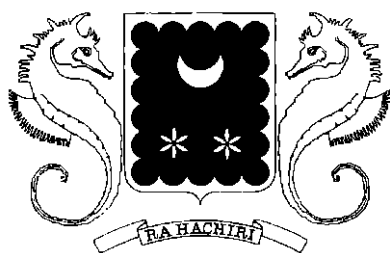


Collectivité Départementale de Mayotte



DOCUMENT PUBLIC

***Projet « Risques naturels et érosion »
à Mayotte :
résultats d'année 1***

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public 2001-RIS-311

juillet 2002
BRGM/RP-51738-FR
2002 MAYOTTE 03





DOCUMENT PUBLIC

***Projet « Risques naturels et érosion »
à Mayotte :
résultats d'année 1***

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public 2001-RIS-311

**J.-C. Audru, A. Bitri, J.-F. Desprats, C. Mathon, N. Maurillon, P. Sabourault, M. Terrier-Sedan et
O. Sedan**

**juillet 2002
BRGM/RP-51738-FR
2002 MAYOTTE 03**



Mots clés : risques naturels, aléas naturels, mouvements de terrain, inondations, séismes, cyclones, érosion, Mayotte, Comores

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

J.-C. Audru, A. Bitri, J.-F. Desprats, C. Mathon, N. Maurillon, P. Sabourault, M. Terrier-Sedan et O. Sedan (2002) – Projet risques naturels et érosion à Mayotte : résultats d'année 1. Rapport BRGM/RP-51738-FR, 2002 MAYOTTE 03, 49 pages, 20 figures, 4 annexes.

Synthèse

Ce rapport fait le point de l'avancement du projet pluriannuel « **risques naturels et érosion** » à Mayotte au 1^{er} juillet 2002. Ce projet est conduit par le BRGM sur financement de Service public en fonds propres et de la Collectivité départementale de Mayotte. Le lancement du projet, les étapes contractuelles, les résultats préliminaires ainsi que le déroulement prévisionnel sont présentés. Les cartes, les zonages et les interprétations de ce document sont provisoires.

Le rassemblement, le calage et le traitement des données SIG ont été réalisés. Des recherches ont commencé dans les diverses archives de Mayotte, livrant des documents inédits sur les inondations, les cyclones et les séismes récents.

La cartographie des mouvements de terrain a permis de distinguer deux familles de phénomènes : les chutes de blocs et les glissements. Les conditions initiales favorables ainsi que les facteurs de déclenchement sont identifiés. On note en particulier qu'en zone urbaine, l'intervention anthropique et l'urbanisation ont entraîné une augmentation du niveau d'aléa depuis ces dernières années.

La cartographie des indices d'inondation a permis de réaliser un zonage préliminaire des communes de Mamoudzou et Koungou. Ce zonage sera complété par une analyse hydraulique fine au second semestre 2002. Les observations sur chaque rivière sont synthétisées sur une fiche et le zonage est présenté sous forme de SIG, ce qui donne un accès immédiat à toutes les informations d'un secteur particulier de la rivière.

L'évaluation de l'aléa sismique local s'est appuyée sur une campagne d'acquisition sismique en mai 2002. Cette campagne avait pour but de pallier au manque de données géotechniques et de connaître les réponses des différentes configurations géologiques sous sollicitation sismique. Les résultats ont clairement mis en évidence l'existence d'effets de site lithologiques et/ou topographiques sur l'île.

L'évaluation des surcotes marines liées aux cyclones a commencé en juin. Elle est réalisée par Météo-France. Les résultats des simulations de surcotes seront fournies par Météo-France au BRGM en 2004, sous la forme d'une grille au pas d'environ 370 m.

L'évaluation de l'aléa érosion en collaboration avec le Cirad commencera au second semestre par la classification d'images SPOT et Ikonos. La validation de cette classification débutera sur le terrain en novembre 2002. La contractualisation de la collaboration du Cirad au projet est en cours.

Une notice de présentation des aléas naturels a été préparée pour accompagner chacun des six atlas qui seront réalisés à Mayotte. Sa maquette est présentée en annexe. Une maquette du premier atlas sera également remise par le BRGM à la Direction de l'Équipement fin 2002, en attendant la livraison des cartes de Météo-France (houle cyclonique) et du Cirad (érosion).

Sommaire

Synthèse	5
1. Introduction.....	9
1.1 Contexte du projet	9
1.2 Objectifs du projet	9
2. Étapes du lancement du projet en 2001	10
3. Étapes et résultats pour 2002.....	12
3.1 Aspects contractuels	12
3.2 Données de base	13
4. L'aléa mouvements de terrain	21
4.1 Cartographie	21
4.2 Typologie des mouvements de terrain.....	21
4.3 Zonage préliminaire.....	23
5. L'aléa inondations.....	25
5.1 Études préliminaires	25
5.2 Cartographie	25
5.3 Zonage préliminaire.....	27
6. L'aléa sismique local.....	31
6.1 Rappels sur l'aléa sismique régional	31
6.2 Les dégâts du séisme de 1993	32
6.3 Méthodologie d'évaluation.....	34
6.4 Premiers Résultats	36
6.5 Zonage préliminaire.....	37
7. L'aléa cyclonique	40
7.1 Calcul de la surcote marine	40
7.2 Dégâts liés aux cyclones à Mayotte.....	40
8. L'aléa érosion	44
8.1 Méthodologie d'évaluation de l'érosion.....	44
9. Déroulement prévisionnel d'ici fin 2002	46
10. Bibliographie.....	47
11. Annexes.....	49

