



Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte



Rapport final

BRGM/RP-55631-FR
juin 2007

Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée d'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte

Rapport final

BRGM/RP-55631-FR

Juin 2007

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 06RISE44

J.L. Nedellec

Vérificateur :

Nom : O. RENAULT

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : R. MOURON

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001 : 2000.

Mots clés : Cahier des charges, Aléa, Mouvement de terrain, Constructibilité, Mayotte.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

J.L. Nedellec (2007) – Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte – Rapport BRGM/RP-55631-FR, 31 p., 3 ill., 2 tab., 2 annexes.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le BRGM a été chargé, sous la supervision de la Direction de l'Équipement de Mayotte, de rédiger un cahier des charges type définissant les études nécessaires afin d'évaluer la faisabilité et d'établir des prescriptions, le cas échéant, pour un projet situé dans une zone exposée à un aléa fort mouvement de terrain.

Le présent rapport se subdivise en 3 parties :

- une introduction générale à destination des maîtres d'ouvrage ayant pour but de préciser les objectifs des études de faisabilité demandées ainsi que le contexte d'utilisation du cahier des charge type proposé ;
- un cahier des charges type à usage des maîtres d'ouvrage afin de consulter des bureaux d'étude spécialisés. Cette seconde partie se situe en annexe 1 de la partie introductive ;
- le rappel des missions géotechniques types prévues par la norme NF P 94-500. Cette troisième partie se situe en annexe 2 de la partie introductive.

Sommaire

1.	AVANT-PROPOS.....	7
2.	CONTEXTE.....	9
2.1.	La prévention des risques en matière d'aménagement	Erreur ! Signet non défini.
2.2.	La nature des mouvements de terrains à Mayotte	Erreur ! Signet non défini.
2.3.	La représentation cartographique de l'aléa mouvements de terrain	Erreur ! Signet non défini.
2.3.1.	Généralités	Erreur ! Signet non défini.
2.3.2.	Définition des niveaux d'aléa pour les cartes des atlas	Erreur ! Signet non défini.
2.3.3.	Définition des niveaux d'aléa pour les cartes des PPR	Erreur ! Signet non défini.
3.	OBJECTIFS DU CAHIER DES CHARGES.....	15
4.	LIMITES D'UTILISATION ET RESPONSABILITES.....	17
4.1.	Limites des prestations géotechniques	17
4.2.	Nature des ouvrages concernés	Erreur ! Signet non défini.
4.3.	Responsabilités	Erreur ! Signet non défini.
4.4.	Vérifications	Erreur ! Signet non défini.
5.	GENERALITES.....	19
5.1.	Qualification des bureaux d'études	19
5.2.	Normes et règles de l'art.....	Erreur ! Signet non défini.
5.2.1.	Généralités	Erreur ! Signet non défini.
5.2.2.	Norme NF-P 94-500	Erreur ! Signet non défini.

- 5.3. Principe de micro-bassin de risques **Erreur ! Signet non défini.**
- 5.4. Investigations et modélisations **Erreur ! Signet non défini.**

Illustrations

- Illustrtion 1 : Exemple de zonage d'aléa extrait des atlas 11
- Illustrtion 2 : Exemple de limites d'un micro-bassin de rsique..... 11
- Illustrtion 3 : Exemple de limites d'un micro-bassin de risque à flanc de petite vallée..... 11
- Illustrtion 4 : Exemple de limites d'un micro-bassin de rsique à flanc d'un vaste versant .11

Tableaux

- Tableau 1 : Règles géomorphologiques d'évaluation de l'aléa glissement 12
- Tableau 2 : Règles géomorphologiques d'évaluation de l'aléa chute de blocs 13

Annexes

- Annexe 1 : Cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la
faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa
fort mouvements de terrain 29
- Annexe 2 : Extraits de la norme NF P 94500 31

1. AVANT-PROPOS

Conformément au code de l'environnement, Art L562-1 et suivants, applicables à Mayotte depuis le 11 juillet 2001, la Préfecture de Mayotte a engagé, conjointement avec le BRGM, l'élaboration d'atlas des aléas naturels sur l'ensemble de l'archipel de Mayotte, ainsi que les études préalables à l'élaboration des Plans de Prévention des Risques naturels (PPRn). Ces documents cartographiques constituent le support de base pour la localisation des zones exposées aux aléas naturels.

La Direction de l'Équipement de Mayotte a en charge l'assistance aux mairies en matière d'instruction des permis de construire, et plus particulièrement vis-à-vis de la prise en compte des aléas naturels.

Dans ce cadre, la Direction de l'Équipement de Mayotte souhaite disposer d'un cahier des charges type définissant les études nécessaires afin d'évaluer la faisabilité et d'établir des prescriptions le cas échéant pour un projet situé dans une zone exposée à un aléa fort mouvement de terrain.

Le BRGM a été chargé, sous la supervision de la Direction de l'Équipement de Mayotte, de rédiger un cahier des charges répondant à cette demande. Sur la base de ce cahier des charges type, le maître d'ouvrage du projet devra faire procéder à une étude géotechnique par un bureau d'étude compétent.

2. CONTEXTE

2.1. LA PREVENTION DES RISQUES EN MATIERE D'AMENAGEMENT

Depuis 2002, une série d'atlas des aléas naturels a été élaborée pour les services de l'État et la CDM sur l'ensemble du territoire de Mayotte. Ces atlas, à diffusion publique, ont pour finalité d'identifier et de caractériser les zones exposées aux aléas naturels, ce qui s'inscrit dans la mission de "porter à connaissance" de l'État en matière de prévention des risques. Les mouvements de terrain sont une des composantes prises en considération dans les atlas.

Sur le territoire mahorais, les atlas des aléas naturels constituent un outil essentiel en matière d'aménagement dans la mesure où ils permettent de prendre en compte l'exposition aux phénomènes à risque.

Ultérieurement, des plans de prévention des risques se substitueront progressivement aux atlas, et régleront l'urbanisation.

2.2. LA NATURE DES MOUVEMENTS DE TERRAINS A MAYOTTE

Trois grandes familles de mouvements coexistent à Mayotte :

- les glissements, impliquant -ou pas- des blocs. En zone urbaine ou périurbaine, les glissements sont le plus souvent observés dans les talus des routes et des habitations. Hors des zones urbaines, on retrouve la trace de glissements anciens dans la morphologie des versants constitués d'altérites (faciès naturels d'altération des roches en place). Des glissements de versants sont également assez souvent relevés dans les phonolites altérées (roches volcaniques) ou bien dans les basaltes altérés ;
- les chutes de blocs et les éboulements. Au sens strict (en milieu rocheux), ces phénomènes sont observés en bord de mer, en contrebas de coulées massives de basalte et des dômes de phonolites ;
- les coulées boueuses. Elles apparaissent dans des terrains meubles saturés d'eau qui perdent brutalement leur cohésion. Les blocs rocheux dans la zone affectée peuvent rester sur place ou être entraînés pour s'accumuler en pied de versant.

Tous ces phénomènes, lorsqu'ils se révèlent assez importants en volume et/ou en vitesse peuvent se révéler très destructeurs.

2.3. LA REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DE L'ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

2.3.1. Généralités

Dans les atlas des aléas naturels et les PPR (prochainement prescriptibles à Mayotte), le niveau d'exposition aux mouvements de terrain a été cartographié conformément aux recommandations du guide méthodologique du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (1999). La démarche utilisée a consisté en une approche naturaliste du type expertise excluant le recours à des études supplémentaires. Il est entendu que toute étude précise reposant en particulier sur une topographie fine et des investigations géotechniques détaillées, permettant de réaliser des modélisations (glissements ou chute de blocs) peut sensiblement permettre d'affiner ce zonage, en adoptant toutefois d'autres types de critères.

2.3.2. Définition des niveaux d'aléa pour les cartes des atlas

Les cartes d'aléa mouvement de terrain ont été établies à l'échelle du 1/25000 (1 cm = 250 m) dans les zones naturelles ou agricoles, et à l'échelle du 1/10000 (1 cm = 100 m) dans les zones d'urbanisation.

