

# Mise à jour des cartographies du risque inondation sur le TRI de MAYOTTE

Décembre 2019



Photos Cerema

Étude réalisée pour la DEAL MAYOTTE

# Mise à jour des cartographies du risque inondation sur le TRI de MAYOTTE

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	15/10/18	Version provisoire sur le secteur 2
2	15/11/18	Version complétée sur les 3 secteurs d'étude
3	15/06/19	Modélisation avec injection de pluie + Prise en compte des remarques de la DEAL + ajout du secteur 4
4	15/08/19	Reprise des calculs avec modification du calage hydrologique + Prise en compte des remarques de la DEAL
5	21/11/19	Réalisation de la partie Covadisation
6	05/12/19	Prise en compte des dernières remarques et ajout des annexes pour l'intégration dans le rapport de vulgarisation des cartes TRI

## Affaire suivie par

<b>Frédéric PONS</b> - Département DREC – SRILH
<i>Tél. : 04 42 24 76 70</i>
<i>Frederic.pons@cerema.fr</i>
<b>Site de Aix en Provence</b> : Cerema Méditerranée – 30 avenue Albert Einstein – CS 13593 Aix en Provence Cedex 3

maître d'ouvrage : DEAL Mayotte

Rapport	Nom
Établi par	Mathieu ALQUIER
Contrôlé par	Frédéric PONS

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION ET PRÉSENTATION.....</b>	<b>5</b>
1.1 Contexte de l'étude.....	5
1.2 Présentation des secteurs d'études.....	5
<b>2 PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION SUR LES TRI COURS D'EAU À MAYOTTE.....</b>	<b>9</b>
<b>3 ESTIMATION DES PLUIES DE PROJET.....</b>	<b>10</b>
<b>4 ÉTUDE HYDRAULIQUE.....</b>	<b>13</b>
4.1 Choix du modèle hydraulique.....	13
4.2 Topographie.....	13
4.3 Construction du modèle hydraulique.....	14
4.4 Cartographie des trois événements étudiés.....	19
<b>5 LIMITES ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>25</b>
<b>6 MISE AU FORMAT CARTOGRAPHIQUE DIRECTIVE INONDATION.....</b>	<b>26</b>
<b>7 CONCLUSION.....</b>	<b>27</b>
<b>8 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>27</b>
<b>9 ANNEXES.....</b>	<b>28</b>
9.1 Présentation du logiciel Telemac-2D.....	28
9.2 Présentation du logiciel Bluekenue.....	30
9.3 Comparaison entre le déplacement des personnes et le débit linéique.....	32

## Index des illustrations

Illustration 1: localisation du bassin versant de la Kawénilajoli – source rapport TRI.....	5
Illustration 2: localisation du bassin versant de la Kirissoni – source rapport TRI.....	6
Illustration 3: localisation du bassin versant de la Gouloué – source rapport TRI.....	7
Illustration 4: localisation du bassin versant de la Majimbini.....	8
Illustration 5: extrapolation pluie T1000.....	10
Illustration 6: pluie de projet – T10 ans.....	11
Illustration 7: pluie de projet – T100 ans.....	12
Illustration 8: pluie de projet – T1000 ans.....	12
Illustration 9: vue globale du maillage – secteur 1.....	14
Illustration 10: vue détaillée du maillage - secteur 1.....	14
Illustration 11: vue globale du maillage – secteur 2.....	15
Illustration 12: vue détaillée du maillage - secteur 2.....	15
Illustration 13: vue globale du maillage – secteur 3.....	16
Illustration 14: vue détaillée du maillage - secteur 3.....	16
Illustration 15: vue globale du maillage – secteur 4.....	17
Illustration 16: vue détaillée du maillage - secteur 4.....	17
Illustration 17: carte des coefficients de rugosité - secteur 1.....	18
Illustration 18: carte des coefficients de rugosité - secteur 2.....	18
Illustration 19: carte des coefficients de rugosité - secteur 3.....	18
Illustration 20: carte des coefficients de rugosité - secteur 4.....	18
Illustration 21: secteur 1 – Qfreq – Hmax.....	20
Illustration 22: secteur 1 – Qfreq – Vmax.....	20
Illustration 23: secteur 1 – Qmoy – Hmax.....	20
Illustration 24: secteur 1 – Qmoy – Vmax.....	20

Illustration 25: secteur 1 – Qex – Hmax.....	20
Illustration 26: secteur 1 – Qex – Vmax.....	20
Illustration 27: secteur 2 – Qfreq – Hmax.....	21
Illustration 28: secteur 2 – Qfreq – Vmax.....	21
Illustration 29: secteur 2 – Qmoy – Hmax.....	21
Illustration 30: secteur 2 – Qmoy – Vmax.....	21
Illustration 31: secteur 2 – Qex – Hmax.....	21
Illustration 32: secteur 2 – Qex – Vmax.....	21
Illustration 33: secteur 3 – Qfreq – Hmax.....	22
Illustration 34: secteur 3 – Qfreq – Vmax.....	22
Illustration 35: secteur 3 – Qmoy – Hmax.....	22
Illustration 36: secteur 3 – Qmoy – Vmax.....	22
Illustration 37: secteur 3 – Qex – Hmax.....	22
Illustration 38: secteur 3 – Qex – Vmax.....	22
Illustration 39: secteur 4 – Qfreq – Hmax.....	23
Illustration 40: secteur 4 – Qfreq – Vmax.....	23
Illustration 41: secteur 4 – Qmoy – Hmax.....	23
Illustration 42: secteur 4 – Qmoy – Vmax.....	23
Illustration 43: secteur 4 – Qex – Hmax.....	23
Illustration 44: secteur 4 – Qex – Vmax.....	23
Illustration 45: Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau.....	40

## Index des tableaux

Tableau 1: valeurs fréquentielles des pluies journalières, source [2].....	10
Tableau 2: valeurs de a et b de la relation de passage entre pluie journalière et pluie de durée t, source [2].	11



# 1 Introduction et présentation

## 1.1 Contexte de l'étude

Dans le cadre de la mise en œuvre du second cycle de la directive inondation, une mise à jour des cartes d'aléa est demandée pour 2019.

## 1.2 Présentation des secteurs d'études

### 1.2.1 La Kawénilajoli à Mamoudzou

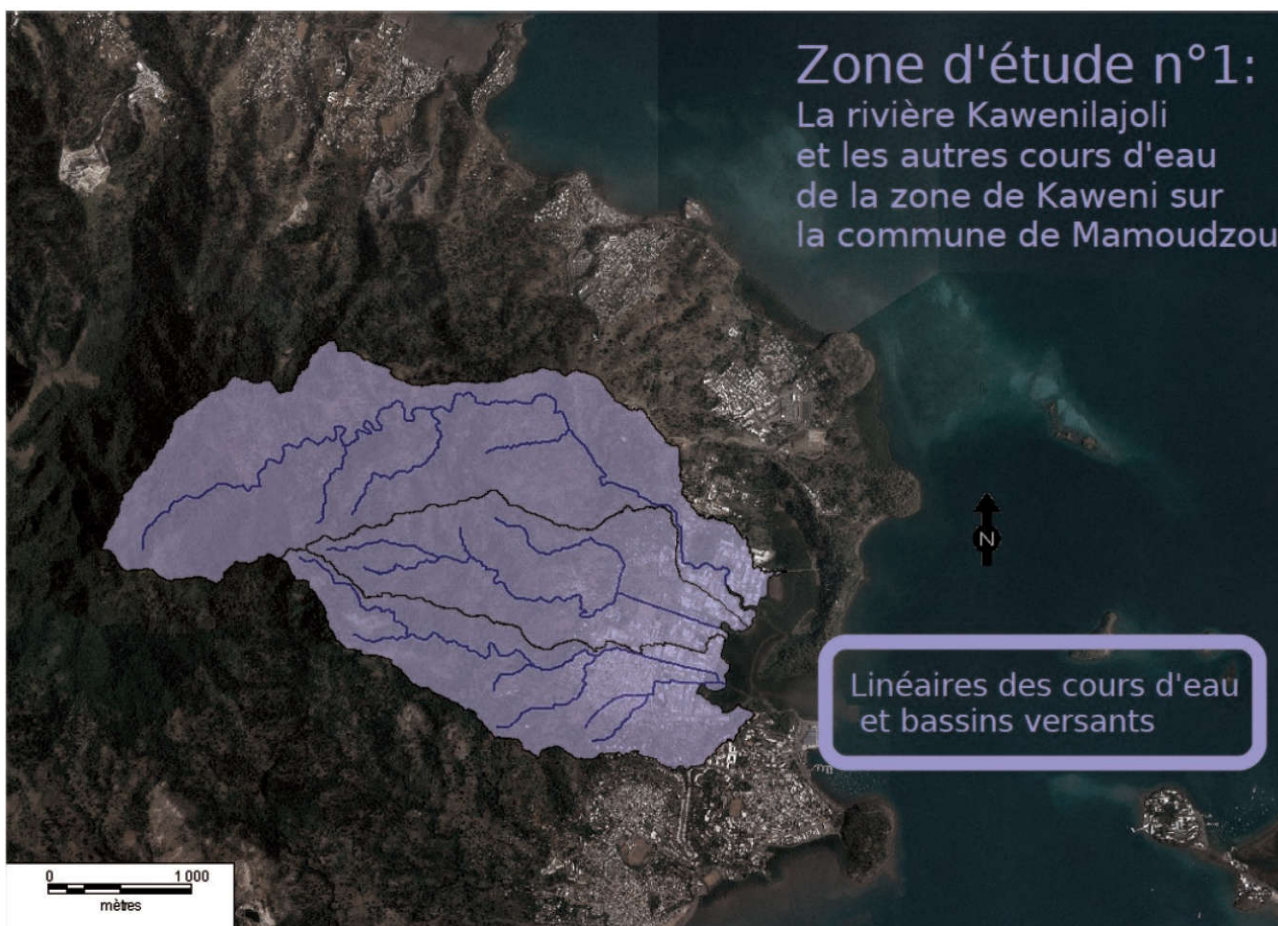


Illustration 1: localisation du bassin versant de la Kawénilajoli – source rapport TRI

Trois bassins versants constituent cette zone d'étude. Ils se rejoignent dans la mangrove :

- Au nord le cours d'eau principal, la Kawénilajoli, mesure 6,5 km et draine un bassin versant de l'ordre de 4 km<sup>2</sup>.
- La Kawéni nord, qui mesure 3,5 km pour une surface de bassin versant d'environ 2 km<sup>2</sup>.

- La Kawéni sud, qui mesure 3,8 km pour une surface de bassin versant d'environ 2 km<sup>2</sup>.

De manière générale les enjeux sont situés sur la frange littorale de l'île de Mayotte, en raison du relief très marqué sur l'île. Sur ce bassin en particulier la partie amont est constituée de reliefs à végétation dense (altitude maximale de 300m), les enjeux à l'aval sont constitués de zones denses habitées et de zones industrielles.