Liste des figures

Fig. 1 – Répartition des six atlas par bassin de risque pour Mayotte	11
Fig. 2 – Topographie numérique (MNT) au pas de 25 m de Mayotte (en m)	14
Fig. 3 – Exemples de produits dérivés du MNT	15
Fig. 4 – Carte bathymétrique numérique de Mayotte	16
Fig. 5 – Produits dérivés de la bathymétrie numérique de Mayotte	17
Fig. 6 – Géologie détaillée des zones urbaines de Mamoudzou et Koungou	19
Fig. 7 – Coupes géologiques synthétiques	20
Fig. 8 – Photographies aériennes obliques du littoral de Mayotte (28/06/02)	23
Fig. 9 – Exemple de zonage préliminaire de l'aléa mouvement de terrain.	24
Fig. 10 – Exemple de SIG pour le zonage de l'aléa inondations	26
Fig. 11 – Exemples de zonages préliminaires des zones d'inondation	29
Fig. 12 – Sismicité de 1985 à 2002 dans un rayon de 500 km autour de Mayotte	33
Fig. 13 – Exemple de faille orientée N170° au large de Mayotte	33
Fig. 14 – Localisation des données géotechniques fournies par SEGC	35
Fig. 15 – Sites de mesures Sasw et h/v de la campagne de mai 2002	35
Fig. 16 – Résultats préliminaires des mesures Sasw et h/v	38
Fig. 17 – Zonage sismique provisoire de Mamoudzou nord et de Koungou	39
Fig. 18 – Routes des cyclones connus ayant entraîné des destructions à Mayotte	41
Fig. 19 – Dégâts dans un lotissement de Sada après le passage de Kamisy en 1984	41
Fig. 20 – Outils et méthodes pour la cartographie de l'aléa érosion	45

Liste des annexes

- Annexe 1 : Maquette de la notice de présentation des aléas naturels à Mayotte
- Annexe 2 : Questionnaire d'enquête sur les risques naturels envoyé aux mairies
- Annexe 3 : Exemples de fiches de synthèse des cours d'eau
- Annexe 4 : Formulaire d'enquête du Bureau central sismologique français

1. Introduction

1.1 CONTEXTE DU PROJET

L'île de Mayotte est exposée à plusieurs types d'aléas naturels : les mouvements de terrain, les inondations pluviales, les séismes, les cyclones et l'érosion des sols. Ces aléas résultent des contextes géologique et géographique particuliers de l'île. Le climat chaud et humide favorise l'altération des roches volcaniques, tandis que l'intensité des précipitations et parfois des cyclones contribue à l'érosion, aux mouvements de terrain et aux inondations.

En raison de la forte croissance économique et démographique (la population double tous les treize ans, source INSEE 2001), les zones littorales se développent et les aménagements migrent des plaines côtières vers les contreforts de l'île. Cette évolution rapide entraîne de graves problèmes environnementaux. L'instabilité des pentes, l'érosion des sols et la sédimentation côtière qui en dérivent sont devenues préoccupantes, et les aménagements s'effectuent de plus en plus sur des zones d'aléa fort ce qui contribue à augmenter le niveau des risques¹.

1.2 OBJECTIFS DU PROJET

Le programme pluri-annuel de Service public du BRGM « Risques Naturels et Érosion » prend en compte les besoins à court et moyen terme exprimés par la Collectivité Départementale de Mayotte (CDM) et les services de l'État à Mayotte. Il est régi par une Convention cadre pluriannuelle (2000-2004) signée le 12/07/01 entre l'État, la CDM et le BRGM et par la mesure C13 Environnement du Contrat de Plan État - CDM. Chaque année, des conventions d'application de cette convention cadre définiront les modalités juridiques, financières et les délais d'exécution et de diffusion des livrables. La Direction de l'Équipement de Mayotte (DE) est le service « donneur d'ordre » pour la réalisation de ce programme.

Six modules complémentaires seront réalisés conjointement pendant la durée du programme :

- Module 1 : acquisition et validation des données de base ;
- Module 2 : évaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain ;
- Module 3 : évaluation et cartographie de l'aléa inondations ;
- Module 4 : évaluation et cartographie de l'aléa sismique local ;
- Module 5 : évaluation et cartographie de l'aléa houle cyclonique (modélisation Météo-France) ;
- Module 6 : évaluation et cartographie de l'aléa érosion des sols (collaboration Cirad²).

¹ le *risque* est la conjonction de l'aléa, des enjeux et de leur vulnérabilité : l'*aléa* est la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel. Les *enjeux* sont les infrastructures ou activités humaines, la *vulnérabilité* représente la fragilité des enjeux vis-à-vis d'un phénomène particulier.

² CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

Les résultats des études seront restitués sous forme d'atlas cartographiques des aléas naturels par bassin de risque. À ce jour, il est prévu de délivrer 6 atlas cartographiques au format A3 correspondant aux 6 bassins de risques proposés pour Mayotte (Figure 1) :

1. Mamoudzou, Koungou, Petite-Terre ;
2. Bandraboua, Tsingoni ;
3. Chiconi, Sada, Ouangani, Chirongui ;
4. Mtzamboro, Acoua, Mtsangamouji ;
5. Dembeni, Bandrele ;
6. Boueni, Kani-Kéli.

Les bassins de risques à traiter en priorité seront décidés en concertation avec la DE. L'échelle de restitution sera le 1/10 000 pour les zones à enjeux et le 1/25 000 pour les autres zones.

Chaque atlas comportera une notice de présentation générale des aléas naturels commune à chaque atlas (Annexe 1), une notice particulière à chaque bassin de risque, ainsi que les cartes de zonage correspondantes.

2. Étapes du lancement du projet en 2001

La convention cadre régissant les modalités juridiques, financières et techniques du projet a été cosignée le 12 juillet 2001 par l'État représenté par le Préfet de Mayotte, la CDM représentée par le Secrétaire général de la Préfecture et le BRGM représenté par son Directeur du Service public.

Le responsable BRGM du projet est arrivé à Mayotte le 15 septembre 2001³. Le BRGM a ensuite effectué le choix et l'acquisition des logiciels et des matériels nécessaires à la bonne exécution de l'étude.

