



Cahier des charges pour la précision des aléas naturels de type mouvements de terrain et inondation à Mayotte

juin, 2020

Préambule

Dans le cadre de l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Naturels, les communes ou pétitionnaires qui le souhaitent peuvent faire réaliser sur des secteurs précis représentant des enjeux stratégiques (de l'ordre de quelques hectares) des études complémentaires de précision de l'aléa inondation et/ou mouvement de terrain par un bureau d'études spécialisé (avec références sérieuses et reconnu par l'État). Ces études devront s'appuyer, à l'échelle des projets envisagés et des bassins de risque associés, sur une amélioration des connaissances au travers notamment de visites de terrain, d'investigations géotechniques et/ou topographiques et/ou de modélisations hydrauliques.

A cet effet, la DEAL propose aux communes et pétitionnaires, pour ces deux aléas, un cahier des charges type applicable pour la réalisation de ces études de manière à s'assurer de leur qualité et de leur bonne intégration aux cartes d'aléas. Malgré tout, avant intégration des résultats de ces études aux cartes du PPRN de la commune, ceux-ci seront soumis à la validation des deux bureaux d'études en charge de l'élaboration des PPRN sur l'île de Mayotte. Enfin, il est rappelé que ces études ne garantissent pas que le résultat final aboutira à une modification favorable de l'aléa.

Les parties surlignées en vert sont à compléter par la commune ou le pétitionnaire avant la consultation des bureaux d'études.

Sommaire

Préambule	3
Cahier des charges pour des études de précision de l'aléa mouvement de terrain	7
1. Objet du cahier des charges	7
2. Rappel des phénomènes de mouvements de terrain concernés et traités dans les PPRN de Mayotte	7
2.1.1 Les glissements de terrain	7
2.1.2 Les chutes de blocs	8
3. Références normatives	9
4. Présentation du projet et localisation	14
5. Nature et objectifs de l'étude	14
6. Périmètre de l'étude	15
7. Méthodologie de caractérisation des aléas mouvements de terrain	16
7.1. RECONNAISSANCES	16
7.1.1 Généralités.....	16
7.1.2 En terrain exposé aux chutes de blocs (sous-chapitre à retenir ou non selon le contexte).....	17
7.1.3 En terrain exposé aux glissements (sous-chapitres à retenir ou non selon le contexte).....	17
7.2. HYPOTHESES ET MODELISATIONS	19
7.3. EVALUATION DE L'ALEA.....	20
8. Rapport.....	20
9. Délais et planning	21
10.Éléments fournis par le maître d'ouvrage.....	21
11.Aspects environnementaux.....	22
Cahier des charges pour des études de précision de l'aléa inondation	23
1. Objet du cahier des charges	23
2. Rappel des phénomènes d'inondation concernés et traités dans les PPRN de Mayotte	23
3. Références méthodologiques	23
4. Présentation du projet et localisation	24
5. Nature et objectifs de l'étude	24
6. Périmètre de l'étude	25
7. Méthodologie de caractérisation des aléas inondations	25
7.1. RECONNAISSANCES	25

7.1.1	Support topographique.....	25
7.1.2	Visite de terrain	25
7.2.	HYPOTHESES ET MODELISATIONS	26
7.2.1	Données hydrologiques et calcul des débits :	26
7.2.2	Modélisation mathématique des écoulements :	26
7.2.3	Méthodologie de cartographie de l'aléa inondation modifié	27
8.	Rapport.....	27
9.	Délais	28
10.	Éléments fournis par le maître d'ouvrage.....	28
Annexe 1 : Méthodologie de cartographie des aléas mouvement de terrain dans les PPRN de Mayotte		29
Annexe 2 : Hypothèses et scénarios à retenir pour la modélisation hydraulique.....		35

Liste des illustrations

Figure 1 - Les différents types de glissements de terrain (www.georisques.gouv.fr).....	8
Figure 2 - Exemples de chute de blocs	9
Figure 3 - Définition du bassin de risque	16
Figure 4 - Définition de l'aléa en fonction de la hauteur de submersion et de la vitesse d'écoulement des eaux selon la méthodologie PPRN.....	27
Figure 5 - Schéma du principe d'évaluation de la ligne d'énergie	30
Figure 6 - Grille méthodologique d'aide à la qualification de l'aléa mouvement de terrain	31
Figure 7 - Symbologie utilisée pour les mouvements de terrain (glissements et chute de blocs)	34

Cahier des charges pour des études de précision de l'aléa mouvement de terrain

1. Objet du cahier des charges

Le présent cahier des charges est réalisé dans le cadre de la réalisation des plans de prévention des risques naturels (PPRN).

En effet, la méthodologie utilisée dans le cadre des PPRN de Mayotte est réalisée au 1/5000°, basée sur une analyse des caractéristiques géophysiques et géologiques du territoire ainsi que sur la connaissance de phénomènes historiques et s'appuie principalement sur une approche « à dire d'experts ». Malgré la réalisation de campagnes de terrain denses, cette méthodologie peut toutefois présenter des lacunes.

Ainsi ce cahier des charges se propose d'établir les modalités de réalisation des études de précision de l'aléa mouvement de terrain qui pourront être entreprises par les Communes ou des pétitionnaires privés, **ceci dans une perspective d'homogénéité de réalisation, de manière à pouvoir reprendre les résultats obtenus et modifier les cartes du futur PPRN de la commune.**

La caractérisation des aléas concerne l'état du terrain à la date d'élaboration de la cartographie et donc en dehors de tout projet de construction futur, dont les PPRN n'ont pas vocation à déterminer la faisabilité technique de réalisation.

2. Rappel des phénomènes de mouvements de terrain concernés et traités dans les PPRN de Mayotte

Un **mouvement de terrain** correspond à un déplacement gravitaire de terrains déstabilisés sous l'effet de sollicitations naturelles ou anthropiques (liées aux activités humaines).

Sous l'expression générique "mouvements de terrain" sont regroupés plusieurs types de phénomènes qui sont fonction de la nature des matériaux affectés et des mécanismes mis en jeu (évolution de l'instabilité, vitesse du mouvement durant la phase d'instabilité majeure, surface et profondeur de rupture, désorganisation des terrains...). Les principaux types de mouvements de terrain rencontrés à Mayotte sont les **glissements** et les **chutes de blocs**.

Dans la plupart des cas, à Mayotte, glissements de terrain et chutes de blocs sont des phénomènes étroitement mêlés (la manifestation d'un type d'instabilité s'accompagnant fréquemment – au moins potentiellement – d'une instabilité de nature autre), justifiant une appellation mixte (associant les deux grandes familles de mouvements de terrain) avec référence à un phénomène dominant.

La méthodologie de cartographie des aléas mouvements de terrain est présentée en annexe 1 de ce rapport.

2.1.1 Les glissements de terrain

Un glissement de terrain (cf. Figure 1) correspond au déplacement d'une masse de matériaux instable le long d'une surface de rupture généralement courbe mais qui peut être plane (discontinuité lithologique). Ce type de mouvement montre généralement les éléments suivants :

- dans sa partie amont, des niches d'arrachement avec de brusques ruptures de pente (pentes concaves) et des contre-pentes ;

- dans sa partie aval, un bourrelet de pied (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied peut se manifester par exemple par un tracé anormal des cours d'eau en aval ;
- une surface topographique bosselée (ondulations, dissémination de blocs de forte taille, etc.) et des indices tels que des arbres inclinés, des fissures dans les bâtiments ou des déformations de chaussées.

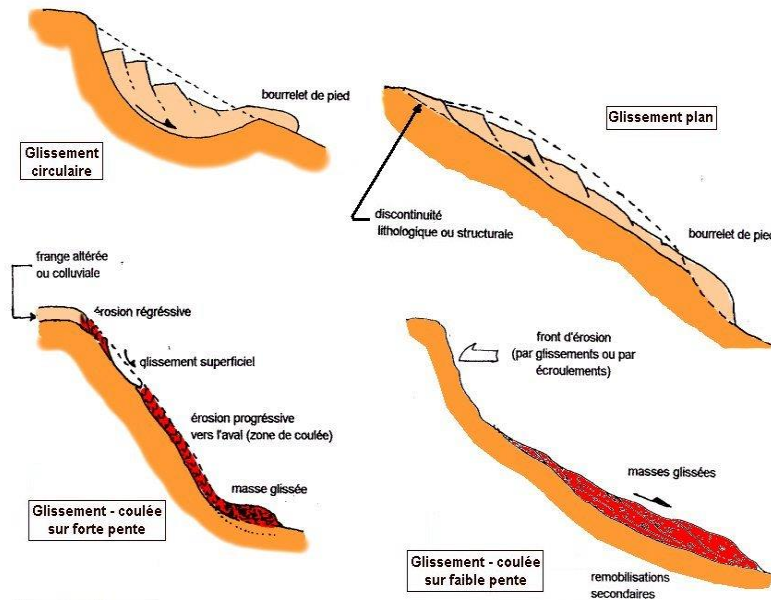


Figure 1 - Les différents types de glissements de terrain (www.georisques.gouv.fr)

2.1.2 Les chutes de blocs

Les chutes de blocs et les éboulements sont des phénomènes rapides qui mobilisent des masses rocheuses plus ou moins homogènes, sur une paroi verticale ou une forte pente (cf. Figure 2). Les blocs sont formés par fragmentation des masses rocheuses ou par déchaussement, puis ils sont libérés par gravité. Il s'agit de phénomènes soudains et potentiellement très destructeurs. Les chutes de blocs ne concernent qu'un nombre réduit de blocs ; les masses sont beaucoup plus volumineuses pour les éboulements.

Les blocs déstabilisés ont une trajectoire variable : la distance parcourue est fonction de la taille et de la forme des blocs, de la pente, de l'amortissement des chocs (couvert végétal, etc.), etc. L'ampleur du phénomène est enfin liée à la quantité de matériaux au départ ainsi qu'à la topographie de la zone de propagation des blocs éboulés.

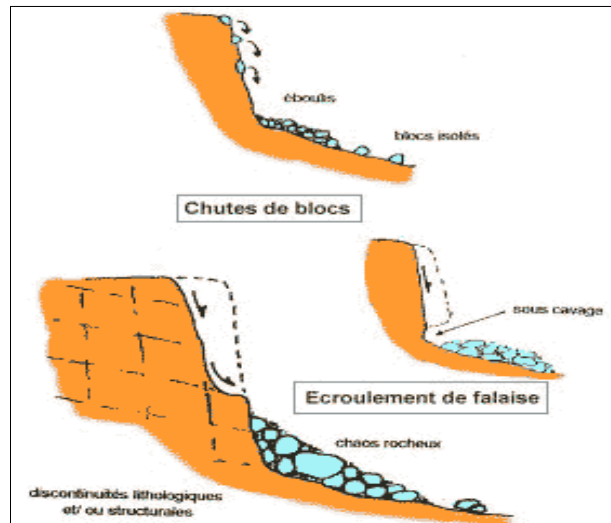


Figure 2 - Exemples de chute de blocs

3. Références normatives

Les études de précision de l'aléa mouvement de terrain correspondent à des missions normalisées de type G5 au sens de la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013. Il conviendra également de se référer aux conditions générales des missions géotechniques du 16/07/2007 réalisé par l'union syndicale géotechnique.

Les études entreprises devront être conformes aux différentes normes géotechniques tant en terme de rendu écrit que concernant les essais et sondages.

