- la formule de Dujardin donne des résultats plutôt intermédiaires avec des vitesses de transfert plus satisfaisantes, de l'ordre de 1,2 à 2,4 m/s pour les cinq bassins versants testés.

En conclusion, compte tenu de la relative faible urbanisation des bassins versants étudiés et des vitesses moyennes de transfert obtenues selon l'application des différentes méthodes, la formule de Dujardin a dans la suite été employée pour l'évaluation des temps de concentration.

4.3.2.3 Détermination des coefficients de Montana

La détermination des coefficients de Montana s'appuie sur l'exploitation des courbes IDF disponibles à proximité des différentes zones d'étude :

- IDF au poste du Mont Mou adapté aux zones montagneuses (poste DAVAR) - source Météo France (cf. annexe 2) ;
- IDF au poste météo de Tontouta adapté aux zones de plaine - source Météo France (cf. annexe 3).

Compte tenu de la mixité de nombreux bassins versants s'étendant à la fois en zone montagneuse et à la fois en zone de plaine, l'analyse a consisté à définir six couples de coefficients en fonction de cette répartition montagne/plaine par exploitation conjointe des IDF du poste du Mont Mou et du poste de Tontouta, en sus des deux couples issus de l'exploitation séparée des IDF de chacun de ces deux postes.

4.3.2.3.1 Poste du Mont Mou

- Le poste du Mont Mou, exploité par la DAVAR, est situé à 900 m d'altitude sur le versant Nord du massif du Mont Mou. Les données disponibles s'étendent sur la période 1993-2004, mais avec plus d'une année de données manquantes. La pluviométrie moyenne annuelle sur cette période est de 1 615 mm.
- Les coefficients a et b issus de l'analyse de ces données par Météo France sont :

	6 ≤ t ≤ 90 min		90 ≤ t ≤ 1440 min	
	T = 10 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 100 ans
a (mm/min)	4,99	6,79	22,23	31,34
b	- 0,315	- 0,298	- 0,657	- 0,647

- L'analyse effectuée amène les remarques suivantes :
 - la période de mesure disponible (≈10 ans de données) étant courte, les coefficients de Montana centennaux fournis sont à considérer avec une grande prudence ;
 - l'absence de l'année 1988 dans l'échantillon de données amène une remarque quant à la représentativité des résultats ; le cyclone Anne, qui a frappé le territoire en 1988, a été accompagné de pluies exceptionnelles surtout sur des durées longues de 6 h et plus ; son intégration dans la série de 11 données modifie donc l'ajustement de façon importante, ajustement par ailleurs entaché d'une forte incertitude.
- A titre indicatif, Météo France a effectué un second ajustement en intégrant l'année 1988.

Le tableau suivant présente pour différentes durées de pluie une comparaison des cumuls pluviométriques issus de ce dernier ajustement à ceux issus de l'ajustement effectué sur la période 1993 - 2004 :

		Durée de précipitation		
		30 min	120 min	1440 min
P ₁₀ (mm)	Période 1993-2004	50,9	115,4	276,3
	Période 1988 + 1993-2004	50,2	122,5	382,1
P ₁₀₀ (mm)	Période 1993-2004	71,9	170,0	421,1
	Période 1988 + 1993-2004	70,1	180,5	607,2

Il ressort des résultats quasiment identiques pour des durées de précipitations inférieures à 2 h et a contrario un cumul pluviométrique très différent sur 24 h.

Le temps de concentration des bassins versants étudiés étant globalement inférieur à 3 h, la prise en compte de l'événement de 1988 dans la série ne modifie pas de façon conséquente les a et b à retenir pour notre analyse.

Nous retiendrons donc les a et b de Montana déterminés sur la période 1993-2004 pour des durées de précipitations inférieures à 2 ou 3 h.

4.3.2.3.2 Poste de Tontouta

- Le poste de Tontouta est situé à côté de l'aéroport. Il se trouve donc dans une plaine côtière basse qui débouche sur la baie de Saint-Vincent à l'Ouest et est encadré par une chaîne de montagnes culminant souvent à plus de 1 000 m (du Nord à l'Est) et par des collines dans le Sud. De ce fait, le poste est bien protégé des vents et enregistre une pluviométrie relativement faible : la pluviométrie moyenne annuelle relevée est de 909 mm soit pratiquement deux fois moins qu'au Mont Mou.

C'est un poste de référence pour l'analyse des intensités de précipitations avec des données disponibles depuis 1956.

L'échantillon analysé comporte 49 séries de valeurs sur la période 1956-2004 et permet d'avoir une estimation de coefficients a et b centennaux relativement fiable.

- Les coefficients a et b issus de l'exploitation de ces données sont (source Météo France) :

	6 ≤ t ≤ 30 min		30 ≤ t ≤ 720 min	
	T = 10 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 100 ans
a (mm/min)	5,72	7,77	7,56	9,61
b	- 0,469	- 0,463	- 0,549	- 0,523

4.3.2.3.3 Montana interpolé entre les postes de Tontouta et du Mont Mou

- Afin de caractériser ultérieurement les débits de crue sur les six bassins versants partagés entre secteur montagneux en amont et plaine côtière à l'aval, une pluviométrie moyenne a été extraite des données issues des postes pluviométriques de la Tontouta (localisée en plaine) et du Mont Mou (localisé en altitude) pour différentes durées de pluies (6 min à 24 h).

Cette pluviométrie moyenne a été calculée au prorata de la superficie de bassin versant localisée dans la zone montagneuse (et à laquelle est associée la pluviométrie mesurée au poste du Mont Mou) et dans la zone de plaine (à laquelle est associée la pluviométrie mesurée au poste de Tontouta).

Ces données moyennes (pondérées par la surface) ont ensuite été exploitées pour déterminer les coefficients a et b (cf. annexe 4 à 9), explicités dans le tableau suivant :

Bassin versant	6 ≤ t ≤ 90 min		90 min ≤ t ≤ 24 h	
	T = 10 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 100 ans
	a (mm/min)/b	a (mm/min)/b	a (mm/min)/b	a (mm/min)/b
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	5,50/-0,412	7,34/-0,393	13,71/-0,621	18,50/-0,605
Karikouïé en amont de la confluence avec le Carignan	5,35/-0,387	7,16/-0,368	15,57/-0,631	21,29/-0,617
Katiramona au droit de la Savexpress	5,59/-0,426	7,44/-0,407	12,79/-0,615	17,14/-0,598
Bangou au droit de la RT1	5,63/-0,432	7,49/-0,413	12,40/-0,613	16,56/-0,596
Tamoa au droit de la RT1	5,17/-0,352	6,96/-0,333	18,59/-0,644	25,82/-0,632
Pebô au droit de la RT1	5,62/-0,430	7,47/-0,411	12,53/-0,614	16,76/-0,597

4.3.3. Méthode de transposition

4.3.3.1 Généralités

Cette méthode, qui s'applique à l'origine sur un unique bassin versant, a par extrapolation été également appliquée à des bassins versants de caractéristiques morphométriques similaires soumis à un régime hydrologique pouvant être considéré comme proche et consiste en une transposition des débits d'un bassin disposant de données hydrométriques à un bassin versant non équipé de station de mesures de débit.

Elle s'appuie sur la formulation suivante : $Q'_T = \left(\frac{S'}{S} \right)^\alpha Q_T$

avec :

- Q'_T : débit de période de retour T de la rivière considérée non équipée de station hydrométrique (m^3/s) ;
- Q_T : débit connu de période de retour T d'une rivière proche disposant d'une station hydrométrique (m^3/s) ;
- S' : superficie du bassin versant non équipé de station hydrométrique (km^2) ;
- S : superficie du bassin versant disposant de données hydrométriques (km^2) ;
- α : coefficient d'abattement, évalué à 0,75 dans le cadre d'une analyse menée à l'échelle de la Nouvelle Calédonie.

4.3.3.2 Données de base

Quatre stations hydrométriques, gérées par la DAVAR, sont localisées à proximité des zones d'étude :

- la station de la Couvelée dont la période d'exploitation s'étend de 1967 à 2004 avec 34 années de données ;
- la station de la Dumbea Est dont la période d'exploitation s'étend de 1963 à 2005 avec 38 années de données ;
- la station de la Dumbea Nord dont la période d'exploitation s'étend de 1963 à 2004 avec 32 années de données ;
- la station de Tontouta dont la période d'exploitation s'étend de 1954 à 2004 avec 37 années de données.

Un ajustement de Gumbel des débits de crue maximaux annuels mesurés à ces quatre stations a été effectué par la DAVAR. Les résultats détaillés en annexe 10 sont synthétisés dans le tableau suivant :

		Période de retour		Superficie du bassin versant (km ²)
		T = 10 ans	T = 100 ans	
Q _{max} (m ³ /s)	Station de la Couvelée	375	708	40
	Station de Dumbea Est	797/888 ²	1 340/1 616 ²	56,8
	Station de Dumbea Nord	414	722	32,2
	Station de Tontouta	2 633	5 100	385

4.3.4. Comparaison des méthodes employées sur quelques bassins versants tests

4.3.4.1 Comparaison des différents résultats obtenus

Neuf bassins versants témoins ont servi de base de comparaison des différentes méthodes de calcul de débit exposées précédemment.

En raison de la situation géographique des zones d'étude par rapport aux postes et stations disponibles, trois grands secteurs ont été distingués pour l'analyse hydrologique : Païta, Tamoia et Tontouta.

4.3.4.2 Secteur de Païta

Il comprend les bassins versants de la Carignan, de la Karikouïé, d'Ondémia et de la Katiramona.

Quatre calculs ont été engagés en regard de la localisation des postes et stations disponibles sur cinq bassins versants tests :

- calcul 1 : méthode rationnelle avec les coefficients de Montana interpolés entre le poste du Mont Mou et celui de Tontouta selon la part de bassin versant localisée en zone montagneuse ;
- calcul 2 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de la Couvelée ;

² Deux valeurs de débit sont fournies correspondant à deux ajustements possibles des débits maximum annuels.

- calcul 3 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Est ;
- calcul 4 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Nord.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après :

	Surface (km ²)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)				Débit de fréquence centennale (m ³ /s)			
		Calcul				Calcul			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	24,9	293	262	429/478	341	425	495	721/869	594
Karikouïé en amont de la confluence avec la Carignan	29,0	253	295	481/586	383	509	556	809/976	667
Karikouïé en aval de la confluence avec la Carignan	53,8	392	468	765/853	608	801	884	1287/1552	1061
Ondémia au droit de la RT 1	3,9	34	65	107/119	85	74	124	180/217	148
Katiramona au droit de la Savexpress	13,7	72	168	274/306	218	147	317	461/556	380

- Les valeurs obtenues sont globalement assez hétérogènes mais s'inscrivent néanmoins dans le même ordre de grandeur, excepté pour le calcul 3 qui fournit des résultats supérieurs aux autres (cf. remarque ci-après).
- La méthode de transposition présente des limites notamment pour la rivière Ondémia dont la superficie du bassin versant n'est comparable avec aucune des rivières prises comme base de transposition.
- Pour la Katiramona, l'application de cette méthode est également délicate en raison de l'altitude plus faible à laquelle s'étend globalement le bassin versant.
- Enfin la méthode rationnelle appliquée avec des coefficients moyens issus de l'analyse pondérée en fonction du type de bassin versant (plaine-montagne) fournit, pour les bassins versants du Carignan et de la Karikouïé, des résultats un peu en deçà de ceux obtenus par l'application de la méthode de transposition appliquée à partir des bassins versants de la Couvelée et de la Dumbea Nord.

Pour les bassins versants d'Ondémia et de la Katiramona, elle fournit en revanche des résultats bien en deçà de ceux obtenus par les calculs 2 et 4.

- Compte tenu des remarques précédentes, nous avons donc retenu pour ce secteur d'étude les ordres de grandeur suivants (le débit de fréquence quinquennale a été évalué à partir du débit de fréquence décennale par application d'un ratio égal à 0,74³) :

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)	Débit spécifique de fréquence centennale (m ³ /s/km ²)
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	185 à 260	250 à 350	500 à 600	20 à 24
Karikouïé en amont de la confluence avec la Carignan	220 à 295	300 à 400	550 à 650	19 à 22
Karikouïé en aval de la	370 à 445	500 à 600	900 à 1 050	17 à 20

³ Le coefficient multiplicateur de 0,74 permettant d'obtenir le débit de fréquence quinquennale à partir du débit de fréquence décennale a été établi par la DAVAR à partir d'ajustements Gumbel réalisés sur 22 stations hydrométriques de Nouvelle Calédonie

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)	Débit spécifique de fréquence centennale (m ³ /s/km ²)
confluence avec la Carignan				
Ondémia au droit de la RT 1	≈ 25	≈ 35	≈ 75 m ³ /s	19
Katiramona au droit de la Savexpress	75 à 110	100 à 150	150 à 300	11 à 22

- Notons que pour une crue de fréquence centennale, le rapport $\frac{Q_{100}}{S^{0,75}}$ associé à chaque bassin versant étudié varie entre 44 et 52 pour les trois premiers et entre 27 et 38 pour les deux derniers.

Or, une analyse menée par la DAVAR sur 22 stations hydrométriques de la Nouvelle Calédonie et visant à établir des courbes enveloppes caractéristiques du rapport $\frac{Q_{100}}{S^{0,75}}$ fournit pour la côte Ouest (représentée par 13 stations) une valeur de 55.

Les résultats obtenus pour les trois premiers bassins versants sont donc cohérents avec cette valeur et sont plutôt faibles pour les deux autres.

Notons cependant que sur ces 13 stations, seulement deux possèdent un bassin versant inférieur à 5 km² et que l'altitude moyenne des bassins versants considérés ici est inférieure à celle des bassins versants utilisés pour l'ajustement régional. L'ajustement est donc probablement moins fiable dans ce domaine d'application.

- En termes de débits spécifiques centennaux, quel que soit le bassin versant considéré, ceux-ci sont généralement de l'ordre de 20 m³/s/km².

Remarque :

Des débits de crue ont déjà été calculés sur les rivières de Carignan, de Karikouïé et de Katiramona au cours d'études antérieures⁴, notamment des débits de fréquence décennale.

La méthodologie employée dans ces deux études est la méthode de transposition appliquée à partir de la rivière Dumbéa Est, fournissant des valeurs de débit extrêmement fortes et supérieures à celles obtenues par application de la méthode rationnelle avec les coefficients du Mont Mou (10 à 60 % plus importantes pour une crue de fréquence décennale dans le cas présent, selon le bassin versant considéré).

Ces résultats nous paraissent majorants notamment en regard des résultats obtenus par application de cette même méthode de transposition à partir d'autres rivières proches (Couvelée, Dumbéa Nord), qui fournit des valeurs de débits plus faibles que celles obtenues par l'application de la méthode rationnelle. Ceci peut probablement s'expliquer par une réévaluation des données hydrologiques de références, produites par la DAVAR, enrichies par une quinzaine d'années d'enregistrements supplémentaires concernant les débits de crues, des étalonnages hautes eaux et des ajustements Gumbel associés.

⁴ - Etudes hydrauliques de la crue du cyclone Anne sur les rivières Dumbéa, Karikouïé, Carignan et Katiramona au voisinage de la SAV Express et de la RT 1 et sur la rivière Couvelée au voisinage de la RT 2 - SOGREAH - 1988.

- Etude hydraulique de la zone d'aménagement concerté de Païta - HYDREX - 1992.

4.3.4.3 Secteur de Tamoã

Il comprend les zones d'étude nommées Tamoã amont et Tamoã aval.