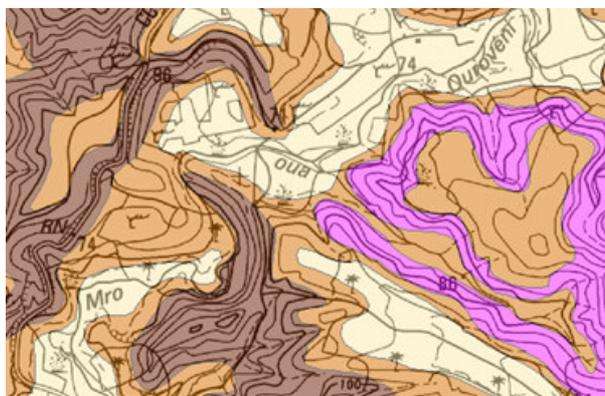
Trois niveaux d'aléa ont été déterminés :

- 1 = nul à faible : cela qualifie les zones dans lesquelles ne peuvent se manifester que des événements peu fréquents, de faible intensité et gravité ;
- 2 = moyen : ce niveau d'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 ;
- 3 = fort : le niveau d'aléa fort caractérise les secteurs où les chutes de blocs et les glissements de terrain significatifs peuvent se manifester à court ou moyen terme ainsi que ceux où ces événements ont déjà été observés et peuvent s'y reproduire ; des bandes de sécurité sont introduites aux limites de ces zones. On notera que pour les atlas le niveau "majeur", n'a pas été distingué du niveau "fort" dans la mesure où les phénomènes associés à ces deux niveaux se révèlent déjà très préjudiciables pour les constructions et les personnes et constituent indifféremment une menace sérieuse.

En matière de représentation (cf. illustration 1), chaque zone d'exposition homogène est désignée par le *niveau* de l'aléa (nul à faible, moyen, fort) et son *type* dominant sur un secteur (glissement ou chute de bloc) matérialisé par une lettre désignant le phénomène à risques dominant et un chiffre précisant le niveau d'aléa (cf. § précédent) :

- G = les glissements de terrain et les coulées de boue associées ;
- P = les chutes de blocs et les éboulements.

On notera que dans une même zone plusieurs types de phénomènes peuvent coexister.



-  G3 : aléa fort, glissements dominants accompagnés de chutes de blocs
-  G2 : aléa moyen, glissements dominants accompagnés de chutes de blocs
-  P3 : aléa fort, chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements
-  aléa faible à nul

Illustration 1 – Exemple de zonage d'aléa extrait des atlas

2.3.3. Définition des niveaux d'aléa pour les cartes des PPR

Concernant les Plans de Prévention des Risques, les cartes d'aléa ont été dressées au 1/10 000 sur l'ensemble du territoire communal, sachant qu'elles ont servi à une transposition en zonage réglementaire au 1/5000 dans les zones urbanisées et au 1/10 000 dans les autres secteurs. On notera que pour les zones non urbanisées, une exploitation directe des cartes d'aléa issues des atlas a été faite.

Concernant les zones urbanisées, étant donnée l'échelle finale de restitution plus précise que pour les atlas, et dans la mesure où les PPR ont une portée réglementaire en matière d'urbanisme, les critères d'évaluation de l'aléa ont été affinés. Les critères de base restent ceux prescrits par le guide PPR établi par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, et correspondent aux moyens à mettre en œuvre pour limiter ou contenir des phénomènes à risque, à savoir :

- Niveau 1 - Aléa faible : Moyens supportables financièrement par un propriétaire individuel ;
- Niveau 2 - Aléa moyen : Moyens supportables financièrement par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement) ;
- Niveau 3 - Aléa fort : Phénomènes intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et/ou d'un coût très important et/ou techniquement difficile ;
- Niveau 4 - Aléa majeur : Pas de parade technique.

Dans la pratique, pour répondre à ces critères, des paramètres géomorphologiques ont été établis :

- *Pour les glissements de terrain et phénomènes associés (critères s'appliquant aux terrains propices à ce type d'instabilité : altérites meubles, colluvions, alluvions, remblais, etc.) :*

Hauteur versant ou paroi	Pente versant ou paroi	Présence d'indices d'instabilité	Niveau d'aléa		Largeur du tampon	
			Zone de départ	Zone tampon (zone de propagation & zone d'instabilité régressive)	Amont (zone d'instabilité régressive)	Aval (propagation)
< 5 m			faible	faible	0	0
5 à 10 m	> 50°	oui	fort	fort	5 à 10 m	5 à 10 m
	20° à 50°	oui	moyen	moyen	10 m	10 m
	< 20°	oui	moyen	moyen	10 m	10 m
	< 20°	non	faible	faible	0	0
> 10 m	< 8°	non	faible	faible	0	0
	< 8°	fluage	moyen	moyen	10 m	10 m
	8 à 20°	non	moyen	moyen	10 m	10 m
	8 à 20°	petits glissements (densité faible)	moyen	moyen	15 m	15 m
	8 à 20°	petits glissements (densité forte)	fort	moyen	30 m	30 m
	8 à 20°	Grands glissements	fort	fort	au cas à cas	au cas à cas
	> 20°	indifféremment	fort	fort	25 m et plus	25 m et plus

Tableau 1 – Règles géomorphologiques d'évaluation de l'aléa glissement

- *Pour les chutes de blocs* et phénomènes associés (critères s'appliquant aux terrains propices à ce type d'instabilité : rocher sain ou peu altéré, éboulis, pentes pouvant libérer des blocs) :

Hauteur versant ou paroi	Pente versant ou paroi	Niveau d'aléa	
		Zone de départ	Zone tampon (zone de propagation directe & zone d'instabilité régressive)
< 5 m		faible	faible
5 à 10 m	> 50°	moyen	moyen
	< 50°	faible	faible
> 10 m	> 50°†	fort	fort
	20 à 50°	moyen	moyen
	< 20°	faible	faible

Tableau 2 – Règles géomorphologiques d'évaluation de l'aléa chute de blocs

Concernant la largeur de la zone de propagation des blocs, celle-ci est généralement estimée à partir de la position des blocs effondrés visibles sur le site. Par ailleurs, quelques règles empiriques peuvent être adoptées (il convient toujours de les confronter aux observations sur site) :

- plus les blocs arrivent de haut et plus ils sont volumineux, plus leur distance de propagation est importante, en particulier dans les versants les plus inclinés ;
- les zones d'atterrissement horizontales (et meubles) en pied de paroi se révèlent assez efficaces pour stopper les blocs. Dans ce cas, généralement, la largeur de la zone de dépôt n'excède pas la hauteur totale de la paroi ;
- les pentes supérieures à 35° ont beaucoup de mal à freiner les blocs en mouvement. On considère que le niveau d'aléa n'y décroît pas par rapport à la zone de départ ;
- les pentes entre 35 et 20° participent au ralentissement des éléments en mouvement. Le niveau d'aléa peut y chuter régulièrement et lentement. Le passage d'un niveau à l'autre dépend beaucoup de la taille des blocs en mouvement ;
- les pentes inférieures à 20° freinent considérablement la vitesse des blocs, conduisant à une diminution de l'aléa. La bande de propagation

n'y excède généralement pas 1,5 à 2 fois la hauteur de la paroi ayant libéré les blocs (largeur dépendant de la proximité de la zone de départ et de la taille des blocs).

Vis-à-vis de la bande en tête de paroi sujette à évolution régressive, la largeur de cette bande n'excède généralement pas 20 % de la hauteur de la falaise avec une valeur minimale de 5 m pour les petites parois.

3. OBJECTIFS DU CAHIER DES CHARGES

La démarche d'établissement du présent cahier des charges s'intègre à la politique de prévention des risques sur le territoire mahorais. Elle a pour objectif, en imposant un programme minimal d'étude de faisabilité géotechnique, de permettre à certains projets de construction en zone exposée, d'intégrer la composante « aléa mouvements de terrain ». Au final, chaque projet devrait donc mieux s'adapter au contexte de terrain afin de limiter les risques sur les biens et les personnes.

Il appartiendra à tout maître d'ouvrage souhaitant engager un projet de construction en zone exposée aux mouvements de terrain de consulter un bureau d'études qualifié sur la base minimale du présent cahier des charges. Cette étude devra être impérativement faite en début de projet afin d'adapter celui-ci aux contraintes du terrain.

Le présent cahier des charges a pour finalité :

- de préciser les objectifs auxquels doit répondre une étude de faisabilité en zone exposée aux phénomènes de mouvement de terrain ;
- de spécifier l'extension de l'étude de faisabilité, en particulier en fixant la notion de micro-bassin de risque ;
- de rappeler quelques principes d'aménagements de base qui devront être intégrés dans les recommandations de l'étude de faisabilité ;
- de définir des moyens et un programme de reconnaissance minimal qui serviront de base à l'étude de faisabilité.