NF EN ISO 22476-1 (P 94-521-2)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 1 – Essai au pénétromètre statique pointe électrique.
NF EN ISO 22476-2 (P 94-521-2)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 2 – Essai de pénétration dynamique.
NF EN ISO 22476-3 (P 94-521-3)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 3 – Essai de pénétration au carottier.
NF EN ISO 22476-4 (P 94-521-4)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 4 – Essai au pressiomètre Ménard.
NF EN ISO 22476-5 (P 94-521-5)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 5 – Essai au dilatomètre flexible.
NF EN ISO 22476-6 (P 94-521-6)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 6 – Essai au pressiomètre autoforeur.
NF EN ISO 22476-7 (P 94-521-7)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 7 – Essai au dilatomètre rigide latéral.
NF EN ISO 22476-8 (P 94-521-8)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 8 – Essai au pressiomètre refoulant.
NF EN ISO 22476-9 (P 94-521-9)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 9 – Essai au scissomètre.
ISO TS 22476-10 (P 94-521-10)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 10 – Essai de sondage par poids.
ISO TS 22476-11 (P 94-521-11)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 11 – Essai au dilatomètre plat.
NF EN ISO 22476-12 (P 94-521-12)	Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place - Partie 12 – Essai au pénétromètre statique pointe mécanique.

NF P 94-110-1	Sols : Reconnaissance et Essais – Essai pressiométrique Ménard. Partie 1 : Essai sans cycle. NB : La norme NF P94-110-1 annule et remplace au 1 ^{er} janvier 2001 la norme NF P94-110 de juillet 1991. La version de la norme NF P 94-110-1 en vigueur est notée : 2 ^{ème} tirage 2000-05.F (le 2 ^{ème} tirage portait sur des corrections éditoriales)
XP P 94-110-2	Sols : Reconnaissance et Essais – Essai pressiométrique Ménard. Partie 2 : Essai avec un cycle.
NF P 94-112	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai scissométrique en place.
NF P 94-113	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de pénétration statique.
NF P 94-114	Géotechnique - Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de pénétration dynamique type A.
NF P 94-114E	Soils: investigation and testing. Type A dynamic penetration tests.
NF P 94-115	Géotechnique - Sols : Reconnaissance et Essais - Sondage au pénétromètre dynamique type B.
NF P 94-115E	Soils: investigation and testing. Type B dynamic penetration tests.
NF P 94-116	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de pénétration au carottier (SPT).
NF P 94 117-1	Sols : Reconnaissance et essais – Déformabilité des plates-formes. Partie 1 : Module de déformation statique à la plaque.
NF P 94 117-2	Sols : Reconnaissance et essais – Portance des plates-formes. Partie 2 : Module sous chargement dynamique.
NF P 94 117-3	Sols : Reconnaissance et essais – Portance des plates-formes. Partie 3 : Coefficient de réaction de Westergaard sous chargement statique d'une plaque.
NF P 94-119	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai au piézocône.
XP P 94-120	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de cisaillement au Phicomètre.
XP P 94-123	Sols : Reconnaissance et Essais - Diagraphie dans les sondages - Méthode de la sonde à neutrons.
XP P 94-443-1	Roches. Déformabilité - Essai dilatométrique en forage. Partie: 1 Essai avec cycles.
XP P 94-443-2	Roches . Déformabilité -Essai dilatométrique en forage Partie 2 : Essai de fluage après le premier cycle.

Concernant la réalisation des essais :

NF EN ISO 14688-1 (P 94-400-1)	Reconnaissance et essais géotechniques. Dénomination - description et classification des sols. Partie 1. Dénomination et description.
NF EN ISO 14688-2 (P 94-400-2)	Reconnaissance et essais géotechniques. Dénomination, description et classification des sols. Partie 2 : Principes pour une classification.
XP CEN ISO/TS 17892-1 (P 94-512-1)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 1 : Détermination de la teneur en eau.
XP CEN ISO/TS 17892-2 (P 94-512-2)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 2 : Détermination de la masse volumique d'un sol fin.
XP CEN ISO/TS 17892-3 (P 94-512-3)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 3 : Détermination de la masse volumique des grains – Méthode du pycnomètre.
XP CEN ISO/TS 17892-4 (P 94-512-4)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 4 : Détermination de la granulométrie.

XP CEN ISO/TS 17892-5 (P 94-512-5)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 5 : Essai de chargement à l'œdomètre sur sol saturé.
XP CEN ISO/TS 17892-6 (P 94-512-6)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 6 : Essai au cône.
XP CEN ISO/TS 17892-7 (P 94-512-7)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 7 : Essai de compression simple sur sol cohérent.
XP CEN ISO/TS 17892-8 (P 94-512-8)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 8 : Essai triaxial non consolidé non drainé.
XP CEN ISO/TS 17892-9 (P 94-512-9)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 9 : Essai triaxial consolidé sur sol saturé.
XP CEN ISO/TS 17892-10 (P 94-512-10)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 10 : Essais de cisaillement direct.
XP CEN ISO/TS 17892-11 (P 94-512-11)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 11 : Détermination de la perméabilité au perméamètre à charge constante.
XP CEN ISO/TS 17892-12 (P 94-512-12)	Reconnaissance et essais géotechniques. Essai de sol au laboratoire. Partie 12 : Détermination des limites d'Atterberg.

NF ISO 11074	Qualité du sol. Vocabulaire.
XP P 94-010	Sols : Reconnaissance et Essais - Glossaire géotechnique : Définitions. Notations. Symboles.
XP P 94-011	Sols : Reconnaissance et Essais – Description – Identification –Dénomination des sols – Terminologie – Éléments de classification.
XP P 94-041	Sols : Reconnaissance et Essais – Identification granulométrique – Méthode de tamisage par voie humide.
XP P 94-047	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur pondérale en matière organique – Méthode par calcination.
NF P 94-048	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en carbonate – Méthode du calcimètre. 2 ^{ème} tirage janvier 2003
NF P 94-050	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux – Méthode par étuvage.
NF P 94-051	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau.
NF P 94-052-1	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Partie 1 : Limite de liquidité – Méthode du cône de pénétration.
NF P 94-053	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire – Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau.
NF P 94-054	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des particules solides des sols – Méthode du pycnomètre à eau.
NF P 94-055	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un sol – Méthode chimique.

NF P 94-056	Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique – Méthode par tamisage à sec après lavage.
NF P 94-057	Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique des sols – Méthode par sédimentation.
XP P 94-058	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de l'état de décomposition (humification) des sols organiques – Essai Von Post.
NF P 94-059	Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents.
XP P 94-060-1	Sols : Reconnaissance et Essais – Essai de dessiccation Partie 1 : Détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 µm d'un matériau.
XP P 94-060-2	Sols : Reconnaissance et Essais – Essai de dessiccation Partie 2 : Détermination effective de la limite de retrait sur un prélèvement non remanié.
NF P 94-070	Sols : Reconnaissance et Essais - Essais à l'appareil triaxial de révolution - Généralités, définitions.
NF P 94-071-1	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de cisaillement rectiligne à la boîte - Partie 1 : Cisaillement direct.
NF P 94-071-2	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de cisaillement rectiligne à la boîte - Partie 2 : Cisaillement alterné
NF P 94-072	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai scissométrique en laboratoire.
NF P 94-074	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai à l'appareil triaxial de révolution - Appareillage - Préparation des éprouvettes - Essais (UU) non consolidé non drainé - Essai (CU + u) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle - Essai (CD) consolidé drainé.
NF P 94-077	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de compression uniaxiale.
XP P 94-090-1	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai œdométrique - Partie 1 : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.
XP P 94-091	Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de gonflement à l'œdomètre - Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes.
NF EN 933-8 (P 18-622-8)	Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8 : Évaluation des fines. Équivalent de sable.
NF EN 1367-1 (P 18-653-1)	Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altération des granulats. Partie 1 : Détermination de la résistance au gel-dégel

Concernant les études :

NF EN 1997-1 (P 94-251-1)	Eurocode 7 - Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales
NF EN 1997-1/NA (P94-251-1/NA)	Eurocode 7 - Calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales. - Annexe nationale à la NF EN 1997-1:2005
NF EN 1997-2 (P94-252)	Eurocode 7 : calcul géotechnique - Partie 2 : reconnaissance des terrains et essais

NF P94-282 (P94-282)	Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Ecrans
NF P94-270 (P94-270)	Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Remblais renforcés et massifs en sol cloué
NF P94-262 (P94-262)	Calcul géotechnique – Fondations Profondes
NF P94-261 (P94-261)	Calcul géotechnique – Fondations Superficielles
NF P94-281 (P94-281)	Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Murs
NF P94-290 (P94-290)	Calcul géotechnique – Ouvrages en Terre

NF P 94-500	Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications
Fascicule 62 titre V	Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil
P 11-212 (DTU 13.2)	Fondations profondes pour le bâtiment.
P 11-711 (DTU 13.12)	Règles pour le calcul des fondations superficielles.
P 11-211 (DTU 13.11)	Fondations superficielles - Cahier des clauses techniques - Cahier des clauses spéciales.
	Modificatif n° 1 au cahier des clauses techniques.

L'identification des risques implique de définir et de réaliser des investigations géotechniques adaptées au site et à son emprise.

4. Présentation du projet et localisation

(localisation et description de la zone d'étude à compléter par le maître d'ouvrage)

D'après le zonage actuel des aléas, la zone d'étude est exposée aux phénomènes de mouvements de terrain: aléa de type XX (à compléter par le maître d'ouvrage, à compléter par glissement de terrain et/ou chute de blocs).

5. Nature et objectifs de l'étude

L'étude à mener doit permettre de préciser la cartographie des aléas mouvements de terrain (glissement de terrain et/ou chute de blocs) de la zone d'étude en tenant compte notamment de la période de référence (siècle à venir) retenue dans le cadre d'un PPR. Cette cartographie d'aléa devra être élaborée à l'échelle du 1/1000°. Pour rappel, actuellement, les PPRN sont réalisés à l'échelle 1/5 000° dans les zones à enjeux et à 1/10 000 ailleurs.

Le contenu de l'étude doit donc intégrer toutes les investigations et analyses nécessaires afin d'atteindre cet objectif (visite de terrain pour le relevé d'indices, investigations par sondages, analyse des conditions de stabilité et/ou de propagation).

En s'appuyant sur les principes méthodologiques retenus lors de l'élaboration des PPRN à Mayotte, à l'échelle de la zone d'étude, l'étude de précision des aléas demandée devra explicitement répondre aux objectifs suivants :

De façon globale, quel que soit le phénomène considéré : apporter une plus-value quant à l'état des connaissances valorisées au moment de la réalisation des zonages d'aléa menés précédemment :

- Amélioration des connaissances sur la nature, l'emprise, la géométrie et les caractéristiques géo-mécaniques des formations géologiques représentées ;
- Enrichissement des données évènementielles relatives aux phénomènes considérés.

Spécifiquement pour les secteurs concernés par des phénomènes potentiels de glissements de terrain :

- La modélisation de la morphologie en termes de pentes de ressauts à l'échelle de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) ;
- La détermination de la nature et de l'épaisseur des matériaux présents sur site ;
- L'évaluation de leurs caractéristiques géotechniques ;
- La recherche de discontinuités, couches savons ou surface de ruptures potentielles en profondeur ;
- La détermination de la profondeur et la modélisation du comportement de la nappe d'eau ;
- La recherche d'indices morphologiques de glissement (fissurations, bourrelets niches d'arrachement ...) ;
- La précision de la nature et de l'intensité des phénomènes redoutés (surface et volume mobilisable) afin de préciser le niveau d'aléa glissement de terrain résultant pouvant affecter la zone d'étude ;
- L'estimation de la propagation des événements redoutés (coulée de boue) ;
- L'interaction d'éventuels ouvrages existants pouvant aggraver ou diminuer le risque de glissement.