Quatre calculs ont été engagés sur deux bassins versants tests en regard de la localisation des postes et stations disponibles à proximité :

- calcul 1 : méthode rationnelle avec les coefficients de Montana interpolés entre les postes de Tontouta et du Mont Mou selon la part de bassin versant localisée en zone montagneuse ;
- calcul 2 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de la Couvelée ;
- calcul 3 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Est ;
- calcul 4 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Nord.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après :

	Surface (km ²)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)				Débit de fréquence centennale (m ³ /s)			
		Calcul				Calcul			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Bangou au droit de la RT 1	17,4	128	201	328/365	260	248	379	551/664	454
Tamoã au droit de la RT 1	27,0	345	279	457/509	363	666	528	768/926	633

- Les résultats obtenus pour le bassin versant du Bangou sont très hétérogènes.
- Pour le bassin versant de la Tamoã, les valeurs obtenues apparaissent relativement homogènes pour les calculs 1 et 4 et dans une moindre mesure pour le calcul 2.

En corollaire, le calcul 3 fournit des valeurs de débit apparaissant comme majorantes en regard des autres résultats de calculs.

- Par ailleurs, l'utilisation de la méthode de transposition, si elle apparaît délicate pour le bassin versant du Bangou, semble en revanche adaptée pour le bassin versant de la Tamoã compte tenu de son application à des rivières dont les bassins versants présentent des caractéristiques morphométriques similaires (superficies comparables et zone globalement montagneuse dans les deux cas).
- Compte tenu des remarques précédentes, nous retiendrons donc pour ce secteur d'étude les ordres de grandeurs suivants (le débit de fréquence quinquennale a été évalué à partir du débit de fréquence décennale par application d'un ratio égal à 0,74) :

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)	Débit spécifique de fréquence centennale (m ³ /s/km ²)
Bangou au droit de la RT 1	110 à 185	150 à 250	250 à 400	14 à 23
Tamoã au droit de la RT 1	220 à 260	300 à 350	550 à 650	20 à 24

- Notons que pour une crue de fréquence centennale, le rapport $\frac{Q_{100}}{S^{0,75}}$ varie pour ces deux bassins versants respectivement entre 29 et 47 et entre 46 et 55. Ces résultats apparaissent donc cohérents avec les valeurs des courbes enveloppes établies par la DAVAR (à titre de rappel, 55 pour la côte Ouest).
- Par ailleurs, en termes de débit spécifique de fréquence centennale, les intervalles obtenus sont similaires aux résultats obtenus sur le secteur de Païta et fournissent une valeur moyenne de l'ordre de 20 m³/s/km².

4.3.4.4 Secteur de Tontouta

Il comprend les bassins versants du Pebô et de la Kouembelia.

Quatre calculs ont été engagés sur ces deux bassins versants au droit de la RT 1 et du pont de la cité Martinet en regard de la localisation des postes et stations disponibles à proximité :

- calcul 1 : méthode rationnelle avec les coefficients interpolés entre les postes de Tontouta et du Mont Mou selon la part de bassin versant localisée en zone montagneuse (pour la Kouembelia, les coefficients utilisés sont ceux du poste de Tontouta seul);
- calcul 2 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de la Couvelée ;
- calcul 3 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Est ;
- calcul 4 : méthode de transposition à partir des données de la station hydrométrique de Dumbea Nord.

	Surface (km ²)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)				Débit de fréquence centennale (m ³ /s)			
		Calcul				Calcul			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Pebô au droit de la RT 1	5,2	64	81	132/148	105	137	153	223/268	184
Kouembelia au droit du pont de la cité Martinet	3,3	31	58	94/105	75	67	109	158/191	131

- Les valeurs obtenues apparaissent encore une fois ici très hétérogènes.
- Cependant, la méthode de transposition est en théorie peu adaptée compte tenu de la très forte hétérogénéité entre les bassins versants comparés ($S_{BV \text{ réf}} = 32 \text{ à } 56 \text{ km}^2$ tandis que $S_{Pebô} = 5,2 \text{ km}^2$ et $S_{Kouembelia} = 3,3 \text{ km}^2$).

Remarque :

Des débits de crue ont déjà été calculés sur le Pebô et la Kouembelia au cours d'une étude antérieure⁵ ($Q_{10 \text{ Kouembelia}} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{10 \text{ Pebô}} = 43 \text{ m}^3/\text{s}$).

Ces résultats sont très en-deçà de ceux présentés précédemment, même de ceux obtenus par l'application de la méthode rationnelle.

⁵ Délimitation de la zone inondable dans l'enceinte de l'aéroport de Tontouta - HYDREX - 1997.

- Compte tenu des remarques précédentes, nous retiendrons donc pour ce secteur d'étude les ordres de grandeur suivants :

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)	Débit spécifique de fréquence centennale (m ³ /s/km ²)
Pebô au droit de la RT 1	≈ 48 m ³ /s	≈ 65 m ³ /s	≈ 135 m ³ /s	26
Kouembelia au droit du pont de la cité Martinet	≈ 22 m ³ /s	≈ 30 m ³ /s	≈ 65 m ³ /s	20

- Notons que pour une crue de fréquence centennale, le rapport $\frac{Q_{100}}{S^{0,75}}$ est égal pour ces deux bassins versants respectivement à 27 et 41. Ces résultats, bien que légèrement inférieurs aux valeurs des courbes enveloppes établies par le DAVAR pour la côte Ouest, restent globalement cohérents avec cette analyse. Comme explicité précédemment, cet écart peut provenir du fait que l'ajustement réalisé ne s'appuie pas sur un échantillon important de bassins versants de faible superficie.
- Par ailleurs, en termes de débit spécifique de fréquence centennale, les valeurs obtenues pour les bassins versants du Pebô et de Kouembelia sont comparables à celles présentées précédemment.

4.3.4.5 Bilan

En synthèse, nous retiendrons qu'il est difficile d'approcher de façon précise les débits associés à des événements de fréquence décennale et centennale compte tenu :

- de l'hétérogénéité des résultats obtenus en fonction de la méthode appliquée ;
- des incertitudes associées à la détermination de paramètres comme le coefficient de ruissellement ou le temps de concentration.

Ainsi, les débits retenus sont fournis sous forme d'ordres de grandeur ou d'intervalle et feront l'objet d'une analyse de sensibilité en phase de modélisation. En fonction de ses résultats, une valeur de référence sera définie (en connaissance de cause) de façon à pouvoir élaborer ultérieurement les cartes de hauteurs d'eau, de vitesses puis d'aléas.

4.4. DÉBITS DE CRUE HISTORIQUES

4.4.1. Généralités et méthodologie

Pour exploiter les laisses de crue relevées sur l'ensemble de la zone d'étude, il est nécessaire de déterminer les débits de pointe associés aux événements pluviométriques correspondants.

Sur la zone d'étude, les informations que nous avons collectées sont relatives à plusieurs épisodes :

- rivière Ondémia : 13 janvier 1988 (cyclone Anne), 27 mars 1996 (cyclone Béti) et 14 mars 2003 (cyclone Erica) ;
- rivières Carignan et Karikoué : 13 janvier 1988 (cyclone Anne) et 14 mars 2003 (cyclone Erica) ;
- rivières Pébô et Kouembelia : 14 mars 2003 (cyclone Erica) ;

- rivière Katiramona : 1965, 13 janvier 1988 (cyclone Anne), 29 février 2000 (dépression) et 14 mars 2003 (cyclone Erica) ;
- rivière Tamoia : 27 mars 1996 (cyclone Bédi), 29 février 2000 (dépression) et 14 mars 2003 (cyclone Erica).

La méthodologie mise en œuvre s'appuie pour chaque épisode historique (excepté pour l'épisode de 1965, totalement inconnu en termes de pluviométrie et sur lequel il n'est par conséquent pas possible de déterminer de débit de crue) sur l'exploitation des hyétogrammes relevés à chaque poste pluviométrique disposant d'un pas d'acquisition court. Cette exploitation consiste à évaluer les cumuls pluviométriques maximaux s'étant abattus au droit de ces différents postes en une durée correspondant au temps de concentration du bassin versant étudié (calculé au droit d'un point caractéristique, généralement la RT1).

Par suite, les intensités de pluie maximale peuvent être calculées et donc les débits de crue attendus au droit de ce point pour chaque poste pluviométrique exploité (par application de la méthode rationnelle).

L'application de la formule de transposition permet alors d'approcher la valeur du débit de la crue en n'importe quel point du bassin versant au droit duquel la superficie drainée est connue.

Les différentes intensités pluviométriques et débits calculés pour ces épisodes sont précisés ci-après secteur par secteur, sachant que le débit définitif associé à chaque épisode ne sera retenu que lors de la phase de calage des modèles qui sera ultérieurement réalisée (en fonction des éventuels écarts obtenus entre les niveaux d'eau calculés et les repères de crue relevés).

4.4.2. Données disponibles

- L'épisode de 1965 mis à part, les débits de crue de quatre événements majeurs ont été reconstitués (13 janvier 1988, 27 mars 1996, 29 février 2000 et 14 mars 2003).

Pour l'analyse du 1^{er} épisode (13 janvier 1988), nous disposons des hyétogrammes mesurés aux postes suivants (cf. figure 1) :

- postes DAVAR du Mont Mou, de Canon et Dumbea Nord ;
- poste Météo France de Tontouta.

Pour le second épisode (27 mars 1996), nous disposons des hyétogrammes relevés aux postes suivants :

- postes DAVAR de Ouinne 1 et du Mont Mou ;
- poste Météo France de Tontouta.

Enfin pour les deux derniers épisodes (29 février 2000 et 14 mars 2003), nous disposons en plus des hyétogrammes explicités précédemment pour l'événement de 1996 de celui mesuré au poste DAVAR de Dumbea Nord.

- En préalable, nous explicitons ci-après les pluviométries journalières relevées le 13 janvier 1988, le 27 mars 1996, le 29 février 2000 et le 14 mars 2003 aux postes pluviométriques disponibles à proximité du secteur d'étude et rappelons en outre les pluviométries journalières décennales et centennales évaluées précédemment :

	Poste de Tontouta	Poste de Tamoà	Poste de Port Laguerre	Poste du Mont Mou	Poste de Païta
Pluviométrie journalière du 13 janvier 1988 (mm)	166,2	-	208,3	521,7	307,5
Pluviométrie journalière du 27 mars 1996 (mm)	158	185	110	282,5	171
Pluviométrie journalière du 29 février 2000 (mm)	46,8	76	92,4	99,5	78
Pluviométrie journalière du 14 mars 2003 (mm)	86,2	88	< 50	181,0	125
Pluviométrie journalière décennale (mm)	165	180	165	300	190
Pluviométrie journalière centennale (mm)	265	270	240	510	310

- En terme de pluviométrie journalière, la période de retour associée à l'événement de 1988 est globalement entre 10 et 100 ans, voire plutôt de l'ordre de 100 ans sur Païta. Pour l'épisode de 1996, elle est proche de 10 ans et pour les épisodes de 2000 et 2003, inférieure à 10 ans.
- Compte tenu de cette remarque, l'analyse a été menée par la suite et pour les événements de 1996, 2000 et 2003 à partir du coefficient de ruissellement décennal et du temps de concentration du bassin versant évalué sur la base de ce même coefficient de ruissellement. Pour l'événement de 1988, nous avons plutôt retenu les valeurs centennales.

Ce choix pour les événements de 2000 et 2003 s'inscrit dans le sens de la sécurité, ces épisodes ayant une période de retour probablement inférieure à 10 ans et aboutira à une légère surestimation des débits calculés.

4.4.3. Ondémia

Les événements étudiés ici sont les cyclones Anne (1988) et Erica (2003). Le temps de concentration pris en compte pour l'évaluation des cumuls pluviométriques ainsi que le coefficient de ruissellement considéré pour le calcul du débit correspondant sont, selon l'hypothèse détaillée précédemment, les suivants :

	Événement de 1988	Événements de 2003
Temps de concentration au droit de la RT1 (min)	60	68
Coefficient de ruissellement	1	0,7

Les résultats, au droit de la RT1, sont détaillés ci-après pour chaque épisode. Comme précisé précédemment, l'intensité pluviométrique de chaque événement a été évaluée grâce à l'exploitation des hyétogrammes mesurés et le débit correspondant a ensuite été calculé par application de la formule rationnelle.

↳ Episode du 13 janvier 1988

	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Mont Mou	62,9	62,9	68
Canon	107,3	107,3	116
Dumbea Nord	87,4	87,4	95
Tontouta	35,8	35,8	39

↳ Episode du 14 mars 2003

	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Ouinne 1	78,9	69,6	53
Mont Mou	39,9	35,2	27
Tontouta	38,5	33,9	26
Dumbea Nord	68,9	60,8	46

Les postes de Canon, Ouinne 1 et de Tontouta sont géographiquement très éloignés du site d'étude et ne paraissent par conséquent pas être les postes les plus représentatifs de la pluviométrie s'abattant sur le secteur d'Ondémia. Ils ne seront donc pas considérés pour l'évaluation des débits de crue sur ce secteur (aussi bien pour l'événement de 1988 que celui de 2003).

Le poste de Dumbea Nord, plus proche géographiquement que les trois précédents (mais encore relativement éloigné du site d'étude), peut être considéré comme relativement représentatif de la pluviométrie du secteur d'Ondémia.

Enfin, le poste du Mont Mou paraît être le poste le plus adapté à l'analyse. Bien qu'il se trouve en altitude, sa localisation, en tête du bassin versant d'Ondémia, permet de lui assurer une très bonne représentativité de la pluviométrie du secteur et par suite des débits de crue générés sur le bassin versant.

Ainsi, nous considérerons, dans l'optique de retenir une fourchette de débits associés aux événements de 1988 et 2003, les valeurs fournies par l'analyse des hyétoigrammes mesurés aux postes de Dumbea Nord et surtout du Mont Mou.

Par ailleurs, compte tenu des remarques précédentes sur la période de retour pouvant être associée à la pluviométrie journalière relative à ces deux événements, **nous retiendrons finalement en première approche les fourchettes de débits, au droit de la RT1, suivants:**

- 70 à 90 m³/s pour la crue de 1988 ;
- 30 à 40 m³/s pour la crue de 2003.

Notons à ce stade que la fourchette de débits retenue pour la crue de 1988 s'étend majoritairement au dessus du débit de fréquence centennale.

4.4.4. Carignan - Karikouïé

Les événements étudiés ici sont les cyclones Anne (1988) et Erica (2003). Les temps de concentration pris en compte pour l'évaluation des cumuls pluviométriques ainsi que les coefficients de ruissellement considérés pour le calcul du débit correspondant sont les suivants :

↳ Carignan

	Evénement de 1988	Evénement de 2003
Temps de concentration au droit de la confluence avec la Karikouïé	87	96
Coefficient de ruissellement	0,81	0,61

↳ Karikouïé

	Evénement de 1988	Evénement de 2003
Temps de concentration en amont de la confluence avec le Carignan	102	112
Temps de concentration en aval de la confluence avec le Carignan	128	141
Coefficient de ruissellement de la Karikouïé en amont de la confluence avec le Carignan	0,86	0,66
Coefficient de ruissellement de la Karikouïé en aval de la confluence avec le Carignan	0,84	0,64

Les résultats sont détaillés ci-après pour chaque épisode :

↳ Épisode du 13 janvier 1988

CARIGNAN	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en amont de la confluence avec la Karikouïé (m³/s)
Mont Mou	86,5	59,6	333
Canon	152,9	105,4	589
Dumbea Nord	121,2	83,6	467
Tontouta	52,0	35,9	201

KARIKOUÏE AMONT	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en amont de la confluence avec le Carignan (m³/s)
Mont Mou	99,5	58,5	405
Canon	166,6	98,0	678
Dumbea Nord	140,1	82,4	570
Tontouta	58,4	34,4	238

KARIKOUIE AVAL	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en aval de la confluence avec le Carignan (m³/s)
Mont Mou	122,2	57,3	717
Canon	214,4	100,5	1 257
Dumbea Nord	175,6	82,3	1 030
Tontouta	71,6	33,6	420

↳ Épisode du 14 mars 2003

CARIGNAN	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en amont de la confluence avec la Karikouie (m³/s)
Ouinne 1	103,7	64,8	273
Mont Mou	54,4	34,0	143
Tontouta	49,8	31,1	131
Dumbea Nord	86,1	53,8	227

KARIKOUIE AMONT	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en amont de la confluence avec le Carignan (m³/s)
Ouinne 1	116,1	62,2	330
Mont Mou	62,3	33,4	177
Tontouta	55,8	29,9	159
Dumbea Nord	94,2	50,5	268

KARIKOUIE AVAL	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue en aval de la confluence avec le Carignan (m³/s)
Ouinne 1	128,6	54,8	522
Mont Mou	70,4	30,0	286
Tontouta	70,7	30,1	287
Dumbea Nord	102,3	43,6	415

L'analyse de la pertinence et de la représentativité des postes pluviométriques cités ci-dessus est la même que pour le secteur d'Ondémia.