La réunion de lancement du projet a eu lieu le 23 octobre 2001 dans les locaux de la DE. Le BRGM a proposé la mise en place d'un comité de pilotage, d'un comité scientifique et a présenté à ses partenaires les grandes lignes du projet (thèmes et livrables). Le BRGM a signalé à ses partenaires les erreurs qui existaient dans le géo-référencement et dans la fiabilité de toutes les données SIG existantes à Mayotte. Enfin, le BRGM a demandé à la DE d'effectuer une recherche dans ses archives afin d'accéder à ses données géotechniques.

Une reconnaissance préliminaire de la géologie et des indices d'aléas naturels a eu lieu fin octobre, afin de déterminer les stratégies d'étude.

³ Jean-Christophe Audru, BRGM, 9 centre Amatoula, BP 1398, 97600 Mamoudzou. Tél : 0269 612813, Fax 0269 612815 et Email : brgm2.mayotte@wanadoo.fr.

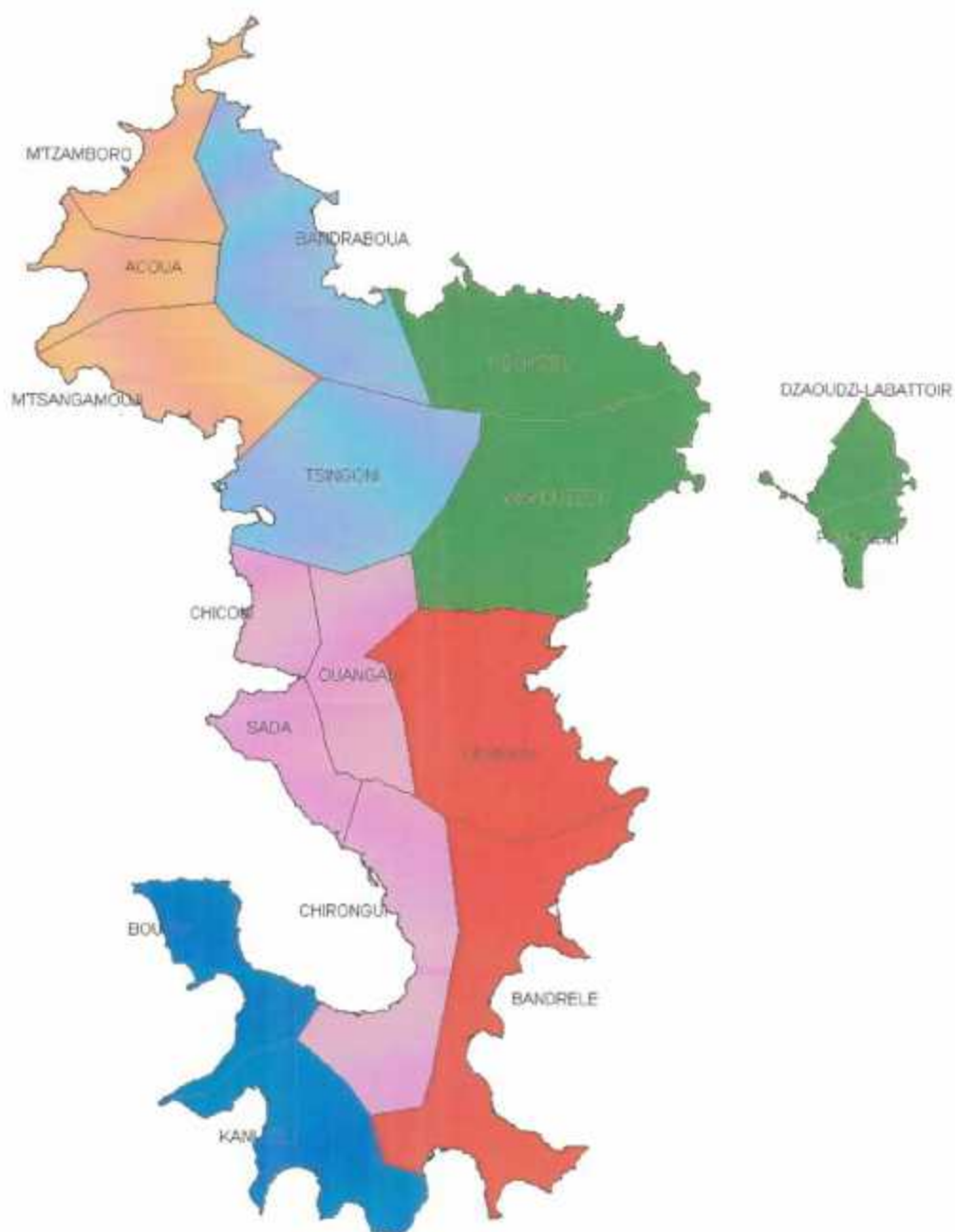


Fig. 1 – Répartition des six atlas par bassin de risque pour Mayotte

En accord avec la DE, les deux premiers atlas produits seront ceux de Mamoudzou-Koungou-Petite-Terre puis celui de Sada-Ouangani-Chirongui.

Plusieurs réunions techniques ont ensuite lieu entre le BRGM et les services de l'État à Mayotte :

- le 2 novembre, avec la Délégation à l'Environnement ⁴ ;
- le 5 novembre avec la DE, services hydraulique et SIG ;
- le 6 novembre avec la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), service des équipements ruraux ;
- le 6 novembre avec la DE, service des équipements portuaires ;
- le 7 novembre avec le CIRAD ;
- le 29 novembre avec la DAF, service de l'environnement et de la forêt.