## 1.2.2 La Kirissoni à Koungou

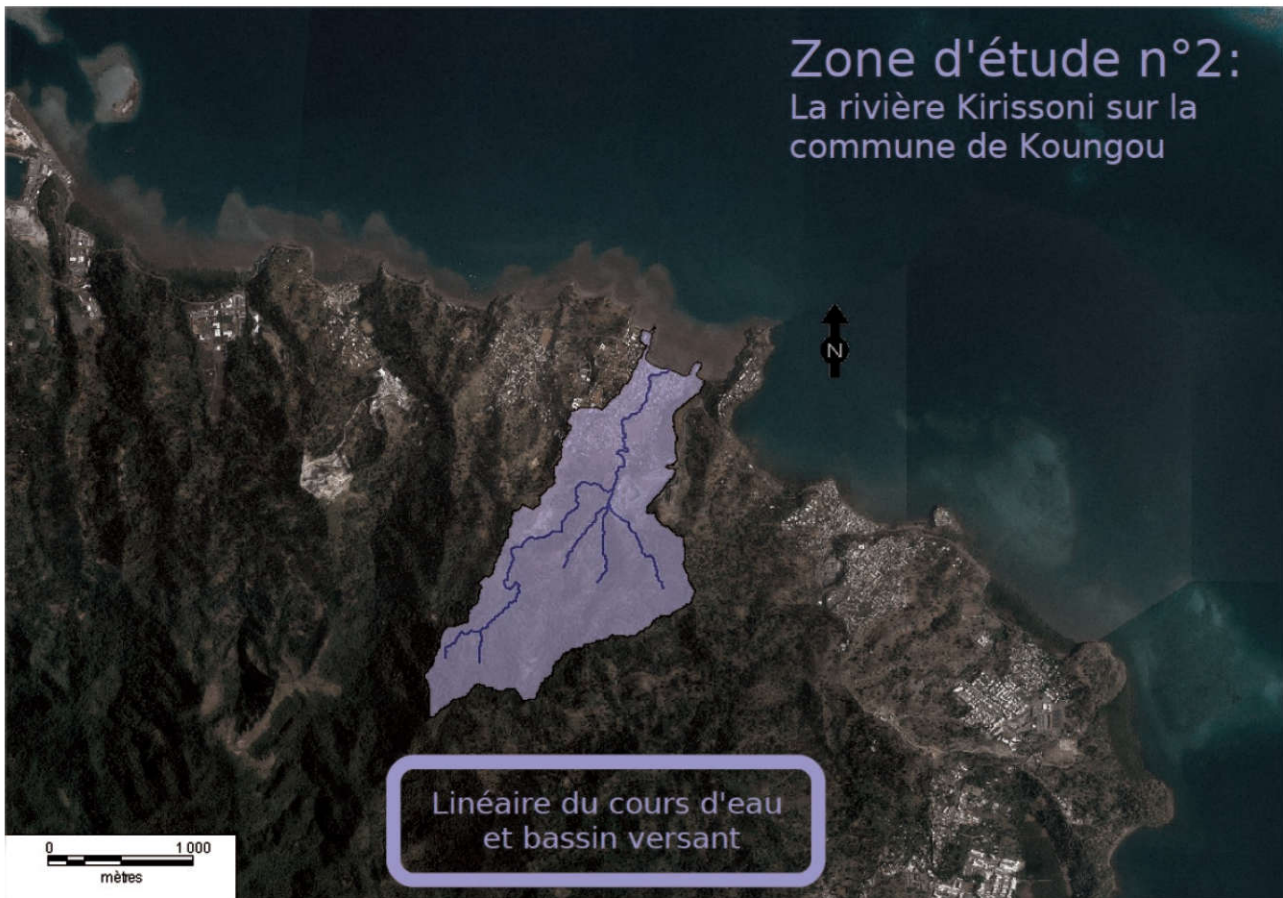


Illustration 2: localisation du bassin versant de la Kirissoni – source rapport TRI

La taille du bassin versant de la Kirissoni est de 2,5 km<sup>2</sup>. La longueur du cours d'eau est de 2,2 km.

Sur ce bassin versant, la partie amont est constituée de reliefs à végétation dense (altitude maximale de 300 m ). Les enjeux sont également concentrés à l'aval où le cours d'eau traverse des zones habitées denses.



### 1.2.3 La Gouloué à Mamoudzou

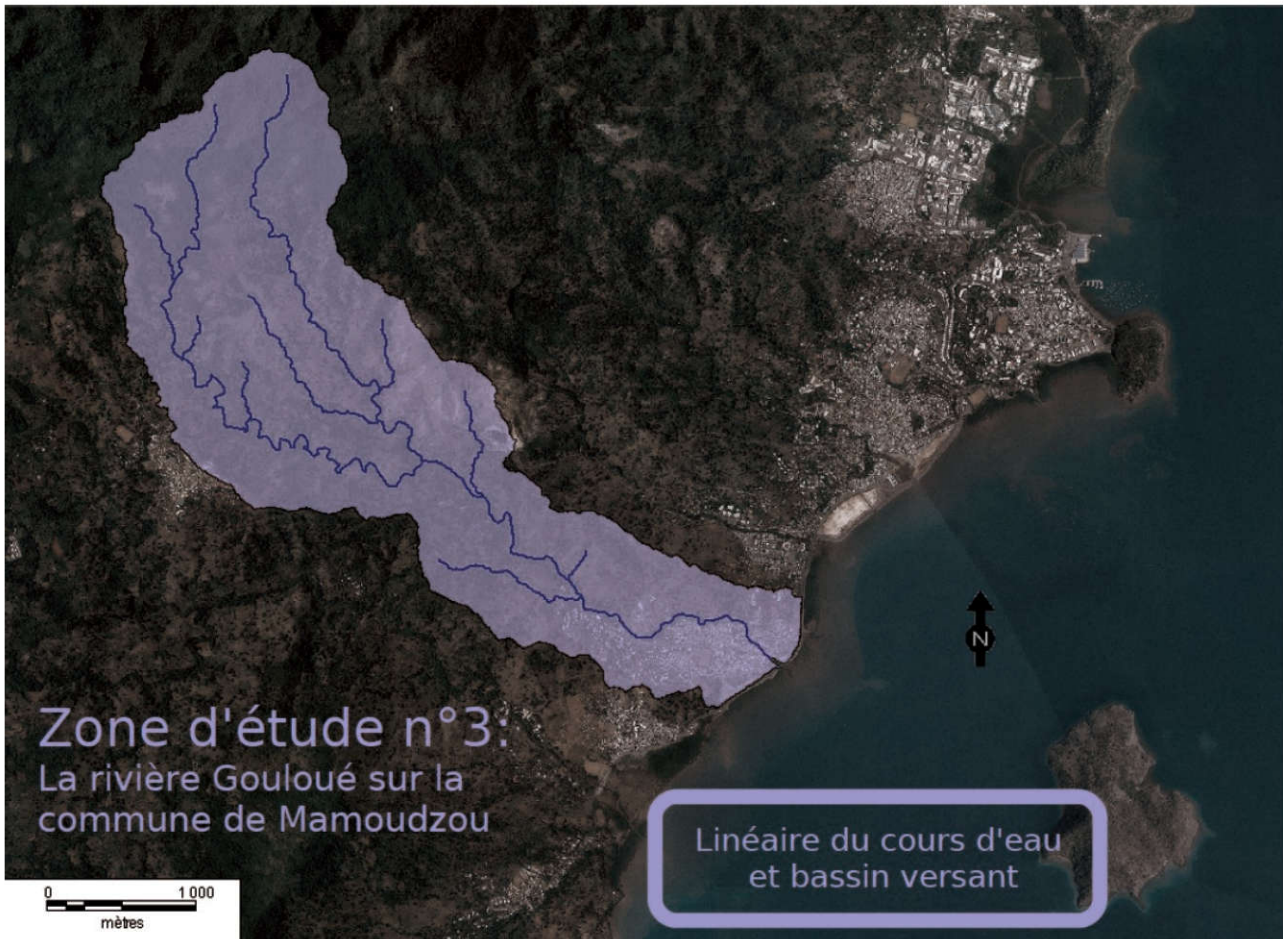


Illustration 3: localisation du bassin versant de la Gouloué – source rapport TRI

La taille du bassin versant de la Gouloué est de 7,5 km<sup>2</sup>. La longueur du cours d'eau est de 8 km.

Sur cette zone, l'amont du bassin versant est constitué de reliefs végétalisés (altitude maximale de 500 m). Sur la partie aval le cours d'eau longe une zone de relief en rive gauche et les enjeux sont ici regroupés en rive droite. Ils sont constitués de zones d'habitations et d'activités denses.

## 1.2.4 La Majimbini à Mtsapéré

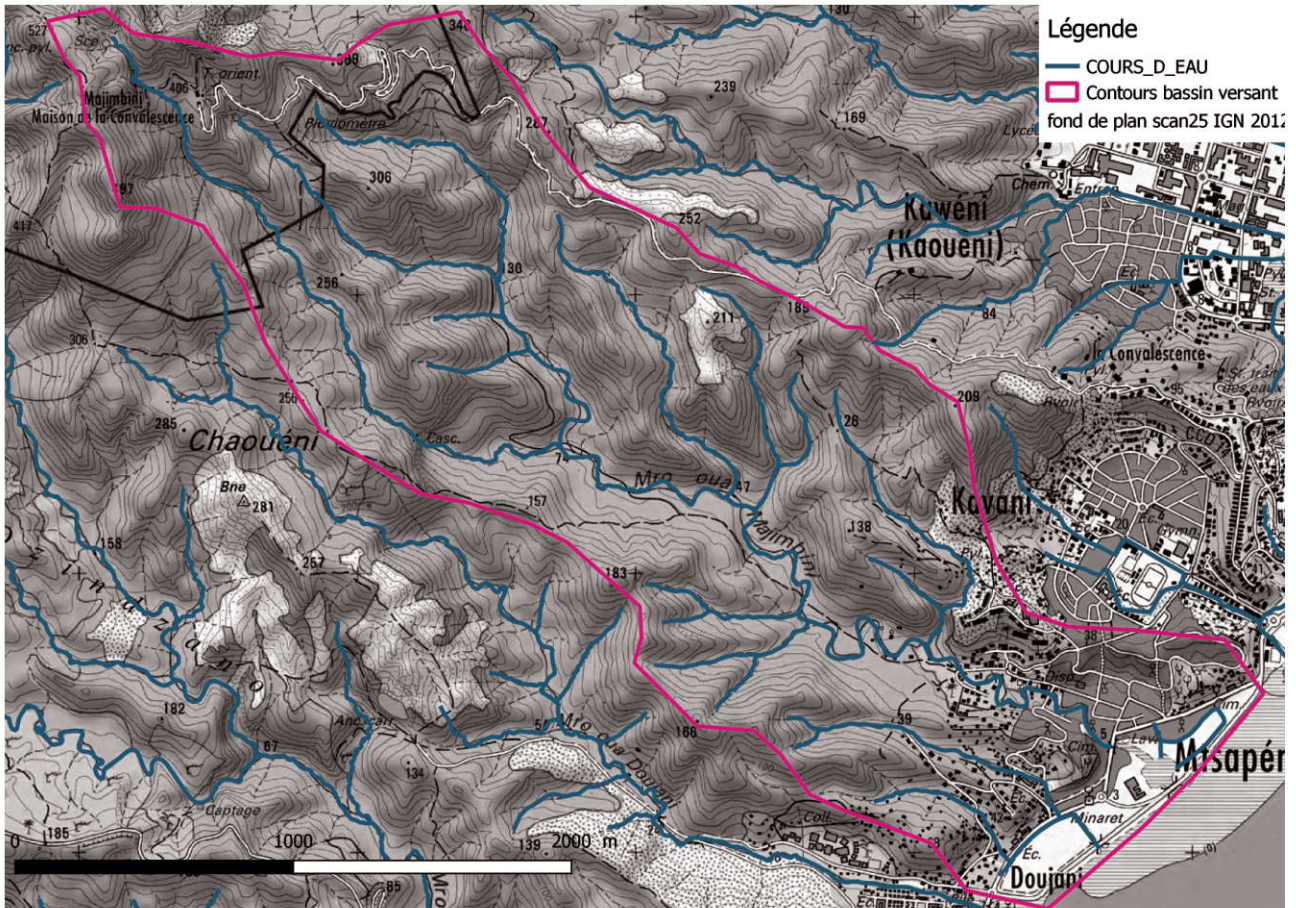


Illustration 4: localisation du bassin versant de la Majimbini

La taille du bassin versant de la Majimbini est de 5,3 km<sup>2</sup>. La longueur du cours d'eau est de 6,2 km.

L'amont du bassin versant est constitué de reliefs végétalisés (altitude maximale supérieure à 500 m).

Les enjeux, principalement de type habitations, sont regroupés sur la côte à l'aval du bassin, sur les deux rives du cours d'eau. L'axe routier en remblai (la RN2) qui longe le littoral, forme un obstacle à l'écoulement du cours d'eau. Deux écoulements secondaires sont modélisés au-dessus du village de Douani. La zone inondable à l'aval, située entre le versant et le remblai routier est commune. Il était plus opportun de traiter en globalité ces petits réseaux hydrographiques pour disposer d'une évaluation des zones inondables homogène.



## 2 Présentation de la méthodologie de modélisation sur les TRI Cours d'eau à Mayotte

Les modèles mis en œuvre pour cette cartographie du TRI Cours d'Eau sur Mayotte suivent les mêmes principes que la dernière vague en cours de PPRi réalisée sur Mayotte sur les secteurs à forts enjeux.

Pour rappel, les PPRi vague 3 combinent sur la plupart des secteurs de Mayotte, des résultats de méthodes Exzeco<sup>1</sup> et Cartino<sup>2</sup> du Cerema après expertise et validation du groupement.

Sur certains secteurs à forts enjeux, le groupement du PPRi vague 3 réalise des modélisations sur l'ensemble des bassins versants avec des modélisations 2D.

