

7.4.2 Zonages pluviométriques

Sur Mayotte, il est défini trois régions pluviométriques « homogènes », qui identifient des intensités de pluie par période de retour (ou fréquence).

Pour mémoire, la région 1 correspond aux zones de faible altitude (< 150 m MGM) et/ou au *sud* de Mamoudzou, la région 2 correspond aux zones dont l'altitude est comprise entre 150 et 300 m NGM et/ou au *nord* de Mamoudzou et la région 3 correspond aux zones d'altitudes élevées (> 300 m NGM) ainsi qu'aux projets s'inscrivant au sein de forts enjeux (cf. figure page suivante localisant les trois zones évoquées).

Concrètement, une pluie de fréquence décennale atteint une intensité de 92 mm/h sur la région 1, 113 mm/h sur la région 2 et 135 mm/h sur la région 3.

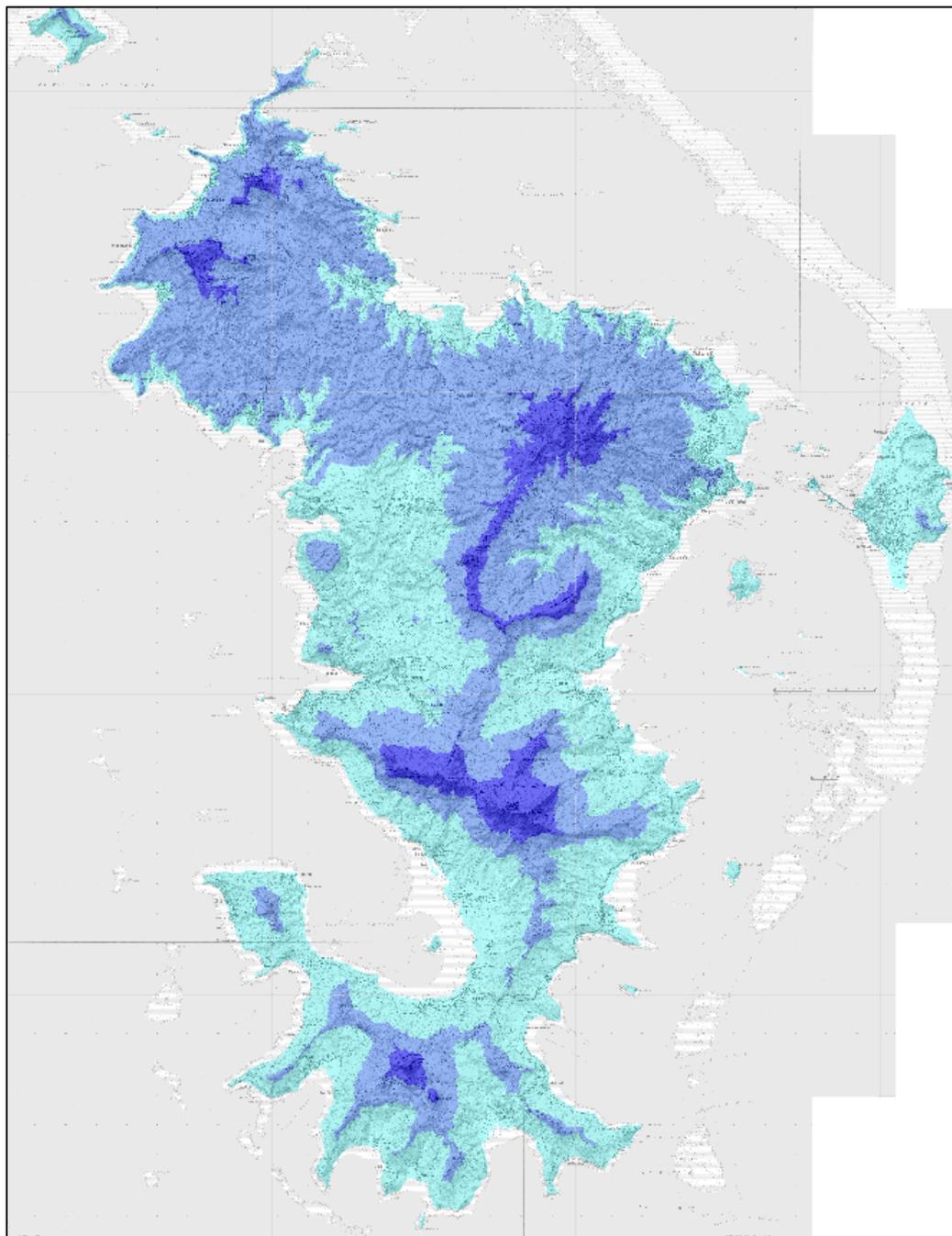


Figure 6 – Zonage pluviométrique homogène

Les bassins versants interférant avec la zone de projet sont positionnés sur les trois zones pluviométriques définies précédemment selon le découpage ci-dessous :

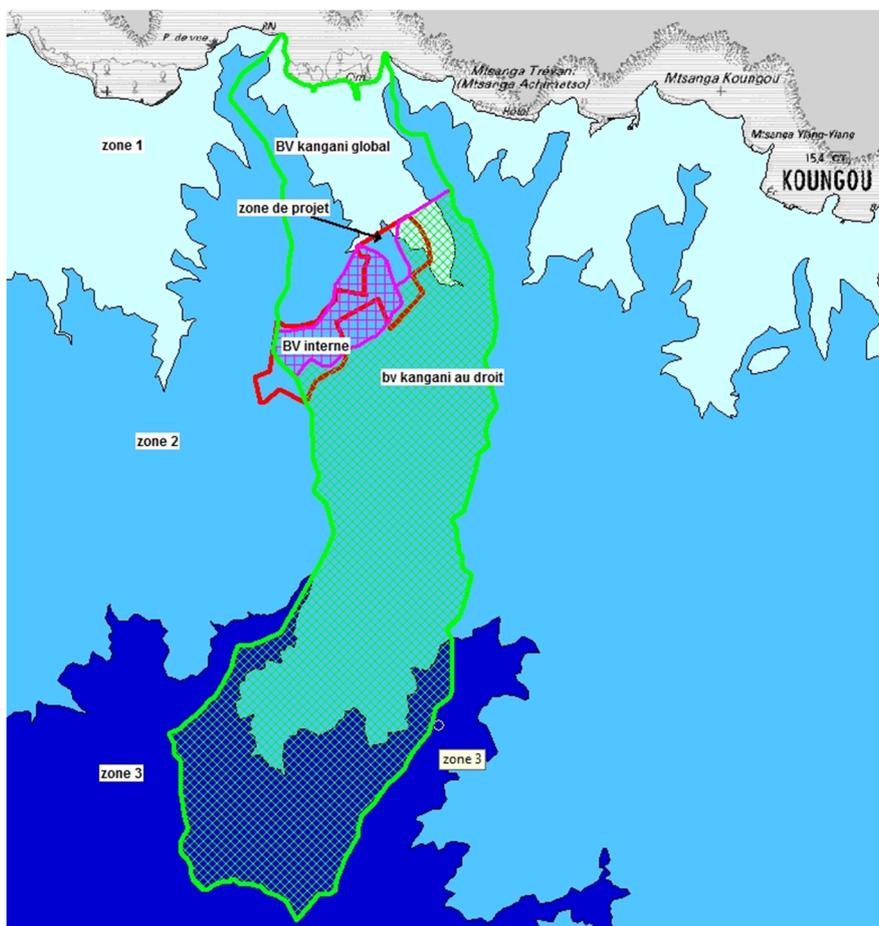


Figure 7 – Répartition des surfaces par zones

Pour chaque zone pluviométrique de chaque bassins versants, nous avons estimé la variation de l'occupation des sols sur la base de l'orthophotographie IGN de 2011. Les répartitions d'occupation des sols sont les suivantes :