4. LIMITES D'UTILISATION ET RESPONSABILITES

4.1. LIMITES DES PRESTATIONS GEOTECHNIQUES

L'objectif du modèle de cahier des charges annexé au présent document est d'aider à engager des études exclusivement en matière de risques de mouvements de terrains gravitaires. Il est précisé que les prestations menées à partir de ce cahier des charges ne peuvent à elles seules répondre à tous les objectifs de faisabilité et de dimensionnement géotechnique pour mener à bien un projet. En particulier, ne sont pas intégrés (liste non exhaustive) :

- les aspects de portance des fondations ;
- les problèmes de tassement des sols et de déformation des ouvrages ;
- les contraintes de terrassement ;
- les problèmes de travaux dans l'eau et de rabattement de nappe ;
- les aspects de pollution des sols et de la nappe.

Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre devront donc compléter à leur convenance, et selon les règles de l'art, le présent modèle de cahier des charges afin de répondre aux autres aspects géotechniques du projet.

4.2. NATURE DES OUVRAGES CONCERNES

Le présent document concerne exclusivement les projets d'importance à maîtrise d'ouvrage collective ou publique : logements individuels groupés, logements collectifs, ouvrages non résidentiels, ou ouvrages non courants. Sont exclues les constructions courantes à occupation humaine de dimension limitée et à maîtrise d'ouvrage individuelle. En particulier sont exclues les constructions résidentielles, ou non, présentant une SHON (Surface Hors Œuvre Nette) inférieure à 200 m². Pour ce dernier type, la construction est interdite en zones d'aléa fort, et réglementée par la fiche M pour les zones d'aléa moyen.

4.3. RESPONSABILITES

Le présent document servant à la consultation de bureaux d'études qualifiés est un document par défaut ayant pour vocation de limiter les risques de mouvements de terrain en imposant des objectifs minimaux.

Il s'agit d'abord d'un document destiné à aider les démarches des maîtres d'ouvrage publics ou privés.

Tout utilisateur de ce document se l'approprie et engage sa responsabilité quant au niveau d'objectif demandé et aux moyens requis pour y parvenir.

Dans la mesure où il n'est pas prévu de distinguer chaque type d'ouvrage par un cahier des charges spécifique, il est admis que le présent document se révèle d'abord adapté à des

ouvrages relativement classiques sans très fort enjeu (ex : lotissements, locaux commerciaux). Plus le projet se révèle complexe (viaduc, bâtiment de grande hauteur, complexe industriel, etc.) ou à fort enjeux (hôpitaux, établissement scolaires, etc.), plus il est recommandé d'accroître le niveau d'objectifs et de moyens. Il est par contre fortement déconseillé de réviser à la baisse ces paramètres.

Le bureau d'étude prestataire est intégralement responsable (civilement et pénalement) du déroulement, du contenu et des résultats de ses études. Il est également rappelé que le prestataire géotechnique est assujéti à une obligation de moyens et de conseils. Cela signifie que si, sur la base de critères objectifs, le bureau d'étude juge que le programme minimum demandé lors de la consultation est insuffisant pour répondre aux objectifs fixés, il est de son devoir de fixer un programme plus important, quitte à ne pas être retenu par le maître d'ouvrage.

4.4. VERIFICATIONS

Les services de l'État et des collectivités n'ont pas pour mission, d'une part de contrôler et de suivre l'exécution des études, et d'autre part de vérifier les moyens mis en œuvre et la pertinence des résultats produits dans l'étude de risques (fonction incombant au maître d'œuvre et au bureau de contrôle).

Après prise de connaissance des résultats de l'étude de faisabilité, le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et le bureau de contrôle devront s'assurer de la mise en cohérence du projet avec les recommandations du bureau d'études, leur responsabilité étant intégralement engagée en cas de défaillance.

5. GENERALITES

5.1. QUALIFICATION DES BUREAUX D'ETUDES

La consultation faite par le maître d'ouvrage doit se faire auprès d'un bureau d'étude présentant des qualifications et une expérience en matière de géotechnique (reconnaisances et études).

Pour la réalisation d'une étude de faisabilité concernant un projet classique limité en extension, il est recommandé de faire appel à un prestataire local dont les moyens et l'expérience régionale seront mieux adaptés à la demande.

5.2. NORMES ET REGLES DE L'ART

5.2.1. Généralités

Le prestataire est tenu de réaliser sa mission selon les normes françaises en vigueur, en particulier celles traitant des essais et études géotechniques.

A défaut de norme existante pour certains essais, les protocoles d'essais des laboratoires des Ponts et Chaussées feront office de référence.

Pour les prestations non normalisées et non codifiées, les règles de l'art en vigueur seront appliquées.

Les logiciels de modélisation utilisés par les prestataires devront avoir fait l'objet d'une procédure de validation par leur créateur, et devront être reconnus par le Maître d'Oeuvre et/ou le Contrôleur Technique du projet.

5.2.2. Norme NF-P 94-500

La norme française NF P 95-500 – "Missions géotechniques – Classification et spécifications" – définit le contenu et les limites des différentes missions susceptibles d'être réalisées par les géotechniciens à la demande d'un maître d'ouvrage ou d'un constructeur.

Les prestations demandées par le présent cahier des charges relèvent des catégories G0 et G12 (définition complète de la norme ci-après) :

- "G0 : *Exécution de sondages, essais et mesures géotechniques* :
 - . *exécuter les sondages, essais et mesures en place ou en laboratoire selon un programme défini ;*
 - . *fournir un compte rendu factuel donnant la coupe des sondages, les procès verbaux d'essais et les résultats des mesures.*

- *G12* :

- . *faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et préciser l'existence d'avoisinants ;*
- . *définir une mission G0 détaillée, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;*
- . *fournir un rapport d'étude géotechnique donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte pour la justification du projet, et les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinant) ;*
- . *présenter des exemples de prédimensionnement de quelques ouvrages géotechniques types envisagés (notamment : soutènements, fondations, améliorations de sols)".*

Toutefois, il est rappelé, conformément au chapitre 2.1., que seuls les aspects risques mouvements de terrain sont traités par le présent cahier des charges. En particulier ne sont pas intégrés les volets fondations, tassement, rabattement de nappe, pollution, etc. que le maître d'ouvrage pourra, s'il le souhaite, ajouter au présent cahier des charges.

Enfin, il est souligné que dans le cas de projets complexes ou de contextes difficiles, un suivi géotechnique d'exécution en phase travaux (mission de type G4) est recommandé.

5.3. PRINCIPE DE MICRO-BASSIN DE RISQUES

Vis-à-vis d'une étude de faisabilité géotechnique, le micro-bassin de risques définit, en matière de mouvements de terrain, la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager.

Trois parties peuvent être distinguées (cf. illustration 2) :

- la zone sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;
- les terrains en amont ou latéraux où :
 - . tout mouvement de terrain, en se propageant, pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet ;
 - . le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
- les terrains en aval ou latéraux où :
 - . tout mouvement de terrain pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet par régression dans la pente ;

- . le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
- . des instabilités initiées sur la zone de projet pourraient se propager.

Les études de faisabilité intégreront l'ensemble des risques de déstabilisation des terrains sur l'intégralité du micro-bassin de risque concerné.