Le principe général de ces modélisations 2D est le même que celui mis en œuvre pour les cartographies des cours d'eau dans les TRI.

Le calcul se base sur un modèle 2D demandant un maillage de l'ensemble du bassin versant avec des triangles. Ces triangles ont des cotés les plus longs de 3 à 10 mètres dans les calculs TRI. Les calculs dans les PPRi vague 3 indiquent que les mailles ont une surface moyenne de 15 m<sup>2</sup> sur les zones d'enjeux à cartographier en 2D et de 30 m<sup>2</sup> sur le reste du bassin versant.

La topographie utilisée est le Lidar IGN levé en 2009 et fourni en 2011. La seule différence entre les cartes TRI et PPRi 3ème vague est l'obstruction considérée à 50 % de certains ouvrages en lit mineur dans les PPRi vague 3 (4.3.1 Maillage).

Il n'y a pas de modèle hydrologique classique utilisé pour convertir la pluie en débit. L'hydrologie est intégrée directement par de la pluie sur chaque point du maillage. Cette pluie dans la cartographie TRI est définie par des pluies de projet utilisant les mêmes hypothèses que le PPRi vague 3 (3 Estimation des pluies de projet).

Pour les divers paramètres de calcul, tel que rugosité, coefficient SCS pour la conversion Pluie-débit sur chaque maille, ces valeurs sont les valeurs classiques et cohérentes entre les deux approches.

Les conditions limites utilisées en mer sont elles aussi identiques à celle utilisées dans les PPRi vague 3 (4.3.3 Conditions limites).

Dans le cadre des PPRi vague 3, une cohérence des résultats 2D avec les zones Exzeco est vérifiée et dans certains cas, des zones cartographiées Exzeco sont intégrées dans les résultats finaux. Ceci n'a pas été intégré dans la cartographie des TRI, car on raisonne en hauteur, vitesse ce qui n'est plus possible avec l'intégration des zones Exzeco.

Par rapport aux méthodes des PPRi vague 1 et 2, les cartographies PPRi 3<sup>e</sup> vague et Carto DI sont différentes. L'approche naturaliste et hydrogéomorphologique utilisée ne produisait que des emprises d'aléas et ne permettaient pas d'avoir une vision fine des hauteurs et vitesses atteintes par zone.

Les données de hauteurs d'eau sont obligatoires pour la directive inondation et nécessitent de réaliser la plupart du temps un modèle hydraulique. Lors des premières cartographies de la directive inondations, des modélisations 1D avaient été réalisées. Ces cartes nécessitaient des améliorations importantes. Par exemple, la modélisation 1D ne représentait pas la complexité des écoulements déconnectés, les débits avaient été choisis de manière empirique et le résultat final comportait des incohérences comme des emprises touchées par un scénario et pas touchées le scénario supérieur avec un débit plus important.

En synthèse, la méthode utilisée dans la cartographie directive inondation 2019 s'appuie sur :

- Estimations des pluies de projet (pour chaque scénario) suivant l'état de l'art à Mayotte
- Réalisation d'un maillage fin sur le Lidar 1m IGN
- Définition des paramètres de calcul
- Calcul sur un modèle 2D mondialement reconnu
- Post-traitement des résultats

1 <https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode>

2 <https://www.cerema.fr/fr/actualites/outils-phase-cartographie-directive-inondation-cartino-pc>

### 3 Estimation des pluies de projet

Sur l'ensemble des secteurs modélisés, afin d'être en cohérence avec les PPRI vague 3, des pluies de projet sont injectées sur la totalité des bassins versants étudiés.

Ces pluies de projet proviennent ainsi des recommandations des études [1] et [2] du BRGM. Elles sont calculées de la manière suivante :

Une pluie de durée t et de fréquence f sera égale à  $P_t(f) = P_j(f) \cdot a \cdot t^b$

- avec  $P_j(f)$  : pluie journalière de fréquence f. Les valeurs fréquentielles des pluies journalières sont définies dans 3 zones distinctes dans le tableau suivant :

Période de retour T (année)	Moyenne	2	5	10	20	50	100
Région 1 :	110	100	145	170	200	235	260
Région 2 :	135	125	175	210	245	290	320
Région 3		150	210	250	290	340	380
« Convalescence »							

Tableau 1: valeurs fréquentielles des pluies journalières, source [2]

L'ensemble des zones étudiées sont situées dans la région « Convalescence » (zone correspondant à des projets à forts enjeux ou à des altitudes élevées). La période maximale fournie dans ce tableau est de 100 ans. Pour obtenir la pluie pour période de retour 1000 ans, nous effectuons une simple corrélation linéaire, qui nous donne une valeur de pluie journalière de 510 mm, voir graphique suivant :

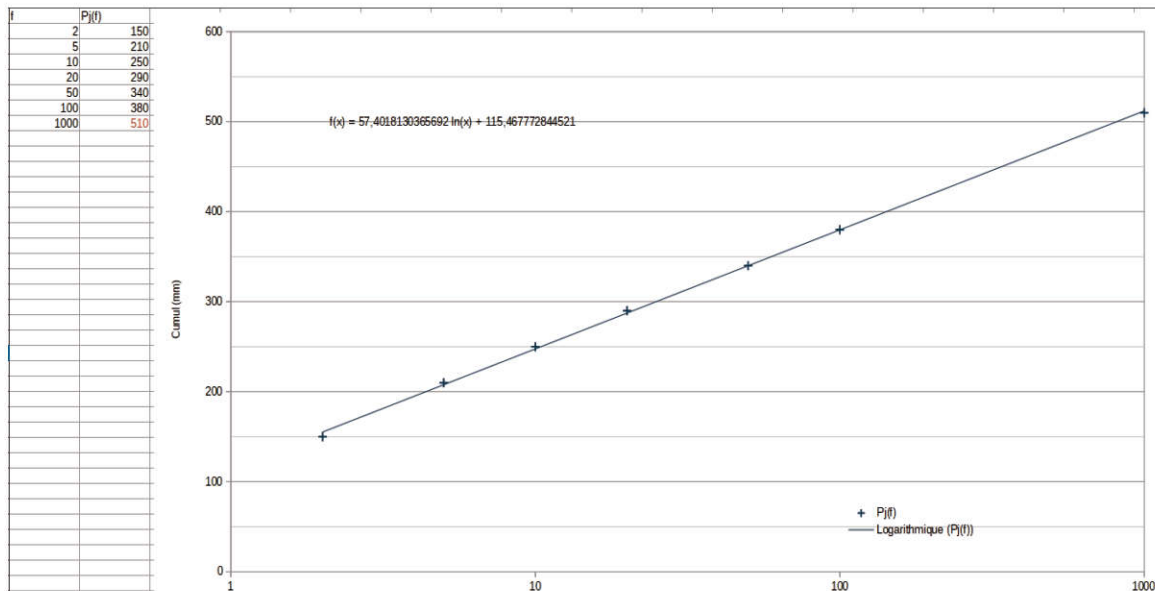


Illustration 5: extrapolation pluie T1000

- t : durée (en heure).
- a et b : coefficients a et b déterminés à l'aide du tableau 2 en fonction du temps de concentration du

bassin.

Durée	a	b
t < 1 h	0,52	0,6828
t > 1 h	0,54	0,257

Tableau 2: valeurs de a et b de la relation de passage entre pluie journalière et pluie de durée t, source [2]

L'application de la formule précédente nous permet de calculer nos pluies de projet, récapitulées dans le tableau suivant. La période intense est de 12 min correspond au temps de concentration moyen des sous bassins versants, hypothèse retenue par les études BRGM [1] et [2]. La durée totale est de 6 heures afin de prendre en compte une saturation initiale du sol au début de l'épisode pluvieux.

10 ans		
Pj	250	
t (min)	t (h)	Pt(10 ans)
12	0.2	43
36	0.6	92
60	1	130
84	1.4	147
108	1.8	157
132	2.2	165
156	2.6	173
180	3	179
204	3.4	185
228	3.8	190
252	4.2	195
276	4.6	200
300	5	204
324	5.4	208
348	5.8	212
372	6.2	216

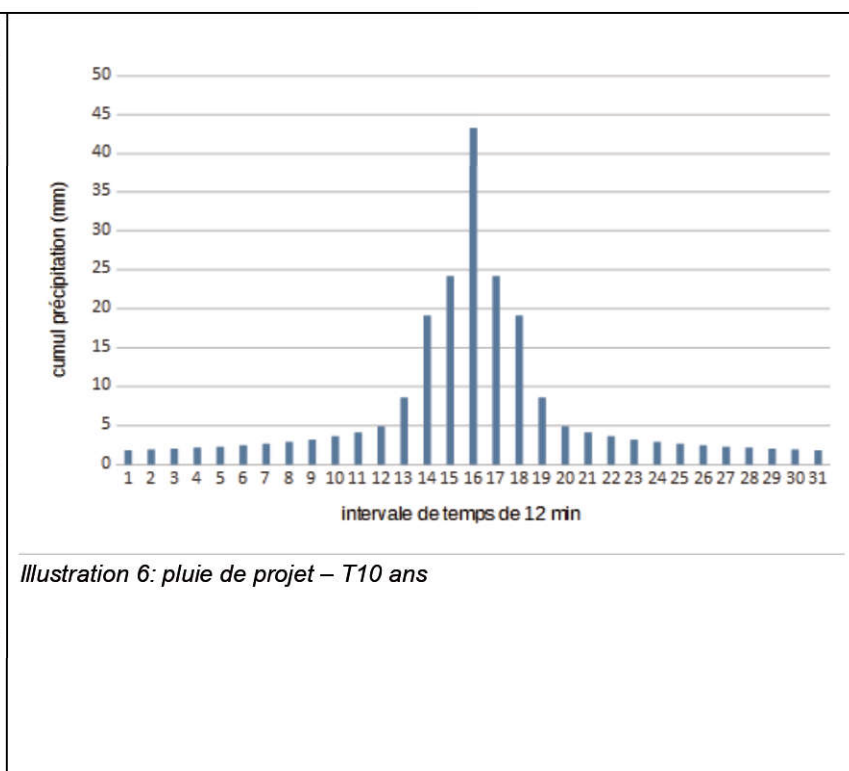


Illustration 6: pluie de projet – T10 ans



100 ans		
Pj	380	
t (min)	t (h)	Pt(100 ans)
12	0,2	66
36	0,6	139
60	1	198
84	1,4	224
108	1,8	239
132	2,2	251
156	2,6	262
180	3	272
204	3,4	281
228	3,8	289
252	4,2	297
276	4,6	304
300	5	310
324	5,4	317
348	5,8	322
372	6,2	328

t (min)	t (h)	Pt(1000 ans)
12	0.2	88
36	0.6	187
60	1	265
84	1.4	300
108	1.8	320
132	2.2	337
156	2.6	352
180	3	365
204	3.4	377
228	3.8	388
252	4.2	398
276	4.6	408
300	5	416
324	5.4	425
348	5.8	433
372	6.2	440