Ces réunions ont eu pour objet d'amorcer les collaborations et les échanges de données entre les partenaires locaux. Ainsi, le 19 novembre 2001, conformément à la convention cadre, le BRGM a informé la DE de son désir de bénéficier de ses bases de données SIG utiles à la réalisation de l'étude : données numériques, données géotechniques, registres de désordres et archives concernant le séisme du 02/12/1993, etc.

Une réunion de projet interne au BRGM, s'est tenue en métropole les 13 et 14 décembre 2001 avec les intervenants pressentis. Il s'agissait de rédiger un cahier des charges précis et de mettre en place une équipe de projet.

3. Étapes et résultats pour 2002

3.1 ASPECTS CONTRACTUELS

Le cahier des charges, la constitution de l'équipe de projet et le planning des interventions ont été finalisés fin janvier 2002. Les méthodes d'évaluation et de cartographie ont été arrêtées pour chaque type d'aléa naturel.

La première réunion du Comité de pilotage a eu lieu le 28 février 2002. À cette occasion, le BRGM a remis le cahier des charges du projet aux membres présents du Comité. Le BRGM a également fait un exposé sur les différents types d'aléas naturels à Mayotte, sur l'état d'avancement du projet, sur les méthodes proposées pour évaluer et cartographier les aléas, sur les livrables qui seront fournis à chaque étape contractuelle par le BRGM, ainsi que sur l'équipe de projet.

La convention d'étude entre le BRGM et Météo-France a été signée le 6 mai. Cet accord permet à Météo-France Réunion de lancer l'étude des surcotes cycloniques sur le littoral de Mayotte.

Un projet de convention a été soumis par le BRGM au Cirad lors d'une réunion technique le 29 mars à Montpellier. Cette convention établit les modalités de l'intervention du Cirad dans le module érosion. Le Cirad doit maintenant donner son avis sur ce projet de convention.

⁴ DAF : Direction de l'Agriculture et de la Forêt, DE : Direction de l'Équipement, DEN : Délégation à l'Environnement

3.2 DONNEES DE BASE

Le BRGM a adhéré au Club des Utilisateurs du SIG inter-administratif de Mayotte en mars 2002 : ce « club » rassemble les services de l'État à Mayotte : DAF, DE, DEN, Cirad, Services fiscaux, INSEE et Préfecture. Les administrations mettent leurs données non confidentielles en commun et en retour, elles utilisent librement les données de leurs partenaires. Ce système permet de favoriser la qualité, la disponibilité et la complémentarité des informations détenues par chaque administration. Ce club est piloté par le responsable du système d'information géographique de la DE.

Le SIG de Mayotte, correctement géoréférencé, a été remis par la DE au BRGM en deux fois, le 25 avril 2002 et le 23 mai 2002. En effet, le SIG de Mayotte était jusque là calé sur l'ellipsoïde « WGS 84 » au lieu de l'ellipsoïde « Combani 1950 » (ellipsoïde officiel de l'IGN). Ce biais se traduisait par des erreurs de positionnement de 380 mètres en x et y sur le terrain (BRGM, 2002).

Le BRGM a procédé au recalage géographique de ses propres données sur Mayotte. Le BRGM a également réalisé le calage de l'image satellite haute définition Ikonos acquise par la DE en 2001. Cette opération nous permettra de travailler sur cette image, en particulier pour la cartographie de l'aléa érosion en site urbain. Le BRGM a enfin acquis la totalité des photographies aériennes de la mission IGN de juin 1997 sur Mayotte pour la photo-interprétation.

Le Modèle Numérique de Terrain au pas de 50 m a été ré-échantillonné au pas de 25 m par le BRGM, ce qui lui confère une meilleure lisibilité au 1/10 000 (Figure 2). Le traitement numérique du MNT est particulièrement utile pour déterminer des paramètres propres à chaque aléa (densité de drainage, courbures, exposition, pentes, etc.) et pour comparer ces éléments dérivés. Il permet également de détecter des anomalies de formes, comme par exemple d'anciens glissements de terrain (Figure 3).

Une carte bathymétrique (inédite à Mayotte) a été interpolée par le BRGM à partir de la numérisation manuelle des cartes de navigation du SHOM⁵ (1974 à 2000). Cette bathymétrie provisoire (Figure 4) reste très approximative, mais elle permet malgré tout de supposer l'existence de grands glissements sous-marins, ainsi que la trace de failles géologiques (Figure 5). Ces deux types de structures ne sont pas anodins : en effet, des glissements sous-marins peuvent être à l'origine de fortes variations du niveau de la mer (mini raz-de-marée) et les ruptures sur les failles peuvent générer des séismes.