Pour les secteurs concernés par des phénomènes potentiels de chute de blocs :

- La détermination des zones de départ avec une description naturaliste des escarpements concernés (lithologie, fracturation, géométrie) afin d'identifier le type de menace potentielle ;
- La détermination des volumes de matériaux susceptibles d'être mobilisés ;
- L'évaluation des probabilités d'atteintes à l'aval des zones d'escarpement ainsi que le recul potentiel depuis la crête des parois concernées ;
- La précision du niveau d'aléa chute de blocs résultant de cette analyse pouvant affecter la zone d'étude.

Le prestataire devra mettre en œuvre tous les moyens qu'il juge nécessaire pour atteindre ces objectifs à l'échelle de la zone d'étude.

6. Périmètre de l'étude

L'étude de précision des aléas doit intégrer l'ensemble des mouvements de terrains potentiels ou avérés affectant le bassin de risques concerné par la zone d'étude (cf. Figure 3). Il s'agit de la définition de la **zone d'influence géotechnique (ZIG)** liée à l'aménagement de la / (des) parcelle(s) considérées. Au sens de la norme NF-P94500 nov2013, la ZIG est définie comme le volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement de terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et d'autre part, l'environnement (sols, ouvrages, aménagements de terrains ou biens environnants). La forme et l'extension de cette zone d'influence géotechnique sont spécifiques à chaque site et à chaque ouvrage ou aménagement de terrain.

Le prestataire a la responsabilité de la définition des contours de la ZIG. Son étude devra intégrer l'analyse des phénomènes à risques dans l'ensemble de ce périmètre. Pratiquement cette zone se définit comme :

- la ou les parcelles où se situe la zone d'étude ;
- les terrains en amont ou latéraux où tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur un éventuel projet ;
- les terrains en aval ou latéraux où :

- tout mouvement de terrain pourrait induire des conséquences préjudiciables sur un projet par régression dans la pente ;
- des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient se propager.

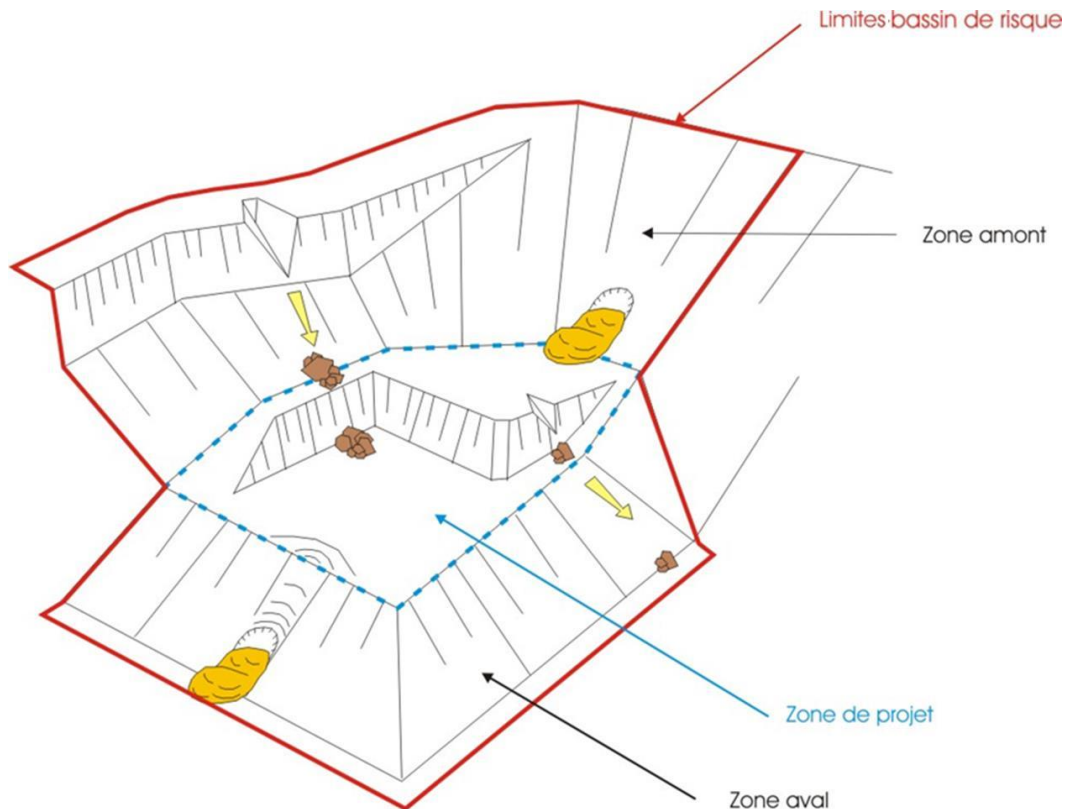


Figure 3 - Définition du bassin de risque

Concernant les limites latérales du bassin de risque, elles dépendent sensiblement de la morphologie du terrain. En tout état de cause, il conviendra généralement d'étendre latéralement le bassin de risque au minimum de plusieurs dizaines de mètres au-delà des limites de la zone d'étude.

7. Méthodologie de caractérisation des aléas mouvements de terrain

1.1. Reconnaissances

7.1.1 Généralités

Accès / amenée - repli

Dès l'élaboration de son offre, le prestataire devra prendre connaissance des conditions d'accessibilité au site. Les modalités inhérentes à l'accessibilité du personnel et des machines, équipements, fluides et énergies sont réputées intégrées dans l'offre. Le prestataire aura en charge la remise en état des terrains et le rebouchage soigné des fouilles réalisés, à l'aide des matériaux du site.

Ouvrages existants

Le prestataire devra procéder à l'identification préalable des ouvrages enterrés. Une déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) est obligatoire. La réfection des ouvrages aériens ou enterrés existant sur le site, et éventuellement endommagés par le prestataire, sera à l'entière charge de ce dernier.

Nature et volume de reconnaissance

De par son obligation de moyens et son devoir de conseil, le prestataire, en fonction des objectifs définis précédemment devra justifier explicitement dans son offre de la nature et du volume des reconnaissances proposées. Il pourra, si nécessaire, proposer un programme plus étoffé ou mieux adapté que les propositions formulées au présent cahier des charges. Ce programme complémentaire devra être explicitement indiqué dans l'offre.

Études d'archives et examen visuel du site

Le prestataire devra vérifier si le site n'a pas déjà fait l'objet de mouvements de terrains significatifs. De plus, il devra procéder à un examen visuel du site et reporter sur un plan tous les indices ou les traces avérées d'instabilité. De même, toutes les zones d'écoulements pérennes ou temporaires, ainsi que les zones humides devront être identifiées. Enfin, le prestataire devra mener une étude d'archives pour retrouver tout élément relatif au sol et au sous-sol de la zone de projet et du bassin de risque (études géotechniques, études hydrogéologiques, études de risque, études d'impacts, plans topographiques, coupures de presse traitant d'instabilités historiques, etc).

Plan topographique

Si le prestataire juge qu'il ne dispose pas d'un support topographique assez précis, il pourra proposer de faire procéder à un levé topographique par un géomètre topographe qualifié. Cette option devra être explicitement spécifiée dans l'offre, tant en contenu qu'en coût.

7.1.2 En terrain exposé aux chutes de blocs (sous-chapitre à retenir ou non selon le contexte)

Nature des reconnaissances

Le prestataire devra sur l'ensemble du bassin de risques :

- procéder à une analyse de toutes les zones potentielles de production de blocs (barres rocheuses, parois, blocs dégagés dans un versant meubles, blocs effondrés pouvant être remobilisés, etc.): localisation, nature, dimension des blocs, niveau de fracturation, géométrie des discontinuités, niveau d'altération, géométrie des parois et versants, imminence des instabilités, sous-cavage ;
- définir les éventuelles circulations d'eau au sein de ces zones ;
- repérer les blocs à terre et d'une manière générale les zones de propagation (localisation, dimensions), identifier les trajectoires des blocs ayant déjà chutés ou les trajectoires potentielles. L'existence d'obstacles à la propagation devra être précisée (végétation arbustive, saillies de terrain, etc.),
- repérer et analyser les sites ayant fait l'objet d'instabilité historiques identifiées dans des documents d'archives.

Plan et rendu cartographique

Les observations seront reportées sur un plan à l'échelle du bassin de risque.

7.1.3 En terrain exposé aux glissements (sous-chapitres à retenir ou non selon le contexte)

Nature des reconnaissances

Les reconnaissances à envisager doivent permettre de répondre aux objectifs fixés au § 5.. Elles comprendront à minima :

- des visites de terrain réalisées par du personnel compétent en termes de risque naturel, permettant le relevé d'indices de glissement et l'établissement d'une carte géologique et géomorphologique détaillée des formations rencontrées sur la zone d'étude.

- des sondages de reconnaissance géotechnique, couplés ou non à des essais in-situ, permettant d'établir un modèle géotechnique des différentes formations en profondeur et mettant en évidence les éventuelles discontinuités ou variations de formations rencontrées, ainsi que la profondeur de la nappe d'eau ;
- des essais de laboratoire permettant de définir les caractéristiques géotechniques des formations de la zone d'études.

L'ensemble des reconnaissances géotechniques seront menées dans le respect des normes en vigueur (cf. partie 3 du présent CCTP).

Si le bureau d'étude est en mesure de se baser sur des résultats d'archives issus de sondages et d'essais réalisés sur la zone du projet concerné, il pourra éventuellement (à son entière responsabilité) s'affranchir de reconnaissances in situ complémentaires (autres que visuelles) sous réserve que le prestataire justifie que le contexte géomorphologique soit similaire. Il conviendra alors de préciser dans la proposition et le rapport, les études de référence sur lesquelles ces hypothèses sont basées.

Réalisation des sondages

Nombre de sondages: Le prestataire devra proposer un programme d'investigation permettant de répondre aux objectifs définis dans le présent cahier des charges. Le nombre et le types de sondages devront être cohérents avec la superficie de la zone d'études et sa morphologie. Ces sondages doivent permettre la caractérisation mécanique des terrains présents en profondeur. Ce programme d'investigation devra être validé par la maîtrise d'œuvre (avec l'appui du bureau d'étude en charge de l'élaboration du PPRN sur la commune) avant le démarrage de l'étude.

Au minimum le prestataire devra réaliser 1 sondage par unités de 5000 m² et 1 sondage par unité de 40 000 m² dans le reste du bassin de risque (dans les secteurs susceptibles d'être affectés par des phénomènes de glissements ou assimilés, les zones potentiellement productrices d'éboulements ou de chutes de blocs étant généralement dispensées de reconnaissances par sondages).

Profondeur des sondages : La profondeur des investigations est un critère important de la réalisation de l'offre. En partie amont de la zone d'étude, on cherchera à maximiser la profondeur des sondages. La profondeur des sondages proposée devra être cohérente avec la morphologie de la zone étudiée et de la zone de glissement suspectée. Dans tous les cas, une profondeur de 10 m par rapport au terrain naturel peut être considérée comme un minimum à atteindre sauf dans le cas où un refus est obtenu lors de l'avancement.