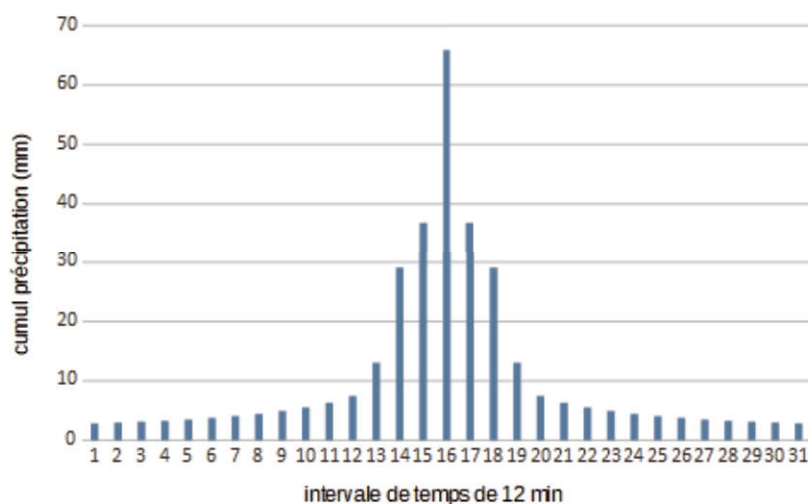


Illustration 7: pluie de projet – T100 ans

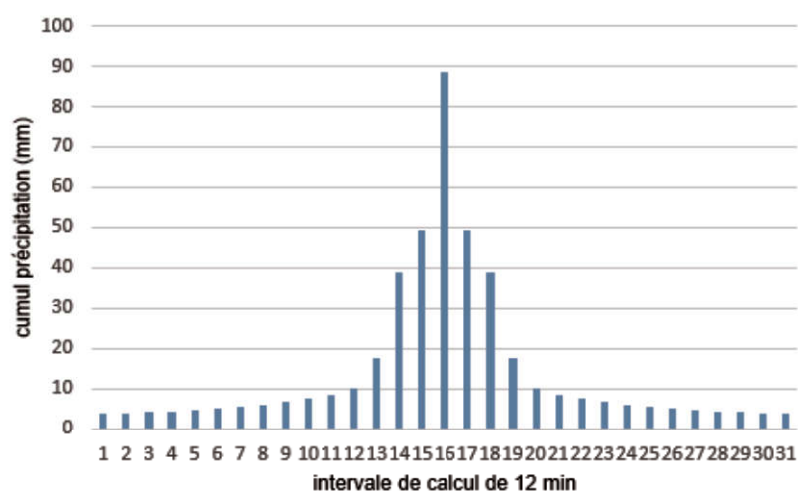


Illustration 8: pluie de projet – T1000 ans

## 4 Étude hydraulique

### 4.1 Choix du modèle hydraulique

Sur les quatre secteurs d'étude le fonctionnement hydraulique est complexe en raison de la configuration locale. Ainsi la modélisation hydraulique dans le cadre de la DI et des études PPRI a mis en évidence les limites d'utilisations de modèles 1D :

- Des écoulements secondaires déconnectés du lit mineur dès les premiers débordements sur plusieurs secteurs, puis des échanges lit mineur-lit majeur.
- Des apports intermédiaires latéraux.
- Des vitesses d'écoulement multidirectionnelles.
- Sur le secteur de la Kawénilajoli, une zone inondable parfois très large, avec une cote d'eau non horizontale dès que les trois cours d'eau se rejoignent dans la plaine.

Pour l'ensemble de ces raisons, une modélisation hydraulique 2D semble nécessaire pour représenter au mieux ces écoulements complexes.

Le logiciel de calcul hydraulique utilisé est Telemac 2D (voir référence en annexe). Le logiciel permettant de réaliser le maillage est Bluekenue.

### 4.2 Topographie

Les données topographiques de type Lidar disponibles utilisées dans la présente étude sont issues de la base RGEALTI datée d'août 2016.

Sur plusieurs secteurs, le Lidar ne prend pas correctement en compte le fond du lit, dans le cas de franchissements de cours d'eau par certains remblais routiers. Nous avons alors effectué une correction du fond topographique manuellement pour ramener l'altitude du MNT au niveau du fond de thalweg. C'est le cas du franchissement de la RN1 à Koungou, Kawéni et de l'ancienne RN près du cimetière à Mtsapéré.

Nous avons également utilisé les données suivantes pour construire le modèle hydraulique :

- couche Exzeco : utilisée pour détecter tous les affluents

La méthode Exzeco est une méthode d'extraction des zones d'écoulements basée sur les algorithmes SIG de calcul de réseau de drainage. Cette méthode purement topographique nécessite l'utilisation d'un MNT. Le Lidar du RGE AltI au pas de 1m a été dégradé au pas de 5m.

Les résultats de la méthode Exzeco sont disponibles sur l'ensemble de l'île de Mayotte<sup>1</sup>.

- couches remblai et pente (traitement du lidar par les outils DICARTO) : utilisée pour détecter les zones où une ligne de contrainte devra être intégrée au maillage, notamment des points hauts de remblais sur lequel le maillage 2D devra s'appuyer.

Ces deux données ont aussi été fournies dans le cadre des études PPR vague 3 à la DEAL.

---

1 <https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode>

## 4.3 Construction du modèle hydraulique

Pour disposer d'un maillage précis sur les zones inondables mais pas trop volumineux pour des questions de temps de calcul, la taille des mailles a été définie par zones. Dans les zones dites Exzecco, la maille sera plus fine que dans le reste du territoire modélisé. Les valeurs des paramètres sont fournis pour chaque bassin versant associé à une rivière.

### 4.3.1 Maillage

#### 4.3.1.1 Secteur 1 : La Kawénilajoli à Mamoudzou

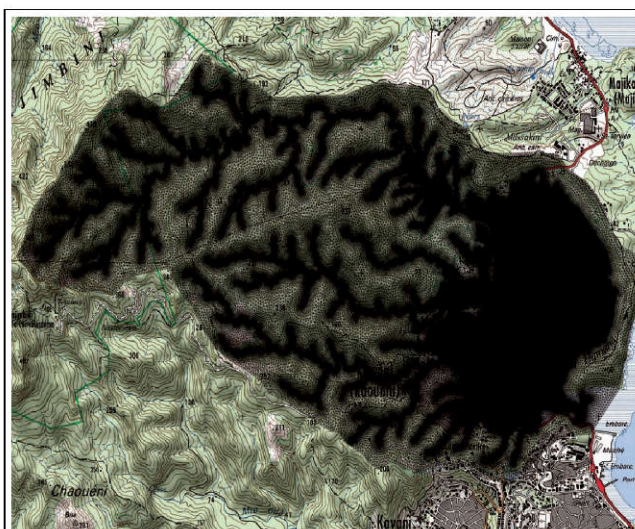


Illustration 9: vue globale du maillage – secteur 1

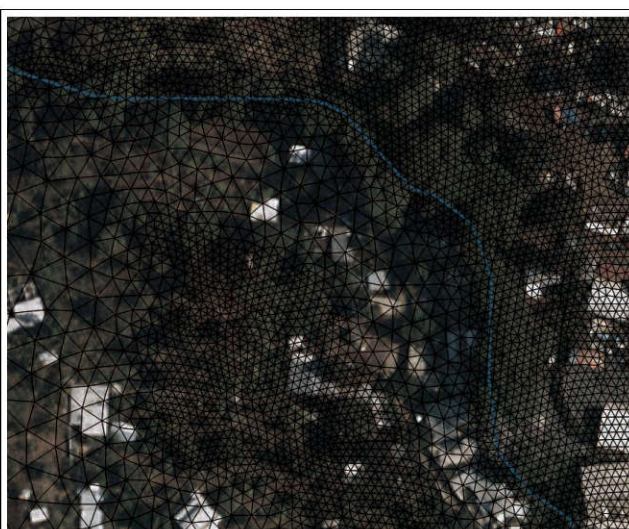


Illustration 10: vue détaillée du maillage - secteur 1

La zone modélisée s'étend sur la totalité du bassin versant de la Kawenilajoli, soit environ 10 km<sup>2</sup>, pour une longueur de cours d'eau de 5 km. L'utilisation de la donnée exzecco comme squelette nous permet de modéliser de manière suffisamment fine l'ensemble des affluents du bassin versant jusqu'à la mangrove et la sortie en mer.

Le maillage est constitué de 350 000 nœuds de calculs. 2 tailles de mailles ont été définies pour construire le maillage :

- 3 m dans les zones définies par exzecco.
- 20 m maximum sur le reste du bassin versant modélisé.



#### 4.3.1.2 Secteur 2 : La Kirissoni à Koungou

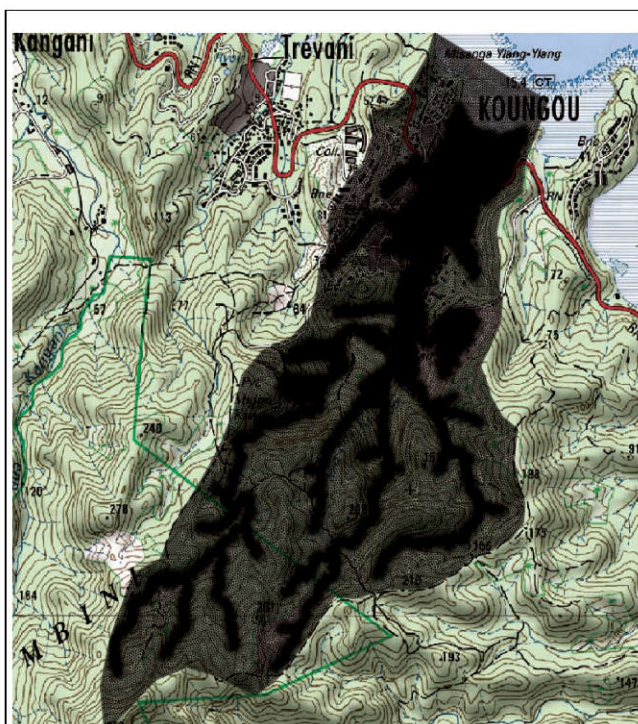


Illustration 11: vue globale du maillage – secteur 2

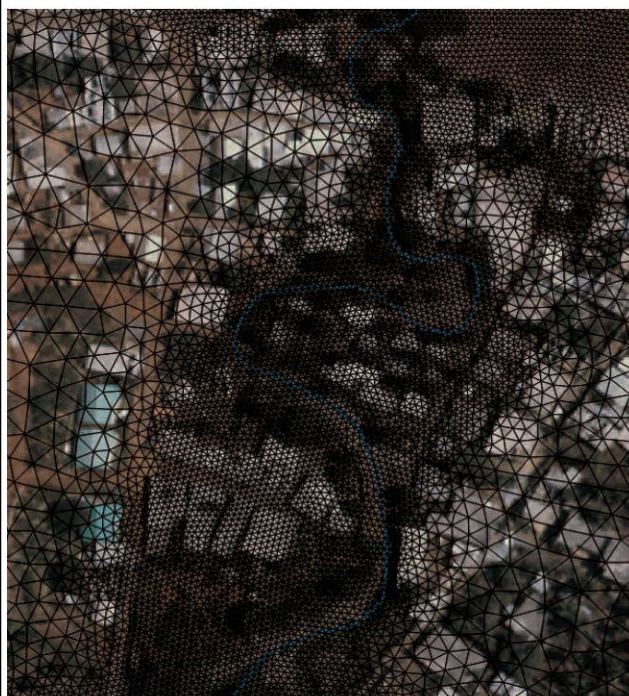


Illustration 12: vue détaillée du maillage - secteur 2

La zone modélisée s'étend sur la totalité du bassin versant de la Kirissoni, soit environ 2,5 km<sup>2</sup>, pour une longueur de cours d'eau de 3 km. L'utilisation de la donnée exzeco comme squelette nous permet de modéliser de manière suffisamment fine l'ensemble des affluents du bassin versant.

Le maillage est constitué de 150 000 nœuds de calculs. 2 tailles de mailles ont été définies pour construire le maillage :

- 3 m dans les zones définies par exzeco.
- 10 m maximum sur le reste du bassin versant modélisé.