⁵ Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

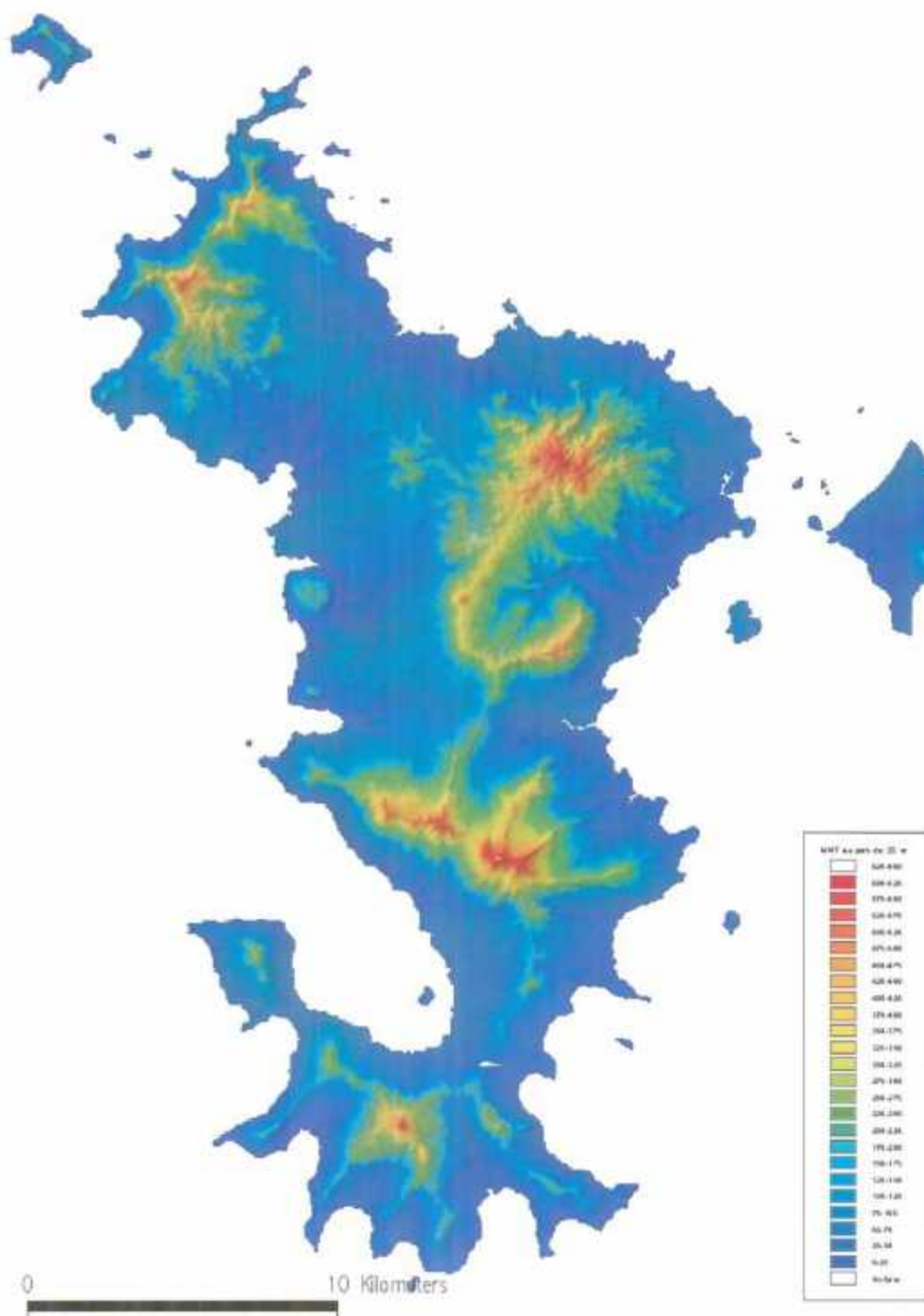


Fig. 2 – Topographie numérique (MNT) au pas de 25 m de Mayotte (en m)

L'observation de la topographie numérique, ainsi que des opérations de dérivation mathématique permettent de détecter les anomalies de relief (glissements, failles ...) et les paramètres d'apparition des aléas : pentes, courbures etc.