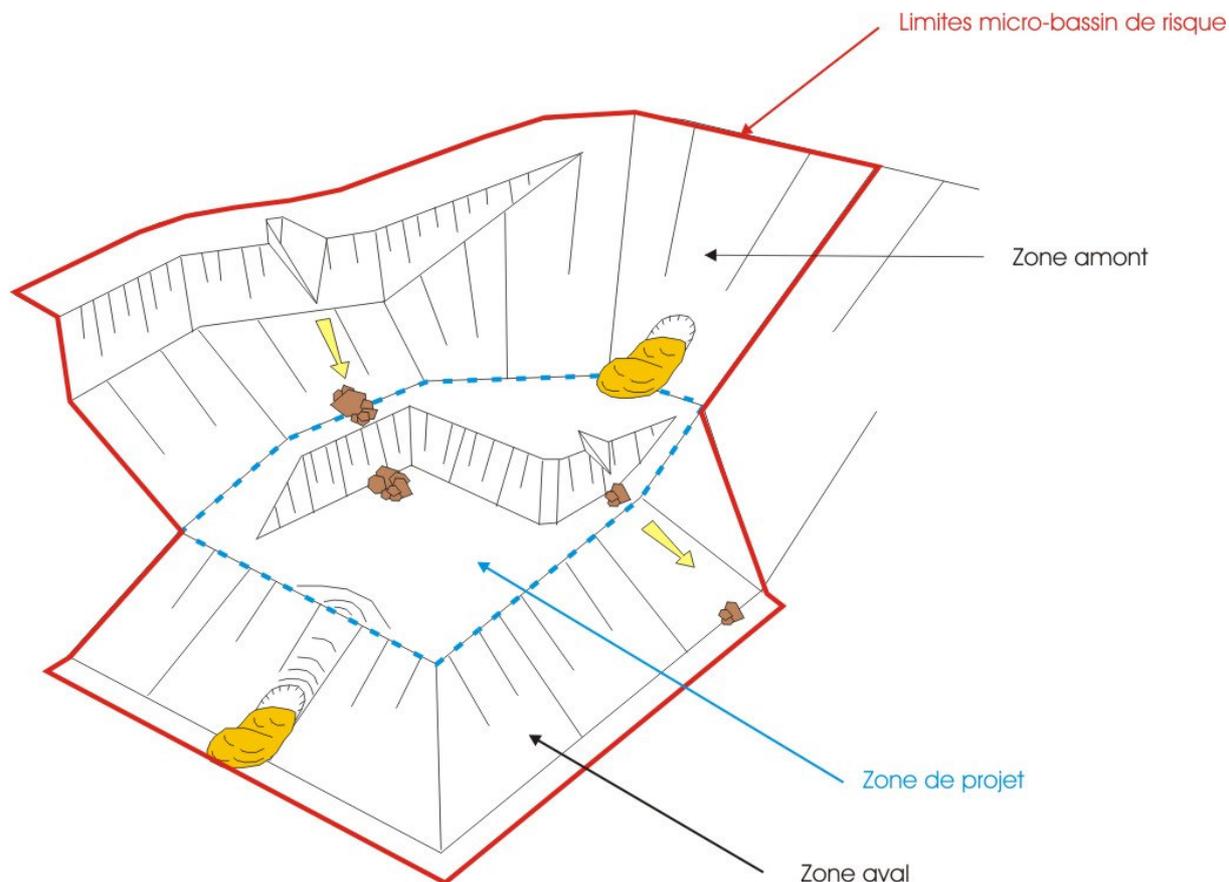


Illustration 2 – Exemple de limites d'un micro-bassin de risque

A titre d'exemple, concernant un projet localisé sur les flancs ou directement en pied de petites vallées (moins de 150 m de hauteur), le micro-bassin de risque s'étend généralement depuis l'axe de la vallée (sauf plaine alluviale de plus de 100 m de large) jusqu'au sommet du versant (cf. illustration 3).

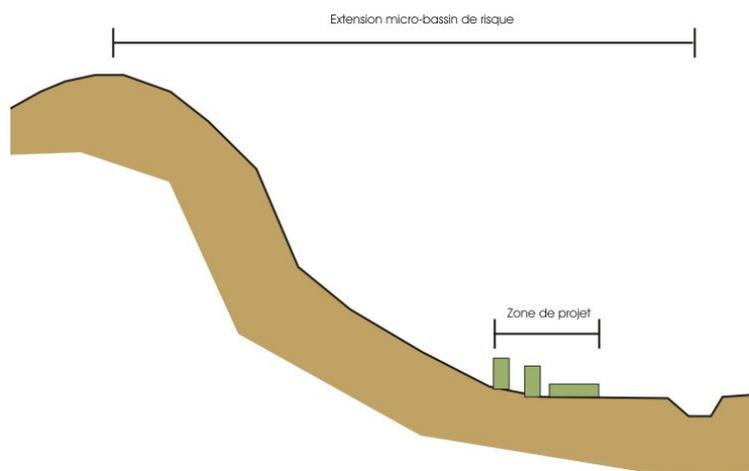


Illustration 3 – Exemple de limites d'un micro-bassin de risque à flanc de petite vallée

Pour des versants plus complexes et plus vastes, il convient en amont d'arrêter le micro-bassin de risque au droit de la première rupture de pente significative dominée par une zone plate suffisamment vaste pour limiter tout risque de propagation de phénomènes instables venant de l'amont (cf. illustration 4).

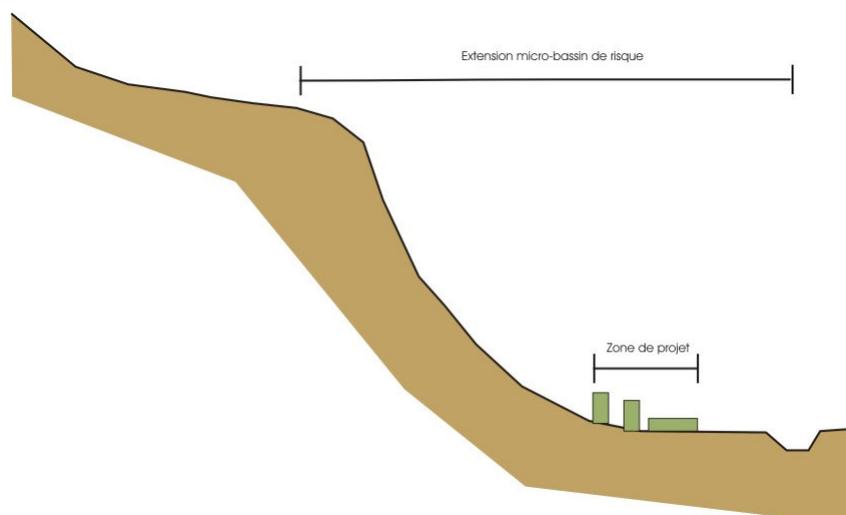


Illustration 4 – Exemple de limites d'un micro-bassin de risque à flanc d'un vaste versant

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

5.4. INVESTIGATIONS ET MODELISATIONS

Volume

Les prestations relevant des études de risques peuvent être très variées. Cependant il convient de trouver un équilibre entre divers paramètres :

- réponse aux objectifs de la mission ;
- accessibilité aux points d'investigation, faisabilité des investigations ;
- délais ;
- coûts.

En matière d'étude de sols, plus le site se révèle hétérogène en termes de géologie et de morphologie, ou plus le projet se révèle vaste et complexe, plus le volume d'investigation doit être important afin de lever les incertitudes liées au terrain. Par exemple, il convient entre autres de détecter les hétérogénéités de sols, ainsi que les horizons les plus médiocres ou les contextes hydrogéologiques délicats :

- variations importantes et rapides dans la nature des terrains ;
- variations importantes de profondeur des interfaces ;
- variations importantes de la position de la nappe ou de l'humidité des sols.

De façon pratique, cela signifie que dans un contexte complexe, il convient de multiplier les points de sondages, d'accroître leur profondeur et de multiplier le nombre d'essais. Dans certains cas, le recours à des moyens géophysiques peut se révéler intéressant pour investiguer sur de grandes surfaces en limitant le nombre de points de sondage. Toutefois ces techniques, relativement peu précises, ne peuvent totalement s'affranchir d'un étalonnage par moyens de sondage.

De la même façon, lorsque la topographie du terrain est très complexe, il est recommandé de procéder à un lever topographique fin permettant de multiplier les coupes représentatives du site.

Le cahier des charges type présente un programme minimal d'abord adapté à des projets relativement simples et sans très fort enjeu. Pour des projets plus complexes ou plus délicats, il revient au maître d'ouvrage et au maître d'œuvre de compléter le cahier des charges minimal afin de l'adapter au contexte.

Par ailleurs, il convient de noter les spécificités suivantes :

- dans certains cas, la présence d'investigations d'archives sur le site de projet ou à proximité immédiate peut permettre de s'affranchir de sondages ou d'essais complémentaires, pour autant que les données antérieures soient jugées représentatives de la zone d'étude et permettent de répondre aux objectifs fixés. Néanmoins, ces données, lorsqu'elles existent ne peuvent en aucun cas permettre de s'affranchir d'une reconnaissance visuelle de terrain sur tout le périmètre du micro-bassin de risque ;

- en ce qui concerne les risques inhérents aux chutes de blocs et d'éboulements, une analyse visuelle des zones potentielles de départ et de propagation suffit généralement pour définir les paramètres de base de l'étude de risque. Les investigations par sondages et essais restent rares pour ce type de contexte.

Nature

Il est possible de distinguer divers types d'investigation et de modélisation (seules les techniques les plus classiques sont présentées). La liste qui suit présente l'essentiel des moyens d'investigation et d'analyse possibles à mettre en œuvre dans le cadre d'une étude de risques mouvements de terrain. Cependant, la grande majorité des études de risque ne nécessite pas d'engager l'ensemble des moyens d'investigation et d'analyse présentés ci-après. Il convient de cibler le programme d'étude en fonction des spécificités du site et du projet, mais également des moyens d'investigation disponibles. A noter que la liste qui suit n'est pas exhaustive.