Ainsi, nous considérerons, dans l'optique de retenir une fourchette de débits associés aux événements de 1988 et 2003, les valeurs fournies par l'analyse des hyétogrammes mesurés aux postes de Dumbea Nord et surtout du Mont Mou.

Par ailleurs, compte tenu des remarques précédentes sur la période de retour pouvant être associée à la pluviométrie journalière relative à ces deux événements, **nous retiendrons en première approche les fourchettes de débits suivants :**

	Superficie du bassin versant (km ²)	Episode du 13 janvier 1988	Episode du 14 mars 2003
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouie	24,9	350-500	150-230
Karikouie en amont de la confluence avec le Carignan	29,0	400-600	180-270
Karikouie en aval de la confluence avec le Carignan	53,8	750-1050	290-420

4.4.5. Pébô et Kouembélia

Les événements étudiés ici sont les cyclones Anne (1988) et Erica (2003). Le temps de concentration pris en compte pour l'évaluation des cumuls pluviométriques ainsi que le coefficient de ruissellement considéré pour le calcul du débit correspondant sont, selon l'hypothèse détaillée précédemment, les suivants :

↳ Pébô

PEBO	Événement de 1988	Événement de 2003
Temps de concentration au droit de la RT1 (min)	44	49
Coefficient de ruissellement	1	0,7

↳ Kouembelia

KOUEMBELIA	Événement de 1988	Événement de 2003
Temps de concentration en aval immédiat du pont Martinet (min)	51	58
Coefficient de ruissellement	1	0,7

AFFLUENT KOUEMBELIA AU PONT MARTINET	Événement de 1988	Événement de 2003
Temps de concentration au pont Martinet (min)	34	38
Coefficient de ruissellement	1	0,7

Les débits obtenus sont détaillés ci-après pour chaque épisode. Comme précisé précédemment, l'intensité pluviométrique de chaque événement a été évaluée grâce à l'exploitation des hyétogrammes mesurés sur différents postes pluviométriques et le débit correspondant a ensuite été calculé par application de la formule rationnelle.

↳ Épisode du 13 janvier 1988

PEBO	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Dumbea	63,1	86,1	124
Canon	80,5	109,7	158
Mont Mou	48,3	65,8	95
Tontouta	29,4	40,1	58

KOUEMBELIA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue à l'aval immédiat du pont Martinet (m ³ /s)
Dumbea	73,7	86,7	79
Canon	92,2	108,5	99
Mont Mou	54,7	64,4	59
Tontouta	33	38,8	36

AFFLUENT KOUEMBELIA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au pont Martinet (m ³ /s)
Dumbea	49,2	86,8	18
Canon	63,7	112,4	23
Mont Mou	37,8	66,7	14
Tontouta	23	40,6	8

↳ Épisode du 14 mars 2003

PEBO	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Dumbea	53,6	65,6	66
Ouinne	57,9	70,9	72
Mont Mou	30,4	37,2	38
Tontouta	29,7	36,4	37

KOUEMBELIA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue à l'aval immédiat du pont Martinet (m ³ /s)
Dumbea	60,8	62,9	40
Ouinne	67,8	70,1	45
Mont Mou	34,6	35,8	23
Tontouta	34,0	35,2	23

AFFLUENT KOUEMBELIA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au pont Martinet (m ³ /s)
Dumbea	42,5	67,0	10
Ouinne	48,0	75,8	11
Mont Mou	25,0	39,4	6
Tontouta	25,8	40,7	6

Le poste de Tontouta est situé à proximité immédiate du secteur d'étude et à basse altitude (36 m NGNC). Les autres postes (Ouinne, Dumbea, Mont Mou et Canon) sont géographiquement relativement éloignés et ne paraissent par conséquent pas très représentatifs de la pluviométrie s'abattant sur les bassins versants de Pébô et de la Kouembelia.

Le poste de Tontouta semble donc le plus adapté à l'analyse. Pour le cyclone Anne, on remarque toutefois que les valeurs observées à Tontouta sont très largement inférieures à celles observées aux autres postes. Cet écart peut s'expliquer par la faible altitude du poste de Tontouta mais également par la nature du hyétogramme exploité (correspondant à un enregistrement papier dont l'échelle de mesure est incertaine) ou encore par l'hétérogénéité spatiale de la pluie.

L'observation des données sur d'autres événements (Beti, Erica où les données du poste de Tontouta paraissent plus certaines car non issues d'un enregistrement papier) montre que les cumuls de pluie sur les temps de concentration des bassins versants sont tout à fait similaires à ceux du Mont Mou.

Ainsi, nous considérerons, dans l'optique de retenir une fourchette de débits associés aux événements de 1988 et 2003, les valeurs fournies par l'analyse des hyétogrammes mesurés aux postes de Tontouta et du Mont Mou.

Par ailleurs, compte tenu des remarques précédentes sur la période de retour pouvant être associée à la pluviométrie journalière relative à ces deux événements, **nous retiendrons finalement en première approche les fourchettes de débits suivantes :**

	Superficie du bassin versant (km ²)	Episode du 13 janvier 1988	Episode du 14 mars 2003
Pébô au droit de la RT1	5,2	55-95	35-40
Kouembelia à l'aval immédiat du pont Martinet	3,3	35-60	20-25
Affluent de la Kouembelia au pont Martinet	0,75	8-15	5-10

4.4.6. Katiramona

Les événements étudiés ici sont les cyclones Anne (1988) et Erica (2003). Pour la dépression de février 2000, seules deux laisses de crue ont pu être collectées, et les niveaux correspondants apparaissent inférieurs à ceux de 1988 et 2003. Le débit de cette crue n'a donc pas été évalué, un calage sur la base de cet événement n'apparaissant pas réalisable avec précision. Les temps de concentration pris en compte pour l'évaluation des cumuls pluviométriques ainsi que le coefficient de ruissellement considéré pour le calcul du débit correspondant sont les suivants :

	Evénement de 1988	Evénement de 2003
Temps de concentration au droit de la Savexpress (min)	111	123
Coefficient de ruissellement	0,79	0,59

Les résultats sont détaillés ci-après pour chaque épisode :

↳ Épisode du 13 janvier 1988

	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la Savexpress (m ³ /s)
Mont Mou	107,5	58,1	174
Canon	189,3	102,3	307
Dumbea Nord	152,1	82,2	246
Tontouta	265	143	209

↳ Épisode du 14 mars 2003

	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la Savexpress (m ³ /s)
Quinne 1	126,5	61,7	138
Mont Mou	68,7	33,5	75
Tontouta	58,6	28,6	64
Dumbea Nord	101,1	49,3	110

L'analyse de la pertinence et de la représentativité des postes pluviométriques cités ci-dessus est semblable à celle faite pour le secteur d'Ondémia.

Ainsi, nous considérerons, dans l'optique de retenir une fourchette de débits associés aux événements de 1988 et 2003, les valeurs fournies par l'analyse des hyétogrammes mesurés aux postes de Dumbea Nord et du Mont Mou.

Par ailleurs, compte tenu des remarques précédentes sur la période de retour pouvant être associée à la pluviométrie journalière relative à ces deux événements, **nous retiendrons en première approche les fourchettes de débits suivants :**

	Superficie du bassin versant (km ²)	Episode du 13 janvier 1988	Episode du 14 mars 2003
Katiramona au droit de la Savexpress	13,7	175-250	75-110

4.4.7. Tamoia

Les événements étudiés ici sont les cyclones Anne (1988) et Erica (2003). Les temps de concentration pris en compte pour l'évaluation des cumuls pluviométriques ainsi que le coefficient de ruissellement considéré pour le calcul du débit correspondant sont les suivants :

↳ Bangou

	Événement de 1988	Événement de 2003
Temps de concentration au droit de la RT1 (min)	86	95
Coefficient de ruissellement	0,78	0,58

↳ Tamoa

	Événement de 1988	Événement de 2003
Temps de concentration au droit de la RT1 (min)	88	96
Coefficient de ruissellement	0,92	0,72

Les résultats sont détaillés ci-après pour chaque épisode :

↳ Épisode du 13 janvier 1988

BANGOU	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Mont Mou	85,6	59,7	228
Canon	151,4	105,6	403
Dumbea Nord	120,0	83,7	319
Tontouta	50,3	35,1	134

TAMOA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Mont Mou	86,4	58,9	407
Canon	152,8	104,2	720
Dumbea Nord	121,3	82,7	571
Tontouta	51,5	35,1	242

↳ Épisode du 14 mars 2003

BANGOU	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Ouinne 1	107,4	67,6	192
Mont Mou	54,2	34,2	97
Tontouta	49,4	31,4	89
Dumbea Nord	89,3	56,6	161

TAMOA	Cumul pluviométrique (mm)	Intensité de pluie (mm/h)	Débit de crue au droit de la RT1 (m ³ /s)
Ouinne 1	107,5	67,2	363
Mont Mou	54,7	34,2	185
Tontouta	49,9	31,3	169
Dumbea Nord	89,3	56,0	303

Les postes pluviométriques de Canon, Dumbea Nord et Ouinne sont relativement éloignés du secteur d'étude et ne peuvent par conséquent pas être considérés comme représentatifs de la pluviométrie s'étant abattue sur les bassins versants de la Tamoa et de Bangou.

Les postes du Mont Mou et de Tontouta paraissent, en regard de leur localisation et de leur altimétrie (respectivement 900 et 36 m NGNC), mieux cerner la pluviométrie locale.

Pour l'événement de 2003, les résultats obtenus en termes de débits sont d'ailleurs quasiment identiques pour ces deux postes.

Pour l'événement de 1988, les résultats obtenus en termes de débits, à partir des données pluviométriques mesurées à ces deux postes, sont plus hétérogènes mais fournissent probablement une enveloppe maximale dans laquelle doit s'inscrire le débit réel associé à cet événement.

Ainsi, nous retiendrons en première approche les fourchettes de débits suivants fournies par l'analyse des hyétogrammes mesurés aux postes du Mont Mou et de Tontouta :

	Superficie du bassin versant (km ²)	Episode du 13 janvier 1988	Episode du 14 mars 2003
Bangou au droit de la RT1	17,4	135-230	90-100
Tamoa au droit de la RT1	27,0	240-400	170-185

5. ANALYSE HYDRAULIQUE

Cette partie présente la méthodologie mise en œuvre et les résultats obtenus secteur par secteur.

5.1. MÉTHODOLOGIE

Il s'agit ici, non pas de mettre en œuvre des modélisations fines des écoulements mais plutôt d'élaborer des outils de calcul permettant d'avoir une quantification approchée des écoulements (notamment en termes de niveaux, charges et vitesses).

En regard des objectifs poursuivis, il était en effet inutile de s'engager dans une représentation très détaillée des écoulements, qui aurait nécessité par ailleurs des acquisitions topographiques très lourdes et aurait conduit à une précision des résultats en inadéquation avec celle obtenue sur l'hydrologie.

La méthodologie de calcul proposée est présentée ci-dessous et adaptée à la morphologie locale de chaque secteur. Elle repose sur l'exploitation du régime permanent (débit constant) de modélisations hydrauliques simplifiées.

Nous noterons dès à présent que la méthodologie employée ne permet pas d'avoir une très grande précision sur les grandeurs obtenues (niveaux et surtout vitesses moyennes d'écoulement), mais reste en accord avec l'objectif recherché.

L'ordre de grandeur de l'erreur est difficilement appréciable car relatif à différents paramètres (incertitudes liées notamment à la précision des fonds de plan topographiques ainsi qu'à l'hydrologie qui s'appuie sur des postes pluviométriques dont la représentativité de la pluviométrie locale est approximative).

Des tests de sensibilités à différents paramètres, tels que les coefficients de rugosité, le débit, ou encore la condition limite aval ont toutefois été réalisés.

Notons qu'en terme d'hypothèse une surcote marine exceptionnelle de 1,10 m NGNC (respectivement 1,40 m NGNC) a été appliquée à l'aval pour les périodes de retour de 5 et 10 ans (respectivement 100 ans). Ces conditions aval ont été retenues par le comité de pilotage de l'étude.

5.1.1. Modélisations hydrauliques simplifiées

Les secteurs étudiés étant caractérisés par un **lit marqué donnant lieu à des débordements francs, des modélisations hydrauliques** unidimensionnelles **simplifiées** (à l'aide du logiciel HEC-RAS développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine) ont été mises en œuvre.

↳ Construction des modèles locaux

Les modèles ont été construits sur la base de la topographie existante (fond de plan au 1/2000^{ème}, au 1/10000^{ème} et plans de récolement collectés), des profils en travers du lit mineur et du lit majeur levés dans le cadre de l'étude et représentatifs de tronçons homogènes de cours d'eau ainsi que du levé des ouvrages de franchissement.

↳ Calage et exploitation des modèles

Sur la base des informations recueillies sur les niveaux atteints lors des crues antérieures, un profil en long des crues historiques a été réalisé.

Les modèles ont alors été calés sur ces niveaux de crue par ajustement des coefficients de rugosité (estimés à partir des enquêtes de terrain) et des débits évalués dans l'analyse hydrologique.

Les modèles ont ensuite été exploités en régime permanent pour les crues caractéristiques de période de retour 5, 10 et 100 ans et ont permis de préciser, en chaque profil de calcul :

- le niveau d'écoulement ;
- la charge ;
- la vitesse moyenne en lit mineur, en rive gauche et en rive droite ;
- la répartition des débits entre lits mineur et majeur, etc.

Précisons que le débit de fréquence quinquennale a été évalué à partir du débit de fréquence décennale (issu de l'analyse hydrologique) par application d'un coefficient multiplicateur classique en Nouvelle-Calédonie de 0,75.

Les pertes de charge au niveau des ouvrages hydrauliques ont été directement calculées dans le modèle hydraulique. Une interface permet en effet, dans HECRAS, de renseigner les différents paramètres géométriques et les caractéristiques du pont (forme des piles, dimension et position du remblai, dimension du tablier....). Il est possible de sélectionner l'une ou l'autre des méthodes de calcul à employer (parmi 4 méthodes : l'équation d'énergie, l'équation de la quantité de mouvement, l'équation de Yarnell, la méthode FHWA WSPRO) ou même d'en choisir plusieurs. Dans ce dernier cas, HECRAS choisira la réponse pour laquelle la perte de charge est maximale.

Les méthodes énergétiques et de la quantité de mouvement prennent en compte les pertes de charge et les changements de géométrie au niveau du pont. La méthode énergétique modélise mieux les pertes supplémentaires dues aux changements d'écoulement ainsi que la turbulence grâce à la prise en compte de coefficients de contraction et d'expansion ; la méthode des moments prend en compte de façon plus précise les pertes de charge dues aux piles. La méthode FHWA WSPRO a été d'abord développée pour des ouvrages de franchissement d'écoulements larges avec un lit majeur très encombré. L'équation de Yarnell est une formule empirique qui s'applique uniquement pour certains modèles.

Dans notre cas, nous avons privilégié la méthode énergétique, méthode la plus adaptée aux caractéristiques des ouvrages et écoulements en présence.