#### 4.3.1.3 Secteur 3 : La Gouloué à Mamoudzou

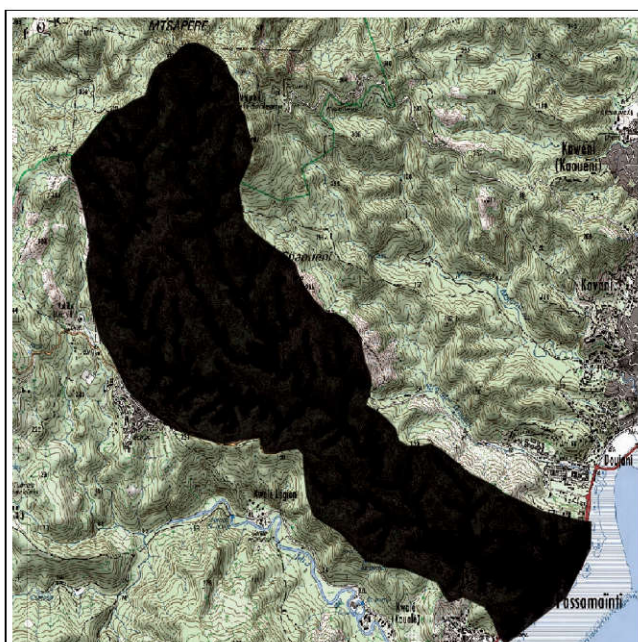


Illustration 13: vue globale du maillage – secteur 3

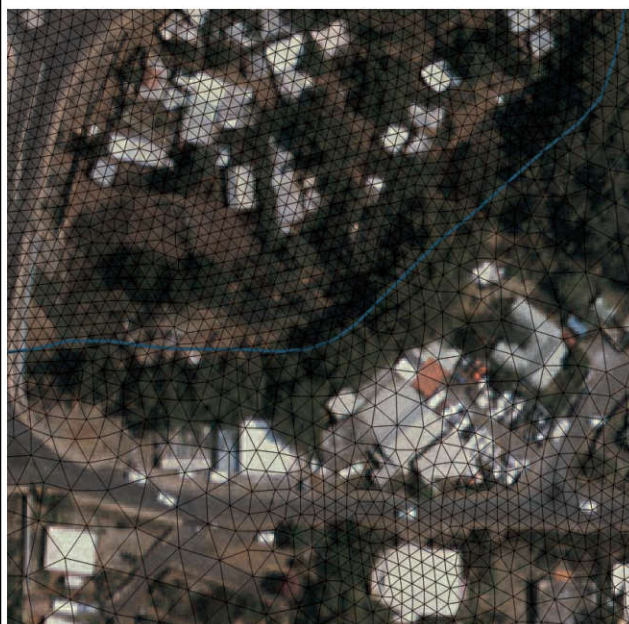


Illustration 14: vue détaillée du maillage - secteur 3

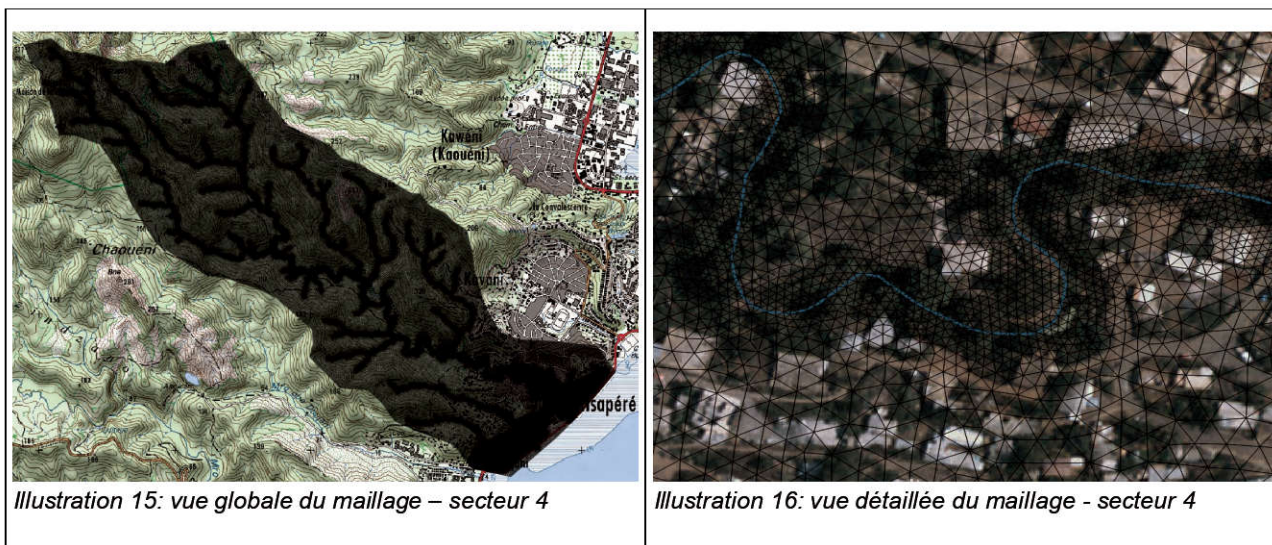
La zone modélisée s'étend sur la totalité du bassin versant de la Gouloué, soit environ 7 km<sup>2</sup>, pour une longueur de cours d'eau de 3 km. L'utilisation de la donnée exzeco comme squelette nous permet de modéliser de manière suffisamment fine l'ensemble des affluents du bassin versant.

Le maillage est constitué de 220 000 nœuds de calculs. 2 tailles de mailles ont été définies pour construire le maillage :

- 3 m dans les zones définies par exzeco.
- 10 m maximum sur le reste du bassin versant modélisé.



#### 4.3.1.4 Secteur 4 : La Majimbini à Mtsapéré



La zone modélisée s'étend sur la totalité du bassin versant de la Majimbini, soit environ 5 km<sup>2</sup>, pour une longueur de cours d'eau de 4,5 km. L'utilisation de la donnée exzeco comme squelette nous permet de modéliser de manière suffisamment fine l'ensemble des affluents du bassin versant.

Le maillage est constitué de 150 000 nœuds de calculs. 2 tailles de mailles ont été définies pour construire le maillage :

- 3 m dans les zones définies par exzeco.
- 10 m maximum sur le reste du bassin versant modélisé.

Globalement, sur l'ensemble des secteurs étudiés, le maillage est a minima aussi fin que celui du PPRI vague 3.

### 4.3.2 Choix de la rugosité

Sur l'ensemble des secteurs étudiés nous avons déterminé de grandes zones de rugosité homogènes :

- lit mineur : 15 (20 pour le Gouloué qui semble beaucoup moins rugueux)
- zones de bâti dense : 5
- zones de bâti diffus : 10
- rues qui concentrent l'écoulement principal entre des zones bâties : 40
- zones de friches : 20
- zones marécageuses, mangroves : 5
- lit mineur dans la Mangrove : 30
- zones de relief : 15

Ces zones ont été tracées sur la base des orthophotos IGN les plus récentes.

Les cartes suivantes permettent d'illustrer les zones de rugosité définies sur chaque secteur :





Illustration 17: carte des coefficients de rugosité - secteur 1

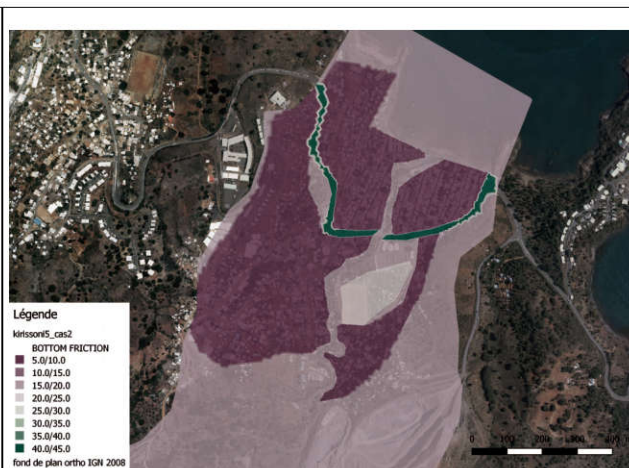


Illustration 18: carte des coefficients de rugosité - secteur 2

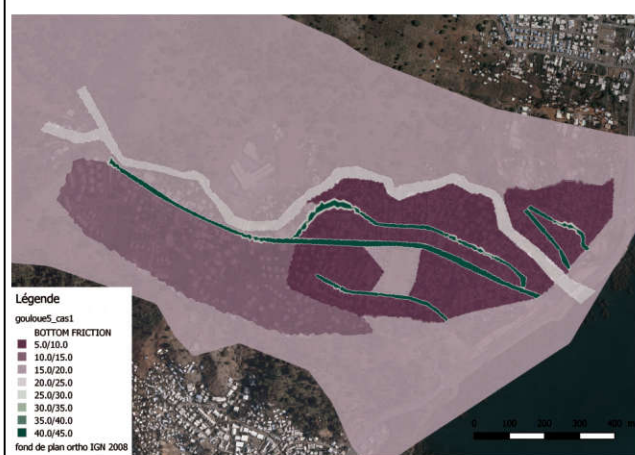


Illustration 19: carte des coefficients de rugosité - secteur 3



Illustration 20: carte des coefficients de rugosité - secteur 4

Dans des milieux urbains très denses, le maillage peut parfois prendre en compte les formes urbaines. Sur Mayotte, nous avons intégré l'urbanisation au travers d'un coefficient de frottement. L'urbanisation à Mayotte créé moins d'îlot de bâtiments comme dans des centres historiques anciens métropolitains. Rentrer dans le détail du maillage des bâtiments nécessite aussi de disposer de nombreux éléments de calage (Plus hautes Eaux, éléments historiques) non disponibles sur Mayotte à l'heure actuelle et considère qu'aucun écoulements ne peut traverser les habitations, ce qui n'est pas forcément le cas au vu du type d'habitat.

### 4.3.3 Conditions limites

#### 4.3.3.1 Condition limite amont

Il n'y a pas d'injection de débit à l'amont du modèle. Les pluies de projet sont directement injectées sur la totalité du modèle.

A l'exutoire de chaque bassin versant, les résultats de débits atteints pour les trois événements pluviométriques sont les suivants. Entre parenthèse, les valeurs retenues pour la cartographie en 2013 :

- **150-370-540**m<sup>3</sup>/s pour la Kawénilajoli. (84-260-990 pour les TRI 1<sup>re</sup> phase)
- **50-120-200** m<sup>3</sup>/s pour la Kirissoni. (35-90-370)

- **110-310-540 m<sup>3</sup>/s** pour la Gouloué. (95-240-950)
- **100-240-380 m<sup>3</sup>/s** pour la Majimbini.(nouveau secteur)

Les débits pseudo-spécifiques obtenus pour chaque bassin sont de l'ordre de **25-60-100 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1,6</sup>** pour les 3 scénarios respectifs. Ces valeurs semblent cohérentes avec les études PPRI vague 3.

#### 4.3.3.2 Condition limite aval

La condition limite aval des modèles hydraulique est injectée au niveau de la mer.

Les conditions marines sont les mêmes que dans l'étude PPRI phase 3, à savoir 2 conditions définies à partir des données du SHOM :

1 : PMVE Niveau des pleines mers de vives-eaux = PMVE M<sub>iti</sub> – ZH/Zref = 3.75 – 1.779 = **1.97 m NGM**

2 : PHMA : Plus Haute Mer Astronomique : PHMA M<sub>iti</sub> – ZH/Zref = 4.39 – 1.779 = **2.61 m NGM**

La condition limite aval 1 est prise en compte pour les scénarios fréquents et moyens. La condition limite aval 2 est prise en compte pour le scénario extrême.

Ces valeurs sont cohérentes avec les PPRI 3<sup>ème</sup> vague.

La remontée du niveau marin liée au changement climatique n'est pas intégrée. Le décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les aléas débordement de cours d'eau et submersion marine propose une prise en compte non obligatoire pour les fleuves côtiers. Cette intégration n'a pas été faite sur Mayotte pour deux raisons :

- La submersion marine étant aussi traitée dans le cadre de la cartographie de la directive inondation sur Mayotte, il est intéressant de voir sur le territoire l'impact de chaque type d'inondations
- Le relief de Mayotte et les scénarios de pluie choisis, la contrainte hydraulique aval ne serait pas très importante.

Des déformations du sol provoquées par la crise tellurique en cours à l'est de Mayotte depuis mai 2018 n'ont pas été intégrées<sup>1</sup>. Le MNT utilisé est celui levé en 2009. Ces mouvements étant toujours en cours, les 15 cm de déformations maximales verticales souvent cités (atteints actuellement sur certaines stations mais qui peuvent ne pas être la limite haute) n'ont pas été intégrés. Comme pour la remontée du niveau marin, l'argument du relief et des scénarios de pluie choisi est toujours valable.

#### 4.3.4 Paramètres de calcul

Les calculs sont réalisés avec Telemac 2D, version V7P3. Les valeurs des principaux paramètres qui permettent de stabiliser les calculs sont les suivants :

- Résolution des équations de Barré de St Venant par la méthode des éléments finis
- Pas de temps : 0,2 s.
- Modèle de turbulence à viscosité constante.
- Coefficient de diffusion des vitesses (viscosité numérique) : 10<sup>-6</sup>
- Utilisation du modèle Rainfall-runoff avec une valeur du Curve Number à 60 sur l'ensemble des secteurs modélisés. Cette valeur est dans la fourchette basse des valeurs usuelles pour ce type de sols (55 à 80) voir guide [3], cependant c'est celle qui nous permet de caler au mieux l'hydrologie afin que les valeurs de débits pseudo spécifiques soient comparables avec ceux des autres bassins étudiés.

### 4.4 Cartographie des trois événements étudiés

Les résultats des modélisations hydrauliques ont donné lieu à la production de cartes de hauteurs d'eau maximales et de vitesses d'écoulement maximales (moyennées sur la verticale) sur la totalité de la crue, pour chacun des trois scénarios. Les débits linéiques ont aussi été produits mais ne sont pas illustrés dans le

1 <http://mayotte.gnss.fr/>

rapport. Le graphique au chapitre 9.3 Comparaison entre le déplacement des personnes et le débit linéique permet de voir une idée des conséquences de ces hauteurs d'eau. Les pluies simulées en 6h sont considérées comme des crues éclairs avec peu de temps de réaction pour la gestion de crise.