On notera que la recherche de terrains sains en place est un indice géologique important. A ce titre, si des terrains très médiocres sont encore reconnus à 10 m de profondeur par rapport au terrain naturel, il convient d'approfondir au minimum un sondage dans la campagne afin de rencontrer le substratum sain.

Dans le cas où la zone n'est clairement pas accessible pour des engins permettant ce type de profondeur d'investigation, le prestataire devra proposer des variantes permettant de définir au mieux la nature et les caractéristiques du sol en profondeur (sondages manuelles, géophysique ...)

Nature des sondages et essais in situ : La ou les natures des sondages est laissé au choix du prestataire qui devra adapter son programme au contexte géotechnique du site et aux conditions d'accessibilité. Les natures des sondages autorisés doivent être parmi les suivantes :

- tarière manuelles (réservés au cas d'accès très difficiles au site), avec prélèvement d'échantillons remaniés ;
- puits à la pelle mécanique avec prélèvement d'échantillons remaniés ;
- forages à la tarière continue avec prélèvement d'échantillons remaniés et / ou essais pressiométriques ;
- forages au carottier avec essais pressiométriques et/ou prélèvement d'échantillons intacts ;
- forages au taillant ou au marteau fond de trou avec essais pressiométriques ;
- pénétromètre dynamique ;
- pénétromètre statique ;

- mesure de perméabilité des sols ;
- mesures géophysiques de type sismique ou électrique à préciser dans l'offre.

Localisation des sondages : La localisation des sondages et des prélèvements est laissée à l'appréciation du prestataire en fonction de la configuration du site. Toutefois, elle devra tenir compte de la morphologie du site, des zones d'instabilités potentielles et devra pouvoir être justifiée. Il est donc recommandé de ne pas trop éloigner les sondages des secteurs montrant le plus de signes d'instabilité potentielle ou avérée.

Coupes de sondages : Chaque sondage fera l'objet d'une coupe établie au propre et annexée au dossier. Celle-ci comprendra explicitement les éléments suivants :

- nom (ou code) du sondage ;
- nature du sondage ;
- cote de la tête (NGM) ;
- date de réalisation ;
- cote et profondeur des prélèvements ;
- identification et profondeur des essais ;
- résultats des essais in situ à la profondeur concernée : pénétrogramme ou profil pressiométrique par exemple ;
- coupe des terrains : description des échantillons, nature, couleur, compacité, profondeur des interfaces ;
- profondeur de fin du sondage, et origine de l'arrêt : longueur prévisionnelle atteinte, refus, etc.
- profondeur des arrivées d'eau et du niveau d'eau statique, si rencontrés ;
- anomalie : nature et profondeur.

Essais in-situ

Les essais in-situ (pénétrométriques, pressiométriques notamment) feront l'objet d'un rapport d'essai selon les modalités prévues par la norme française. Chaque essai sera explicitement identifié par un code faisant référence à sa nature, au sondage et à la profondeur de prélèvement ou d'essai.

Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire pourront être effectués sur essais intacts et/ou remaniés. À minima seront attendu les essais suivants :

- pour les échantillons remaniés ou intacts : caractérisation physique (granulométrie, teneur naturelle en eau, poids volumique humide) ;
- pour les échantillons intacts : essais de cisaillement consolidés drainés (CD), ou consolidés non drainés avec mesure de la pression interstitielle ($CU+U$), non drainés (UU) si les conditions le justifient.

Chaque échantillon objet d'analyse sera explicitement identifié par un code faisant référence à sa nature, au sondage et à la profondeur de prélèvement.

Plan de localisation des sondages et des essais

L'implantation des sondages et des essais (distingués par un code explicite) sera reportée précisément sur un plan du site pris à une échelle adéquate (1/1000 ou plus précis) et annexé au dossier. La topographie et les emprises du projet, ainsi que du bassin de risque, seront précisées.

1.2. Hypothèses et modélisations

L'analyse des résultats acquis lors des reconnaissances devra permettre d'établir les hypothèses géotechniques régissant les instabilités potentielles sur le site d'étude (zones de départ, géométrie des blocs, modèle stratigraphique, conditions hydrogéologiques (niveaux de nappe ou circulation d'eau souterraine) et

hydrauliques, caractérisation de la résistance au cisaillement des sols, etc... Ces hypothèses seront ensuite exploitées pour bâtir les modélisations et établir l'analyse de risque.

Un modèle géotechnique synthétique de la zone d'étude devra être fourni reprenant la géologie de la zone d'étude et les caractéristiques géotechniques des différentes formations, sous forme de coupes ou de log judicieusement localisés.

Le prestataire pourra utiliser des logiciels de modélisation afin d'établir les cartes d'aléa : trajectographie de blocs ou modélisation de glissements à la rupture.

Les logiciels adoptés devront faire l'objet d'une validation de la part de la maîtrise d'œuvre ou par le bureau de contrôle. Les approches retenues devront être conformes aux normes en vigueur et aux règles de l'art. Les zones de départ et les zones de propagation des phénomènes à risques seront clairement identifiées dans l'étude.

Vis-à-vis des glissements, les caractéristiques de cisaillement en conditions à long terme (conditions "drainées") devront être retenues. Les hypothèses de nappe devront être clairement définies et justifiées. Il conviendra sans justification contraire de retenir des hypothèses de nappe "haute" en configuration d'intempéries cycloniques.

L'évaluation des caractéristiques mécaniques des formations par rétro-calage de profils de stabilité est admise.

Les modélisations seront faites dans la configuration actuelle du site.

Les hypothèses sismiques applicables à Mayotte sont celles de la zone 3 (zone à sismicité modérée au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010).

Les modélisations seront réalisées à l'ELU (Etat Limite Ultime) fondamental et accidentel en intégrant notamment les hypothèses sismiques dans la configuration actuelle du site.

Dans le cas où il est avéré par les observations de terrain et les sondages que la nappe d'eau joue un rôle dans l'instabilité du site, une modélisation hydrogéologique devra être réalisée.

1.3. Evaluation de l'aléa

Sur la base des reconnaissances effectuées et des éventuelles modélisations, le prestataire devra :

- préciser le zonage d'aléa sur un plan de tout le bassin de risque au 1/1000^{ème} ou plus précis en présentant le zonage actuel en vigueur et celui proposé par le prestataire à l'issue de la présente étude ;
- respecter le principe de continuité des niveaux d'aléas. Le passage d'un niveau fort à un niveau faible se fait par une zone d'aléa moyen.

L'évaluation des niveaux d'aléa doit être compatible avec la méthodologie définie des PPRN définie en annexe 1 afin que les résultats de la présente étude puissent être intégrés à la cartographie des aléas du PPRN de la commune.

8. Rapport

Le rapport d'étude devra intégrer :

- le rappel des objectifs de la mission et le statut de l'entité ou de la personne physique ayant fait la demande de déclassement ;
- La présentation de la zone d'étude et sa localisation ;

- le zonage d'aléa actuel (issu d'un PPRN en projet ou des Atlas des aléas naturels¹ du BRGM selon les communes concernées) ;
- le recensement des instabilités historiques ou identifiées sur site, ainsi que des zones d'écoulement, de venue d'eau ou humides, avec leur localisation sur plan ;
- le rapport de reconnaissances comprenant :
 - o le programme d'investigations ;
 - o une synthèse des observations de terrain détaillée avec reportage photographique, description des affleurements, des échantillons de sol prélevés, cartographie des éventuels indices d'instabilités et tout élément susceptible d'avoir une influence sur la stabilité du site ;
 - o Une description de la nature du sol et du sous-sol pour chaque profil lithologique rencontré ;
 - o Une synthèse des résultats des essais in-situ et réalisés en laboratoire pour chaque formation en ayant fait l'objet ;
- l'analyse des résultats des reconnaissances, des levés sur site et des données d'archives afin de définir les hypothèses géologiques, géotechniques et hydrogéologiques régissant la zone d'étude ;
- l'analyse des résultats des modélisations (trajectographie, glissement) ;
- l'étude d'aléa en situation actuelle déduite des observations de terrain, des investigations et des modélisations (avec établissement d'une carte d'aléa et les arguments justifiant la proposition du prestataire). Cette étude devra s'appuyer sur la méthodologie de réalisation des PPRN et mettre en avant les apports de la reconnaissance à plus petite échelle ;
- La proposition du zonage des aléas MVT sera présentée au 1/1000^{ème}. Une version au format SIG (*.tab ou *.shp) sera à fournir avec le rapport.
- Des annexes composées à minima :
 - des coupes de sondage (cf. description ci-avant) ;
 - des rapports d'essais (cf. description ci-avant) ;
 - du plan d'implantation des investigations ;

9. Délais et planning

L'offre du prestataire devra explicitement préciser les délais fermes auxquels il s'engage à compter de la réception de la commande. En outre un planning d'intervention sur le terrain pourra être demandé par la maîtrise d'œuvre.

10. Éléments fournis par le maître d'ouvrage

Le Maître d'ouvrage fournira :

- un plan topographique détaillé du site ;
- un extrait de la carte d'aléa au droit du site issue des atlas des aléas naturels du BRGM ou des PPRN en projet - *extrait qui pourra être demandé à la DEAL*.
- une copie de toutes les études et/ou investigations déjà réalisées sur le site ou à proximité dont il a connaissance – *études et investigation qui pourront être demandées à la DEAL ou au BRGM*.

Le maître d'ouvrage aura en charge d'obtenir les autorisations nécessaires pour accéder au site d'étude.

¹ Référence des atlas : RP-53037-FR, mars 2004 / RP-53194-FR, décembre 2004 / RP-53678-FR, juin 2006 / RP-52662-FR, mai 2004 / RP-55077-FR, décembre 2006 / RP-53116-FR, juin 2004 / RP-55589-FR, juillet 2007

11. Aspects environnementaux

Le prestataire a l'obligation de ne pas polluer le site. En cas de pollution accidentelle, en particulier aux hydrocarbures, le prestataire devra procéder, à sa charge, à la dépollution du site avec des moyens adaptés.

En fin de travaux, le site devra être libre de tout objet, gravats ou matériaux apportés par le prestataire. Ce dernier aura en charge l'évacuation de ces objets et substances, ainsi que la remise en état du site

Cahier des charges pour des études de précision de l'aléa inondation

1. Objet du cahier des charges

Le présent cahier des charges est réalisé dans le cadre de la réalisation des plans de prévention des risques naturels (PPRN).

En effet, la méthodologie utilisée dans le cadre des PPRN de Mayotte est réalisée au 1/5000°, basée sur une analyse des caractéristiques géophysiques, hydro-géomorphologiques et géologiques du territoire ainsi que sur la connaissance de phénomènes historiques et s'appuie principalement sur une approche « à dire d'experts ». Malgré la réalisation de campagnes de terrain denses, cette méthodologie peut toutefois présenter des lacunes.

Ainsi ce cahier des charges se propose d'établir les modalités de réalisation des études de précision de l'aléa d'inondation qui pourront être entreprises par les Communes ou des pétitionnaires privés, **ceci dans une perspective d'homogénéité de réalisation, de manière à pouvoir reprendre les résultats obtenus et modifier les cartes du futur PPRN de la commune.**

La caractérisation des aléas concerne l'état du terrain à la date d'élaboration de la cartographie et donc en dehors de tout projet de construction futur, dont les PPRN n'ont pas vocation à déterminer la faisabilité technique de réalisation.

2. Rappel des phénomènes d'inondation concernés et traités dans les PPRN de Mayotte

L'inondation désigne une submersion (recouvrement d'eau) temporaire naturelle ou artificielle d'un espace terrestre.