5.1.2. Rendus cartographiques

↳ Carte des zones inondables

A l'issue de l'analyse hydraulique, des cartographies de l'emprise des zones inondables ont été élaborées à partir de la topographie existante et levée pour l'étude, sur chaque secteur étudié et pour la période de retour 100 ans. Sur les cartographies figurent également l'emprise issue de l'analyse hydrogéomorphologique précédemment réalisée et les niveaux atteints sous forme d'isocotes. Cette dernière information permet de faciliter l'exploitation des résultats de l'étude.

Sur les zones très pentues les plus amont, situées dans l'emprise hydrogéomorphologique mais dépourvues d'enjeux et où aucune information précise n'est disponible (topographie, laisses de crue), l'emprise inondable a été appréciée essentiellement à partir des observations de terrain. L'absence d'information et la forte pente de ces secteurs ne nous a toutefois pas permis de déterminer les isocotes, ou alors avec une grande imprécision.

↳ Carte des hauteurs d'eau en crue centennale

Pour la crue centennale, une carte des hauteurs d'eau a été établie sur les différents secteurs (la précision des cartographies dépendant bien évidemment de la précision de la topographie utilisée), avec indication des zones de vitesse d'écoulement forte à très forte ($V > 1\text{m/s}$) ou faible à modérée ($V < 1\text{m/s}$) permettant ainsi de cerner les contraintes hydrauliques (hauteurs – vitesses) au droit des zones étudiées.

Les tranches de hauteurs d'eau représentées sont :

- hauteur d'eau inférieure à 0,5 m ;
- hauteur d'eau comprise entre 0,5 et 1 m ;
- hauteur d'eau comprise entre 1 et 1,5 m ;
- hauteur d'eau supérieure à 1,5 m.

Compte tenu de la topographie disponible, l'élaboration des cartes de hauteurs d'eau avec un pas de 0,5 m s'est révélée délicate. Ces plans sont donc à considérer avec précaution.

En cas de doute, il conviendra par conséquent de plutôt considérer les valeurs des isocotes (qui sont plus fiables) et de réaliser, si besoin, des levés topographiques plus précis sur les secteurs concernés afin de tracer plus finement des cartes de hauteurs d'eau sur la base des isocotes.

↳ Carte des aléas

In fine, des cartes d'aléas ont été établies à partir de la grille suivante, fournie par la commune et croisant les paramètres hauteur d'eau et vitesse moyenne d'écoulement :

Hauteur \ Vitesse	Faible à modérée ($< 1\text{m/s}$)	Forte à très forte ($> 1\text{m/s}$)
$H \leq 0,5\text{ m}$	Moyen	Fort
$0,5\text{ m} < H \leq 1\text{ m}$	Moyen	Fort
$1\text{ m} < H \leq 1,5\text{ m}$	Fort	Très fort
$H \geq 1,5\text{ m}$	Très fort	Très fort

Une zone d'aléa faible a également été reportée, correspondant à la zone située entre l'emprise inondable de la crue centennale et l'enveloppe inondable issue des études précédentes⁶.

Une zone de protection des thalwegs et cours d'eau a également été tracée sur toute l'emprise hydrogéomorphologique à la demande de la DEPS ; elle correspond à une largeur de 6 m de part et d'autre des berges. Cette emprise n'est donnée qu'à titre indicatif. Dans tous les cas, les prescriptions des Plans d'Urbanisme Directeur (PUD) ainsi que la délibération 105 du 9 août 1968 réglementant le régime et la lutte contre la pollution des eaux en Nouvelle-Calédonie s'appliquent.

5.2. SECTEUR D'ONDÉMIA

Sur la rivière Ondémia et ses principaux affluents, la méthodologie s'appuie sur une modélisation hydraulique et comprend donc les étapes suivantes :

- construction du modèle ;
- calage du modèle ;
- tests de sensibilité ;
- exploitation du modèle.

5.2.1. Construction du modèle

Le modèle a été construit sur la base des profils en travers des lits mineur et majeur du cours d'eau (et de ses principaux affluents) et des caractéristiques des ouvrages levés pour l'étude ainsi que des fonds de plan au 1/2000^{ème} et au 1/10000^{ème}. L'ensemble des données topographiques disponibles est reporté sur le plan 2.

Remarque :

Compte tenu des travaux réguliers entrepris par la SAVEXPRESS sur son réseau routier, nous nous sommes rapprochés d'eux pour nous informer des éventuelles modifications d'infrastructure (profil routier, ouvrage) susceptibles d'affecter la zone d'étude à court et moyen terme.

Il s'avère que dans le cadre du doublement de la SAVEXPRESS sur la traversée de Païta :

- les deux ouvrages en présence sur le creek Ondémia (O7 et O8) seront prolongés à l'identique ;
- un ouvrage supplémentaire, constitué de trois travées de 5 m de largeur et de 2 m de hauteur, doit être créé.

L'allongement des deux ouvrages hydrauliques existants et la création du troisième ouvrage ont donc été intégrés au modèle, après la phase de calage, afin de s'assurer de sa bonne représentativité à très court terme.

Le modèle s'étend sur environ 4 km depuis la mer en aval (ou un profil fictif a été mis en œuvre pour l'application de la condition limite aval), comprend deux affluents sur l'amont du modèle (un sur chaque rive) et trois affluents rive gauche sur la partie aval du modèle (qui confluent avec la rivière Ondémia entre la RT1 et la SAVEXPRESS). Un schéma de principe du modèle est présenté sur le plan 2.

⁶ Cartes d'inondabilité potentielle sur la commune du Païta établies par la DAVAR – Carex Environnement/Ministère de l'Equipement/Hydrax – Juin 2003

Les coefficients de rugosité (Strickler) ont été appréciés sur la base des enquêtes de terrain et ajustés lors de la phase de calage. Les valeurs retenues sont en moyenne de 8 pour le lit majeur et de 17 pour le lit mineur.

A noter que des tests de sensibilité ont été effectués sur les coefficients de Strickler. Ces tests sont détaillés ultérieurement.

Des déversoirs latéraux ont été utilisés dans le modèle afin de bien représenter les transferts de débit s'effectuant entre le bras principal et un de ses affluents rive gauche (voir plus loin dans le paragraphe "Exploitation du modèle" l'explication de ce phénomène).

Enfin, nous noterons que pour les déversements sur les ouvrages, un coefficient de déversement (seuil) de 1,7 a été employé dans le modèle.

5.2.2. Calage du modèle

L'objectif de la phase de calage est de cerner, parmi la fourchette de débits retenue à l'issue de l'analyse hydrologique, le débit qui fournit la ligne d'eau la plus proche possible des laisses de crues disponibles.

Le modèle a été calé sur les crues de 1988 et 2003 pour lesquelles plusieurs laisses de crue ont été recensées.

Concernant le niveau d'eau imposé en aval du modèle pour ces deux événements, une recherche auprès du SHOM sur les niveaux maximaux de marée atteints le 13 janvier 1988 et le 14 mars 2003 a été effectuée :

Evénement	Cote aval (m NGNC)
Crue du 13 janvier 1988	0,55
Crue du 14 mars 2003	0,45

Plusieurs lignes d'eau ont donc été calculées par le modèle pour ces deux événements à partir des fourchettes de débits estimées précédemment et de ces conditions limites aval.

Les résultats de calage sont reportés sur les figures 12-1 et 12-2 sur lesquelles est également repérée la position des différents ouvrages hydrauliques (pont de la RT1, pont de la SAVEXPRESS), des profils topographiques levés ainsi que des laisses de crue collectées.

On constate au vu du graphique que les lignes d'eau calculées sont globalement proches des laisses de crue relevées.

Précisons que pour la crue de 2003, deux repères de crue localisés en amont de la RT1 se situent environ 30 cm au dessus de la ligne d'eau calculée. Cet écart, tout relatif, ne peut remettre en cause le calage pour cet événement, d'autant que ces repères sont plus hauts que certains repères de la crue de 1988, réputée plus forte.

Pour la crue de 1988, le calage est bon en amont de la RT1 et peut paraître plus approximatif en aval notamment en regard de 2 laisses de crue (4,97 m NGNC et 5,50 m NGNC). La première, recueillie par nos soins peut être considérée comme peu fiable car elle nous a été indiquée par un riverain éloigné et non par le propriétaire de l'habitation concernée. Quant à la seconde, recueillie par la DAVAR et qualifiée de « bonne », elle n'apparaît pas cohérente avec deux autres repères (3,6 et 6,20 m NGNC) sur lesquels la ligne d'eau calculée semble mieux collée pour le débit retenu. Cette laisse, bien plus haute, peut donc être la conséquence d'un phénomène local, non pris en compte dans le modèle, telle que la présence d'un obstacle aux écoulements (embâcle) entraînant un rehaussement ponctuel des niveaux d'eau en amont.

Cette explication est par ailleurs confirmée par le personnel de la DENV chargé de l'entretien du cours d'eau et amène une fois de plus à considérer avec précaution les cartes élaborées dans le cadre de cette étude qui représentent une crue de fréquence centennale dans un fonctionnement hydraulique dit « normal ». Or, pour ce même événement, des perturbations locales non prévisibles peuvent parfois générer localement des hauteurs d'eau supérieures à celles ici calculées.

Compte tenu de ces différentes remarques, on peut donc considérer que le calage du modèle est satisfaisant.

Les débits ayant permis d'aboutir à ce calage sont, au droit de la RT1 :

- 70 m³/s pour la crue de 1988 ;
- 35 m³/s pour la crue de 2003.

L'événement de 2003, sur le secteur d'Ondémia, peut donc être associé à une crue de fréquence décennale tandis que la crue de 1988 a quasiment atteint une fréquence centennale.

5.2.3. Test de sensibilité

Afin d'apprécier la sensibilité du modèle à différents paramètres, comme le coefficient de Strickler, le débit ou la condition limite aval, et ainsi de pouvoir juger de l'incidence du choix des hypothèses sur les résultats, nous avons réalisé différents tests pour la crue de fréquence centennale.

Ces tests ont consisté à engager plusieurs simulations en modifiant un par un ces paramètres puis à comparer les résultats obtenus (en termes de niveaux d'eau essentiellement et par suite d'emprise inondable) à ceux obtenus pour une crue de fréquence centennale n'intégrant pas le projet de doublement de la Savexpress.

Des profils en long sont présentés en figure 13-1 à 13-3 et permettent de visualiser les résultats de ces tests de sensibilité.

A noter que les tests effectués pour les coefficients de rugosité ne sont présentés que sur un tronçon du creek Ondémia. En effet, afin de pouvoir interpréter les résultats (rehaussement ou abaissement de la ligne d'eau), il est nécessaire de disposer d'un tronçon homogène en rugosité.

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des tests effectués et les principaux impacts observés :

	Coefficient de Strickler (lit majeur / lit mineur)	Débit au droit de la RT1	Niveau d'eau imposé en aval	Impact observé
Crue de fréquence centennale de référence	K = 8/17	Q = 75 m ³ /s	Z _{aval} = 1,4 m NGNC	
Test n°1 : modification du coefficient de Strickler	K = 10/20	Q = 75 m ³ /s	Z _{aval} = 1,4 m NGNC	• abaissement uniforme de la ligne d'eau de l'ordre de 15 cm • modification négligeable de l'emprise inondable correspondante
Test n°2 : modification du coefficient de Strickler	K = 6/15	Q = 75 m ³ /s	Z _{aval} = 1,4 m NGNC	• rehaussement relativement uniforme de la ligne d'eau de l'ordre de 10 cm • modification négligeable de l'emprise inondable correspondante
Test n°3 : modification du débit centennal de référence	K = 8/17	Q = 90 m ³ /s	Z _{aval} = 1,4 m NGNC	• rehaussement uniforme de la ligne d'eau en amont de la RT1 de l'ordre de 15 cm avec un maximum à +21 cm • rehaussement de 5 à 10 cm de la ligne d'eau entre la RT1 et la SAVEXPRESS • modification négligeable de l'emprise inondable correspondante
Test n°4 : abaissement du niveau d'eau imposé en aval	K = 8/17	Q = 75 m ³ /s	Z _{aval} = 1,0 m NGNC	• aucun impact en amont de la SAVEXPRESS
Test n°5 : rehaussement du niveau d'eau imposé en aval	K = 8/17	Q = 75 m ³ /s	Z _{aval} = 1,8 m NGNC	• aucun impact en amont de la SAVEXPRESS

En conclusion, seuls les choix du coefficient de Strickler et de la valeur du débit de fréquence centennale sont susceptibles d'avoir un impact sur les niveaux d'eau obtenus. Toutefois, il est à noter que pour les tests effectués, les abaissements ou rehaussements de lignes d'eau observés sont sans impact notable sur l'emprise inondable de la crue de fréquence centennale.

5.2.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes

Une fois ces tests de sensibilité effectués, le modèle a été exploité pour les crues de fréquence quinquennale, décennale et centennale à partir des hypothèses médianes en termes de condition limite aval (1,1 et 1,4 m NGNC selon la crue modélisée) et de coefficient de Strickler.

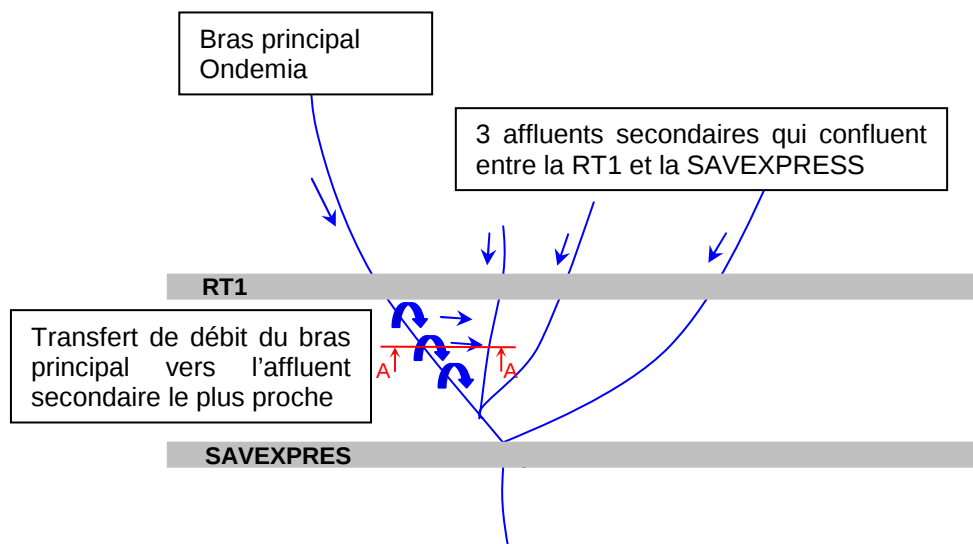
Les cotes d'écoulement quinquennales, décennales et centennales ainsi obtenues sont reportées sur le tableau 1 et un profil en long des lignes d'eau est présenté en figure 14-1 et 14-2. L'emprise inondable et les hauteurs d'eau associées à la crue de fréquence centennale sont représentées sur le plan 3 (l'emprise obtenue par la méthode hydrogéomorphologique issue des études antérieures a également été reportée).

- L'emprise inondable est assez réduite sur l'amont avec des hauteurs de submersion en lit majeur relativement faibles (inférieures à 50 cm).