- Pour la problématique glissements de terrain :
 - . *Analyse de la morphologie du terrain :*
 - levés topographiques par photogrammétrie aérienne ou par cheminements au sol ;
 - levés visuels de terrain.
 - . *Identification des indices d'instabilité :*
 - levés visuels de terrain.
 - . *Identification descriptive de la nature des sols (norme NF EN ISO 14688-1&2) :*
 - levés visuels sur affleurement ;
 - levés visuels en puits à la pelle mécanique ou puits manuel ;
 - levés sur forages à la tarière ;
 - levés sur prélèvements au carottier ;
 - analyse des cuttings (débris de foration remontant en surface) pour un forage au taillant ;
 - . *Analyse en laboratoire sur échantillon remanié (affleurement, puits, tarière) ou sur échantillon intact (carottes) :*
 - granulométrie (norme NF P94-056) et sédimentométrie (norme NF P94-057) ;
 - teneur en eau naturelle (norme NF P94-050) ;
 - poids volumique (si échantillon pas trop remanié) humide et sec (norme NF P94-053) ;

- limites d'Atterberg (norme NF 094-040, NF P94-051 & NF P94-052-1) ;
- valeur au bleu de méthylène (norme NF P94-068) ;

Stratigraphie des terrains (géométrie des horizons) :

- coupes visuelles sur affleurement ;
- coupe en sondage (puits, tarière, carottage, dans une moindre mesure forage au taillant ou au pénétromètre avec étalonnage préalable) ;
- géophysique (sondages ou panneaux électriques, sismique réfraction) nécessitant obligatoirement des étalonnages par sondages (cf. Guide de bonne pratique de l'AGAP (Association pour la Qualité en Géophysique Appliquée non pétrolière) - <http://www.agapqualite.com/code.html>).

Caractérisation mécanique :

- compacité qualitative estimée sur affleurement ou en puits ;
- essais mécaniques in situ :
 - pénétromètre dynamique (norme NF P94-114 et NF P94-115) ;
 - pénétromètre statique (norme NF P94-113) ;
 - pressiomètre (norme NF P94-110-1) ;
 - carottier battu – SPT (norme NF P94-116).

Essais mécaniques en laboratoire :

- essais de résistance au cisaillement pour des roches meubles (nécessite généralement des échantillons intacts) :
 - cisaillement direct à la boîte de Casagrande (non consolidé drainé UU, consolidé non drainé CU, consolidé drainé CD) (norme NF P94-071-1) ;
 - essais triaxial (non consolidé drainé UU, consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle CU+u, consolidé drainé CD) (norme NF P94-074) ;
- essais au rocher :
 - essais de résistance à la compression simple (norme NF P94-420) ;
 - mesure de résistance au cisaillement des discontinuités (norme XP P94-424).

- . *Eau superficielle ou souterraine :*
 - levés visuels sur le terrain (venues d'eau, écoulements, zones humides, traces d'écoulement) ;
 - mesure du niveau d'eau en forage, en cours de foration ou dans un piézomètre.

- . *Modélisation à la rupture :*
 - exploitation de logiciels, généralement 2D, utilisant la méthode des tranches selon l'approche de Bishop ;
 - modélisation soit par exploitation directe des résultats d'essais de cisaillement, soit par rétrocalage sur des instabilités identifiées.

- Pour la problématique chutes de blocs :
 - . *Analyse de la morphologie du terrain (zones de départ et de propagation) :*
 - levés topographiques par photogrammétrie aérienne ou par cheminements au sol ;
 - levés visuels de terrain.

 - . *Identification des indices d'instabilité (zones de départ et de propagation) :*
 - levés visuels de terrain.

 - . *Identification de la nature des sols et roches (zones de départ et de propagation) :*
 - levés visuels sur affleurement (norme NF EN ISO 14689-1) ;
 - (éventuellement) levés sur prélèvements au carottier (norme NF EN ISO 14689-1);
 - (éventuellement) analyse en laboratoire sur échantillon (affleurement, ou carottes) :
 - teneur en eau naturelle (norme NF P94-050) ;
 - poids volumique humide et sec (norme NF P94-064).

 - . *Stratigraphie des terrains (géométrie des horizons dans les zones de départ) :*
 - coupes visuelles sur affleurement ;
 - (éventuellement) éventuellement coupe en sondage
 - géophysique (sondages ou panneaux électriques, sismique réfraction) nécessitant obligatoirement des étalonnages par sondages (cf. Guide de bonne pratique de l'AGAP (Association pour la Qualité en

Géophysique Appliquée non pétrolière) <http://www.agapqualite.com/codes.html>).

- . *Caractérisation mécanique (zones de départ) :*
 - niveau d'altération estimé visuellement ;
 - étude de fracturation ;
 - essais de résistance à la compression simple (norme NF P94-420) ;
 - mesure de résistance au cisaillement des discontinuités (norme XP P94-424).

- . *Eau superficielle ou souterraine (zones de départ) :*
 - levés visuels sur le terrain (venues d'eau, écoulements, zones humides, traces d'écoulement) ;
 - (éventuellement) mesure du niveau d'eau en forage, en cours de foration ou dans un piézomètre.

- . *Modélisation (zone de départ et de propagation) :*
 - à la rupture par exploitation de logiciels d'analyse de dièdres ;
 - en propagation par exploitation de logiciels de trajectographie.

Annexe 1

CAHIER DES CHARGES POUR ENGAGER DES ETUDES EN VUE D'ETABLIR LA FAISABILITE ET LES PRINCIPES D'AMENAGEMENT EN ZONE EXPOSEE A L'ALEA FORT MOUVEMENTS DE TERRAIN

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DU PROJET ET LOCALISATION	p. 3
2. CONTENU DES PRESTATIONS	p. 3
2.1. Nature et objectifs de l'étude	p. 3
2.2. Périmètre de l'étude	p. 4
2.3. Reconnaissances	p. 6
2.3.1. Généralités	p. 6
a) Normes	p. 6
b) Accès / amenée – repli	p. 6
c) Ouvrages existant	p. 6
d) Nature et volume de reconnaissance	p. 6
e) Études d'archives et examen visuel du site	p. 6
f) Plan topographique	p. 6
2.3.2. En terrain exposé aux chutes de blocs (sous-chapitre à retenir ou non selon le contexte)	p. 7
a) Nature des reconnaissances	p. 7
b) Plan	p. 7
2.3.3. En terrain exposé aux glissements (sous-chapitres à retenir ou non selon le contexte)	p. 7
a) Nombre de sondages et de prélèvements	p. 7
b) Profondeur des sondages	p. 8
c) Nature des sondages et essais in situ	p. 8
d) Localisation des sondages	p. 8
e) Coupes de sondages	p. 9
f) Nature des essais en laboratoire	p. 9
g) Rapport d'essai	p. 9
h) Plan de localisation des sondages et des essais	p. 9
2.4. Hypothèses géotechniques	p. 9
2.5. Modélisations	p. 10
2.6. Évaluation du niveau d'aléa	p. 10
a) Généralités	p. 10
b) Critères d'évaluation	p. 10
2.7. Préconisations	p. 12
2.8. Prédimensionnement des ouvrages géotechniques de protection	p. 12
2.9. Rapport	p. 12
3. DELAIS	p. 14
4. ELEMENTS FOURNIS PAR LE MAITRE D'OUVRAGE	p. 14
5. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	p. 14
6. NATURE DE L'OFFRE	p. 14

1. PRESENTATION DU PROJET ET LOCALISATION

(à compléter par le maître d'ouvrage)

D'après le zonage d'aléa établi par les services de l'État le projet se situe en zone exposée aux phénomènes de mouvements de terrain : aléa de type *XX* *(à compléter par le maître d'ouvrage)*.

2. CONTENU DES PRESTATIONS

2.1. Nature et objectifs de l'étude

Il s'agit d'une "étude de faisabilité géotechnique" G0 + G12 telle que prévue par la norme NF P 94-500.

L'étude demandée devra explicitement répondre aux objectifs suivants :

- préciser la nature et l'intensité des phénomènes à risque de mouvements de terrain (chutes de blocs, éboulements, glissements, fluages, solifluxion, effondrements, coulées de boue) pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet, ainsi que les conséquences qu'ils pourraient provoquer sur le projet ou sur les avoisinants ;
- proposer des principes généraux de construction, ainsi que des solutions techniques de mise en sécurité et d'aménagement, adaptées au projet et à son contexte d'exposition aux risques de mouvements de terrain, tant à long terme qu'en phase de travaux ;
- présenter des exemples de prédimensionnement par catégorie d'ouvrage ;
- élaborer un métré sommaire indicatif des travaux d'aménagement nécessaires à la mise en sécurité du projet et de ses abords.