On distingue différents types d'inondations qui peuvent se produire indépendamment l'un de l'autre, ou bien simultanément, en particulier pendant la saison cyclonique. Dans le cadre des PPRN de Mayotte, les phénomènes d'inondations suivants ont été considérés :

- Le **débordement** de cours d'eau ou de ravines pour une crue centennale (ayant 1 chance sur 100 d'arriver chaque année),
- Le **ruissellement urbain** pour une pluie d'occurrence centennale (ayant 1 chance sur 100 d'arriver chaque année).

3. Références méthodologiques

La méthodologie utilisée dans le cadre des PPRN de Mayotte est basée sur les recommandations des guides ministériels :

- Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques (PPR) d'inondation » (paru à la documentation Française – 1999)
- Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques (PPR) d'inondation par ruissellement péri-urbain » (paru à la documentation Française – 2003)

4. Présentation du projet et localisation

(localisation et description de la zone d'étude à compléter par le maître d'ouvrage)

D'après le zonage actuel des aléas, la zone d'étude est exposée aux phénomènes d'inondation : **aléa de type XX (à compléter par le maître d'ouvrage, choix entre débordement de cours d'eau et/ou ruissellement urbain).**

5. Nature et objectifs de l'étude

L'étude à mener doit permettre de préciser la cartographie des aléas Inondations (débordement de cours d'eau et/ou ruissellement urbain) de la zone d'étude en considérant les hypothèses retenues dans le cadre d'un PPR (= crue d'occurrence centennale). Cette cartographie d'aléa devra être élaborée à l'échelle du 1/1000.

Le contenu de l'étude doit donc intégrer toutes les investigations et analyses nécessaires afin d'atteindre cet objectif (visites de terrain pour le relevé des indices et des obstacles à l'écoulement, élaboration d'un support topographique précis et adapté à la zone d'étude et aux objectifs à atteindre, définition des conditions d'écoulement).

En s'appuyant sur les principes méthodologiques retenus lors de l'élaboration des PPR à Mayotte (cf. chapitres précédents), à l'échelle de la zone d'étude, l'étude de précision des aléas demandée devra explicitement répondre aux objectifs suivants :

Pour les secteurs concernés par des phénomènes d'inondation par débordement de cours d'eau en crue d'occurrence centennale :

- L'évaluation du débit pour une crue d'occurrence centennale à partir d'une analyse hydrologique du bassin versant ;
- L'évaluation des conditions d'écoulement et des risques érosifs associés en tout point de la zone d'étude (point de débordement potentiel, obstacles à l'écoulement, dynamique du cours d'eau, incidence érosive par une évaluation des érosions passées) ;
- La définition des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement dans les zones inondables du secteur d'étude. Dans ce cadre, le recours à une modélisation des écoulements pourra être retenu par le prestataire ;
- L'élaboration du zonage d'aléa inondation à partir des résultats précédents et des principes méthodologiques décrits.

Pour les secteurs concernés par des phénomènes de ruissellement urbain :

- L'évaluation de la pluie d'occurrence centennale du secteur d'étude ;
- L'identification des zones préférentielles de ruissellement (voiries, réseaux) avec une description (pente, longueur, revêtement, caractéristiques) ;
- L'évaluation des conditions d'écoulement et des risques érosifs associés en tout point de la zone d'étude (zone de concentration, d'étalement des eaux, obstacles à l'écoulement, incidence érosive) ;
- L'élaboration du zonage d'aléa inondation à partir des résultats précédents et des principes méthodologiques décrits.

Le prestataire devra mettre en œuvre tous les moyens qu'il juge nécessaire pour atteindre ces objectifs à l'échelle de la zone d'étude.

6. Périmètre de l'étude

L'étude de précision des aléas inondation doit intégrer l'ensemble des bassins versant des cours d'eau, ravines et axes préférentiels d'écoulement (pour les phénomènes de ruissellement) traversant la zone d'étude.

La délimitation des bassins versants hydrologiques à considérer dans le cadre de cette étude devra être présenté et justifié par le prestataire.

7. Méthodologie de caractérisation des aléas inondations

1.4. Reconnaissances

7.1.1 Support topographique

Une topographie précise et récente de la zone d'étude doit être utilisée pour cartographier convenablement l'aléa inondation, afin de respecter l'objectif d'échelle attendue pour le rendu cartographique (1/1000).

Soit un levé existe et le maître d'ouvrage le fournira au prestataire, soit le maître d'ouvrage pourra l'exiger au stade de la consultation et le prestataire se devra de le chiffrer. Dans ce cas il sera important de fournir, dès la consultation au prestataire, l'étendue exacte de la zone d'étude et donc du levé topographique à engager.

Le MNT à 1m pourra être utilisé pour le découpage des bassins versants et le lit majeur, un relevé topographique du lit mineur ou de la voie concentrée (ruissellement urbain) devra être réalisé et servira de support à la modélisation.

Ce support topographique devra faire apparaître à l'échelle de la zone d'étude :

- Les axes d'écoulement, le lit mineur et majeur ;
- Les courbes de niveaux (isolignes 1m) ;
- Le positionnement des berges (principalement dans les zones peu encaissées potentiellement sensibles aux risques de débordement) ;
- Les obstacles aux écoulements (pont, entonnement, ouvrages hydrauliques divers) et leurs dimensions
- Les ouvrages de gestions des eaux pluviales et leurs dimensions ;
- Les bâtiments et toutes infrastructures présentes en surface pouvant modifier les conditions d'écoulement dans la zone d'étude.
- Le relevé topographique de la zone d'étude, devra être calé en X ; Y ; Z sur le système de coordonnées en vigueur, soit le système de projection eu vigueur : RGM04 UTM 38Sud

La méthodologie retenue par le prestataire devra être explicitement spécifiée dans l'offre, tant en contenu qu'en coût.

7.1.2 Visite de terrain

La visite devra permettre :

- de recenser les différentes laisses de crue ;
- de réaliser un reportage photographique (photos géolocalisées selon le système de projection en vigueur) qui servira de support au rendu ;
- de relever tous les obstacles aux écoulements et d'évaluer les capacités hydrauliques des ouvrages potentiellement présents le long des cours d'eau / ravine et des axes de ruissellement (caniveau, dalot, pont, cadre etc..) ;

- d'estimer la capacité hydraulique du cours d'eau afin de déceler les points de débordements potentiels. Dans ce cadre, l'évaluation de la rugosité du lit devra être menée et justifiée (photographies du lit en fonction des particularités de ce dernier)

1.5. Hypothèses et Modélisations

7.1.3 Données hydrologiques et calcul des débits :

Le prestataire devra utiliser pour le calcul des débits les données issues des rapports BRGM intitulés :

- Propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte - BRGM/RP-52089-FR,
- Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte - BRGM/RP-56881-FR
- Note complémentaire : cartographie SIG des 3 zones hydrogéologiques définies dans l'étude BRGM/RP-56881-FR

Outre le fait que ces 3 rapports précisent les formules qu'il convient d'appliquer à Mayotte pour le calcul des débits, il convient de retenir :

- que le temps de concentration (T_c) se calcule en effectuant une moyenne des temps de concentration issus des formules de Passini, Giandotti, Kirpich (page 52 du rapport BRGM/RP-52089-FR),
- que le coefficient d'imperméabilisation « C » se calcule en pondérant ce dernier selon l'usage et l'occupation des sols du bassin versant considéré. Il est précisé que les ordres de grandeur pour un aléa centennal sont d'environ 0,62 en zone non urbanisée et de 0.40 pour un aléa décennal (page 55 du rapport BRGM/RP-52089-FR),
- que Mayotte a été découpée en 3 zones pluviométriques distinctes sur lesquelles s'appliquent des intensités différentes sur le bassin versant considéré (voir rapport Note_complémentaire_BRGM-RP-56881-FR qui localise sur MAPINFO ces 3 zones). A noter que la zone dite de Convalescence est celle dont l'intensité est la plus forte et que le rapport BRGM recommande de comparer le ou les débits issus d'une pluviométrie « normale », c'est à dire le ou les débits en lien avec une pluviométrie des zones 1 et/ou 2, avec ceux qui seraient issus s'il l'on utilisait les données de la station de Convalescence (page 64 du rapport BRGM- RP-56881-FR).
Cette approche vise à localiser lors de modélisation les zones qui seraient inondées en cas de mauvais fonctionnement des réseaux et/ou de pluies plus importantes.
Au final, cet exercice permettra au prestataire ou à l'expert de localiser des zones qui pourraient se voir submerger très facilement en cas de défaillance et/ou de pluies plus intenses afin d'ajuster sa cartographie finale en conséquence. En cas de manque d'information sur la topographie des bassins versants à considérer, la démarche nécessitera, pour ces zones particulières, une visite de terrain. Enfin et pour finir, il est précisé que si le bassin versant considéré englobe plusieurs zones pluviométriques alors la pluviométrie moyenne est pondérée au regard des surfaces de bassin versant.

7.1.4 Modélisation mathématique des écoulements :

Le recours à une modélisation mathématique des écoulements pour une crue d'occurrence centennale est exigé.

- **Choix du type de modélisation**

Le choix des différentes hypothèses de calcul devra être justifié par le prestataire.

Les modélisations mathématiques des écoulements seront réalisées avec des modèles 1D, 1D/2D ou tout 2D selon le contexte de la zone d'étude, avec comme recommandations :

- 1D pour l'étude de débordements de cours d'eau hors centre-ville incluant des ouvrages (franchissements, endiguements).
- 1D/2D pour des configurations de type rivières canalisées

- 2D en milieu urbain dense (centre-ville)

Les hypothèses de modélisations devront être clairement décrites dans le rapport d'étude, avec notamment :

- Conditions aux limites aval (hauteur critique, hauteur normale, niveau d'eau connu, hauteur de mer...)
- L'influence des hauteurs de mer devra être intégrée au modèle en cas de modélisations en zone littorales et les valeurs utilisées devront également être soigneusement choisies et décrites dans le rapport d'étude. Les scénarios à modéliser et hauteurs de mer associées sont décrits en annexe 2.
- Régime de simulation en cas d'utilisation de logiciel où le mode d'écoulement est à renseigner avant simulation (HEC-RAS par exemple).

Une attention particulière sera portée sur la précision de la géométrie du modèle et le nombre suffisant de profils en travers ou facettes de simulation (densité d'un profil tous les 10m maximum pour les modèles 1D ou 1D/2D, facettes de superficies maximales de 25m² pour les modèles 2D).

Un travail sur les lignes caractéristiques devra également être opéré et les profils interpolés pour les modèles 1D.

7.1.5 Méthodologie de cartographie de l'aléa inondation modifié

La qualification de l'aléa inondation repose sur le tableau méthodologique exposé ci-dessous, qui définit un niveau d'aléa en fonction des vitesses d'écoulement et des hauteurs d'eau.

Vitesse (m/s) Hauteur (m)			
	Faible : $V < 0,2$ (stockage)	Moyenne : $V \leq 0,5$ (écoulement)	Forte : $V > 0,5$ (écoulement rapide)
$H < 0.5$	faible	moyen	fort
$0.5 < H < 1$	moyen	moyen	fort
$H > 1$	fort	fort	fort

Figure 4 - Définition de l'aléa en fonction de la hauteur de submersion et de la vitesse d'écoulement des eaux selon la méthodologie PPRN

Ainsi, au vu des résultats des modélisations, un croisement des paramètres H, V sera réalisé afin d'obtenir une carte d'aléa inondation selon les seuils décrits dans le tableau ci-dessus.