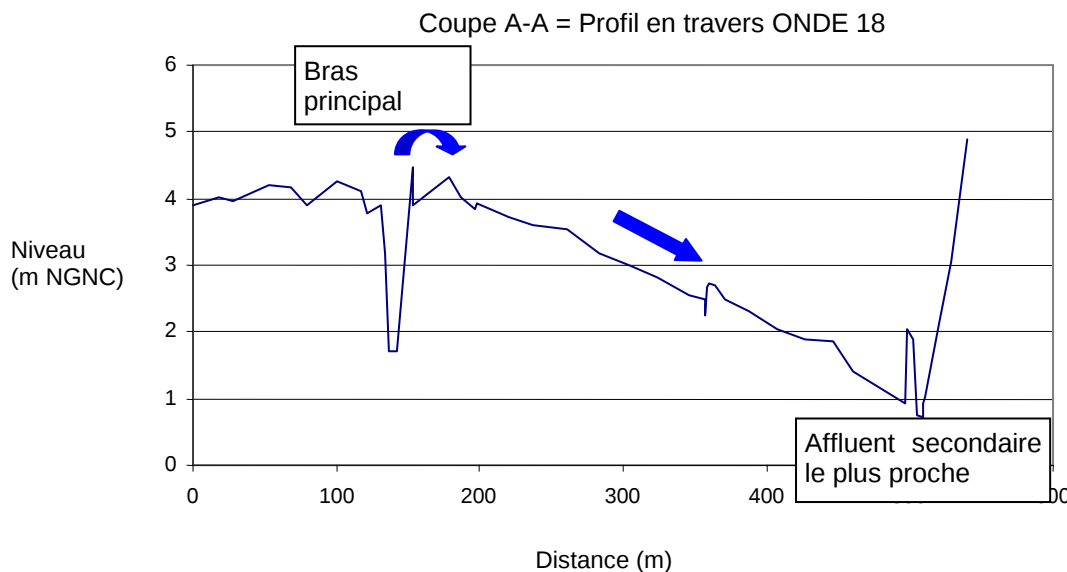
L'emprise inondable s'élargit en amont de la RT1 pour former un plan d'eau (la route étant en remblai). La lame d'eau déversante sur la route est inférieure à 50 cm.

En aval de la RT1 confluent le bras principal et trois affluents secondaires. On note un déversement important des écoulements du bras principal vers l'affluent secondaire le plus proche, altimétriquement plus bas.

Le schéma explicatif suivant illustre ce phénomène :



Le profil en travers suivant permet de visualiser pour sa part la différence de niveau entre le bras principal et l'affluent secondaire le plus proche.



L'inclinaison des isocotes tracées sur le plan 3 traduit ce transfert de débit important du bras principal vers l'affluent secondaire. Sur 80 m³/s transitant dans le bras principal en aval immédiat de la RT1, environ 55 m³/s vont se déverser vers cet affluent ; s'agissant d'un déversement, les lames d'eau en présence entre ces deux axes sont faibles (globalement inférieures à 50 cm).

- En termes de pertes de charge aux ouvrages, on notera outre une différence de niveaux d'eau de 50 cm sur le bras principal de part et d'autre de la RT1, un rehaussement au droit de la SAVEXPRESS de l'ordre de 1,20 m.

Ce rehaussement des niveaux d'eau lié à la SAVEXPRESS crée un plan d'eau en amont de celle-ci à la cote de 2,65 m NGNC, à l'origine de hauteurs de submersion supérieures à 2 m (n'affectant toutefois que très peu d'enjeux : deux habitations).

Précisons cependant que ces résultats s'entendent avec l'ouvrage supplémentaire créé sous la SAVEXPRESS dans le cadre de son doublement, ouvrage qui permet d'améliorer de façon notable les conditions d'inondation en amont de la route.

Sans la création de ce nouvel ouvrage, le plan d'eau se créant en amont de la route s'élèverait à la cote 3,40 m NGNC. En effet, s'il existe bien deux ouvrages sous la route, ceux-ci sont insuffisants puisqu'offrant une section utile d'écoulement de l'ordre de 27 m² pour un débit de fréquence centennale estimé à 113 m³/s au droit de la SAVEXPRESS.

- La carte d'aléa résultant du croisement hauteurs d'eau / vitesses moyennes d'écoulement est présentée sur le plan 4.

5.3. SECTEUR CARIGNAN/KARIKOUÏÉ/KATIRAMONA

Compte tenu des informations collectées au cours des reconnaissances de terrain quant au fonctionnement hydraulique local en crue, le Carignan et la Karikouïé ont été traités conjointement à la Katiramona. En effet des transferts de débits de la Karikouïé aval vers la Katiramona ont été observés, notamment en amont de la Savexpress, lors de l'événement de 1988.

La méthodologie s'appuie sur une modélisation hydraulique et comprend les étapes suivantes :

- construction du modèle ;
- calage du modèle ;
- exploitation du modèle.

5.3.1. Construction du modèle

Le modèle a été construit sur la base des profils en travers des lits mineur et majeur du cours d'eau (et de ses principaux affluents) et des caractéristiques des ouvrages levés pour l'étude ainsi que des fonds de plan au 1/2000^{ème} et au 1/10000^{ème}. L'ensemble des données topographiques disponibles est reporté sur les plans 6-1 et 6-2.

Remarque :

Compte tenu des travaux réguliers entrepris par la SAVEXPRESS sur son réseau routier, nous nous sommes rapprochés d'eux pour nous informer des éventuelles modifications d'infrastructure (profil routier, ouvrage) susceptibles d'affecter la zone d'étude à court et moyen terme.

Il s'avère que dans le cadre du doublement de la SAVEXPRESS sur la traversée de Païta, la quasi-totalité des ouvrages hydrauliques existants sera prolongée à l'identique, excepté l'ouvrage de la Karikouïé dont la section capable doit être augmentée d'environ 50 m² passant ainsi de 155 m² à 205 m²).

Par ailleurs, la création d'une voie de franchissement de la Savexpress est également envisagée au droit de l'échangeur des Fraisiers.

L'ensemble de ces aménagements (allongement des ouvrages, augmentation de la section d'écoulement de l'ouvrage de la Karikouïé et échangeur des Fraisiers) susceptibles d'impacter sur les conditions d'inondation du secteur ont été intégrés au modèle, après la phase de calage, afin de s'assurer de sa bonne représentativité à très court terme.

Le modèle s'étend depuis la mer en aval (ou des profils fictifs ont été mis en œuvre pour l'application de la condition limite aval) sur environ 9,5 km pour la Karikouïé et le Carignan et sur environ 6 km pour la Katiramona. Un schéma de principe du modèle est présenté sur les plans 6-1 et 6-2.

Trois affluents principaux du Carignan ont été modélisés (deux sont situés en rive droite, plutôt sur l'amont de la zone modélisée ; le troisième se localise en rive gauche, un peu en amont de la RT1).

Concernant la Karikouïé, trois affluents ont été représentés dans le modèle (dont deux en rive gauche).

Enfin, pour la Katiramona, le modèle intègre 4 affluents (deux en rive droite sur l'amont du creek et deux en rive gauche sur son extrémité aval).

Les coefficients de rugosité (Strickler) ont été appréciés sur la base des enquêtes de terrain et ajustés lors de la phase de calage. Les valeurs retenues varient en moyenne entre 6 et 12 pour le lit majeur et entre 14 et 22 pour le lit mineur.

Des déversoirs latéraux ont été intégrés au modèle afin de bien représenter les transferts de débit s'effectuant depuis la Karikouïé aval vers la Katiramona (aussi bien en amont qu'en aval de la SAVEXPRESS) ainsi que de la Katiramona vers un de ses affluents rive gauche (uniquement en amont de la SAVEXPRESS cette fois-ci).

Enfin, nous noterons que pour les déversements sur les ouvrages, un coefficient de déversement (seuil) de 1,7 a été employé dans le modèle.

5.3.2. Calage du modèle

Le modèle a été calé globalement sur la crue de 1988 et plus localement sur la crue de 2003, événements pour lesquels plusieurs laisses de crue ont été collectées.

Plusieurs lignes d'eau ont été reconstituées pour ces deux événements à partir des fourchettes de débits estimées précédemment.

Les résultats définitifs de calage sont reportés sur les figures 15-1 à 15-4, 16-1 à 16-3 et 17-1 à 17-3 sur lesquelles sont également repérées la position des différents ouvrages hydrauliques (notamment les ouvrages de la RT1 et de la SAVEXPRESS), des profils en travers levés, des laisses de crue collectées ainsi que, lorsque celle-ci est disponible, de la ligne d'eau de la crue de 1988 calculée par le cabinet Hydrex dans le cadre d'une étude hydraulique réalisée en 1992.

Les débits ayant permis d'aboutir à ce calage sont :

	Épisode du 13 janvier 1988	Épisode du 14 mars 2003
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	350	150
Karikouïé en amont de la confluence avec le Carignan	450	270
Karikouïé en aval de la confluence avec le Carignan	800	-
Katiramona au droit de la SAVEXPRESS	270	120

Sur la figure 15-1, qui couvre la Karikouïé en aval de sa confluence avec le Carignan ainsi que le Carignan en aval de la RT1, la ligne d'eau calculée pour l'événement de 1988 (cyclone Anne) passe dans le nuage de points des laisses de crue collectées et est très similaire à celle calculée dans l'étude Hydrex de 1992, en particulier en amont de la Savexpress. En aval de cette dernière, la ligne d'eau calculée diffère légèrement de celle établie en 1992 et est globalement 40 cm plus haute.

Sur la figure 15-2, qui couvre le Carignan depuis l'aval de la RT1 jusqu'à environ 2,6 km en amont, quatre repères de crue de l'événement de 1988 sont disponibles. La ligne d'eau calculée passe parfaitement dans trois de ces repères de crue. Seul celui localisé environ 80 m en amont de la RT1 est 40 cm en dessous de la ligne d'eau calculée. Toutefois, ce repère de crue nous a été fourni par un riverain qui n'était pas certain de l'événement correspondant (1988 ou 2003). Cet écart ne remet donc pas en cause le calage sur ce secteur et laisse supposer que le repère correspond plutôt à la crue de 2003 (cyclone Erica).

Sur la figure 15-3, qui couvre le Carignan sur 2,5 km jusqu'à sa confluence avec son principal affluent rive droite, aucun repère de crue n'a été recensé.

Sur la figure 15-4, qui couvre l'amont du Carignan, trois repères de crue ont été collectés : le premier correspond à la crue de 1988, le second à une crue non identifiée et le dernier à la crue de 2003. Les lignes de charge calculées pour les cyclones Anne et Erika passe parfaitement dans ces repères de crue. La localisation de ces repères (contre des murs) justifie le fait de considérer les lignes de charges, plutôt que les lignes d'eau. Par ailleurs, compte tenu des lignes d'eau et lignes de charges calculées, le repère non associé à un événement correspond probablement à la crue de 1988.

Sur la figure 16-1, qui couvre la Karikouï depuis 200 m en aval de la RT1 jusque 2,3 km en amont, nous remarquerons que deux des quatre repères de crue disponibles pour l'événement de 1988 apparaissent plus bas que la ligne d'eau calculée (qui passe en revanche parfaitement dans les deux autres repères). Le repère à 19,6 m NGNC correspond probablement plutôt à la crue de 2003 compte tenu des autres laisses de crue disponibles. Pour celui à 29,4 m NGNC, il s'agit soit d'une indication sous estimée (bien que le repère collecté par la DAVAR soit qualifié de bon) soit d'une erreur sur l'événement associé puisque la ligne d'eau calculée pour la crue de 2003 passe exactement par ce repère.

Sur les figures 16-2 et 16-3, qui couvrent l'amont de la Karikouï, peu de repères sont disponibles : trois en tout, dont deux (un de 2003 et un de 1988) valident les lignes d'eau et ligne de charge calculées. Seul le repère le plus amont relatif à la crue de 1988 et nivelé à la cote 75,10 m NGNC apparaît environ 75 cm plus bas que la ligne d'eau calculée. Ce repère, collecté par la DAVAR, et encore une fois qualifié de bon, correspond à une emprise inondable. Ce type d'indication est généralement moins précis qu'un niveau d'eau indiqué sur un mur ou autre élément structurant et peut ne pas correspondre au pic de la crue. Il peut également s'agir d'une mauvaise information sur l'événement associé puisque la ligne d'eau calculée pour la crue de 2003 passe par ce repère de crue.

Sur les figures 17-1, 17-2 et 17-3, qui couvrent la Katiramona, les repères de crue disponibles correspondent majoritairement à la crue de 1988. La ligne d'eau calculée pour cet événement passe dans la quasi-totalité de tous ces repères et est cohérente avec la ligne d'eau calculée par Hydrex dans l'étude de 1992. Il n'y a qu'en aval de la Savexpress que la ligne d'eau calculée diffère légèrement de celle établie en 1992 et est globalement 20 à 40 cm plus haute.

Nous remarquerons que deux repères de crue sont éloignés de la ligne d'eau calculée :

- la laisse de crue nivelée à 14,65 m NGNC apparaît environ 80 cm plus bas que la ligne d'eau calculée et incohérente par rapport aux autres repères de crue collectés. Il s'agit donc probablement d'une indication erronée concernant le niveau atteint ou l'événement associé ;
- la laisse de crue nivelée à 44,20 m NGNC, collectée par la DAVAR et qualifiée de bonne, apparaît environ 1,80 m au dessus de la ligne d'eau calculée. Cet écart, très important, ne peut se justifier que par la présence d'un obstacle aux écoulements type embâcle ayant induit un rehaussement ponctuel des niveaux d'eau.

En regard de l'ensemble de remarques et résultats de calage, le modèle peut être considéré comme représentatif de la réalité.

5.3.3. Test de sensibilité

Afin d'apprécier la sensibilité du modèle à différents paramètres, comme le coefficient de Strickler ou la condition limite aval, et ainsi de pouvoir juger de l'incidence du choix des hypothèses sur les résultats, nous avons réalisé différents tests pour la crue de fréquence centennale.

Ces tests ont consisté à engager plusieurs simulations en modifiant un par un ces paramètres puis à comparer les résultats obtenus entre eux (en termes de niveaux d'eau essentiellement et par suite d'emprise inondable).

Trois profils en long sont présentés sur les figures 18-1 à 18-4 et permettent de visualiser les résultats de ces tests de sensibilité.

A noter que, comme pour le creek Ondémia, les tests effectués pour les coefficients de rugosité n'ont été réalisés que sur un tronçon (figure 18-1). En effet, afin de pouvoir interpréter les résultats (rehaussement ou abaissement de la ligne d'eau), il est nécessaire de disposer d'un tronçon homogène en rugosité.

Sur le tronçon « test » (localisé sur la Karikouïé amont), le couple de coefficients de Strickler lit majeur/lit mineur retenu à l'issue de la phase de calage est $K=8/17$. Nous avons testé deux autres couples de coefficient de rugosité, un plus faible ($K=6/15$) et un plus fort ($K=10/20$). Les écarts obtenus (figure 18-1) sont au maximum de +/-40 cm par rapport à la ligne d'eau de référence. Ces résultats peuvent paraître important mais s'expliquent par la faible pente du tronçon (entre les profils Kari28 et Kari27), de l'ordre de 0,2 %, qui augmente la sensibilité des résultats à ce paramètre. Les écarts diminuent d'ailleurs en aval du profil Kari28, en raison de l'augmentation de la pente et malgré la forte diminution de la largeur d'écoulement qui aurait tendance à fournir l'effet inverse.

En termes de sensibilité à la condition limite aval, aucun impact n'est observé sur la Katiramona. Sur la Karikouïé, la modification de la condition limite aval induit une modification de la ligne d'eau calculée qui se propage jusqu'au profil topographique Kari35, soit environ 220 m en aval de la Savexpress. Sur ce faible linéaire, aucun enjeu n'a été recensé. En amont de Kari35 (au droit duquel se trouve le premier enjeu, une ferme agricole), aucun écart notable des niveaux d'eau calculés n'est à signaler. En termes de sensibilité au débit, deux simulations ont été engagées pour les valeurs basses et hautes des fourchettes de débits retenues à l'issue de l'analyse hydrologique.

Les résultats sont présentés sur les figures 18-2 à 18-4 pour trois tronçons « tests ».

Pour le premier et le second, localisés sur la Karikouïé amont et sur la Karikouïé aval, on observe des écarts variant entre 15 et 30 cm. L'impact de la modification du débit sur les hauteurs d'eau est moins sensible sur le tronçon aval en raison d'une largeur inondable beaucoup plus importante qui « tamponne » cet impact.