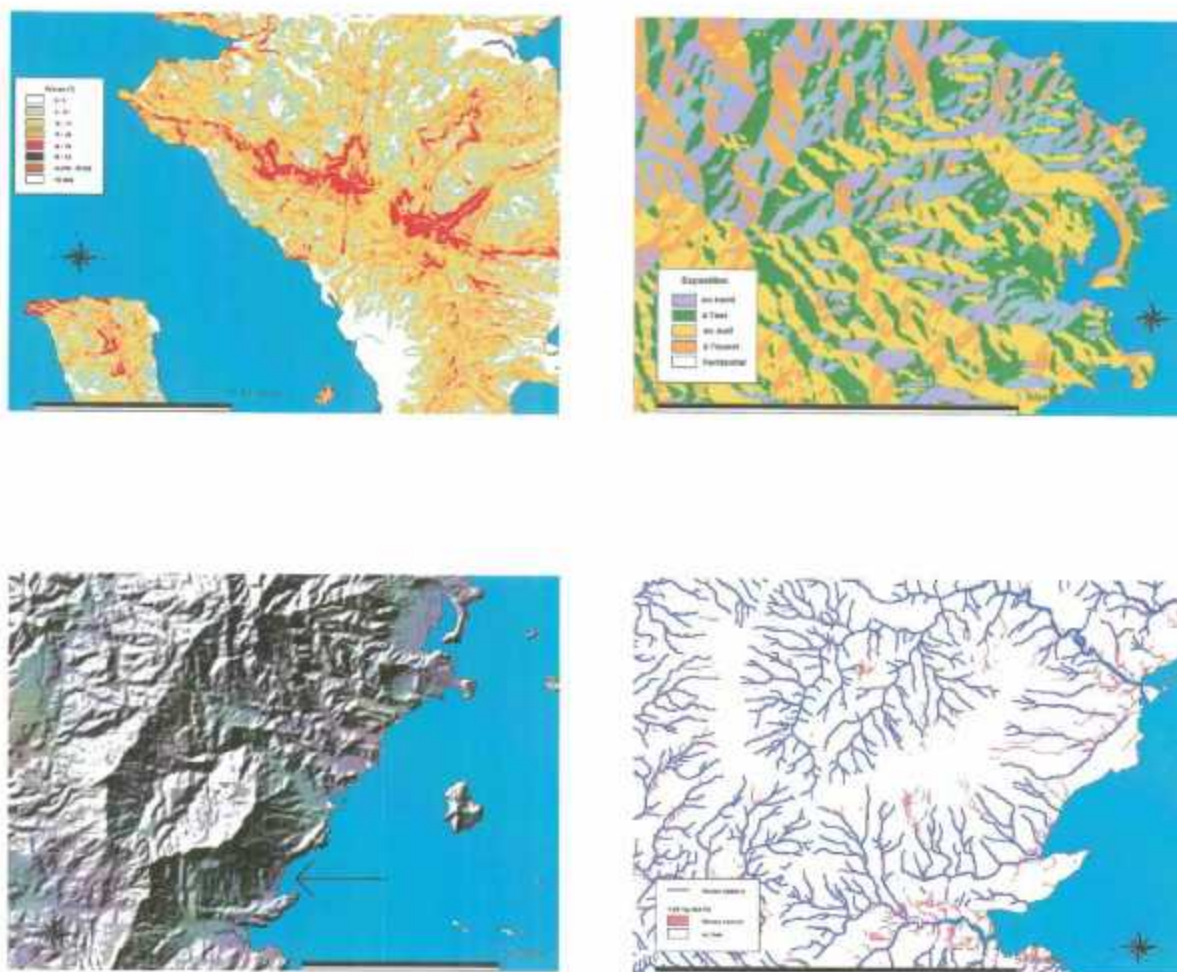


Fig. 3 – Exemples de produits dérivés du MNT

Ces cartes thématiques sont utiles pour tous les aléas naturels :

- en haut à gauche : carte des pentes en degrés (mouvements de terrain) ;
- en haut à droite : carte des expositions des versants (érosion) ;
- en bas à gauche : trace d'un ancien glissement de terrain (effets induits des séismes) ;
- en bas à droite : comparaison du réseau hydrographique observé et du réseau hydrographique calculé (inondations).

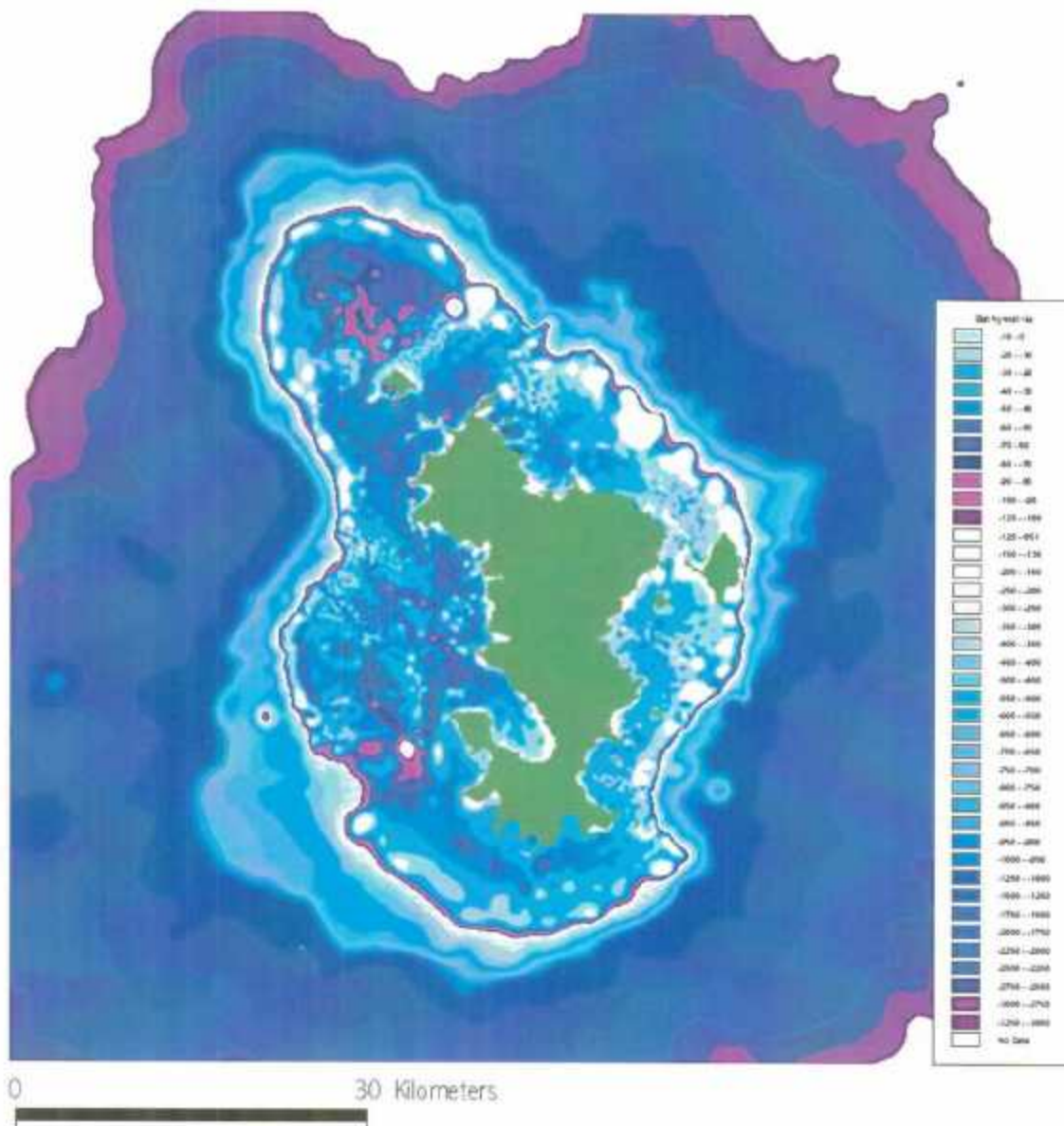


Fig. 4 – Carte bathymétrique numérique de Mayotte

Cette carte a été établie par numérisation, puis interpolation des points de sonde du SHOM. Elle met en évidence les structures sous-marines du lagon, ainsi que le relief de l'ensemble volcanique de Mayotte jusqu'à -3040 mètres qui est la profondeur du plancher océanique. Les structures linéaires de grande dimension (>30 km) sont interprétées comme des failles, les structures circulaires comme des cratères ou des cônes volcaniques.