Tableau 3 – Répartition par zonage pluviométrique des sols

Bassin versant	Surface totale	Zone 1				Zone 2				Zone 3			
		Imper	nu	agri	boisé	Imper	nu	agri	boisé	Imper	nu	agri	boisé
Kangani Total	359 ha	43,2 ha				228,6 ha				87,2 ha			
		30 %	30 %	10 %	30 %	3 %	3 %	5 %	89 %	0 %	0 %	13 %	87 %
Kangani au droit	268 ha	6,5 ha				174,2 ha				87,2 ha			
		40 %	10 %	0 %	50 %	1 %	2 %	1 %	96 %	0 %	0 %	13 %	87 %
BV projet	25,4 ha	1,9 ha				23,5 ha				0 ha			
		0 %	0 %	0 %	100 %	25 %	25 %	25 %	25 %	0 %	0 %	0 %	0 %

définition précise des aléas de débordement de cours d'eau et de l'absence d'impacts hydrauliques du projet
PROJET DE CARRIERE A KANGANI – MAYOTTE

Bassin versant	Surface totale	Zone 1				Zone 2				Zone 3			
		Imper	nu	agri	boisé	Imper	nu	agri	boisé	Imper	nu	agri	boisé
BV interne	18 ha	0 ha				18 ha				0 ha			
		0 %	0 %	0 %	0 %	20 %	20 %	0 %	60 %	0 %	0 %	0 %	0 %

(Imper : terrain imperméabilisé, nu : terrain nu ; agri : terrain à couverture agricole ou herbeuse ; boisé : bois ou couverture végétale importante)

7.4.3 Intensité pluviométrique centennale

L'intensité pluviométrique se définit comme la quantité de pluie tombée sur un laps de temps donné. Elle s'exprime généralement en mm/min ou en mm/h. Elle est donnée par la formule suivante :

$$I = \frac{P_j(f) \times a' \times t^{b'}}{t}$$

Où :

- I est l'intensité pluviométrique en mm/min ou en mm/h,
- $P_j(f)$ est la pluie journalière de fréquence f exprimée en mm (cf. tableau ci-après),
- a' et b' correspondent à des coefficients d'ajustement (cf. tableau ci-après),
- t est la durée de la pluie considérée (en min. ou en h).

L'intensité se calcule en fonction de la région pluviométrique :

Tableau 4 – Pluie journalière de fréquence f

Pluie journalière (mm)	Période de retour ou fréquence (année)					
	2	5	10	20	50	100
Région 1	100	145	170	200	235	260
Région 2	125	175	210	245	290	320
Région 3	150	210	250	290	340	380

Tableau 5 – Coefficients d'ajustements

Durée	Coefficients	
	a'	b'
$t < 1 \text{ h}$	0,52	0,6828
$t \geq 1 \text{ h}$	0,54	0,257

La durée t de la pluie est généralement prise égale au temps de concentration du bassin versant considéré (ou de la parcelle) dans la mesure où cela permet in fine d'évaluer son débit maximal de pointe.

Rappelons que le temps de concentration correspond au temps nécessaire à une particule d'eau pour parcourir la distance hydraulique la plus grande du bassin versant jusqu'à l'exutoire. La détermination des temps de concentration des bassins versants est proposée au paragraphe suivant.

7.4.4 Temps de concentration

Plusieurs formules permettent d'estimer le temps de concentration d'un bassin versant donné :

- Formule de Desbordes : $Tc = 5,3 \times S^{0,3} \times C^{-0,45} \times (i \times 100)^{-0,38}$
- Formule de Passini : $Tc = 0,14 \times (S \times L)^{\frac{1}{3}} \times i^{0,5}$
- Formule de Dujardin : $Tc = 0,9 \times S^{0,35} \times C^{-0,35} \times i^{-0,5}$
- Formule de Ventura : $Tc = 0,763 \times \left(\frac{S}{i}\right)^{0,5}$

avec :

- Tc, temps de concentration du bassin versant en minutes ;
- S, superficie du bassin versant en hectares ;
- C, coefficient de ruissellement ;
- I, pente du bassin versant en m/m ;
- L, longueur du drain principal (en m).