Pour le troisième tronçon localisé sur l'amont de la Katiramona (figure 18-4), des écarts allant jusqu'à 1,1 m peuvent être observés selon le débit simulé. Ces très fortes fluctuations s'expliquent par la conjonction des deux raisons suivantes :

- les débits modélisés sont très hétérogènes puisqu'ils varient du simple au double sur cet affluent (150 et 300 m³/s) ;
- la largeur inondable est relativement faible et induit une forte sensibilité des niveaux d'eau à la valeur du débit.

En conclusion, sur l'aval du modèle, les choix du coefficient de Strickler sont plus susceptibles d'avoir un impact sur les niveaux d'eau obtenus (et de façon marginale sur l'emprise inondable associée) que le choix du débit de référence.

Sur l'amont du modèle, le choix du débit de référence est peu sensible sur la Carignan et la Karikouïé (les fourchettes de débits retenues à l'issue de l'analyse hydrologique étant plutôt réduites) mais beaucoup plus sensible sur la Katiramona.

5.3.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes

- Une fois ces tests de sensibilité effectués, le modèle a été exploité pour les crues de fréquence quinquennale, décennale et centennale à partir des hypothèses médianes en termes de condition limite aval (1,1 et 1,4 m NGNC selon la crue modélisée) et de coefficient de Strickler.

Les débits de référence modélisés sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)
Carignan en amont de la confluence avec la Karikouïé	260	350	600
Karikouïé en amont de la confluence avec la Carignan	295	400	650
Karikouïé en aval de la confluence avec la Carignan	445	600	1 050
Katiramona au droit de la Savexpress	110	150	300

Ces débits correspondent aux valeurs hautes des fourchettes de débits retenues à l'issue de l'analyse hydrologique et permettent de s'inscrire dans une vision maximaliste et donc sécuritaire des niveaux d'eau (et par conséquent de l'emprise inondable) atteints.

Précisons que pour la Katiramona, dont les niveaux d'eau calculés à l'amont du creek sont très sensibles à la valeur du débit modélisé, outre l'aspect sécuritaire de la valeur retenue, cette dernière apparaît également cohérente avec les périodes de retour observées dans le secteur pour les événements historiques modélisés (puisqu'elle conduit à associer une période de retour proche de 100 ans à l'événement de 1988 et entre 5 et 10 ans à la crue de 2003). En effet, à titre de rappel, les débits de calage retenus sur la Katiramona sont les suivants :

	Épisode du 13 janvier 1988	Épisode du 14 mars 2003
Katiramona au droit de la SAVEXPRESS	270	120

Les cotes d'écoulement quinquennales, décennales et centennales ainsi obtenues sont reportées sur le tableau 2 et des profils en long des lignes d'eau associées sont présentés sur les figures 19-1 à 19-4, 20-1 à 20-3 et 21-1 à 21-3. L'emprise inondable et les hauteurs d'eau associées à la crue de fréquence centennale sont représentées sur les plans 7-1 et 7-2 (l'emprise obtenue par la méthode hydrogéomorphologique issue des études antérieures a également été reportée).

- Le fonctionnement hydraulique local particulier s'établissant en aval de la RT1 nécessite quelques précisions.

Les débits théoriques maximaux de crue pour un événement de fréquence centennale sont, en amont de la Savexpress :

- $Q_{100 \text{ Karikouïé}} = 1\,050 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ Katiramona}} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100 \text{ Affluent rive gauche de la Katiramona}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Toutefois, en pratique, la répartition des débits qui s'instaure est différente.

En effet, pour une crue de fréquence centennale, les résultats de simulations font apparaître en amont de la Savexpress, un « déversement » (de l'ordre de 170 m³/s) des eaux de la Karikouïé vers la Katiramona par-dessus la bretelle de raccordement entre la Savexpress et la RT1, bretelle construite en remblai.

Notons qu'un second « déversement » (de l'ordre de $110 \text{ m}^3/\text{s}$) s'effectue de la Katiramona vers son affluent rive gauche.

Par conséquent la répartition réelle des débits au droit de la Savexpress pour une crue de fréquence centennale est donc la suivante (voir figure 22) :

- $Q_{100} \text{ Karikouié} = 880 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100} \text{ Katiramona} = 360 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{100} \text{ Affluent rive gauche de la Katiramona} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$.

Compte tenu de ces différents déversements, l'emprise inondable des principaux axes hydrauliques en présence est confondue au droit de la Savexpress et s'étend sur une largeur de l'ordre de 1 700 m.

- La carte d'aléa résultante est consultable sur les plans 8-1 et 8-2.

5.4. SECTEUR DE TONTOUTA

Sur les rivières Kouembelia et Pébo et leurs principaux affluents, la méthodologie s'appuie sur une modélisation hydraulique et comprend les étapes suivantes :

- construction du modèle ;
- calage du modèle ;
- exploitation du modèle.

5.4.1. Construction du modèle

Le modèle a été construit sur la base des profils en travers des lits mineur et majeur des cours d'eau (et de leurs principaux affluents) et des caractéristiques des ouvrages levés pour l'étude ainsi que des fonds de plan au $1/2000^{\text{ème}}$ et au $1/10000^{\text{ème}}$. Le modèle s'appuie également sur des profils en travers levés dans le cadre de l'étude de délimitation de la zone inondable dans l'enceinte de l'aéroport de la Tontouta⁷. L'ensemble des données topographiques disponibles est reporté sur le plan 10. Un schéma de principe du modèle est présenté sur ce même plan.

Le modèle s'étend depuis l'amont de la base aérienne sur environ 2,5 km pour la rivière Pébo. Pour la Kouembelia, il s'étend de l'aval de l'aéroport sur un linéaire de l'ordre de 5 km alors que la limite effective de la zone d'étude se situe en réalité à l'aval immédiat du Pont de la cité Martinet. En effet, nous avons exploité un modèle existant construit dans le cadre de la nouvelle aérogare de frêt de l'aéroport de Nouméa⁸ que nous avons prolongé vers l'amont.

Un des affluents rive droite de la Kouembelia a été modélisé, il s'agit de celui qui conflue avec la Kouembelia au droit du pont de la cité Martinet.

Les coefficients de rugosité (Strickler) ont été appréciés sur la base des enquêtes de terrain et ajustés lors de la phase de calage. Les valeurs retenues varient en moyenne entre 14 et 17 pour le lit mineur et peuvent atteindre localement une valeur de 10 (thalweg amont très encombré) ou de 30 (cuvelage). Les Strickler retenus pour le lit majeur varient entre 6 et 10. La valeur relativement faible de 6 correspond à la zone amont de Pébo où le lit majeur est encombré par une végétation dense.

⁷ Délimitation de la zone inondable dans l'enceinte de l'aéroport de Tontouta - HYDREX - 1997.

⁸ Aéroport de Nouméa – La Tontouta – Nouvelle aérogare de frêt – Etude d'impact hydraulique sur la Kouembelia – SOGREAH - 2007

Des déversoirs latéraux ont été intégrés au modèle Kouembelia afin de bien représenter les transferts de débit s'effectuant depuis la Kouembelia vers son affluent en amont du pont Martinet ainsi que par déversement au-dessus de la voie menant au pont Martinet en amont de celui-ci.

Enfin, nous noterons que pour les déversements sur les ouvrages, un coefficient de déversement (seuil) de 1,7 a été employé dans le modèle.

5.4.2. Calage du modèle

Le modèle a été calé sur les crues de 1988 et de 2003, événements pour lesquels plusieurs laisses de crue ont été collectées.

Plusieurs lignes d'eau ont été reconstituées pour ces deux événements à partir des fourchettes de débits estimées précédemment.

Les résultats définitifs de calage sont reportés sur les figures 23-1 à 23-5 où est également repérée la position des différents ouvrages hydrauliques ainsi que les laisses de crue collectées.

Les débits ayant permis d'aboutir à ce calage sont :

	Épisode du 13 janvier 1988	Épisode du 14 mars 2003
Pébô au droit de la RT1	95	37
Kouembelia en aval immédiat du pont Martinet	59	23
Affluent de la Kouembelia au pont Martinet	14	6

On remarque que les débits ayant permis le calage sont dans le haut de la fourchette de débit retenue à l'issue de l'analyse hydrologique. Par ailleurs, on observe que la ligne d'eau calculée est globalement cohérente avec les laisses de crue disponibles, hormis pour la Kouembelia, au droit du pont Martinet où elle est légèrement supérieure. Cette surestimation locale du niveau d'eau peut être liée à l'exploitation du modèle en régime permanent. En effet, la voie menant au pont Martinet est en remblai sur un linéaire important et la zone en amont de cette dernière est relativement plate. Ce secteur constitue donc une zone de stockage potentiel des eaux qui peut contribuer à un laminage des débits. Ce laminage n'est pas pris en compte dans le modèle en régime permanent.

Cette hypothèse peut en partie expliquer l'écart conséquent observé sur le débit reconstitué pour le cyclone Anne au pont Martinet entre la présente étude (59 m³/s) et celle réalisée pour l'aéroport de Nouméa⁷ (34 m³/s). Les deux valeurs restent dans la fourchette d'évaluation du débit mais sont chacune situées à une extrémité de celle-ci. Il faut toutefois noter que, du fait des données disponibles lors de sa réalisation, la modélisation au droit de l'aéroport n'avait pu être calée qu'à partir de deux laisses de crue, l'une en amont du pont Martinet qui avait en pratique été obtenue par réglage de la perte de charge au pont et l'autre constituant la condition aval du modèle.

La présente étude s'étend sur un linéaire plus important et l'on dispose de davantage de laisses de crue. L'on peut donc considérer que le débit de 59 m³/s calculé au pont Martinet pour le cyclone Anne est valide. A noter que cela ne remet pas en cause le débit centennal pris en compte dans l'étude hydraulique de l'aéroport (65 m³/s) qui est identique à celui retenu ici. La nouvelle valeur de débit retenue pour le cyclone Anne est par ailleurs plus cohérente avec la période de retour associée à cet événement (entre 50 et 100 ans).

La sous évaluation du débit du cyclone Anne dans l'étude hydraulique de l'aéroport a eu pour conséquence de surévaluer la condition aval pour la crue centennale. Sur l'aval du modèle, cela a conduit à calculer une ligne d'eau plus élevée. On peut donc considérer que les résultats fournis dans l'étude de l'aéroport sont sécuritaires mais cela n'a aucun impact sur les résultats de la présente étude puisqu'on se situe en dehors de la zone d'influence de la condition limite aval.

En regard de ces résultats de calage, le modèle réalisé dans le cadre de la présente étude peut être considéré comme représentatif de la réalité.

5.4.3. Test de sensibilité

Afin d'apprécier la sensibilité du modèle à différents paramètres, comme le coefficient de Strickler, le débit ou la condition limite aval, et ainsi de pouvoir juger de l'incidence du choix des hypothèses sur les résultats, nous avons réalisé différents tests pour la crue de fréquence centennale.

Ces tests ont consisté à engager plusieurs simulations en modifiant un par un ces paramètres puis à comparer les résultats obtenus (en termes de niveaux d'eau essentiellement et par suite d'emprise inondable) à ceux obtenus pour la crue de fréquence centennale de référence.

Des profils en long sont présentés sur les figures 24-1 à 24-3 et permettent de visualiser les résultats de ces tests de sensibilité.

A noter que les tests effectués pour les coefficients de rugosité n'ont été réalisés que sur un tronçon. En effet, afin de pouvoir interpréter les résultats (rehaussement ou abaissement de la ligne d'eau), il est nécessaire de disposer d'un tronçon homogène en rugosité.

Aucun test n'a été réalisé sur le débit car les valeurs retenues pour la crue centennale correspondent à la valeur haute de la fourchette de débit définie précédemment.

En termes de sensibilité à la condition limite aval, aucun test n'a été réalisé pour la Kouembelia car le modèle s'étend largement en aval de la limite de la zone d'étude (reprise du modèle de l'aéroport). De ce fait, la condition aval n'a aucune influence sur les niveaux d'eau sur le secteur d'étude.

Sur Pébô, le test de sensibilité montre que l'influence de la condition aval est très localisée : elle devient nulle en amont de la RT1.

Sur les tronçons « test » de Kouembelia et de Pébô, le couple de coefficients de Strickler lit majeur/lit mineur retenu à l'issue de la phase de calage est $K=8/16$. Nous avons testé deux autres couples de coefficient de rugosité, un plus faible ($K=6/14$) et un plus fort ($K=10/18$).

Les écarts obtenus pour Kouembelia (figure 24-1) sont au maximum de ± 15 cm par rapport à la ligne d'eau de référence. Ils sont très rapidement atténués en amont des ponts où l'on observe que la ligne d'eau est imposée essentiellement par la perte de charge à l'ouvrage et non plus par les caractéristiques du lit.

Les écarts obtenus pour Pébô (figure 24-3) sont également au maximum de ± 15 cm par rapport à la ligne d'eau de référence.

En conclusion, pour les deux cours d'eau, seuls les choix du coefficient de Strickler sont susceptibles d'avoir un impact sur les niveaux d'eau obtenus. Pour Pébô, les résultats du modèle sont également localement influencés par la condition aval. Toutefois, l'ensemble de ces paramètres influence de manière marginale l'emprise inondable associée.

5.4.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes

- Une fois le calage effectué, le modèle a été exploité pour la crue de fréquence centennale en prenant comme conditions limite aval : 6 m NGNC pour la Kouembelia et 17 m NGNC pour Pébô.

Les cotes d'écoulement quinquennales, décennales et centennales ainsi obtenues sont reportées sur le tableau 3 et des profils en long des lignes d'eau associées sont présentés sur les figures 25-1 à 25-3. L'emprise inondable et les hauteurs d'eau associées à la crue de fréquence centennale sont représentées sur le plan 11 (l'emprise obtenue par la méthode hydrogéomorphologique issue des études antérieures a également été reportée).

- Sur la Kouembelia, l'emprise de la zone inondable est relativement limitée en amont du fait du caractère encaissé du thalweg et s'étale vers l'aval à l'arrivée dans la zone urbanisée.

Trois ouvrages génèrent une perte de charge significative : le pont de la RT1, l'ouvrage immédiatement à l'aval (O6) et le pont Martinet.

Le pont de la RT1 est l'ouvrage le plus limitant car pour des événements assez fréquents (de type 2003), il génère la plus forte rehausse de ligne d'eau (de l'ordre de 2 m). Ce phénomène est dû à la nature même de l'ouvrage qui est constitué à l'amont d'un ouvrage cadre en béton (section environ 10,5 m²) qui se prolonge à l'aval par une arche métallique de section beaucoup plus réduite (environ 7 m²). Cette configuration est sans doute liée à un élargissement passé de la route. Le débit transitant sous le pont est conditionné par la section arche à l'aval. Du fait de sa faible section, la capacité de l'ouvrage est réduite et même les débits de crues relativement fréquentes provoquent une mise en charge importante du pont et une submersion de la RT1.

L'ouvrage immédiatement à l'aval de la RT1 (O6) possède une section plus conséquente de 10,3 m² et donc une capacité plus importante. Ainsi, le rehaussement de ligne d'eau généré pour des crues fréquentes est très faible. Par contre, pour des événements plus rares comme celui généré par le cyclone Anne, la capacité devient insuffisante et la chaussée est alors submergée. L'épaisseur du tablier du pont (1,2 m) explique en partie l'importance de la chute observée à l'aval de l'ouvrage (environ 2 m). Pour de fortes crues, cet ouvrage contribue donc à noyer par l'aval le pont de la RT1 et masque donc le phénomène réel de perte de charge généré au droit de cette route (sans l'ouvrage O6, la perte de charge induite par le pont de la RT1 serait plus grande).

Le pont Martinet, comme l'ouvrage O6 provoque une perte de charge conséquente uniquement dans le cas de crues rares. D'une section de 14,3 m², sa capacité n'est pas suffisante pour évacuer une crue centennale sans submersion de la chaussée. Or, cette dernière est en remblai sur un linéaire important, ce qui contribue à accentuer le rehaussement de la ligne d'eau.