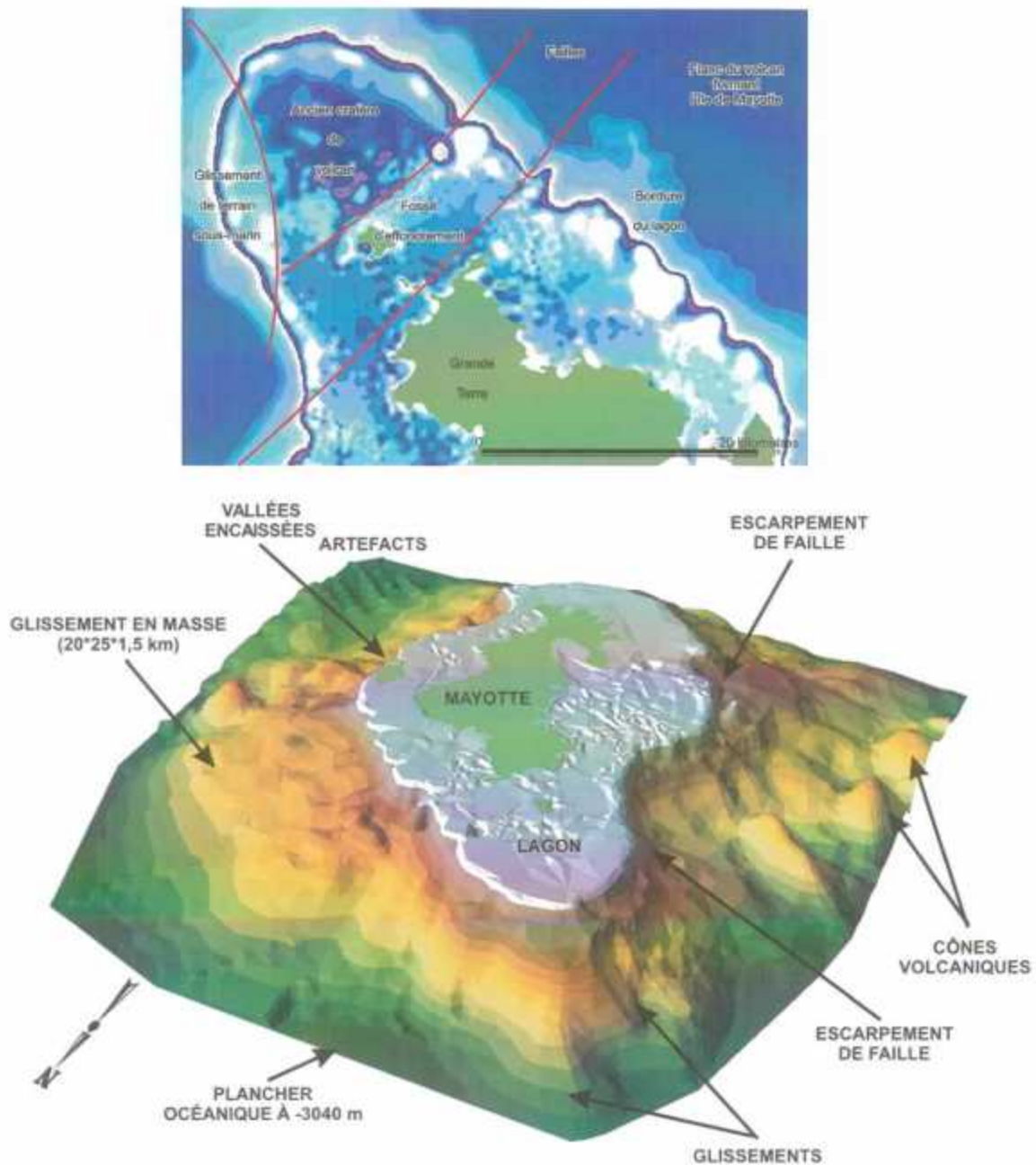


Fig. 5 – Produits dérivés de la bathymétrie numérique de Mayotte

- En haut : mise en évidence d'un fossé rectiligne d'origine tectonique, de failles, d'effondrements sous-marins et d'un cratère volcanique dans le NO de Mayotte.
- En bas : le passage en 3D confirme l'existence de petits cônes volcaniques perçant les reliefs sous-marins de Mayotte. On observe aussi (et surtout) des indices de glissements sous-marins ainsi que des failles dont la trace, encore nette, suggère qu'elles puissent être récentes.

En mars, le BRGM a également contacté le SHOM afin de collecter des informations océanographiques complémentaires sur Mayotte.

L'étude ciblée de la géologie pour la cartographie des aléas naturels, a débuté en novembre 2001. La cartographie géologique détaillée du littoral des communes de Mamoudzou et Koungou a été réalisée par D. Debeuf et P. Bachèlery, du Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion (Figure 6), dans le cadre d'une convention LSTUR-BRGM.

Une partie des levés de terrain a aussi été effectuée en commun avec la DAF/SER afin de partager les connaissances géologiques acquises par chacun. La synthèse de ces études a permis de dresser des coupes géologiques synthétiques de la commune de Mamoudzou (Figure 7). Ces coupes sont destinées à la modélisation sismique, à l'évaluation des effets de site et à la compréhension des phénomènes de glissements de terrain et d'érosion.

La synthèse bibliographique se poursuit. Nous avons rassemblé des publications scientifiques et des ouvrages BRGM concernant Mayotte de 1985 à 2001 (*fichiers Word disponible sur demande*). Nous recherchons plus particulièrement des données sur la quantification de l'érosion, sur la sédimentation et sur la bathymétrie du lagon. Afin d'échanger nos données, des contacts ont été pris avec le Groupement d'Intérêt Scientifique « Environnements marin et littoral de Mayotte » (Centre d'Océanologie de Marseille).