On notera que le présent cahier des charges traite uniquement des études en matière de risques de mouvements de terrains gravitaires. Il est précisé que les prestations menées à partir de ce cahier des charges ne peuvent à elles seules répondre à tous les objectifs de faisabilité et de dimensionnement géotechnique pour mener à bien un projet. En particulier, ne sont pas intégrés (liste non exhaustive) :

- les aspects de portance des fondations ;
- les problèmes de tassement des sols et de déformation des ouvrages ;
- les contraintes de terrassement ;
- les problèmes de travaux dans l'eau et de rabattement de nappe ;

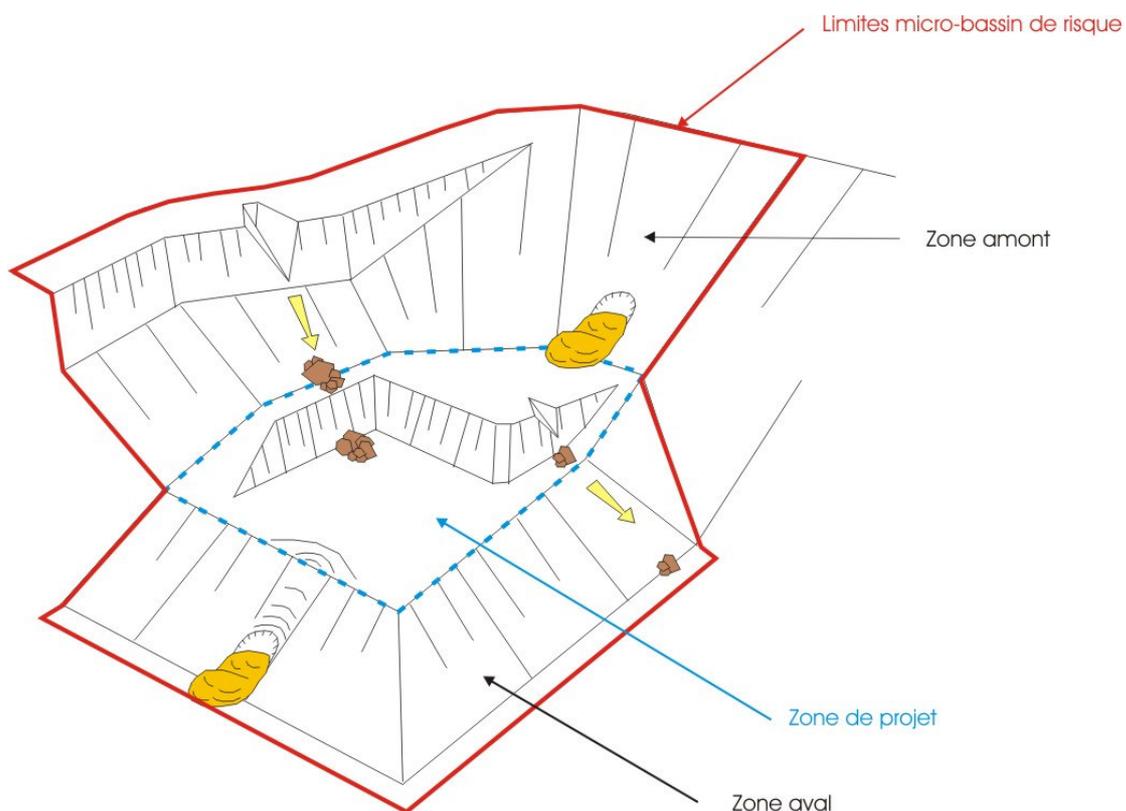
- les aspects de pollution des sols et de la nappe.

2.2. Périmètre de l'étude

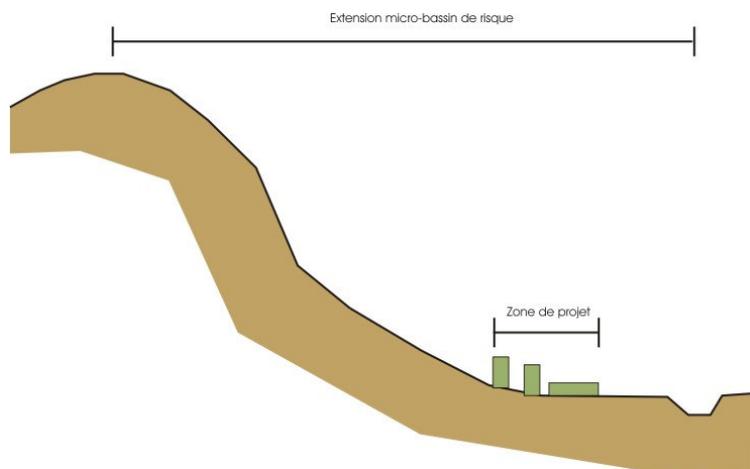
L'étude d'analyse des risques doit intégrer l'ensemble des mouvements de terrains potentiels ou avérés affectant le micro-bassin de risques concerné par le projet.

On entend par micro-bassin de risque :

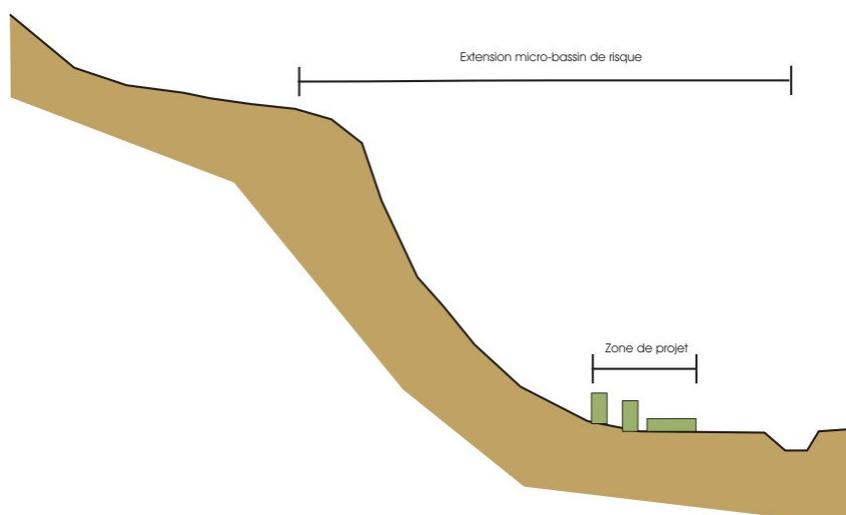
- la parcelle sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;
- les terrains en amont ou latéraux où :
 - . tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet ;
 - . le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
- les terrains en aval ou latéraux où :
 - . tout mouvement de terrain pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet par régression dans la pente ;
 - . le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
 - . des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient se propager.



A titre d'exemple, concernant un projet localisé sur les flancs, ou directement en pied de petites vallées (moins de 150 m de hauteur), le micro-bassin de risque s'étend généralement depuis l'axe de la vallée (sauf plaine alluviale de plus de 100 m de large) jusqu'au sommet du versant (cf. illustration suivante).



Pour des versants plus complexes et plus vastes, il convient en amont d'arrêter le micro-bassin de risque au droit de la première rupture de pente significative dominée par une zone plate suffisamment vaste pour limiter tout risque de propagation de phénomènes instables venant de l'amont (cf. illustration suivante).



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

Le prestataire a la responsabilité de la définition des contours du micro-bassin de risque. Son étude devra intégrer l'analyse des phénomènes à risques dans l'ensemble de ce périmètre.

2.3. Reconnaissances

2.3.1. Généralités

a) Normes

Le prestataire est tenu de réaliser sa mission selon les normes françaises en vigueur, en particulier celles traitant des essais et études géotechniques.

A défaut de norme existante pour certains essais, les guides techniques des laboratoires de Ponts et Chaussées feront office de référence.

Pour les prestations non normalisées et non codifiées, les règles de l'art en vigueur seront appliquées.

b) 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.

c) Ouvrages existant

En cas de réalisation de sondages, 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.

d) Nature et volume de reconnaissance

De part son obligation de moyens et son devoir de conseil, le prestataire, en fonction des objectifs définis préalablement devra juger de la suffisance des reconnaissances demandées. Il pourra, si nécessaire, proposer un programme plus étoffé ou mieux adapté. Ce programme complémentaire devra être explicitement indiqué dans l'offre.

e) 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'écoulement 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 micro-bassin de risque (études géotechniques, études hydrogéologiques, études de risque, plans topographiques, coupures de presse traitant d'instabilités historiques, etc).

f) Plan topographique

En fonction des objectifs fixés, 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 (par acquisition au sol, par photogrammétrie aéroportée ou par procédé mixte, sachant que la photogrammétrie seule en zone à fort couvert végétal n'est pas adaptée à une bonne représentation du relief) Cette option devra être explicitement spécifiée dans l'offre, tant en contenu qu'en coût. Généralement, il est considéré que l'échelle du 1/1000 est la résolution minimale pour procéder à une étude particulière de risques.