Dans le cadre d'un projet d'aménagement, chacune des formules est testée. Une moyenne des valeurs les plus homogènes est réalisée et appliquée au projet.

Les temps de concentrations obtenus dans le cadre de la présente mission sont les suivants :

Tableau 6 – Temps de concentrations calculés et retenus

Bassin versant	Desbordes (min.)	Passini (min.)	Dujardin (min.)	Ventura (min.)	Tc retenu (min.)
BV Kangani global	15	51	25	43	39
BV Kangani au droit	13	41	21	35	32
BV projet	5	11	7	9	9
BV interne	4	6	5	6	6

7.5 DETERMINATION DES DEBITS DE POINTE

7.5.1 Calcul du débit de pointe

Le calcul du débit de pointe s'effectue par l'application de la formule rationnelle :

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Avec :

- Q : débit de pointe de période de retour T (en m³/s),
- C : coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour T (sans unité)
- I : intensité de la pluie dont la durée est égale au temps de concentration du bassin versant considéré (en mm/h)
- A : superficie du bassin versant (en ha)

Il convient donc de déterminer le coefficient de ruissellement à retenir. Ce calcul est détaillé au paragraphe suivant.

7.5.2 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface donnée (appelée pluie nette) et la hauteur d'eau précipitée (appelée pluie brute). Il dépend de plusieurs paramètres tels que la nature du sol, son occupation (couverture végétale, sol nu, urbanisation), la pente du terrain et l'intensité de la pluie (le ruissellement augmente avec l'intensité de la pluie).

Bien qu'il se produise une variation du taux de ruissellement au cours d'une pluie (essentiellement sur les terrains non revêtus), du fait de la saturation progressive du sous-sol qui conduit à une diminution de l'infiltration, il est généralement admis un coefficient de ruissellement constant durant l'épisode pluvieux car cette variation est aujourd'hui difficilement quantifiable.

Les valeurs de coefficients de ruissellement qui peuvent être prises en compte, selon la nature de l'occupation du sol et l'intensité de la pluie, sont synthétisées dans le tableau suivant. Elles sont valables pour des terrains peu à moyennement pentus (< 2-3%). Pour des pentes supérieures, le coefficient est bien entendu accentué.

Tableau 7 – Coefficient de ruissellement

Coefficient de ruissellement					
Occupation du sol	Intensité pluviométrique pour une pluie de durée 1 h (mm/h)				
	<70	70≤<95	95≤<120	120≤<150	≥150
Terrain imperméabilisé	1	1	1	1	1
Terrain nu ou peu végétalisé	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Terrain agricole	0,35	0,4	0,5	0,7	0,8
Terrain boisé	0,2	0,3	0,4	0,6	0,75

Pour un projet donné, le coefficient de ruissellement est donc calculé par pondération des surfaces présentant une occupation homogène avec le coefficient associé selon la formule suivante :

$$C = \frac{\sum(Ci \times Si)}{S}$$

où :

- C est le coefficient de ruissellement pondéré du projet global,
- S est la surface du projet global,
- Si est la surface de l'ensemble des terrains présentant une même occupation du sol,
- Ci est le coefficient de ruissellement à appliquer à chacune des surfaces Si définies.