En crue centennale, tous les ouvrages sont submergés, conduisant à l'inondation de la voie menant au pont Martinet et de la RT1 par la Kouembelia et son affluent. Les hauteurs d'eau atteintes en amont du pont Martinet sont très importantes, la voie étant en remblai. On observe deux secteurs de submersion de cette dernière : au pont Martinet et légèrement en amont.

- Sur Pébô, le pont de la RT1 est également submergé. En crue centennale, une faible partie des eaux débordant en rive gauche en amont du pont s'écoule de manière diffuse vers le sud du fait de la pente des terrains.

A noter par ailleurs que des oscillations sont localement observées sur la ligne d'eau de la crue décennale. Ces oscillations sont dues au fait que la crue décennale est en limite de débordement. Ainsi, suivant les profils, du fait de la présence des « levees » nécessaires au calage du modèle, la crue est alternativement contenue dans le lit mineur ou juste débordante. Cela provoque donc une certaine divergence des résultats qui explique le positionnement de la ligne d'eau parfois en dessous de la crue quinquennale. Cela ne remet toutefois pas en cause les résultats de la crue de référence (crue centennale) puisque cette dernière est largement débordante et n'est donc plus soumise à ces oscillations.

- La carte d'aléa résultant du croisement hauteurs d'eau / vitesses moyennes d'écoulement est présentée sur le plan 12.

5.5. SECTEUR TAMOA AMONT/TAMOA AVAL

Compte tenu de l'imbrication hydraulique de ces deux secteurs, ils ont été traités conjointement.

La méthodologie s'appuie sur une modélisation hydraulique et comprend les étapes suivantes :

- construction du modèle ;
- calage du modèle ;
- exploitation du modèle.

5.5.1. Construction du modèle

Le modèle a été construit sur la base des profils en travers des lits mineur et majeur du cours d'eau (et de ses principaux affluents) et des caractéristiques des ouvrages levés pour l'étude ainsi que des fonds de plan au 1/2000^{ème} et au 1/10000^{ème}. L'ensemble des données topographiques disponibles est reporté sur les plans 14-1 à 14-3.

Le modèle s'étend sur environ 16,5 km pour le bras principal. Un schéma de principe du modèle est présenté sur les plans 14-1 à 14-3 ; il permet de visualiser l'ensemble des affluents modélisés.

Les coefficients de rugosité (Strickler) ont été appréciés sur la base des enquêtes de terrain et ajustés lors de la phase de calage. Les valeurs retenues varient en moyenne entre 6 et 12 pour le lit majeur et entre 14 et 22 pour le lit mineur.

Des déversoirs latéraux ont été intégrés au modèle afin de bien représenter les transferts de débit s'effectuant entre la Tamoà et ses affluents, notamment en amont de la confluence avec le Nenu.

Enfin, nous noterons que pour les déversements sur les ouvrages, un coefficient de déversement (seuil) de 1,7 a été employé dans le modèle.

5.5.2. Calage du modèle

Notons en préambule que le modèle élaboré est long (16,5 km pour le bras principal) et très ramifié. De nombreuses injections de débits ont donc été réalisées. En l'absence de données précises sur la pluviométrie s'étant abattue sur chaque bassin versant élémentaire, une hypothèse de pluviométrie homogène sur l'ensemble du bassin versant de la Tamoà a été considérée. Cette hypothèse rend difficile l'évaluation précise des débits générés par chaque sous bassin versant et peut par conséquent être à l'origine de difficultés locales de calage.

Le modèle a été calé sur les crues de 1988 et de 2003, événements pour lesquels plusieurs laisses de crue ont été collectées.

Plusieurs lignes d'eau ont été reconstituées pour ces deux événements à partir des fourchettes de débits estimées précédemment.

Les résultats définitifs de calage sont reportés sur les figures 26-1 à 26-10 sur lesquelles sont également repérées la position des différents ouvrages hydrauliques (notamment les ouvrages de la RT1), des profils en travers levés et des laisses de crue collectées.

Les débits ayant permis d'aboutir à ce calage sont :

	Épisode du 13 janvier 1988	Épisode du 14 mars 2003
Bangou au droit de la RT1 (m ³ /s)	135	90
Tamoa au droit de la RT1 (m ³ /s)	240	170

Ces débits correspondent aux bornes inférieures des fourchettes de débits précédemment explicitées, et donc par conséquent aux calculs menés sur la base des données pluviométriques mesurées au poste de Tontouta plutôt que celles mesurées au poste du Mont Mou.

Cette similitude observée entre les débits générés sur le bassin versant de la Tamoa et les données pluviométriques mesurées au poste de Tontouta est cohérente avec l'analyse menée sur les pluviométries journalières aux postes de Tamoa, Tontouta et du Mont Mou qui fournissait les pluviométries caractéristiques suivantes (très similaires pour les deux premiers postes et pas du tout pour le troisième) :

Poste pluviométrique	Méthode statistique retenue	Pluie journalière décennale (mm)	Pluie journalière centennale (mm)
Tamoa	Méthode du renouvellement	180	270
Tontouta	Ajustement de Gumbel sur les pluies maximales annuelles	165	265
Mont Mou	Méthode du renouvellement	320	530

Ci-après sont commentés figure par figure les profils en long de calage sur lesquels sont représentées les lignes d'eau et les lignes de charge calculées pour chaque événement étudié.

- Sur la figure 26-1, qui couvre une partie de la Tamoa en amont de sa confluence avec la Nenu, apparaît un repère de crue de l'événement de 1988. La ligne d'eau calculée sur la base du débit précédemment explicité passe parfaitement par ce repère de crue.
- Sur la figure 26-2, qui couvre un tronçon de la Tamoa d'environ 1,5 km au droit de sa confluence avec la Nenu, apparaissent 4 repères de crue :
 - 2 repères de crue associés à l'événement de 1988 et relevés par la DAVAR, qui sont globalement cohérents avec la ligne d'eau calculée ;
 - un repère de crue associé à l'épisode de 2003, au droit duquel la ligne d'eau calculée passe environ 30 cm plus haut ;
 - un repère de crue associé à aucun événement.

Sur ce tronçon, il apparaît difficile d'améliorer le calage ce qui nécessiterait soit de diminuer les débits soit d'augmenter les coefficients de Strickler (si l'on considérait les repères de crue collectés comme scrupuleusement exacts ce qui n'est que très rarement le cas, même si ici, le repère de crue relevé par la DAVAR à 60,7 m NGNC est qualifié d'excellent).

En effet, dans le premier cas, le débit utilisé apparaît déjà comme étant la valeur basse de la fourchette retenue à l'issue de l'analyse hydrologique.

Et dans le second cas, les coefficients de Strickler ont déjà été augmentés au maximum en regard des observations de terrain et une augmentation supplémentaire n'apparaît pas réaliste.

- Sur la figure 26-3, qui représente un profil en long de la Tamoa sur un linéaire d'environ 2 km de part et d'autre de la RT1, apparaissent 5 repères de crue :

– 3 repères associés à l'épisode de 2003 collectés au cours de nos investigations de terrain qui s'inscrivent de façon très disparate et éloignée de part et d'autre de la ligne d'eau calculée. Les écarts, très importants, varient entre 1 et 1,4 m. Toutefois, nous modèrerons ces écarts par le fait que ces repères de crue sont issus d'informations évasives (emprises de crue). L'indication en elle-même n'est donc pas fiable et en plus l'approximation de l'information a par ailleurs rendu difficile la localisation du point à niveler pour le géomètre en charge des levés topographiques. L'ensemble de ces explications a abouti à ne pas remettre en cause le calage sur la seule base de ces 3 repères de crue, qui n'apparaissent d'ailleurs pas cohérents entre eux ;

– 2 repères de crue associés à l'événement de 1988 également relevés par nos soins qui paraissent beaucoup plus cohérents avec la ligne d'eau calculée même si l'un d'eux s'inscrit 50 cm en dessous de cette dernière. Il est probable qu'en raison de la présence de plusieurs ouvrages sous un même remblai à des distances importantes l'outil de modélisation de type filaire atteigne ici ses limites.

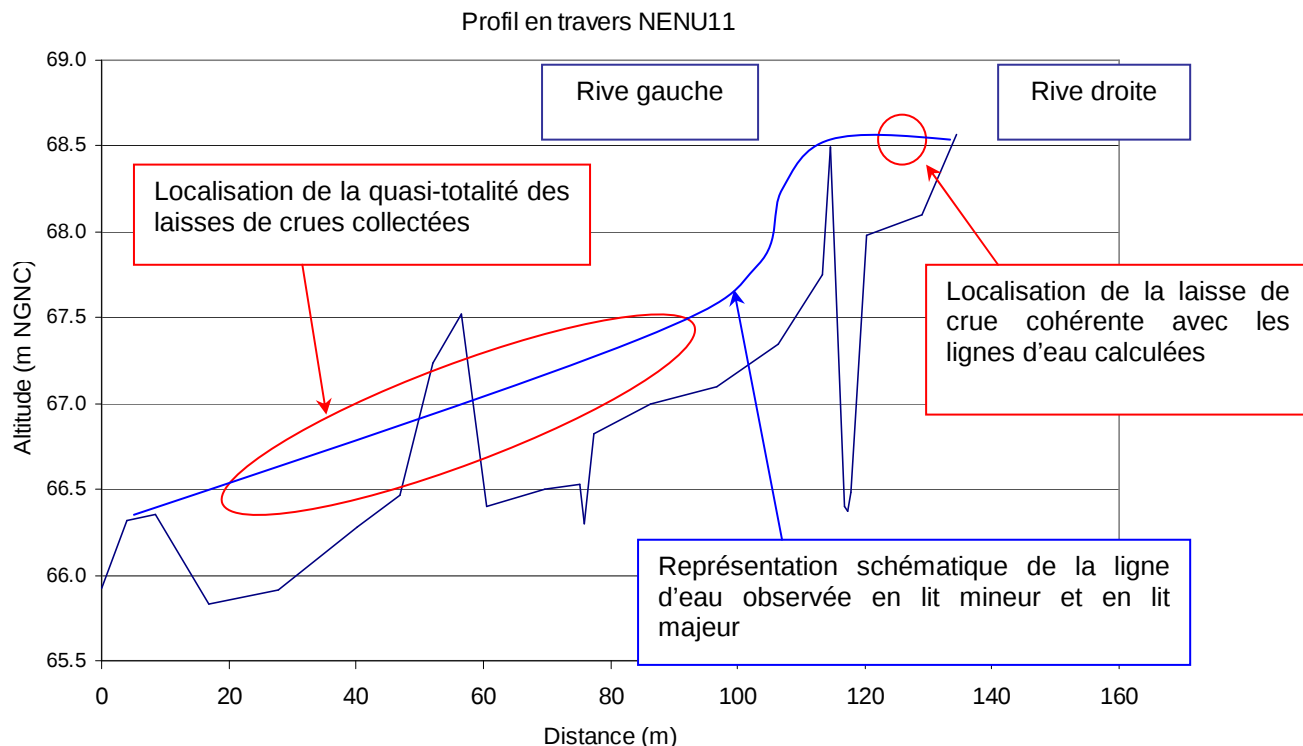
- Sur les figures 26-4 et 26-5, qui représentent un profil en long de la Tamoa depuis 2,3 km en aval de la RT1 jusqu'à 1,5 km en aval de la RM4, apparaissent deux repères de crue associés à l'événement de 1988.

Le premier, relevé par la DAVAR et qualifié de bon est situé au droit de l'ouvrage O54 et valide parfaitement la ligne d'eau calculée.

Le second, également relevé par la DAVAR et qualifié d'approximatif, est situé en aval immédiat de l'ouvrage O50 mais s'inscrit environ 1,4 m en dessous de la ligne d'eau calculée. Compte tenu de l'écart très important observé, cette laisse de crue ne peut être issue que d'une indication totalement erronée.

- Sur la figure 26-6 est représenté un profil en long de la Nenu. Le calage apparaît globalement satisfaisant entre les ouvrages O5 et O10 entre lesquels nous disposons de trois repères de crue de l'épisode de 2003 et un repère de crue non associé à un événement.

Sur l'aval du profil en long, on peut observer un nuage de points localisés non seulement en dessous des lignes d'eau calculées mais également parfois en dessous du fond du lit. Ceci s'explique par le fait que ces repères de crue correspondent à une lame d'eau déversante en lit majeur totalement indépendante du niveau d'eau observé en lit mineur. En effet et comme le montre le schéma ci-dessous, nous sommes ici en présence d'un lit perché et la plupart des laisses de crue se trouve en lit majeur rive gauche d'altimétrie bien plus basse. Seul un repère de crue (dont l'événement correspondant n'a pu être identifié) apparaît cohérent avec les lignes d'eau calculées car il se trouve en rive droite où les niveaux d'écoulements sont directement associés au lit mineur.



- Sur la figure 26-7 est représenté un profil en long d'un affluent de la Nenu. Les trois repères de crue disponibles sur ce linéaire valident globalement les lignes d'eau calculées. Les deux repères associés à l'épisode de 2003 s'inscrivent de part et d'autre de la ligne d'eau calculée à ± 35 cm, celui de 1988 est situé sur la ligne de charge.
- Sur la figure 26-8 est représenté un profil en long d'une partie de la Néli (en amont de la RT1). Les deux repères de crue disponibles sur ce linéaire sont relatifs à l'événement de 1988 et valident les lignes d'eau calculées (écart de ± 20 cm).
- Sur les figures 26-9 et 26-10 sont représentés des profils en long d'une partie de la Bangou et de la Tamoa en aval de sa confluence avec la Bangou. Les cinq repères de crue disponibles sur ce linéaire sont relatifs à l'événement de 1988 pour trois d'entre eux et à l'épisode de 2003 pour les deux autres. Les lignes d'eau calculées passent bien par ces repères de crue.

En regard de l'ensemble des remarques et résultats de calage émis précédemment, le modèle peut être globalement considéré comme bien représentatif de la réalité.

5.5.3. Test de sensibilité

Afin d'apprécier la sensibilité du modèle à différents paramètres, comme le coefficient de Strickler ou le débit, et ainsi de pouvoir juger de l'incidence du choix des hypothèses sur les résultats, nous avons réalisé différents tests pour la crue de fréquence centennale.

Ces tests ont consisté à engager plusieurs simulations en modifiant un par un ces paramètres puis à comparer les résultats obtenus entre eux (en termes de niveaux d'eau essentiellement).

Les figures 27-1 et 27-2 présentent les tests de sensibilité au débit réalisés pour les valeurs basses et hautes de la fourchette retenue à l'issue de l'analyse hydrologique. Ces tests ont été effectués sur deux tronçons types de la Tamoa : le premier se situe à l'amont du bassin versant et le second se situe à l'extrémité aval. Les écarts observés varient entre 15 et 25 cm selon le tronçon considéré.

Les résultats de calage présentés dans le paragraphe précédent ont été globalement obtenus, sur le cours principal de la Tamoa, avec des coefficients de Strickler de 20 à 22 en lit mineur et de 8 à 12 en lit majeur.

Les figures 27-3 et 27-4 présentent les résultats des analyses de sensibilité au Strickler réalisés sur les deux mêmes tronçons type de la Tamoa que pour les tests de sensibilité au débit. Sur le tronçon amont, le test met en évidence une sensibilité quasi nulle au coefficient de Strickler. Sur le tronçon aval, le test met en évidence des écarts relativement importants, variant entre 40 et 60 cm.

En conclusion, les choix du coefficient de Strickler sont beaucoup plus susceptibles d'avoir un impact sur les niveaux d'eau obtenus que le choix du débit de référence. Toutefois, les coefficients de Strickler retenus sur l'ensemble du modèle ont permis de caler de façon très satisfaisante ce dernier.