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

a) Nature des reconnaissances

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

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

b) Plan

Les observations seront reportées sur un plan du site à l'échelle du 1/1000 ou plus précis, où la topographie et les emprises du projet, ainsi que du micro-bassin de risque seront précisées.

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

a) Nombre de sondages et de prélèvements

Si le bureau d'étude est en mesure de se baser sur des résultats d'archives issus de sondages et d'essais réalisés à moins de 100 m 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 juge que le contexte géomorphologique soit similaire.

Dans tout autre cas, le prestataire devra procéder au minimum à 1 sondage par unités de 5000 m² à aménager (zone de projet) et à 1 sondage par unité de 40 000 m² dans le reste du micro-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). Le nombre de sondages sur la totalité du micro-bassin de risque ne devra pas être inférieur à 4.

Dans chaque sondage, au minimum 1 prélèvement ou 2 essais in situ seront réalisés par type de formation (généralement au minimum 2 prélèvements par sondage).

b) Profondeur des sondages

Pour les ouvrages courants, les sondages seront descendus au minimum jusqu'à 10 m, ou arrêtés avant au refus ou à la limite du bras mécanique de l'engin de terrassement, ou à la capacité de tenue des parois non blindées. On notera que la recherche de terrains sains ⁽¹⁾ en place est un des principaux objectifs des reconnaissances. A ce titre, si des terrains très médiocres sont encore reconnus à 10 m, il convient d'approfondir au minimum 1 sondage dans la campagne afin de rencontrer le substratum sain.

En cas de faux refus manifeste sur un bloc, l'entreprise devra déplacer le sondage et le refaire à sa charge.

¹ On entend par terrains sains des formations en place ayant une compacité suffisante pour admettre une capacité portante de 0,2 MPa (2 bars). Par exemple, les formations rocheuses en place peu ou modérément altérées sont considérées comme "saines".

c) 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 sont les suivantes :

- puits manuels (réservés au cas d'accès très difficiles au site – la sécurité des terrassiers devra être garantie), 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.

L'adoption de sondages sans essai mécanique in situ ou sans essai de cisaillement en laboratoire sur échantillons intacts (cas des 4 premiers types présentés ci-avant), est autorisée à la seule condition que le prestataire, sur la base de son expérience des terrains mahorais ou sur la base d'un rétro-calage sur site, pourra associer aux formations identifiées des caractéristiques mécaniques représentatives. Il conviendra alors de préciser dans la proposition et le rapport, les études de référence sur lesquelles il se basera.

d) 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, il est recommandé de ne pas trop éloigner les sondages soit de l'emprise des constructions principales les plus exposées aux mouvements de terrain, soit des secteurs montant le plus de signes d'instabilité potentielle ou avérée.

e) Coupes de sondages

Chaque sondage fera l'objet d'une coupe établie au propre. Celle-ci comprendra explicitement les éléments suivants :

- nom (ou code) du sondage ;
- nature ;
- cote de la tête (NGM) ;
- date de réalisation ;
- code 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 : nature, couleur, consistance, profondeur des interfaces ;
- profondeur de fin du sondage, et origine de l'arrêt : longueur prévisionnelle atteinte, refus, etc.
- profondeur d'un éventuel niveau d'eau rencontré ;
- anomalie : nature et profondeur.

f) Nature des essais en laboratoire

Chaque prélèvement fera l'objet d'une série d'essais en laboratoire.

- pour les échantillons remaniés ou intacts : 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).

g) Rapport d'essai

Les essais pressiométriques et les essais en laboratoire 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.

h) Plan de localisation des sondages et des essais

L'implantation des sondages et des essais (tous étant distingués par un code explicite) sera reportée sur un plan du site à l'échelle du 1/1000 ou plus précis, où la topographie et les emprises du projet, ainsi que du micro-bassin de risque, seront précisées.

2.4. Hypothèses géotechniques

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

2.5. Modélisations

Le prestataire utilisera obligatoirement des logiciels de modélisation afin d'établir les cartes d'aléa et de prédimensionner les ouvrages de protection : trajectographie de blocs ou modélisation de glissements à la rupture.

Les logiciels adoptés devront avoir fait l'objet d'une procédure de validation de la part de leur créateur, et être reconnus par le bureau de contrôle ou le maître d'œuvre. Les approches retenues devront être conformes 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 pour un projet en configuration définitive, les caractéristiques de cisaillement en conditions long terme (conditions "drainées") devront être retenues. Les hypothèses de nappe devront être clairement définies. Il conviendra de retenir des hypothèses de nappe "haute" en configuration d'intempéries cycloniques.

L'évaluation des caractéristiques mécaniques des formations par rétro-calage au droit d'instabilités connues est admise.

L'intégration des conditions de sismicité en configuration définitive du projet sera nécessaire selon la nature et la destination de la construction, en conformité avec la réglementation en vigueur (cf. norme N P 06-013 – règles parasismiques PS92 non imposables actuellement à Mayotte).

Les modélisations seront faites avant projet (en configuration initiale) et après projet (en configuration définitive). Si besoin, des phases intermédiaires de travaux pourront être prises en considération. Dans ce dernier cas des caractéristiques court terme (conditions "non drainées") de résistance au cisaillement des sols seront exploitées.

2.6. Évaluation du niveau d'aléa

Généralités

Sur la base des reconnaissances effectuées (levés de terrain, sondages et essais) et des éventuelles modélisations, le prestataire devra :

- préciser le zonage d'aléa actuel sur un plan de tout le micro-bassin de risque au 1/1000 ou plus précis ;
- préciser le nouveau zonage d'aléa en tenant compte des aménagements initialement prévus, en particulier des terrassements ;
- sur la base de ce dernier document évaluer le niveau d'exposition des constructions et des aménagements projetés, ainsi que les phénomènes à risques qui pourraient être induits par le projet sur les avoisinants dans l'emprise du micro-bassin de risque. Cette analyse doit servir de base à la définition des mesures de mise en sécurité à prévoir sur le site.

Critères d'évaluation

Dans les atlas des aléas naturels et les PPR (prochainement prescriptibles à Mayotte), le niveau d'exposition aux mouvements de terrain a été cartographié conformément aux recommandations du guide méthodologique du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (1999). La démarche utilisée a consisté en une approche naturaliste du type expertise excluant le recours à des études supplémentaires. Il est entendu que toute étude précise reposant en particulier sur une topographie fine et des investigations géotechniques détaillées, permettant de réaliser des modélisations (glissements ou chute de blocs), peut conduire à sensiblement affiner ce zonage, en adoptant toutefois d'autres types de critères.

Les critères de base restent ceux prescrits par le guide PPR établi par le Ministère de l'Écologie et du développement Durable, et qui reposent sur des critères relatifs aux moyens à mettre en œuvre pour limiter ou contenir des phénomènes à risque, à savoir :

- Niveau 1 - Aléa faible : Moyens supportables financièrement par un propriétaire individuel ;
- Niv. 2 - Aléa moyen : Moyens supportables financièrement par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement) ;
- Niv. 3 - Aléa fort : Phénomènes intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et /ou d'un coût très important et /ou techniquement difficile ;
- Niv. 4 - Aléa majeur : Pas de parade technique.

Toutefois, dans la mesure où des études géotechniques détaillées reposant sur des modélisations sont demandées dans le cadre de la présente étude, il est possible d'affiner la précédente approche par l'adoption de critères physiques.

Par exemple, concernant l'aléa glissement de terrain, il est envisageable d'adopter les critères de facteurs de sécurité (FS) proposés par l'AFPS (Association Française du Génie ParaSismique) dans son guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique, et repris dans le guide PPR sismique du Ministère de l'Ecologie :

- Aléa faible : $2,0 < FS$
- Aléa moyen : $1,5 < FS < 2,0$
- Aléa fort : $FS < 1,5$

Il convient toutefois de rester prudent avec ce type d'approche dans la mesure où elle s'attache d'abord à examiner la probabilité de l'instabilité, mais ne fait pas de distinction entre des grands glissements profonds mobilisant des volumes importants et des arrachements superficiels très limités, pouvant se caractériser par la même valeur du facteur de sécurité. Pour cette raison il convient toujours de recouper avec la définition générale proposée par le Ministère de l'Ecologie reposant sur les moyens à mettre en œuvre pour s'opposer aux phénomènes à risque.