Les coefficients de ruissellement obtenus sont les suivants :

Tableau 8 – Coefficients de ruissellement pondérés calculés

Bassin versant	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans	100ans
BV Kangani global	0.36	0.46	0.64	0.64	0.78	0.78
BV Kangani au droit	0.32	0.42	0.61	0.76	0.76	0.76
BV projet	0.63	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
BV interne	0.63	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

7.5.3 Débits de pointe obtenus

En fonction des caractéristiques des divers bassins versants et de l'intensité des pluies de projet, les débits caractéristiques de chaque bassins versants sont obtenus et synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 9 – Débits caractéristiques par période de retour

Bassin versant	Variable	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
BV Kangani global	Coef. Ruissellement	0,36	0,46	0,64	0,64	0,78	0,78
	Pjt Moyen (mm)	128,1	179,9	214,9	250,5	295,5	327,4
	Intensité (mm/h)	76,3	107,2	128,1	149,3	176,2	195,2
	Débit (m³/s)	27,6	48,9	81,8	95,4	136,3	151,0
BV Kangani au droit	Coef. Ruissellement	0,32	0,42	0,61	0,76	0,76	0,76
	Pjt Moyen (mm)	132,5	185,7	222,0	258,5	304,9	338,1
	Intensité (mm/h)	84,1	117,8	140,9	164,1	193,6	214,6
	Débit (m³/s)	20,1	36,8	64,5	92,7	109,3	121,2
BV projet	Coef. Ruissellement	0,63	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Pjt Moyen (mm)	123,1	172,7	207,0	241,6	285,8	315,5
	Intensité (mm/h)	116,9	164,0	196,5	229,3	271,3	299,4
	Débit (m³/s)	5,2	9,9	11,8	13,8	16,4	18,0
BV interne	Coef. Ruissellement	0,72	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
	Pjt Moyen (mm)	125,0	175,0	210,0	245,0	290,0	320,0
	Intensité (mm/h)	134,9	188,9	226,7	264,5	313,1	345,5
	Débit (m³/s)	4,9	7,8	9,4	11,0	13,0	14,3

L'application de la méthodologie préconisée sur Mayotte pour la définition des débits de pointe conduit aux résultats suivants : **le débit de pointe centennal de la Rivière Kangani est donc de 120 m³/s environ au droit du site de projet et de 150 m³/s environ au niveau de son embouchure.**

7.6 EVENEMENTS HYDRO-METEOROLOGIQUES DE REFERENCE

L'évènement de référence à considérer dans le cadre de la présente étude est l'évènement de référence réglementaire ayant servi pour l'élaboration du PPRI de la zone. **Il s'agit donc de la crue centennale théorique ici (évènement centennal plus fort évènement connu s'il présente une période de retour supérieure à 100ans).**

Ici, l'hydrogramme centennal est construit de la manière suivante :

- Imposition des apports fluviaux des cours d'eau en deux points (1 en amont du site de projet et 1 en aval du projet – cf. figure suivante : étoiles)
- Débits initial et final nuls,
- Débits maximaux égaux aux débits de pointe centennale pour le bassin amont ($120\text{m}^3/\text{s}$) et $30\text{m}^3/\text{s}$ pour le bassin de l'affluent en aval. Ceci permet de retrouver le débit de pointe centennale de l'ensemble du bassin versant de la Rivière Kangani (déphasage très faible entre les deux injections),
- Temps de montée retenue égal au temps de concentration du bassin général pour les deux hydrogrammes : $T_c = 35\text{ min.}$,
- Le temps de descente/décruie égal à deux fois le temps de concentration : $2 \times T_c = 70\text{ min.}$

Ces hypothèses sont des hypothèses classiques pour la définition des hydrogrammes de crues dans les zones naturelles.