#### 4.4.1 Secteur 1 : La Kawénilajoli à Mamoudzou

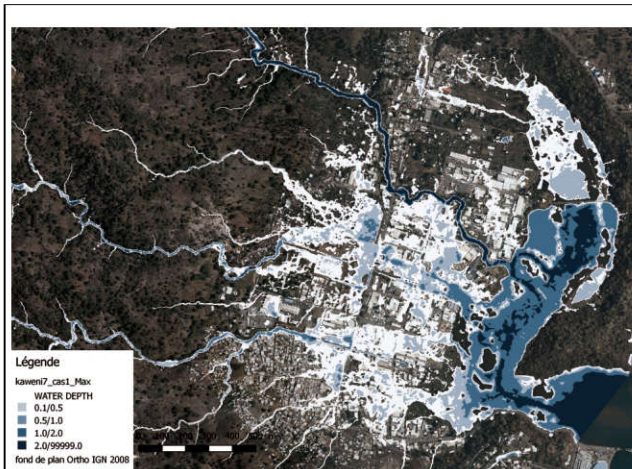


Illustration 21: secteur 1 – Qfreq – Hmax

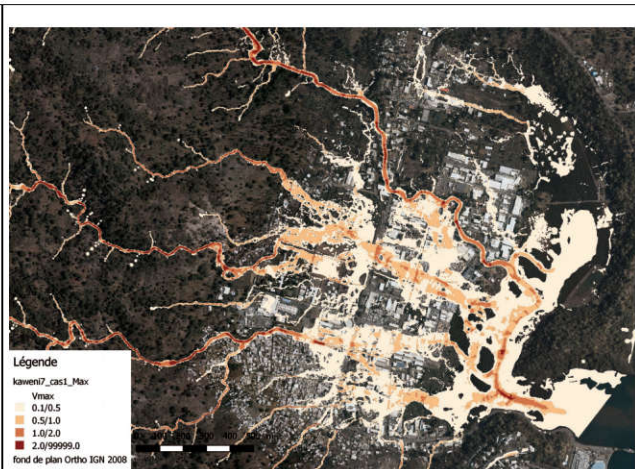


Illustration 22: secteur 1 – Qfreq – Vmax

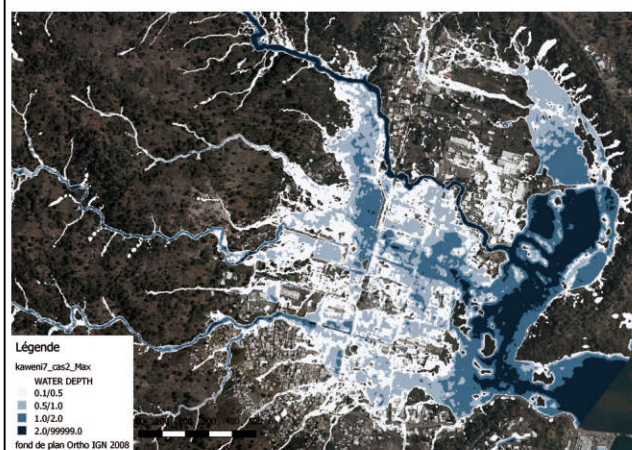


Illustration 23: secteur 1 – Qmoy – Hmax

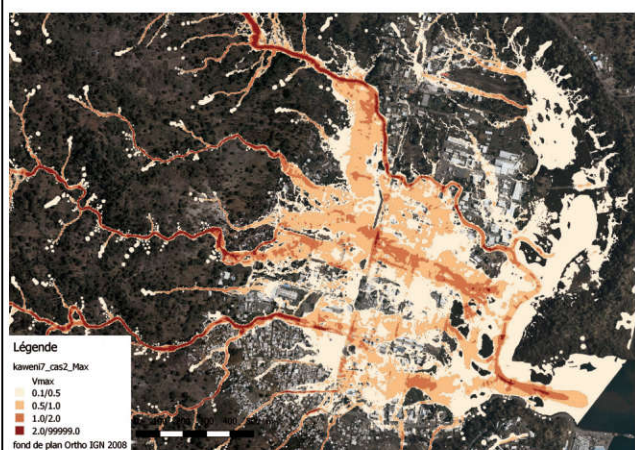


Illustration 24: secteur 1 – Qmoy – Vmax

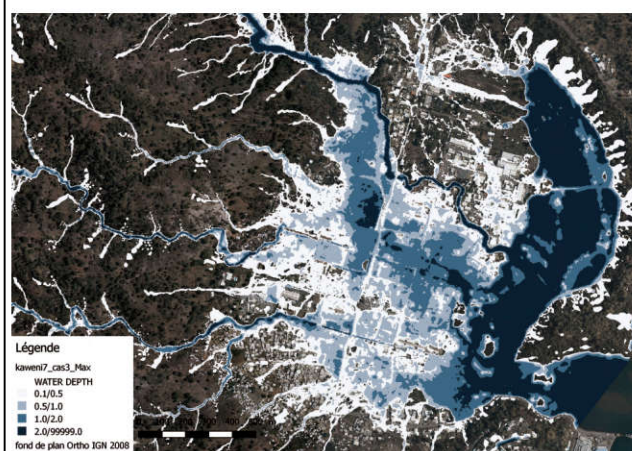


Illustration 25: secteur 1 – Qex – Hmax

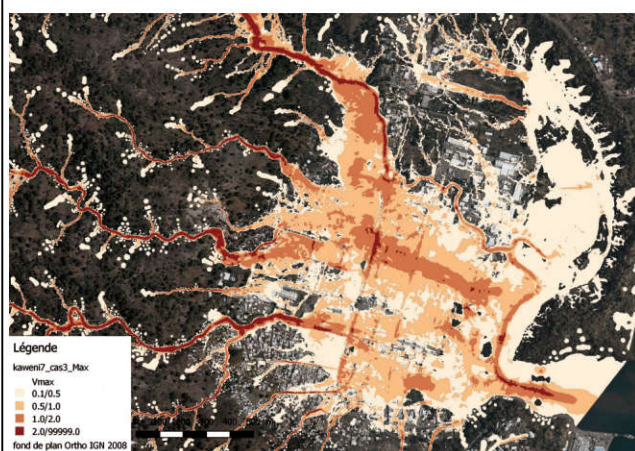


Illustration 26: secteur 1 – Qex – Vmax

Pour la crue extrême, les hauteurs d'eau maximales dépassent les 1 m sur de nombreux secteurs habités. Localement les 2m peuvent même être dépassés.

Les vitesses d'écoulement en lit majeur dépassent généralement les 0,5 m/s voir 1 m/s.



#### 4.4.2 Secteur 2 : La Kirissoni à Koungou



Illustration 27: secteur 2 – Qfreq – Hmax



Illustration 28: secteur 2 – Qfreq - Vmax



Illustration 29: secteur 2 – Qmoy – Hmax

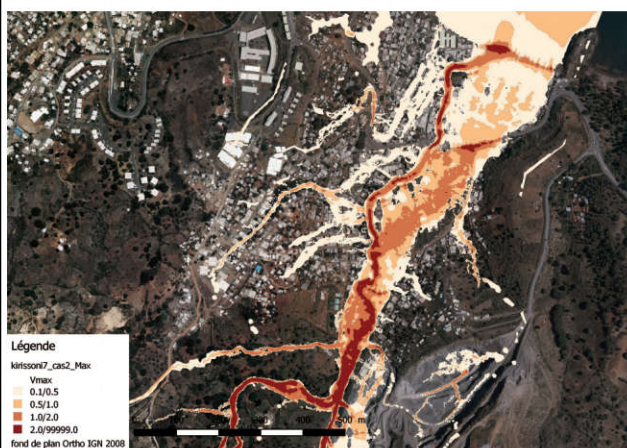


Illustration 30: secteur 2 – Qmoy – Vmax



Illustration 31: secteur 2 – Qex – Hmax

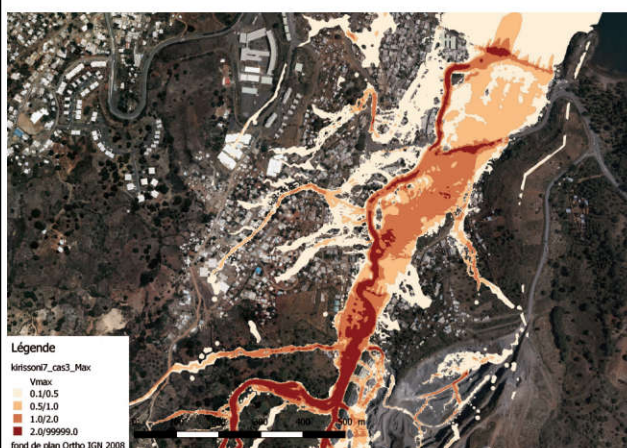


Illustration 32: secteur 2 – Qex – Vmax

Pour la crue extrême, les hauteurs d'eau maximales dépassent de manière générale les 50 cm à 1m en lit majeur rive droite. Les vitesses d'écoulement dépassent généralement les 0,5 m/s. Elles sont même supérieures à 1 m/s sur l'axe d'écoulement principal.



### 4.4.3 Secteur 3 : La Gouloué à Mamoudzou



Illustration 33: secteur 3 – Qfreq – Hmax



Illustration 34: secteur 3 – Qfreq – Vmax

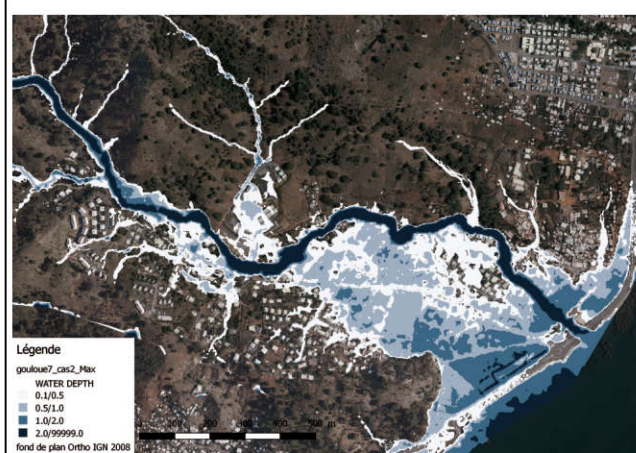


Illustration 35: secteur 3 – Qmoy – Hmax



Illustration 36: secteur 3 – Qmoy – Vmax



Illustration 37: secteur 3 – Qex – Hmax

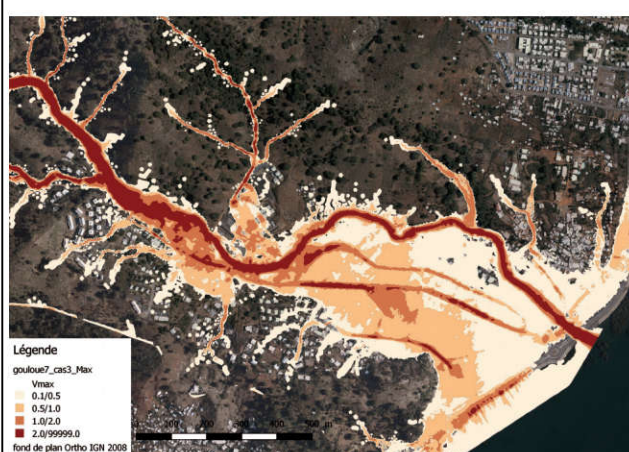


Illustration 38: secteur 3 – Qex – Vmax

Pour la crue extrême, les hauteurs d'eau maximales dépassent de manière générale les 1 m en lit majeur rive droite. Localement les 2m peuvent être dépassés.

Les vitesses d'écoulement dépassent généralement les 0,5 m/s. Elles dépassent même 1 m/s sur des axes d'écoulement que forment les rues principales.