A noter que l'étude d'aléa devra impérativement intégrer la zone de propagation, élément significatif dans le cas des coulées de débris et des grands glissements affectant certains versants de Mayotte.

Concernant l'aléa chutes de blocs, on pourra adopter les règles fondamentales voisines :

- Aléa faible : énergie "E" des éléments en mouvement < 5 kJ et hauteur de passage $< 1,5$ m
- Aléa moyen : $E < 500$ kJ et hauteur de passage < 3 m
- Aléa fort : $E > 500$ kJ et / ou hauteur de passage > 3 m

2.7. Préconisations

Afin d'adapter le projet à son environnement, le bureau d'études devra :

- procéder à des recommandations générales en matière d'aménagement :
 - . positionnement des constructions projetées ;
 - . conseils en matière de végétalisation et de reboisement, ainsi que de limitation des défrichements.

- étudier les conditions générales d'exécution des ouvrages géotechniques et énoncer des principes de réalisation permettant de maîtriser les risques de mouvements de terrain :
 - . géométrie et nature des terrassements – tenue des talus - gestion des stocks de matériaux - déroctage ;
 - . maîtrise des écoulements de surface et des eaux souterraines – gestion des exutoires – gestion des infiltrations ;
 - . conditions de terrassement à proximité de la nappe ou en zone humide ;
 - . principes de fondation envisageable en relation avec les risques de mouvements gravitaires de terrain.

2.8. Prédimensionnement des ouvrages géotechniques de protection

Chaque type d'ouvrage géotechnique participant à la maîtrise des aléas de mouvement de terrain (soutènements, drainage, fondations, etc.) fera l'objet d'un prédimensionnement, intégrant des éléments de coût, pouvant être exploité par le maître d'œuvre dans son étude de projet.

Le bureau d'étude devra préciser schématiquement sur un plan au 1/1000 ou plus précis, l'implantation des ouvrages géotechniques.

En matière de sollicitation sismique, les ouvrages devront intégrer les dispositions prévues par la réglementation nationale en vigueur.

2.9. Rapport

Le rapport d'étude devra intégrer :

- le rappel des objectifs de la mission ;
 - le positionnement de l'ouvrage dans la topographie existante ;
 - le zonage initial réglementaire en matière d'aléas (issu d'un atlas ou d'un PPR) ;
- un bref descriptif du projet ;
- le rapport de reconnaissances comprenant :
 - le programme d'investigations ;

- les coupes de sondage (cf. description ci-avant) ;
- les rapports d'essais (cf. description ci-avant) ;
- le plan d'implantation des investigations ;
- 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 ;
- 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 investigations et des modélisations (avec établissement d'une carte d'aléa), et d'impact du projet sur la stabilité du site ;
- la description détaillée des préconisations en matière d'aménagement et de construction afin de maîtriser les risques de mouvement de terrain ;
- le prédimensionnement des ouvrages géotechniques participant à la limitation des risques, avec un plan d'implantation schématique de ces ouvrages et des éléments de coût.

3. DELAIS

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

Les délais de réalisation de la prestation (à compter de la réception de la commande) seront explicitement précisés dans l'offre. Une pénalité de retard de xx % (*à préciser par le maître d'ouvrage ou faire référence à un éventuel CCAP*) sera redevable par jour calendaire de retard.

4. ÉLÉMENTS FOURNIS PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE

Le Maître d'ouvrage fournira :

- un plan d'implantation du projet ;
- un bref descriptif de la nature du projet ;

- un plan topographique détaillé du site (s'il en dispose) ;
- un extrait de la carte d'aléa au droit du site issue des atlas des aléas naturels du BRGM ou des PPR en projet ou approuvés ;
- une copie de toutes les 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.

5. 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.

6. NATURE DE L'OFFRE

L'offre du prestataire fera explicitement référence au présent cahier des charges qui devra être retourné signé par le titulaire du marché.

Chaque prestation prévue dans l'offre (sondages, essais, études, topographie, etc.) sera explicitement précisée en nature, en quantité et délais dans le devis.

Un bordereau des principaux prix unitaires sera présenté dans l'offre.

Le montant de l'offre sera forfaitaire, les prix n'étant pas révisables.

Annexe 2

EXTRAITS DE LA NORME NF P 94-500

UNION SYNDICALE GÉOTECHNIQUE

CLASSIFICATION DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES TYPES

3 -

(norme NF P 94-500)

L'enchaînement des missions géotechniques suit les phases d'élaboration du projet.

Les missions G 1, G 2, G 3, G 4 doivent être réalisées successivement.

Une mission géotechnique ne peut contenir qu'une partie d'une mission type qu'après accord explicite entre le client et le géotechnicien.

G 0 EXÉCUTION DE SONDAGES, ESSAIS ET MESURES GÉOTECHNIQUES

- Exécuter les sondages, essais et mesures en place ou en laboratoire selon un programme défini dans les missions de type G 1 à G 5 ;
- Fournir un compte rendu factuel donnant la coupe des sondages, les procès-verbaux d'essais et les résultats des mesures.

Cette mission d'exécution exclut toute activité d'étude ou de conseil ainsi que toute forme d'interprétation.

G 1 ÉTUDE DE FAISABILITÉ GÉOTECHNIQUE

Ces missions G 1 excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages qui entre dans le cadre exclusif d'une mission d'étude de projet géotechnique G 2.

G 11 Étude préliminaire de faisabilité géotechnique :

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et préciser l'existence d'avoisnants ;
- Définir si nécessaire une mission G 0 préliminaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
- Fournir un rapport d'étude préliminaire de faisabilité géotechnique avec certains principes généraux d'adaptation de l'ouvrage au terrain, mais sans aucun élément de prédimensionnement.

Cette mission G 11 doit être suivie d'une mission G 12 pour définir les hypothèses géotechniques nécessaires à l'établissement du projet.

G 12 Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques (après une mission G 11) :

- Phase 1** - Définir une mission G 0 détaillée, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
 - Fournir un rapport d'étude géotechnique donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte pour la justification du projet, et les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisnants).
 - Phase 2** - Présenter des exemples de prédimensionnement de quelques ouvrages géotechniques types envisagés (notamment : soutènement, fondations, amélioration de sols).
- Cette étude sera reprise et détaillée lors de l'étude de projet géotechnique (mission G 2)*

G 2 ÉTUDE DE PROJET GÉOTECHNIQUE

Cette étude spécifique doit être prévue et intégrée dans la mission de maîtrise d'œuvre.

- Phase 1** - Définir si nécessaire une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
- Fournir les notes techniques donnant les méthodes d'exécution retenues pour les ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, fondations, dispositions spécifiques vis-à-vis des nappes et avoisnants), avec certaines notes de calculs de dimensionnement, une approche des quantités, délais et coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques.
- Phase 2** - Etablir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel) ;
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.

G 3 ÉTUDE GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION

- Définir si nécessaire une mission G 0 complémentaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasage, suivi, contrôle).

Pour la maîtrise des incertitudes et aléas géotechniques en cours d'exécution, les missions G 2 et G 3 doivent être suivies d'une mission de suivi géotechnique d'exécution G 4.

G 4 SUIVI GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION

- Suivre et adapter si nécessaire l'exécution des ouvrages géotechniques, avec définition d'un programme d'auscultation et des valeurs seuils correspondantes, analyse et synthèse périodique des résultats des mesures ;
- Définir si nécessaire une mission G 0 complémentaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques ;

G 5 DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE

L'objet d'une mission G 5 est strictement limitatif : il ne porte pas sur la totalité du projet ou de l'ouvrage.

G 51 Avant, pendant ou après construction d'un ouvrage sans sinistre

- Définir si nécessaire une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
- Etudier de façon approfondie un élément géotechnique spécifique (par exemple soutènement, rabattement, etc.) sur la base des données géotechniques fournies par une mission G 12, G 2 ou G 3 et validées dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans les autres domaines géotechniques de l'ouvrage.

G 52 Sur un ouvrage avec sinistre

- Définir une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;
 - Rechercher les causes géotechniques du sinistre constaté, donner une première approche des remèdes envisageables.
- Une étude de projet géotechnique G 2 doit être réalisée ultérieurement.*

Voir le schéma d'enchaînement des missions géotechniques en page suivante

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Antenne de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 - Mamoudzou - France
Tél. : 02 69 61 28 13



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Antenne de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 - Mamoudzou - France
Tél. : 02 69 61 28 13