8. Rapport

Le rapport d'étude devra intégrer :

- Le résultat des observations effectuées sur site avec une description et des illustrations des axes d'écoulement et des particularités au sein de la zone d'étude (point de débordement, obstacles, nature du lit, etc) ; ainsi que des fiches des ouvrages et des réseaux, géolocalisées et illustrées sur une figure claire sur fond de photographie aérienne et accompagnées de photos et des dimensions de chacun des ouvrages et capacité hydraulique associées ;
- Le recensement des phénomènes historiques connus ;
- Le support topographique utilisé pour les modélisations ;

- Le résultat des différentes modélisations hydrauliques (hauteur d'eau, vitesses d'écoulement) sous forme de tableau et de cartes (dont 1 rendu au format SIG : .tab ou .shp calé sur le système de projection eu vigueur : RGM04 UTM 38Sud);
- Le zonage de l'aléa inondation actuel et le zonage de l'aléa inondation issue de la présente étude de précision sur l'ensemble de la zone d'étude (sous forme de carte : Jpeg ou PDF ainsi qu'au format SIG : .tab ou .shp calé sur le système de projection eu vigueur : RGM04 UTM 38Sud).
- Un lissage des différents niveaux d'aléas inondation devra être effectué pour être cohérent avec les différents cours d'eau/ravines à proximité de la zone d'étude.
- La proposition du zonage des aléas Inondation sera présenté au 1/1000^{ème}. Une version au format SIG (*.tab ou *.shp calé sur le système de projection eu vigueur : RGM04 UTM 38Sud) sera à fournir avec le rapport.

9. Délais

L'offre du prestataire devra explicitement préciser les délais fermes auxquels il s'engage à compter de la réception de la commande.

10. Éléments fournis par le maître d'ouvrage

Le Maître d'ouvrage fournira :

- un plan topographique détaillé du site (si existant) ;
- un extrait de la carte d'aléa au droit du site issue des atlas des aléas naturels du BRGM ou des PPRN en projet ;
- une copie de toutes les études et/ou investigations déjà réalisées sur le site ou à proximité dont il a connaissance.

Le maître d'ouvrage aura en charge d'obtenir les autorisations nécessaires pour accéder au site d'étude.

Annexe 1 : Méthodologie de cartographie des aléas mouvement de terrain dans les PPRN de Mayotte

Remarque préalable : La méthodologie utilisée dans le cadre des PPRN de Mayotte est basée sur les recommandations des guides ministériels² et s'appuie principalement sur une approche « à dire d'experts ».

La **notion d'aléa** est complexe et de multiples définitions ont été proposées. Nous retiendrons la définition suivante :

« L'aléa traduit, en un point donné, la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies pour une période de retour donnée ».

Ainsi pour la définition des aléas, il convient de considérer les 3 principaux paramètres suivants :

- La probabilité d'occurrence du phénomène ;
- L'intensité du phénomène ;
- Et la période de référence. Le siècle à venir est la période considérée dans les études PPR.

A partir des investigations menées, les zonages des aléas mouvement de terrain doivent être déterminés par l'application d'une grille méthodologique d'aide à la qualification des aléas (cf Figure 6). Cette grille a été définie spécifiquement dans le cadre de l'élaboration des PPRN de Mayotte par un groupe de travail constitué de la DEAL Mayotte, du Cerema mandaté à titre d'expert et les bureaux d'études en charge de l'élaboration des PPRN de Mayotte en juin 2013.

De manière générale, pour les quatre premières classes de matériaux (classes 1 à 4 caractérisant des matériaux peu ou moyennement indurés), l'aléa glissement de terrain, noté G, est considéré comme prédominant. Les classes de matériaux 4 et 5 peuvent induire des phénomènes de chute de blocs notés P. La classe 4 peut induire des aléas glissements de terrain et chute de bloc car certaines couches géologiques identifiées dans la carte géologique de 2013 ne permettent pas de distinguer le niveau d'altération des formations, les isaltérites allant du faciès fissuré et légèrement altéré jusqu'au faciès totalement argilisé dans lequel on distingue la structure de la roche mère mais présentant des caractéristiques mécaniques médiocres. De plus, le contexte volcanique implique une superposition de plusieurs coulées d'épaisseurs variables et présentant des stades d'altération divers.

Il est important de rappeler que cette grille méthodologique constitue une aide à la décision dans le cadre du travail à dire d'expert mais le travail de terrain prime sur la qualification de l'aléa.

Par ailleurs, il convient de prendre en compte la propagation d'un phénomène mouvements de terrain (glissement de terrain et chute de blocs/éboulement) :

- plus les masses en mouvement sont importantes, plus l'emprise de la zone de départ est grande et plus la zone de propagation potentielle est vaste ;
- plus la pente est importante et plus la zone de propagation sera importante.

Pour la problématique des chutes de blocs, la zone de propagation est cartographiée selon la méthode de la ligne d'énergie décrite sur la Figure 5. Dans le contexte mahorais, peu soumis à des problématiques de chute de blocs et dans un souci de simplification et vu l'échelle de rendu, en règle générale, les valeurs d'angles retenues (méthode de la ligne d'énergie) pour la cartographie de la propagation de chutes de blocs sont les suivantes :

- limite entre la probabilité d'atteinte forte et moyenne : 32°

² Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques (PPR) de « mouvements de terrain » (paru à la documentation Française – 1999)

- limite entre la probabilité d'atteinte moyenne et faible: 26°

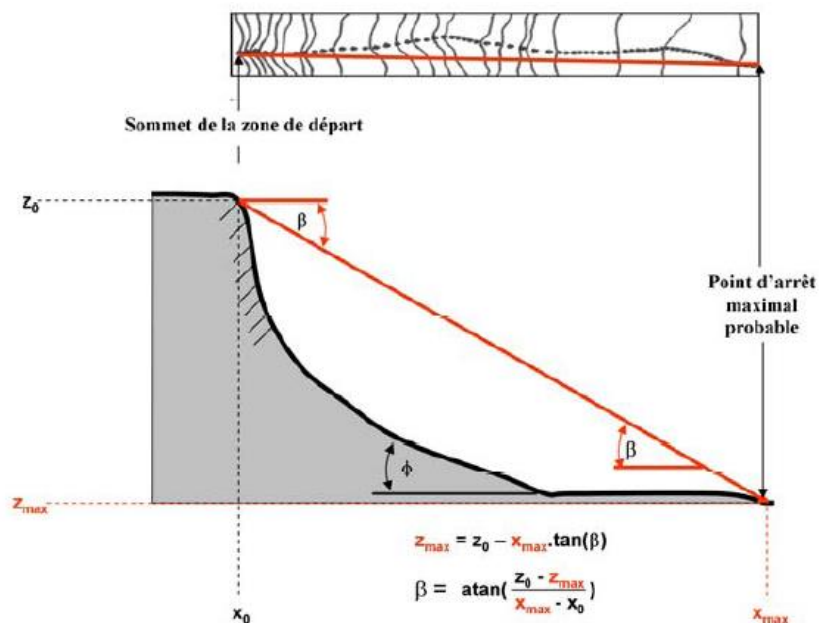


Figure 5 - Schéma du principe d'évaluation de la ligne d'énergie

Le niveau d'aléa est ensuite défini en fonction du volume des blocs potentiellement en mouvement sur le secteur étudié (notion d'intensité).

Cahier des charges pour la précision des aléas naturels inondation et mouvement de terrain

Facteurs Classe	Pente	Hauteur d'escarpement admissible	Hydrologie, proximité ravine, sources	Indices		Facteurs aggravants: érosion, végétation sur barre rocheuse, remobilisation de blocs	Aléa
				Bourrelet, moutonnement, arrachement, fissure... (*)	Niveau de fracturation, sous cavage, ouverture des fractures, présence de blocs dans le versant...		
1 – Matériaux remaniés Alluvions, Remblais médiocres, Colluvions	< 10°		oui				Faible
	10 à 20°	3 m	non	non		non	Faible
	20 à 25°	3 m	oui / non	non		non	Moyen
	> 25°		oui / non	oui / non		Oui/non	Fort
2 – Matériaux meubles Allotrites, altérites évoluées (matrice prépondérante), pyroclastites et cinérites non indurées, brèches non indurées, remblais de bonne qualité	10 à 20°	5 m	non	non			Faible
	20 à 30°	5 m	oui / non	non		non	Moyen (**)
	> 30°		Oui/non	Oui/non		Oui/non	Fort
3 – Matériaux meubles Argilites: Kaolinites ou argiles d'altération	< 10°	3 m	oui	non			Faible
	10 à 20°	3 m	non	non		non	Moyen
	> 20°		Oui/non	Oui/non		Oui/non	Fort
4 – Matériaux raides Altérites à roches majoritaires, pyroclastites ou autres brèches indurées	15 à 25°	5 m	Oui/non	non	Pas de blocs > 5 m ³	Oui/non	Faible
	25 à 35 °	5 m	Oui/non	non	Oui/non	non	Moyen
	> 35°		Oui/non	Oui/non	Oui/non	Oui/non	Fort
5 – Matériaux rocheux Basalte, phonolite, Téphrite, Néphélinite	Blocs dans la pente - < 26°				Vol < 1 m ³	Oui/non	Moyen (**)
	Bloc dans pente > 26 °				Vol > 1 m ³	non	Moyen si purge suffisante, fort si autre parade
	Barre rocheuse, falaises	> 5 m			Oui/non	Oui/non	Moyen (1) Fort (2) (***)

Figure 6 - Grille méthodologique d'aide à la qualification de l'aléa mouvement de terrain

Commentaire du tableau :

L'indication « non » dans une case du tableau signifie que ce facteur doit être absent pour que l'aléa soit qualifié selon la dernière colonne de la ligne, si le facteur est présent alors l'aléa est surclassé d'un niveau.

L'indication « oui » dans une case signifie que ce facteur doit être présent pour que l'aléa soit qualifié selon la dernière colonne de la ligne, si le facteur est absent alors l'aléa est déclassé d'un niveau.

L'indication « oui/non » dans une case signifie que ce facteur peut être présent ou absent ; il ne modifie pas le niveau d'aléa

(*) Toute zone présentant un glissement déclaré est qualifiée en aléa « Fort » quel que soit les autres critères

(**) La remobilisation de blocs dans un versant peut généralement être traitée par des ouvrages modestes et/ou des purges. Les exceptions sont à justifier.

Classe 5 : les distances de propagation sont évaluées selon la méthode des angles limites :

(1) angle de 26° depuis le haut de la zone de départ

(2) angle de 32° depuis le haut de la zone de départ

(3) (***) cette méthodologie des angles limites est valable uniquement pour les configurations propices (s'applique pour des barres rocheuses avec une pente en aval).

Exemples d'illustration:

Cas particulier classe 1 et 3

Classe 1 avec pente < 10° mais à proximité d'un écoulement => aléa faible (phénomène d'érosion de berge)

Classe 3 avec pente < 10° mais présence de sources ou d'écoulement => aléa faible

Classe 4 avec 20° de pente et présence de blocs de 1 à 2 m³ dans la pente => aléa moyen (surclassement)

Classe 5 versant rocheux pouvant libérer des blocs mais sans barre rocheuse identifiée => niveau d'aléa moyen, sauf cas particulier lié au volume des blocs ou à leur position topographique pouvant donner lieu à des rebonds aériens (et non au roulement), à justifier au cas par cas.