#### 4.4.4 Secteur 4 : La Majimbini à Mtsapéré



Illustration 39: secteur 4 – Qfreq – Hmax



Illustration 40: secteur 4 – Qfreq – Vmax

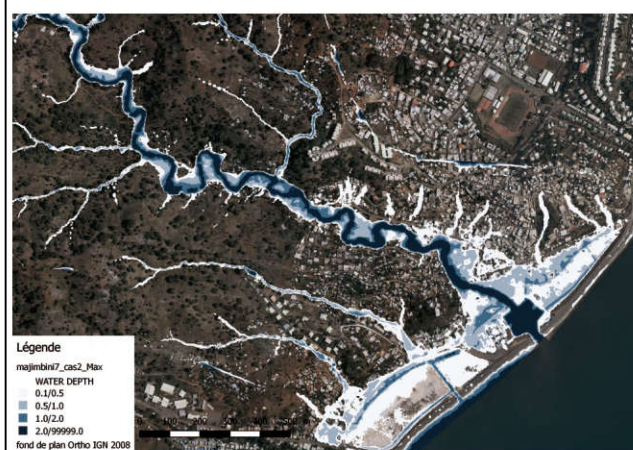


Illustration 41: secteur 4 – Qmoy – Hmax



Illustration 42: secteur 4 – Qmoy – Vmax



Illustration 43: secteur 4 – Qex – Hmax



Illustration 44: secteur 4 – Qex – Vmax

Pour la crue extrême, les hauteurs d'eau atteintes sont de l'ordre de 1 m sur les zones de débordement à l'aval. Les vitesses d'écoulement maximales générées atteignent voire dépassent 1 m/s.

## 5 Limites et discussions

Une modélisation ou une simulation n'est qu'une représentation partielle et potentielle des inondations.

Il est possible de citer les limites ou hypothèses :

- Mayotte ne dispose pas de réseau de mesure permettant d'analyser finement les débits calculés par rapport à des débits historiques. Le calage classique des modèles avec un débit connu et une hauteur d'eau connue n'est pas réalisable. Les paramètres de calcul pris en compte suivent les règles de l'état de l'art mais ne peuvent pas être calés.
- La topographie est celle de 2009 livrée en 2011 et a pu faire l'objet de modification non substantielle en milieu urbain. Comme indiqué précédemment, des déformations du sol provoquées par la crise tellurique en cours à l'est de Mayotte depuis mai 2018 n'ont pas été intégrées<sup>1</sup>. Le maillage utilisé (maille de 3 à 10 m) ne permet pas aussi de prendre en compte des micro-éléments topographiques comme des murs, maisons...
- Le changement climatique qui affecte le niveau marin, potentiellement les pluies statistiques, n'est pas pris en compte.
- Les modèles hydrauliques sont à topographie constante et le sol de Mayotte pour des événements pluvieux important peut conduire à des érosions de berges, écoulements saturés entraînant des comportements hydrauliques différents.

Malgré ces limites, des certitudes peuvent être fournies :

- Les crues modélisées affectent des bassins versants de petites tailles ce qui conduit à la production de crue éclair avec très peu ou pas d'anticipation possible. Rappelons que les pluies de projet sont de 6h, en fonction de la position sur le bassin versant, le pic de crue sera atteint en moins d'une heure ;
- Au-delà du temps de réaction du bassin versant et la célérité de la crue, les vitesses atteintes sur ces forts reliefs sont souvent importantes.

Des effets de seuil entre scénarios sont aussi visibles sur les cartographies :

- Pour la Kawénilajoli à Mamoudzou, la pluie rien que sur la zone très urbaine montre une forte zones inondées dès le scénario fréquent. Cependant, le passage au scénario moyen montre un débordement en rive droite de la Kawénilajoli en amont de la zone urbaine et qui crée un écoulement parallèle très puissant ;
- Pour la Kirissoni à Koungou, dès la crue fréquente, il y a débordement en rive gauche. La puissance de ce débordement complètement déconnecté du cours d'eau principal est très visible sur les autres scénarios ;
- Pour la Gouloué à Mamoudzou, la crue fréquente simulée est contenu dans le lit mineur. Les zones inondées en milieu urbain sont uniquement dues à l'impluvium local et peuvent être considérées comme du ruissellement. A partir du scénario moyen, les débordements en rive droite sont importants et suivent fortement les axes routiers, ce qui est très visible sur les cartes de vitesse ;
- Pour la Majimbini à Mtsapéré, la partie aval proche de la mer connaît un débordement progressif entre les trois scénarios. Seul le scénario extrême inonde en totalité la zone compris entre le versant et le remblai routier.

---

1 <http://mayotte.gnss.fr/>



## 6 Mise au format cartographique Directive inondation

Les traitements SIG ont été effectués à l'aide des logiciels Qgis2.16 et le plugin Telemac, le logiciel Qgis3.10, GRASS 7.6.1 et R3.5.3 et Rstudio 1.2.1335.

Les résultats des quatre modèles Telemac2D mis en œuvre, modèles aux éléments finis ont été convertis en premier en fichiers Raster à une maille de 1m cohérente avec le Rge Alté de l'IGN (même position des pixels).

Les résultats convertis sont la hauteur d'eau, la vitesse et le débit linéique.

Ces modèles ont été forcés par uniquement de la pluie. Il a donc fallu seuiller les zones inondables avec des critères sinon tout le territoire pouvait être considéré comme « inondable ». Nous avons considéré une zone inondée comme une zone ayant soit une hauteur d'eau de plus de 10 cm soit un débit linéique de plus de  $0.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{ml}$ , soit les deux.

Le seuil unique sur la hauteur d'eau pouvait conduire à des nombreuses zones non connectées sur des thalwegs amont. Le seuil du débit linéique a permis de pouvoir joindre ces diverses zones. Le débit linéique correspond à la hauteur multipliée par la vitesse. C'est une valeur par mètre linéaire  $0.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{ml}$  correspond par exemple à un courant de 25cm/s avec 10 cm de hauteur d'eau.

Les traitements SIG ont ainsi consisté à successivement :

- Calculer les emprises des classes pour chaque paramètre (hauteur, vitesse débit linéique) pour chaque scénario ;
- Vectoriser les résultats (création de polygones) pour chacune des échéances ;
- Filtrer les résultats de manière à éliminer les polygones isolés non représentatifs (voir ci-dessous) ;
- Vérifier la cohérence des résultats / corrections ponctuelles (les effets de bords de frontière du maillage ont été supprimés) ;
- Supprimer les résultats en mer.

Les résultats des modèles, sous forme de fichiers raster, présentent naturellement un « bruit » lié au MNT utilisé (précision, résolution spatiale) qui peut s'avérer important, mais non significatif en rapport aux échelles de travail et aux incertitudes : des pixels isolés ou des petits groupes de pixels peuvent alors contraster fortement avec les pixels environnants et perturber la lecture et l'interprétation des cartes. Par conséquent, il a été choisi de fusionner les polygones de surface inférieure à  $400\text{m}^2$  (soit 400 pixels de 1 m de côté par exemple) avec les polygones environnants de façon à limiter ce « bruit » (idem pour les « lacunes », i.e. des petits groupes de pixels sans classe de hauteur d'eau alors que tous les pixels environnants présentent un aléa). Cette démarche a été réalisée de manière automatique sous SIG pendant la phase de vectorisation des cartes en RGM04/UTM38S. Il convient de rappeler que ces modifications restent quasi imperceptibles à l'échelle de restitution des cartes qualifiée au  $1/25000^{\text{ème}}$  pour la cartographie de la directive inondation..

Les classes de hauteur d'eau cartographiées pour chaque scénario sont :

- $0\text{ m} < \text{hauteur d'eau} \leq 0,5\text{ m}$  ;
- $0,5\text{ m} < \text{hauteur d'eau} \leq 1\text{ m}$  ;
- $1\text{ m} < \text{hauteur d'eau} \leq 2\text{ m}$  ;
- $2\text{ m} < \text{hauteur d'eau}$ .

Les classes de vitesse d'eau cartographiées pour chaque scénario sont :

- $0 < \text{vitesse d'eau} \leq 0,2\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;
- $0,2 < \text{vitesse d'eau} \leq 0,5\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;
- $0,5 < \text{vitesse d'eau} \leq 1\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;
- $1 < \text{vitesse d'eau} \leq 2\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;
- $2\text{ m}^3.\text{s}^{-1} < \text{vitesse d'eau}$ .



Les classes de débit linéique cartographiées pour chaque scénario sont :

- $0 < \text{débit linéique} \leq 0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $0,15 < \text{débit linéique} \leq 0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $0,25 < \text{débit linéique} \leq 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $0,5 < \text{débit linéique} \leq 1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $1 < \text{débit linéique} \leq 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $2 < \text{débit linéique} \leq 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$  ;
- $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml} < \text{débit linéique}$

Ces diverses classes de débits correspondent aux classes indiquées dans le standard COVADIS directive inondations. D'autres limites ont été fournies correspondant à des limites utilisées dans des études antérieures (9.3 Comparaison entre le déplacement des personnes et le débit linéique) et à la multiplication des limites hauteur d'eau vitesse (ex 2 m de hauteur d'eau à  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  correspond à  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ml}$ ).

Ces classes de débits linéiques sont un moyen d'analyser la dynamique des écoulements indiquées dans le Décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine ».

Les fichiers produits et fournis le 04/12/2019 sont établis aux spécifications COVADIS disponible dans le document intitulé : Standard de données - Directive inondation - version 2.1 – juillet 2019 :

- N\_MAYO\_ECOUL\_01\_01For\_CE\_S\_976 iso-classes de vitesse du scénario Fort
- N\_MAYO\_ECOUL\_01\_02Moy\_CE\_S\_976 iso-classes de vitesse du scénario Moyen
- N\_MAYO\_ECOUL\_01\_04Fai\_CE\_S\_976 iso-classes de vitesse du scénario Faible
- N\_MAYO\_INONDABLE\_01\_CE\_S\_976 Limite d'inondations des trois scénarios
- N\_MAYO\_ISO\_DEB\_01\_01For\_CE\_S\_976 iso-classes de débit linéique du scénario Fort
- N\_MAYO\_ISO\_DEB\_01\_02Moy\_CE\_S\_976 iso-classes de débit linéique du scénario Moyen
- N\_MAYO\_ISO\_DEB\_01\_04Fai\_CE\_S\_976 iso-classes de débit linéique du scénario Faible
- N\_MAYO\_ISO\_HT\_01\_01For\_CE\_S\_976 iso-classes de hauteur d'eau du scénario Fort
- N\_MAYO\_ISO\_HT\_01\_02Moy\_CE\_S\_976 iso-classes de hauteur d'eau du scénario Moyen
- N\_MAYO\_ISO\_HT\_01\_04Fai\_CE\_S\_976 iso-classes de hauteur d'eau du scénario Faible

Les fichiers des modèles et les résultats raster, prduit intermédiaire à la cartographie ont aussi été fournis à la DEAL de Mayotte.

## 7 Conclusion

Ce projet a permis la réalisation de nouvelles cartographies du phénomène d'inondations par débordements de quatre cours d'eau sur Mayotte.

## 8 Bibliographie

[1] « Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrologiques et hydrauliques à Mayotte ». BRGM, novembre 2008.

[2] « Synthèse de la méthodologie relative aux études hydrologiques et hydrauliques à Mayotte ». BRGM, juin 2013.

[3] Guide « Urban Hydrology for Small Watersheds ». USDA, 2018. 5

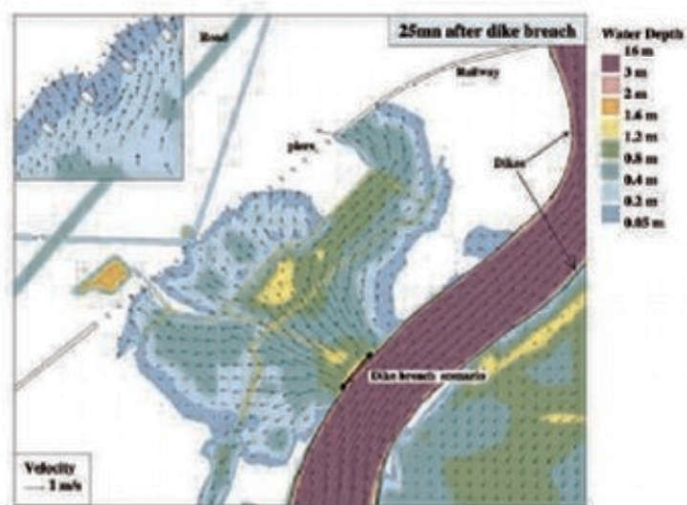
## 9 Annexes

### 9.1 Présentation du logiciel Telemac-2D

open TELEMAC-MASCARET The mathematically superior suite of solvers

#### Presentation

#### TELEMAC-2D - Two-dimensional hydrodynamic



Overflow subsequent to an embankment failure

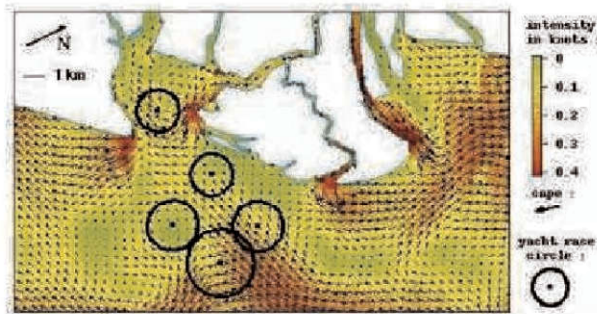
TELEMAC-2D is used to simulate free-surface flows in two dimensions of horizontal space. At each point of the mesh, the program calculates the depth of water and the two velocity components.