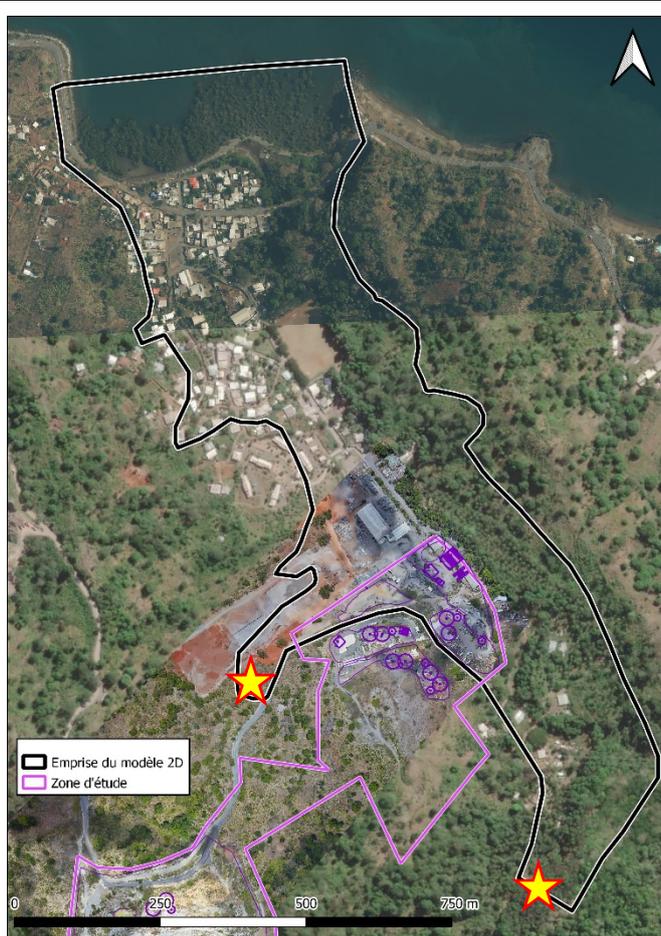


Figure 8 : Injection des hydrogrammes de crue

7.7 NIVEAUX MARITIMES

Le niveau maritime retenu n'a pas d'influence sur le comportement hydraulique observé aux abords de la zone d'étude.

Un niveau constant égal à 2,0 m NGM est retenu dans le cadre de la présente étude.

Ces données sont cohérentes avec les données retenues dans le cadre de la mission « Mise à jour des cartographies du risque inondation sur le TRI de Mayotte – CEREMA décembre 2019 » et basées sur les conditions retenues dans l'étude PPRI Phase 3.

Ce niveau correspond au niveau des Pleines-Mers de Vive-Eau (PMVE), retenu pour les évènements fréquents et moyen du TRI (Q100ans).

8 OUTIL DE MODELISATION HYDRAULIQUE 2D

8.1 METHODOLOGIE GENERALE

La méthode employée repose sur la mise en œuvre et sur l'exploitation d'un outil de modélisation hydrodynamique bidimensionnel fin du bassin versant englobant les parcelles de projet.

Cet outil permet la définition des conditions d'écoulements lors d'évènements pluviométriques intenses.

Il convient de rappeler que cet outil ne représente ici que les débordements de cours d'eau.

La zone d'étude est située aux abords de la zone de projet. Ceci signifie que le modèle va approcher les aléas en aval de cette zone, mais pas de manière suffisamment précise pour remettre en cause les aléas du PPRN en vigueur.

8.2 LOGICIEL : TELEMAT-2D

L'outil de modélisation mis en œuvre est exploité avec le logiciel TELEMAT-2D.

Le système TELEMAT (© EDF), dont fait partie TELEMAT-2D, est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, en respect des procédures d'Assurance de la Qualité des Logiciels Scientifiques et Techniques d'EDF. Ce système logiciel est à présent mis à disposition gratuitement par EDF-DRD en open source et il peut être téléchargé sans aucun coût d'acquisition de licence.

C'est un puissant outil intégré de modélisation dans le domaine des écoulements à surface libre. Utilisé dans le cadre de très nombreuses études partout dans le monde (plusieurs centaines à l'heure actuelle), il est devenu l'un des grands standards dans son domaine.

8.3 LIMITES LIEES A LA MODELISATION MISE EN ŒUVRE ET AUX HYPOTHESES RETENUES

La méthodologie mise en œuvre comporte toutefois quelques limites liées aux hypothèses de modélisation retenues (schématisation d'une réalité multiple et complexe).