Notion de hauteur d'escarpement limite (conservé dans la grille)

L'usage du MNT à maille de 1m limite fortement le recours à cette notion. En effet les escarpements sont bien décrits par un tel MNT (à contrario du MNT 25 m antérieur).

Pour un escarpement > 5 m => le MNT à maille de 1m donnera bien une pente locale de plus de 30° (pour un « lissage » du MNT sur 10 m un escarpement de 6 m se traduit par une pente MNT minimale de 31°).

Chaque escarpement se traduit donc par une étroite bande de pente dans la classe supérieure ce qui permet de bien l'identifier. Le rendu cartographique pourra donc en tenir compte ; quitte à élargir la bande pour la rendre lisible sur le document et/ou conforme à l'impact de l'aléa vers l'aval et vers l'amont.

Les différents niveaux d'aléas

La cartographie des aléas est une représentation de la fréquence (période de retour) et/ou de l'intensité (hauteur, vitesses, volume) des phénomènes étudiés. Ainsi, **quatre niveaux d'aléas** ont été définis par regroupement des typologies rencontrées :

- **L'aléa nul** correspond aux secteurs plats ou à pente faible (< 8°) hors zones de propagation et de recul des phénomènes dommageables ;
- **L'aléa faible** qualifie les zones dans lesquelles ne peuvent se manifester que des événements peu fréquents, de faible intensité et gravité, généralement gérable (niveau de parade) à l'échelle du particulier ;
- **L'aléa moyen** concerne essentiellement les secteurs où les phénomènes significatifs potentiels restent rares ou ne peuvent se produire qu'à échéance éloignée. Les instabilités mobilisant de faibles volumes peuvent y être plus fréquentes. Ces zones d'aléa comprennent également

l'extrémité des périmètres de propagation de chutes de blocs et de glissements de terrain (entre la zone d'aléa fort et la zone d'aléa faible) où les phénomènes à risques ont significativement perdu de leur intensité ;

- **L'aléa fort** caractérise les secteurs où les chutes de blocs et les glissements de terrain significatifs (forte intensité) peuvent se manifester à court terme ainsi que ceux où ces événements (d'intensité remarquable) ont déjà été observés et peuvent s'y reproduire ; afin de tenir compte de la propagation des phénomènes, des bandes de sécurité sont introduites aux limites de ces zones selon la méthode des lignes d'énergie pour les chutes de blocs et selon la morphologie du terrain (zone d'atterrissement) dans le cas de glissements.

Conventionnellement, le niveau de l'aléa (nul, faible, moyen, fort) et son type dominant sur un secteur (glissement ou chute de bloc) sont matérialisés par un code de couleurs :

- les glissements de terrain et les coulées de boue associées (phénomènes dominants) sont représentés par un dégradé de **orange** ;
- les chutes de blocs et les éboulements (phénomènes dominants) sont représentés par un dégradé de **violet**.

Lorsqu'il y a superposition de plusieurs phénomènes possibles (cas le plus fréquent), le zonage ne retient comme représentation cartographique que le phénomène de niveau d'aléa le plus fort. L'aléa associé est alors représenté sous la forme de hachure, la couleur des hachures définissant le niveau de l'aléa associé (cf. Figure 7).

Codification de l'aléa	Désignation de l'aléa
G3P2	Aléa fort glissement de terrain dominant et chute de blocs moyen
G3P1	Aléa fort glissement de terrain dominant et chute de blocs faible
P3G2	Aléa fort chute de blocs dominant et glissement de terrain moyen
P3G1	Aléa fort chute de blocs dominant et glissement de terrain faible
G2P2	Aléa moyen glissement de terrain dominant et chute de blocs moyen
G2P1	Aléa moyen glissement de terrain dominant et chute de blocs faible
P2G2	Aléa moyen chute de blocs dominant et glissement de terrain moyen
P2G1	Aléa moyen chute de blocs dominant et glissement de terrain faible
G1P1	Aléa faible mouvement indifférencié

Figure 7 - Symbologie utilisée pour les mouvements de terrain (glissements et chute de blocs)

Les tables SIG devront contenir à minima les champs (aléa dominant, aléa associé, combinaison des aléas).

Annexe 2 : Hypothèses et scénarios à retenir pour la modélisation hydraulique

Ces propositions sont uniquement basées sur l'état actuel des connaissances issues, entre autre, du projet CYCLOREF (rapport CYCLOREF phase 1, BRGM/RP-64913-FR et rapport CYCLOREF phase 2, BRGM/RP-65478-FR).

1. Méthode

Des points de référence ont été positionnés autour de Mayotte (Illustration 1) afin de recueillir des informations sur les niveaux marins au cours des événements historiques qui ont été rejoués dans le cadre du projet CYCLOREF. Une analyse statistique de ces niveaux a permis de caractériser les niveaux marins pour des périodes de retour données.



- Illustration 1 – Localisation des points de référence autour de Mayotte (image GoogleEarth)

Les différentes façades de l'île n'étant pas exposées de la même manière aux forçages hydrodynamiques, avec notamment la présence d'un récif barrière protégeant de la houle principalement les façades Est, Nord-Est et Sud, mais entraînant des niveaux de surcotes liées aux vagues (wave setup) importantes dans le lagon, l'utilisation de méthodes appropriées permettant de prendre en compte les spécificités locales à chacune des façades est primordiale.

Les niveaux d'eau sont définis à partir d'une analyse en valeurs extrêmes du niveau d'eau total via une méthode indirecte : en faisant l'hypothèse que le signal de surcote totale (surcote atmosphérique + wave setup) et la marée prédite (ou astronomique) sont indépendants (ce qui semble être le cas sur les points étudiés). Une analyse en valeurs extrêmes du signal de surcote totale puis une convolution avec la distribution

de probabilité des pics de marée en suivant la méthode de Batstone et al., 2013³ permet de définir les niveaux d'eau pour une période de retour donnée :

$$F_{Ntot}(x) = \left[\prod_{t=1}^M F_{Stot}(x - X_t) \right]^{1/M}$$

F_{Ntot} : distribution de probabilité du niveau total

F_{Stot} : distribution de probabilité de surcote totale

X_t : pic de marée au cycle t ,

M : nombre de pleines mers sur une période Saros (18,6 ans).

Cette analyse a permis de déterminer pour chaque point le niveau d'eau de période de retour centennale $Ntot_{100}$. Ce niveau correspond à la somme entre d'une part un niveau de surcote totale (surcote atmosphérique + wave-setup) avec d'autre part un niveau de marée. L'association de ces deux composantes doit avoir une période de retour centennale.

2. Caractérisation des niveaux d'eau

2.1. Niveaux moyens de la mer

Dans un premier temps, les niveaux moyens de la mer considérés sur ces différents points autour de l'île sont référencés dans le tableau suivant (Illustration 2). Dans le cas où ces valeurs seraient utilisées comme une cote aval de référence, il est proposé un scénario de référence actuel intégrant une marge d'incertitude de 25 cm en lien avec la méthode de prédiction du niveau de pleine mer conformément aux instructions du guide PPRL MEDDE (2014) ainsi qu'une marge d'élévation du niveau de la mer de 20 cm pour une première prise en compte de l'effet du changement climatique actuel. Un deuxième scénario est proposé à échéance 2100 intégrant une marge d'incertitude de 25 cm en lien avec la méthode de prédiction du niveau de pleine mer conformément aux instructions du guide PPRL MEDDE (2014) ainsi qu'une marge d'élévation du niveau de la mer de 60 cm pour la prise en compte du changement climatique à échéance 2100.

Nom point	Long. WGS84	Lat.WGS84	NM/ZH (m) ⁴	NM/IGN50 (m)	Référence actuel (IGN) = NM+ 0,25 + 0,20	2100 (IGN) = NM + 0,25+ 0,60
Point1 Sud	45,14999	-13,02997	2,17	0,39	0.84	1.24
Point7 Est	45,2501	-12,83993	2,14	0,36	0.81	1.21
Point3 Ouest	45,04001	-12,81999	2,17	0,39	0.84	1.24
Point NO	45,0207	-12,68457	2,16	0,38	0.83	1.23
Point N	45,05514	-12,62336	2,15	0,37	0.82	1.22
Point NE	45,18518	-12,70746	2,14	0,36	0.81	1.21

Illustration 2 – Coordonnées des points de référence et niveaux moyens (NM) de la mer associés par rapport au zéro hydrographique (ZH) et par rapport au zéro terrestre de l'IGN (IGN50).

³ Batstone C, Lawless M, Tawn J, Horsburgh K, Blackman D, McMillan A, Worth D, Laeger S, Hunt T (2013). A UK best-practice approach for extreme sea-level analysis along complex topographic coastlines. Ocean Engineering 71 (2013) 28–39

⁴ Niveaux établis à partir des MNT-100m Mayotte Homonim (Datashom) référencés par rapport au ZH et aux PBMA (Plus Basse Mer Astronomique) et à l'écart entre la PBMA et le ZH (RAM 2016).

2.2. Niveau de pleine mer et probabilité de dépassement

L'illustration 3 ci-dessous présente la densité de probabilité des hauteurs de pleine mer de la prédiction FES 2004 sur 18,6 ans sous la forme d'un histogramme (à gauche) ainsi que la « fonction de répartition » empirique (à droite).

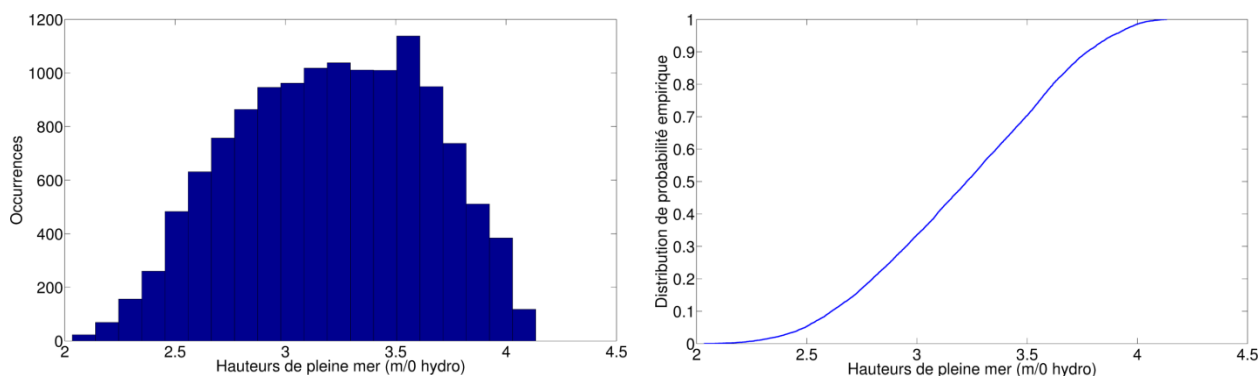


Illustration 3 - Gauche: densité de probabilité des hauteurs de pleine mer prédites par les harmoniques FES 2004 ; Droite : « fonction de répartition » empirique des hauteurs de pleine mer.

L'illustration 4 ci-après donne les niveaux de pleine mer associés à des probabilités de dépassement P_1 (=période de retour du niveau de la marée) données :

Probabilité de dépassement P_1	1/2	1/5	1/10	1/100
Niveau de pleine mer (m/IGN50)	1,45	1,84	1,99	2,24
Référence actuel (IGN50) = PM+ 0,25 + 0,20	1,90	2,29	2,44	2,69
2100 (IGN) = PM + 0,25+ 0,60	2,30	2,69	2,84	3,09

Illustration 4 - Niveaux de pleine mer associés à différentes probabilités de dépassement, scénarios possible pour un niveau de référence actuel et à échéance 2100 (ex il y a une chance sur 2 d'atteindre un niveau de pleine mer de 1,45 m/IGN50 à la prochaine marée.