5.5.4. Exploitation du modèle et élaboration des cartes

- Une fois le calage effectué, le modèle a été exploité pour les crues de fréquence quinquennale, décennale et centennale en retenant les valeurs de coefficients de Strickler ayant permis d'aboutir aux résultats de calage présentés précédemment.

Les débits de référence modélisés sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Débit de fréquence quinquennale (m ³ /s)	Débit de fréquence décennale (m ³ /s)	Débit de fréquence centennale (m ³ /s)
Bangou au droit de la RT1	111	150	250
Tamoa au droit de la RT1	222	300	550

Ces débits correspondent aux valeurs basses des fourchettes de débits retenues à l'issue de l'analyse hydrologique. Ce choix s'explique par les valeurs de débits retenues à l'issue de la phase de calage du modèle pour les événements de 1988 et 2003, qui sont, à titre de rappel :

	Épisode du 13 janvier 1988	Épisode du 14 mars 2003
Bangou au droit de la RT1 (m ³ /s)	135	90
Tamoa au droit de la RT1 (m ³ /s)	240	170

En effet, une analyse comparative entre les deux tableaux précédents conduit à associer aux crues de 1988 et de 2003 une période de retour comprise entre 5 et 10 ans pour la première et inférieure à 5 ans pour la seconde.

Ces périodes de retour apparaissent faibles en regard de celles obtenues sur les autres bassins versants étudiés. Toutefois, si nous avons retenu les valeurs hautes des fourchettes de débits retenues pour les crues de référence à l'issue de l'analyse hydrologique, ces périodes de retour seraient apparues encore plus faibles, et donc vraiment incohérentes avec celles observées sur les bassins versants voisins.

- Les cotes d'écoulement quinquennales, décennales et centennales ainsi obtenues sont reportées sur le tableau 4 et des profils en long des lignes d'eau associées sont présentés sur les figures 28-1 à 32-3. L'emprise inondable et les hauteurs d'eau associées à la crue de fréquence centennale sont représentées sur les plan 15-1 à 15-3 (l'emprise obtenue par la méthode hydrogéomorphologique issue des études antérieures a également été reportée).
- En termes de fonctionnement hydraulique, il apparaît intéressant de préciser les points suivants :

- Pour le **bassin versant de la Nenu** marqué par la présence de deux axes principaux d'écoulement, on note que les zones inondables associées à chacun de ces deux creeks se confondent en amont des ouvrages O7 et O8. La perte de charge au niveau de l'ouvrage O7 est faible, de l'ordre de 10 cm pour une crue de fréquence centennale, le pont étant totalement submergé. Précisons que le pont est constitué de deux travées dont l'une est à moitié obstruée. Si la réouverture totale de cette travée n'aurait probablement qu'un faible impact sur les crues exceptionnelles (une lame d'eau d'environ 70 cm déverse sur la route), elle améliorerait en revanche les conditions d'écoulement pour les crues courantes et permettrait donc d'abaisser les niveaux d'inondation au droit de l'enjeu situé en amont immédiat rive droite.

L'ouvrage O8 constitué d'une buse de diamètre 800 mm est largement sous-dimensionné ce qui entraîne la création d'un plan d'eau en amont de la route, jusqu'à déversement par-dessus celle-ci.

En aval de ces deux ouvrages (O7 et O8), les zones inondables de chacun des deux creeks se redissocient. Celle la plus au Nord affecte de nombreux enjeux habités, notamment entre la confluence avec la Tamoà et l'ouvrage O9 (une dizaine d'habitations environ). Celle la plus au Sud touche également plusieurs enjeux, essentiellement en rive gauche. La plupart du bâti touché en rive droite ne constitue en effet pas des zones d'habitation. On note par ailleurs, en amont du profil Nenu12, la création en rive gauche d'un chenal d'écoulement sur une route, court-circuitant ainsi une partie de la Tamoà.

- Pour le **bassin versant de la Neti**, en amont de la RT1, la zone inondable est relativement réduite et ne touche aucun enjeu habité. La perte de charge au droit de l'ouvrage sous la RT1 (O23) est de l'ordre de 90 cm pour une crue de fréquence centennale. Entre la RT1 et le profil Neti20, la largeur de la zone inondable est de l'ordre de 150 m et n'affecte également aucun enjeu habité. On remarque toutefois l'inondation partielle des serres localisées en rive gauche de la Neti entre les profils Neti19 et Tamo40.
- Pour le **bassin versant de la Bangou**, la zone inondable est relativement réduite sur l'amont du bassin versant jusqu'aux profils Tamo90 (pour le creek principal) et Tamo61 (pour l'affluent majeur rive gauche) et s'étend sur une largeur variant entre 50 et 150 m. Seuls deux enjeux habités sont soumis à un fort aléa inondation : une maison située en aval de l'ouvrage O26, en rive droite du creek et une maison située en aval immédiat de l'ouvrage O29 en rive gauche du creek cette fois. On remarquera par ailleurs que la route principale remontant le bassin versant est coupée à quatre reprises par la zone inondable de façon plus ou moins importante. Au droit des ouvrages O34 et O35, la route n'est que très faiblement inondée pour une crue de fréquence centennale (lame d'eau déversante inférieure à 5 cm pour le premier et de l'ordre de 10 cm pour le second). En revanche, toujours pour une crue de fréquence centennale, la lame d'eau déversante atteint 50 à 60 cm au droit des ouvrages O29 et O36.

Enfin, on notera au droit de la RT1 et des ouvrages O39 et O39b la perte de charge très importante, de l'ordre de 2,60 m, qui s'établit pour une crue de fréquence centennale. Cette perte de charge est liée au sous dimensionnement des ouvrages et au calage de la nouvelle route construite en aval de celle existante. Les ouvrages O39 et O39b offrent des sections d'écoulement inférieures à 30 m² pour le premier et de l'ordre de 50 m² pour le second pour un débit de fréquence centennale estimé à 250 m³/s. Les ouvrages se mettent donc en charge jusqu'à déversement par-dessus la route. La nouvelle route étant calée altimétriquement environ 1 m au dessus de l'ancienne, c'est elle qui « contrôle » (avec l'ouvrage O39 située sous l'ancienne route, qui présente la section la plus petite des deux ouvrages) le niveau en amont. La lame d'eau déversante est de l'ordre de 15 cm sur la nouvelle route et de plus de 1,20 m sur l'ancienne.

Concernant l'ouvrage O39, pour lequel la section d'écoulement a été considérée comme inférieure à 30 m², précisons que la capacité réelle de l'ouvrage est de l'ordre de 45 m² mais que le passage d'un réseau OPT en amont (voir photo 1 ci-dessous) et surtout la présence d'un seuil en béton en aval immédiat de l'ouvrage (voir photo 2 ci-dessous) nous a conduit à réduire cette section. A l'étiage, ce seuil (d'une hauteur d'approximativement 1,20 m) crée un plan d'eau en amont (voir photo 1 ci-dessous).



Photo 1



Photo 2

- Pour l'**affluent rive droite de la Tamo**a situé entre les profils Tamo25 en amont et Tamo 39 en aval, on note des pertes de charge importantes au droit des différents ouvrages. Concernant la RT1 en particulier, les ouvrages O19 et O20 sont très largement sous dimensionnés en regard d'une crue de fréquence centennale. Pour l'ouvrage O20 par exemple, la section d'écoulement est de l'ordre de 12 m² pour un débit de crue estimé à 180 m³/s. Les ouvrages se mettent donc en charge jusqu'à déversement par-dessus la route. La lame d'eau déversante est d'environ 75 cm pour l'ouvrage O20 et de l'ordre de 35 cm pour l'ouvrage O19. Les pertes de charges correspondantes sont les mêmes pour les deux ouvrage et atteignent 2,15 m.

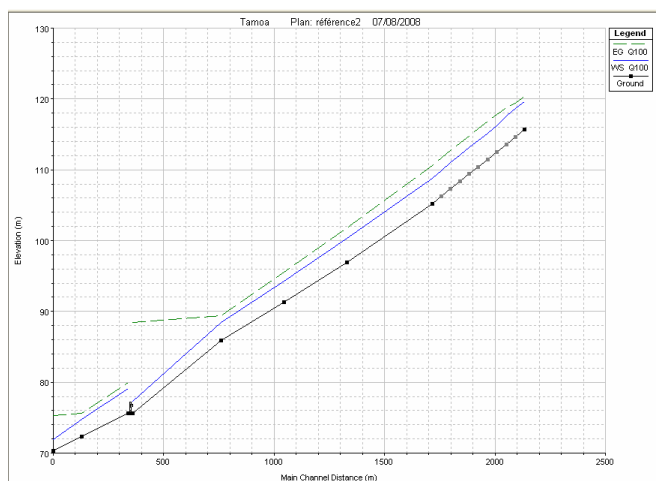
Remarque :

Concernant les cartographies réalisées, ce secteur est peu couvert par le fond de plan au 1/2 000. Les cartes de hauteurs d'eau ont donc essentiellement été réalisées sur la base des profils en travers levés et du fond de plan au 1/10 000. Certaines zones inondées peuvent ainsi apparaître relativement larges en regard de la superficie de bassin versant intercepté (Tamo 27 à Tamo 29) mais correspondent aux données topographiques disponibles.

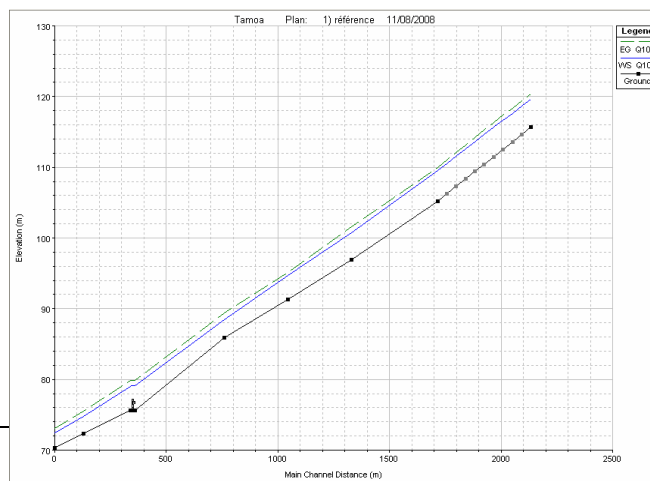
- Pour l'axe principal de la Tamoa (depuis le profil Tamo1 en amont jusqu'au profil Tamo129 en aval), on remarque, pour la crue de fréquence centennale, la formation d'un plan d'eau en amont du pont de la RT1 lié à un sous dimensionnement de l'ouvrage (section utile d'environ 47 m² pour un débit centennal estimé à 550 m³/s) et à l'obstacle créé par la route en remblai. Pour la crue de référence, une lame d'eau de 65 cm déverse sur la route. La perte de charge au droit de l'ouvrage est de l'ordre de 2,85 m.

Enfin, on note un fort élargissement de la zone inondable à l'extrémité aval de la zone d'étude (du profil Tamo126 au profil Tamo129). En amont de la route délimitant la limite aval de la zone d'étude, la zone inondable de l'ensemble des creeks interceptés est confondue et atteint une largeur de 2 750 m.

- Concernant l'outil de modélisation réalisé et les simulations engagées, nous soulignerons les points suivants :
 - le calcul des débits échangés sur les déversoirs latéraux intégrés au modèle (afin de représenter les transferts de débit pouvant s'effectuer entre deux creeks) nécessite l'activation d'une option nommée « Flow optimization » à laquelle est attaché un certain nombre de critères (précision du calcul, nombre d'itération réalisé, etc.). A l'issus des simulations, le logiciel HEC-RAS indique que le calcul n'a pas convergé. Afin de s'assurer de la validité des résultats, d'autres simulations ont été engagées en changeant le nombre d'itérations par exemple. Les résultats obtenus sont identiques, le modèle peut donc ainsi être considéré comme stable et les résultats valides. Par ailleurs, si certains déversoirs intégrés au modèle peuvent sembler inutiles car s'avérant finalement non déversant, ils n'ont pas été supprimés. En effet, ils sont sans incidence sur les résultats de modélisation et pourraient s'avérer utile un jour, dans le cas d'une simulation engagée pour un débit plus important ou dans le cas d'une modification du modèle qui conduirait à augmenter la ligne d'eau sur ces secteurs.
 - les simulations sont réalisées en régime subcritique. Les résultats obtenus mettent en évidence qu'en plusieurs endroits, l'écoulement s'effectue en régime critique (HECRAS fixant alors par défaut une hauteur critique, hauteur qui, dans ce type de régime d'écoulement, s'avère majorante et donc sécuritaire). Une simulation en régime mixte a donc été engagée à la demande du Maître d'Ouvrage. Les résultats obtenus sont globalement identiques à ceux fournis dans le cas d'une modélisation en régime subcritique puisque sur plus de 1 000 points de calculs, moins de 5 % des résultats apparaissent différents (et dans la plupart des cas, les écarts sont inférieurs à 15 cm). Par ailleurs, nous émettons des doutes sur les résultats fournis par le logiciel HECRAS dans le cadre de son fonctionnement en régime mixte. En effet et par exemple, au droit des ouvrages O2 et O7, les cotes amont fournies en régime mixte apparaissent 1,8 m et 0,7 m plus basses que les cotes aval et surtout les lignes de charge n'apparaissent pas cohérentes (voir schéma ci-dessous). Pour l'ensemble de ces raisons, le régime subcritique a été privilégié.
- La carte d'aléa résultant du croisement hauteurs d'eau / vitesses moyennes d'écoulement est présentée sur les plans 16-1 à 16-3.



Simulation en régime mixte



Simulation en régime subcritique

Contrôle : AVn

FIGURES

PLANS

TABLEAUX

Lexique	
Reach	Tronçon de rivière
River Station	Profil en travers
Profile	Crue
Q total	Débit total
Min Ch El	Cote de fond
W.S Elev	Niveau d'eau
E.G Elev	Charge
Vel Left	Vitesse dans le lit majeur rive gauche
Vel Channel	Vitesse dans le lit mineur
Vel Right	Vitesse dans le lit majeur rive droite
Lat Structure	Déversoir latéral
Culvert	Ouvrage

TABLEAU 1

SECTEUR D'ONDÉMIA : RÉSULTATS DU MODÈLE POUR
LES TROIS CRUES DE RÉFÉRENCE

TABLEAU 2

SECTEUR CARIGNAN-KARIKOUÏÉ-KATIRAMONA :
RÉSULTATS DU MODÈLE POUR LES TROIS CRUES DE
RÉFÉRENCE

TABLEAU 3

SECTEUR DE TONTOUTA : RÉSULTATS DU MODÈLE POUR
LES TROIS CRUES DE RÉFÉRENCE

TABLEAU 4

SECTEUR TAMOA AMONT/TAMOA AVAL : RÉSULTATS DU MODÈLE POUR LES TROIS CRUES DE RÉFÉRENCE

ANNEXES

ANNEXE 1

FORMULES DE DÉTERMINATION DU TEMPS DE CONCENTRATION D'UN BASSIN VERSANT

ANNEXE 2

DUREE DE RETOUR DES PRECIPITATIONS AU POSTE DE MONT MOU

ANNEXE 3

DUREE DE RETOUR DES PRECIPITATIONS AU POSTE DE TONTOUTA

ANNEXES 4 A 9

DUREE DE RETOUR DES PRECIPITATIONS MOYENNES CALCULEES ENTRE LE POSTE DE MONT MOU ET DE TONTOUTA SUR DIFFERENTS BASSINS VERSANTS

ANNEXE 10

AJUSTEMENT DE GUMBEL OBTENU AUX STATIONS HYDROMETRIQUES DU SECTEUR D'ETUDE (SOURCE DAVAR)

ANNEXES 11-1 A 11-4

HYETOGRAMMES DE L'EPISEDE DU 14 MARS 2003

ANNEXES 12-1 A 12-4

HYETOGRAMMES DE L'EPISODE DU 20 FÉVRIER 2000

ANNEXES 13-1 A 13-3

HYETOGRAMMES DE L'EPISODE DU 12-13 JANVIER 1988