Les limites associées à la modélisation mise en œuvre sont liées aux hypothèses propres aux modèles bidimensionnels et à la précision des données de base qui ont servi à leur élaboration : **la précision des résultats obtenus est directement liée à la précision de l'ensemble des données d'entrée intégrées dans le modèle (notamment topographiques).**

Certaines spécificités locales ne sont pas intégrées dans les calculs et donc pas restituées par le modèle. Citons par exemple :

- spécificité topographiques locales non modélisées : éléments de taille inférieure à la taille des mailles retenues, évolution récente du territoire (généralement d'origine anthropique),
- **le rôle de certains éléments structurants anthropiques n'est pas représenté de manière volontaire. C'est le cas des murs, murets, clôtures, bâtiments... Leur impact sur le comportement des écoulements n'est pas représenté ici.** Cette hypothèse est classique dans les études de modélisation réalisées dans le cadre de l'élaboration des PPR. En effet, il n'existe pas de garantie sur la pérennité dans le temps de ces éléments, ni sur leur tenue face à une sollicitation hydraulique.

8.4 MODELISATION DU SECTEUR D'ETUDE

Le modèle mis en œuvre repose sur un maillage triangulaire qui propose une maquette informatique virtuelle du secteur d'étude. Le terrain est représenté par un assemblage de facettes triangulaires de tailles et de formes variables, nommé maillage. Ce maillage épouse avec fidélité les géométries complexes que l'on rencontre dans la nature, l'altimétrie, les chenaux préférentiels des courants, la définition précise des ouvrages du secteur (merlon, digues, ...);

Ce maillage représente avec un niveau de détail très fin (mailles de 1,00 mètre), l'ensemble des éléments structurants le territoire et qui participent à la dynamique des écoulements : déblais et remblais, zones dépressionnaires...

Sur ce maillage, le logiciel TELEMAC résout les équations bidimensionnelles régissant la dynamique des écoulements. Il calcule donc, en chaque instant de la crue et en tout point de la zone d'étude, la hauteur d'eau et la vitesse de l'écoulement. Pour cette dernière variable, le calcul restitue à la fois l'intensité de la vitesse et la direction du courant.

La force de l'approche bidimensionnelle réside dans une représentation réaliste du terrain naturel et des éléments structurants du point de vue du comportement hydraulique par le modèle numérique de terrain associé au maillage du modèle.

L'emprise de la zone modélisée intègre les emprises susceptibles d'être inondées pour une crue centennale, quelle que soit la configuration étudiée

Le modèle présente un linéaire de 1 700 environ selon l'axe *nord-sud* et une largeur de 400 m environ (*est-ouest*)

La taille des mailles retenues est de 1,0m sur l'ensemble du linéaire de la ravine et de ses berges, ainsi que sur la parcelle de projet. Elles sont de 5,0 m en dehors des zones d'intérêt pour la présente étude et de 10 m sur la partie maritime.

Le modèle mis en œuvre se compose donc de près de 65 000 points de calculs formant environ 130 000 mailles triangulaires.

La représentation du rôle de la nature des sols sur la dynamique de propagation des écoulements (effet de frottement) est traduite par l'imposition de différents coefficients de frottement (Strickler) :

- Voirie et secteurs « lisses » : 40
- Zones végétalisées : 15
- Lit mineur : 15
- Zones urbaines denses : 12
- Autres secteurs : 20
- Secteur maritime : 30

La cartographie suivante présente cette emprise retenue et le maillage mis en œuvre dans le cadre de la présente mission.

La topographie issue des données précédemment détaillées (Litto-3D et levés géométriques sur le site d'étude) a été intégrée à l'outil de modélisation. Une attention particulière a été portée au traitement des données Lidar pour représenter le plus fidèlement possible le niveau des fonds de la rivière Kangani.

La cartographie suivante illustre la représentation de la topographie de référence par l'outil de modélisation mis en œuvre.