Par exemple, on a une chance sur deux d'avoir un niveau de pleine mer qui soit au moins égale à 1,45 m IGN50.

2.3. Niveaux marins pour différentes périodes de retour

L'ensemble des niveaux marins en période cyclonique calculés pour une période de retour donnée est présenté ci-après (Illustration 5). A ces niveaux, une marge d'incertitude de 25 cm sera ajoutée en lien avec la méthode de prédiction du niveau de pleine mer conformément aux instructions du guide PPRL MEDDE (2014).

Des niveaux de référence actuel et à échéance 2100 sont également proposés en intégrant respectivement 20 cm et 60 cm de surélévation du niveau de la mer due au changement climatique.

Le niveau total N_{tot} correspond à la somme d'une valeur de surcote totale (surcote atmosphérique + wave-setup) et d'un niveau de marée. L'association de ces deux composantes permet d'obtenir un niveau total de la mer associé à une période de retour.

Point d'étude	Période de Retour (ans)	Ntot (m IGN50)	Référence actuel (IGN) = $N_{tot} + 0,25 + 0,20$	2100 (IGN) = $N_{tot} + 0,25 + 0,60$
Pt Nord	10	2.62	3.07	3.47
	20	2.64	3.09	3.49
	50	2.66	3.11	3.51
	100	2.69	3.14	3.54
Pt NE	10	2.73	3.18	3.58
	20	2.77	3.22	3.62
	50	2.82	3.27	3.67
	100	2.86	3.31	3.71
Pt NO	10	2.66	3.11	3.51
	20	2.69	3.14	3.54
	50	2.73	3.18	3.58
	100	2.77	3.22	3.62
Pt 1 Sud	10	3.23	3.68	4.08
	20	3.36	3.81	4.21
	50	3.54	3.99	4.39
	100	3.69	4.14	4.54
Pt 3 Ouest	10	2.74	3.19	3.59
	20	2.78	3.23	3.63
	50	2.83	3.28	3.68
	100	2.88	3.33	3.73
Pt 7 Est	10	3.02	3.47	3.87
	20	3.12	3.57	3.97
	50	3.27	3.72	4.12
	100	3.39	3.84	4.24

- Illustration 5 - Synthèse des niveaux marins calculés pour les 6 points autour de Mayotte pour différentes périodes de retour

3. Scénarios possibles

Dans le cadre de la mise en œuvre des Plans de Prévention des Risques Inondation à Mayotte, il serait intéressant de pouvoir évaluer l'impact de la cote avale sur l'inondation à terre en prenant plusieurs scénarios. La sensibilité à la cote avale pourrait se faire pour chaque scénario en faisant varier légèrement cette cote avale.

L'idéal serait de faire une analyse de la concomitance entre un phénomène de crue et l'élévation du niveau de la mer dans le cas où les données disponibles le permettraient. Cette analyse caractériserait les événements couplés (crue/niveau marin) de période de retour centennale compatible avec l'évènement de référence préconisé pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Inondation.

Faute de ces éléments, plusieurs scénarios peuvent être envisagés. Sont proposés, un scénario permettant de rester sur un événement de période de retour proche de 100 ans à échéance actuelle et un événement de type cyclonique basé sur la modélisation des événements historiques à échéance actuelle. Deux autres scénarios sont proposés pour une échéance à 2100.

Dans le cadre d'une étude de précision des aléas ayant pour objectif la modification d'un PPR, la crue centennale doit être considérée et croisée avec les scénarios ci-dessous.

Remarque : dans le cadre de la GEMAPI il pourrait être envisagé des situations intermédiaires pour du dimensionnement d'ouvrage par exemple qui utiliseraient d'autres débits (Q10, Q30 ou Q50).

D'autres combinaisons peuvent être utilisées sachant qu'il sera à priori difficile à ce stade d'en déterminer la période de retour sans étudier la concomitance des phénomènes de crue et d'élévation du niveau marin.

3.1. Scénario 1 : configuration non cyclonique actuelle

Dans un premier temps, pour ne pas affecter la période de retour de l'évènement de référence inondation il est préférable d'utiliser un niveau de la mer fréquent notamment si l'évènement de crue considéré a une période de retour centennale.

Ce niveau pourrait être commun à tout le littoral de Mayotte. Il consisterait à prendre un niveau de pleine mer de probabilité d'occurrence de 1/5 auquel on rajouterait une marge d'incertitude de 25 cm en lien avec la méthode de prédiction du niveau de pleine mer conformément aux instructions du guide PPRL MEDDE (2014) ainsi que 20 cm lié à l'impact du changement climatique.

Ce niveau marin serait alors de **2,29 m IGN50 pour l'ensemble de l'île.**

Si ce scénario reste proche d'une période de retour centennale, il est possible que cette combinaison (crue centennale/niveau marin fréquent) ne soit pas la plus impactante de l'ensemble des scénarios possibles de période de retour centennale en termes d'inondation.

3.2. Scénario 2 : configuration non cyclonique à échéance 2100

Ce scénario reprendrait le même niveau de référence que celui du scénario 1 en intégrant cette fois-ci non plus 20 cm de surélévation de la mer due à l'impact du changement climatique mais 60 cm à échéance 2100.

Ce niveau marin serait alors de **2,69 m IGN50 pour l'ensemble de l'île.**

3.3. Scénario 3 : configuration cyclonique actuelle basée sur le résultat des tempêtes historiques

Il n'est actuellement pas possible de caractériser la période de retour de ce scénario mais il permet de prendre en compte le contexte cyclonique.

Pour ce scénario, il n'est plus possible d'utiliser un niveau d'eau commun à l'ensemble de l'île compte-tenu de l'exposition des différentes façades et des effets locaux sur les phénomènes de surcotes (atmosphériques et celles liées aux vagues).

Il est donc proposé de différencier les façades. Les niveaux marins de période de retour centennale pour un scénario de référence actuel sont répertoriés dans l'Illustration 6 et Illustration 8.

Point d'étude	Tempête historique	Ntot (m IGN50)	Référence actuel (IGN50) = Ntot+ 0,25 + 0,20
Pt NE	DOLORESSE	2,05	2,50
Pt NO	DOLORESSE	2,05	2,50
Pt 1 Sud	HELLEN	2,44	2,89
Pt 3 Ouest	HELLEN	2,14	2,59
Pt 7 Est	HELLEN	2,29	2,74

Illustration 6 – Scénarios proposés pour chacune des façades en conditions cycloniques

3.4. Scénario 4 : configuration cyclonique à échéance 2100 basée sur le résultat des tempêtes historiques

Ce scénario reprend les niveaux d'eau proposés dans le scénario 3 en intégrant cette fois-ci non plus 20 cm de surélévation de la mer due à l'impact du changement climatique mais 60 cm à échéance 2100 (Illustration 7 et Illustration 8).

Point d'étude	Tempête historique	Ntot (m IGN50)	2100 (IGN) = Ntot + 0,25+ 0,60
Pt NE	DOLORESSE	2,05	2,90
Pt NO	DOLORESSE	2,05	2,90
Pt 1 Sud	HELLEN	2,44	3,29
Pt 3 Ouest	HELLEN	2,14	2,99
Pt 7 Est	HELLEN	2,29	3,14

Illustration 7 - Scénarios proposés pour chacune des façades en conditions cycloniques

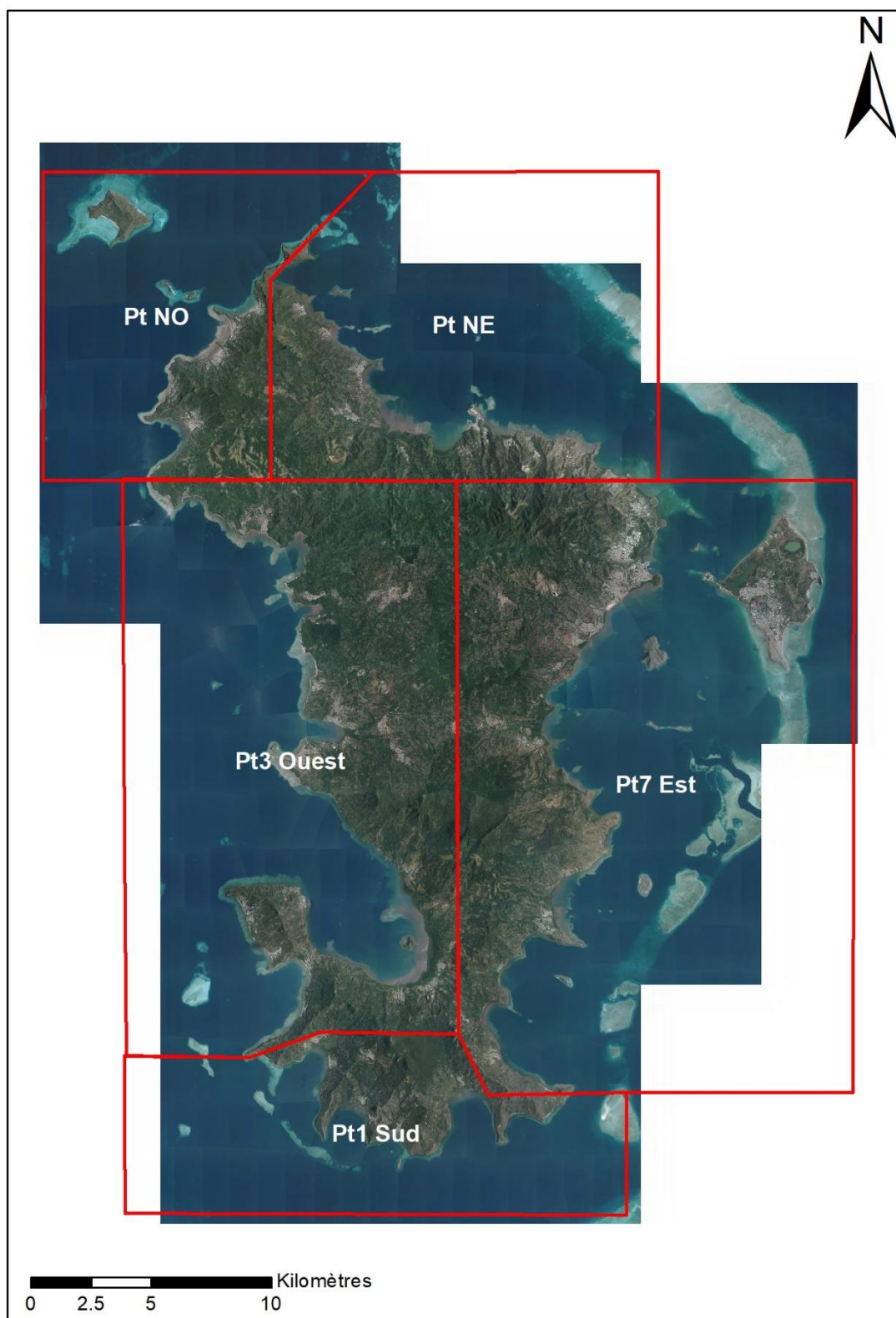


Illustration 8 – Emprise du littoral concernée par chaque point de référence