#### A complete and effective program

TELEMAC-2D solves the Saint-Venant equations using the finite-element or finite-volume method and a computation mesh of triangular elements. It can perform simulations in transient and permanent conditions.

TELEMAC-2D can take into account the following phenomena:

- Propagation of long waves, taking into account non-linear effects
- Bed friction
- Influence of Coriolis force
- Influence of meteorological factors: atmospheric pressure and wind
- Turbulence
- Torrent and river flows
- Influence of horizontal temperature or salinity gradients on density
- Cartesian or spherical coordinates for large domains
- Dry areas in the computational domain: intertidal flats and flood plains



Tidal currents in Atlanta Bay

### Integrated into the TELEMAC-MASCARET system

TELEMAC-2D is integrated into the TELEMAC-MASCARET modelling system. This contains a group of programs dedicated to fluid mechanics calculations relating to the environment: 2D and 3D current patterns, waves, sedimentology and water quality.

- TELEMAC-2D uses the libraries that are common to all modules of the TELEMAC-MASCARET system. This concerns in particular the use of numerical schemes and high-performance solvers, which are constantly being improved.
- In addition, it is easy to link up TELEMAC-2D with another module in the system (computation of wave-induced currents, sediment transport, etc.)

Like all the modules of the TELEMAC-MASCARET system, TELEMAC-2D was developed in accordance with the quality assurance procedures followed in the Electricité de France's Studies and Research Division. The software is supplied with a complete set of documents: theoretical description, user's manual and first steps, validation file, etc.

### Latest News

#### 2017 User Conference - Registration and call for abstract

27 April 2017

The upcoming XXIVth TELEMAC-MASCARET Users Conference will take place this year at the Graz University of Technology in Graz (Austria) on the 17th-20th October 2017. A preceding workshop will [ ... ]

- 03 April 2017 **Post-doctoral position on Data Assimilation in 2D hydraulic models**
- 03 April 2017 **Post-doctoral position on parametric shape optimisation in hydraulics**
- 30 January 2017 **v7p2r0 is available for download**
- 05 January 2017 **Postdoc position in numerical modelling of coastal particulate transport**



## 9.2 Présentation du logiciel Bluekenue

### Conseil national de recherches Canada

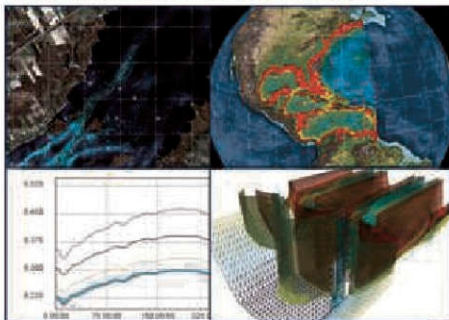
Accueil > Programmes et services > Services techniques et consultatifs

> Blue Kenue™ : Logiciel pour modélisateurs hydrauliques

### Blue Kenue™ : Logiciel pour modélisateurs hydrauliques

[Télécharger Blue Kenue™](#)

#### Visualisation et animation



Types de visualisations en Blue Kenue™

Blue Kenue™ est un outil perfectionné permettant aux modélisateurs hydrauliques de préparer, analyser et visualiser leurs données. Il s'agit d'une interface graphique de pointe intégrant des bases de données environnementales et des données géo-référencées aux données de modèle (entrées et sorties). Blue Kenue permet de lire directement les résultats des modèles TELEMAC, ADCIRC et HydroSim.

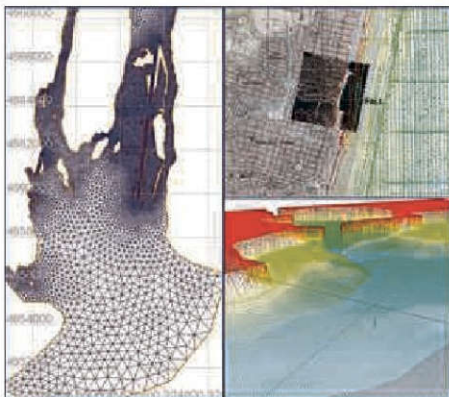
La visualisation de résultats dans Blue Kenue™ se fait par le biais de vues dynamiques 1D, polaires, 2D, 3D ou sphériques que l'utilisateur peut enregistrer sous forme de films ou sauver sous forme d'images pour ses rapports et présentations.

Toutes les vues et les données sont entièrement géo-référencées. Blue Kenue permet de plus la conversion entre systèmes de coordonnées (projections courantes).

#### Formats et types de données

Blue Kenue™ permet d'exploiter une gamme complète de types de données utilisés couramment par les modélisateurs hydrauliques. Les formats originaux de fichiers ASCII et Binaires sont tous deux disponibles pour les données stationnaires ou variables en temps.

Il est possible d'importer et d'exporter les données aux formats SIG courants, y compris: ArcINFO/ArcView, MapInfo, GeoTIFF, DTED/CDED, BIL, SRTM, WMO-GRIB et Surfer.



## Préparation des données du modèle

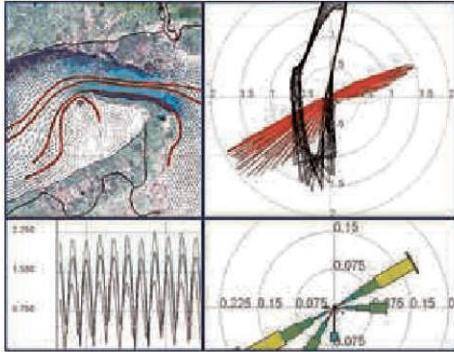
- Séries temporelles (scalaires et vectorielles)
- Données tabulaires, Distributions, Roses de vitesse
- Ensembles de points à attributs multiples
- Ensembles de lignes à attributs multiples
- Réseaux à attributs multiples
- Données (scalaires et vectorielles) sur grille rectangulaire
- Données (scalaires et vectorielles) sur grille triangulaire

## Préparation des données du modèle

Blue Kenue™ permet de générer des maillages rectangulaires et triangulaires à partir de points, de lignes, ou même à partir d'autres maillages réguliers ou triangulaires. L'utilisateur a la possibilité d'inclure des « noeuds durs » ou des « lignes de rupture » avec le générateur de grille triangulaire. Ces points et lignes seront préservés lors de la création des noeuds/éléments. La densité de noeuds est calculée à partir de cartes de densité définies par l'utilisateur (grilles rectangulaires, maillages triangulaires ou polygones).

Les cartes de friction hydrodynamique sont quant à elles générées facilement par mappage de données sous forme de polygones ou autres grilles.

## Analyse des résultats de simulation



### Analyse des résultats de simulation

L'utilisateur peut animer un fichier de résultat, ou le regarder un pas de temps à la fois en avançant ou en reculant dans le temps. Des profils en temps peuvent être extraits à n'importe quel point du domaine. Une sonde permet aussi d'interroger les valeurs numériques interactivement en direct et de créer des lignes de courant pour des données vectorielles. Un simple click de souris permet d'obtenir des statistiques sur le modèle comme la moyenne temporelle, les valeurs minimales et maximales, les fourchettes, l'écart type, les vitesses résiduelles, etc. Un calculateur permet enfin de définir des données complexes (sur le maillage) à partir des résultats de base du modèle.

## Personne-ressource

**Enzo Gardin**, Chef, Relations avec les clients

**Téléphone** : 613-991-2987

**Courriel** : [Enzo.Gardin@nrc-cnrc.gc.ca](mailto:Enzo.Gardin@nrc-cnrc.gc.ca)

**LinkedIn** : [in Enzo Gardin](#)

► Signaler un problème ou une erreur sur cette page

Date de modification : 2017-04-26

### 9.3 Comparaison entre le déplacement des personnes et le débit linéique

Ce graphique est extrait du rapport « Cartographie de l'aléa du PPRI de Nîmes - Analyse des connaissances disponibles et méthode de réalisation » établi par le CETE Méditerranée le 17 Juin 2011.

Il est accessible sur

[http://www.gard.gouv.fr/content/download/4616/28968/file/Rapport\\_presentation\\_PPRI\\_NIMES\\_annexe\\_tech\\_nique.pdf](http://www.gard.gouv.fr/content/download/4616/28968/file/Rapport_presentation_PPRI_NIMES_annexe_tech_nique.pdf).

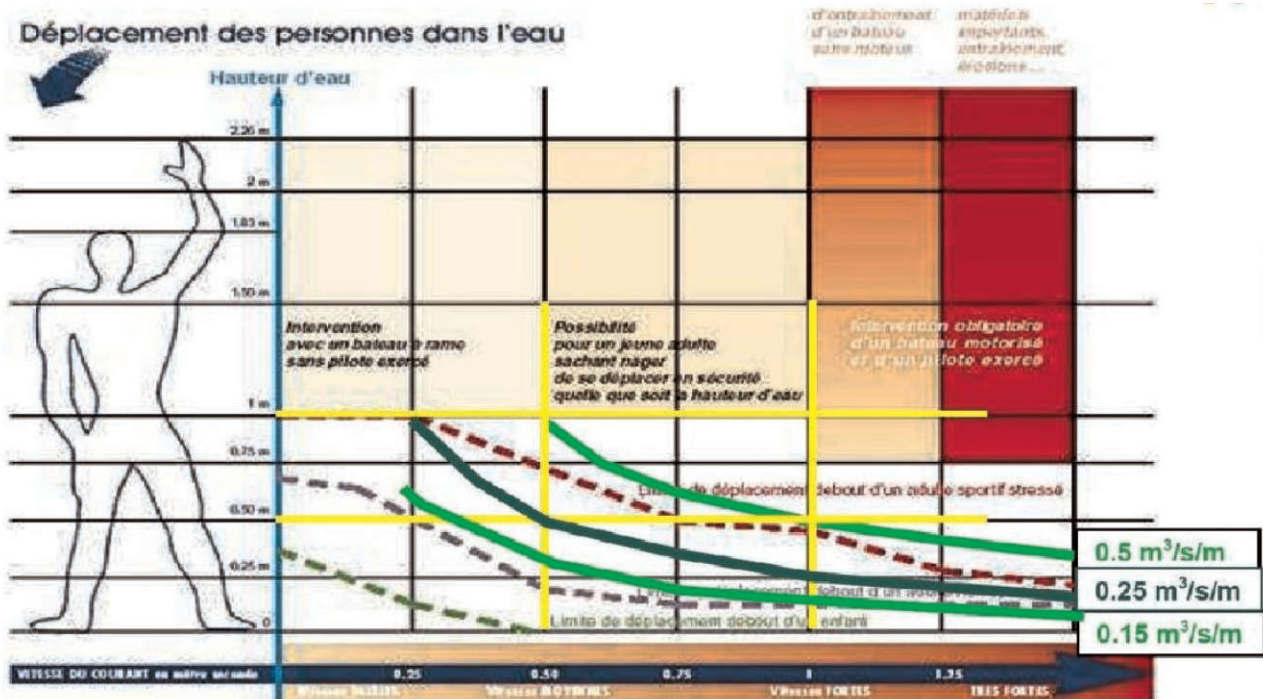


Illustration 32: Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et des vitesses (source DDE84, Guide guide PPR inondations, note complémentaire sur le ruissellement péri-urbain) croisé avec le débit linéique (Sogreah)

Illustration 45: Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau





Cerema Méditerranée - Pôle d'activité – 30 rue Albert Einstein – CS 70499 – 13593 Aix-en-Provence CEDEX 3  
Tel : 04 42 24 76 76 – mel : [DTerMed@cerema.fr](mailto:DTerMed@cerema.fr)

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public – Siret : 130 018 310 00313 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)