La recherche de documents d'archives sur les catastrophes naturelles à Mayotte a débuté en avril. Nous avons effectué des démarches auprès des Archives territoriales, des Archives orales⁶, auprès de la presse écrite et du Service interministériel de défense et de protection civiles de la Préfecture (SIDPC). Ces investigations sont longues car il n'y a pas encore d'inventaire ou de transcription numérique des archives.

Pour l'instant, nous avons pu récupérer des informations sur les inondations de 2001 et 2002, sur les cyclones de 1984 et 1985 et sur le séisme de 1993 (Cf. photos dans la notice générale, par exemple). Nous avons, en outre, bénéficié de l'aimable coopération de RFO (télévision) qui nous a fourni une copie de ses reportages sur les catastrophes naturelles à Mayotte depuis 1998 (*cassette VHS disponible sur demande*). Nous échangeons également des documents d'archives avec l'Association des naturalistes de Mayotte.

Une maquette de notice de présentation des risques naturels à Mayotte a été rédigée (Annexe 1). Elle présente l'essentiel des informations pour chaque type d'aléa naturel (définitions, exemples, prévention, etc.). Cette notice s'inspire de documents déjà réalisés par le BRGM aux Antilles et à La Réunion. Elle accompagnera chaque atlas et sera *enrichie au fur et à mesure* de l'acquisition de nouvelles données ou d'illustrations.

⁶ La langue mahoraise n'existe pas sous forme écrite ; afin de préserver la mémoire mahoraise, il a donc été nécessaire de retranscrire et de traduire les témoignages et les histoires. Cette opération a débuté en 1994 avec la création des Archives orales.

Un questionnaire d'enquête a été envoyé à tous les maires de Mayotte à la mi-mai. Il s'inspire des formulaires de l'ex-MATE ⁷ tout en étant adapté au cas de Mayotte (Annexe 2). Il s'agit de réaliser une collecte d'information sur les aléas observés qui nous permettra de guider ou de compléter notre cartographie de terrain et de réaliser une étude la plus exhaustive possible. À la rentrée 2002, nous passerons dans chaque mairie pour aider les collectivités à compléter ces documents et pour évoquer avec les services techniques, les désordres provoqués par les aléas naturels sur chaque commune.

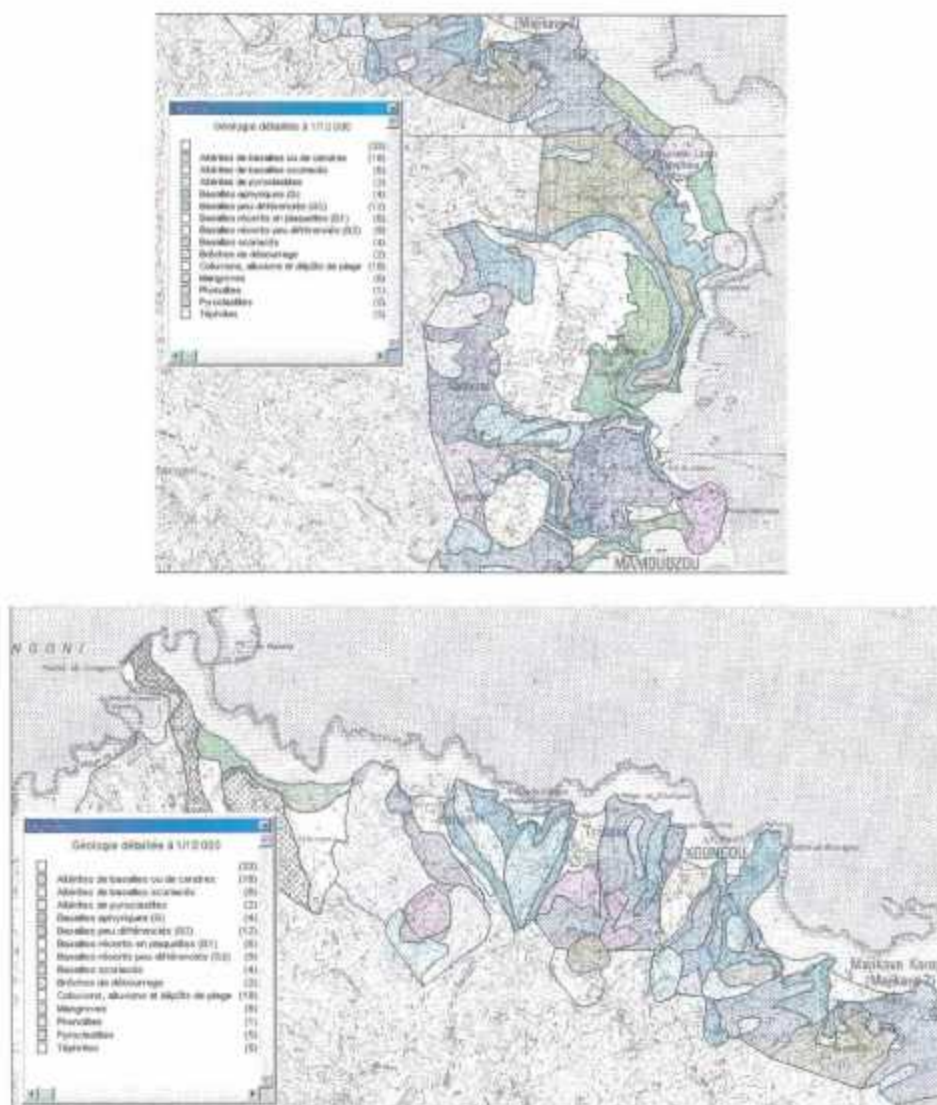


Fig. 6 – Géologie détaillée des zones urbaines de Mamoudzou et Koungou

Source : D. Debeuf et P. Bachèlery, LSTUR. Cette cartographie géologique est actuellement complétée, ce qui aura des implications sur l'évaluation et la cartographie de l'aléa mouvement de terrain et de l'aléa sismique.

⁷ Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

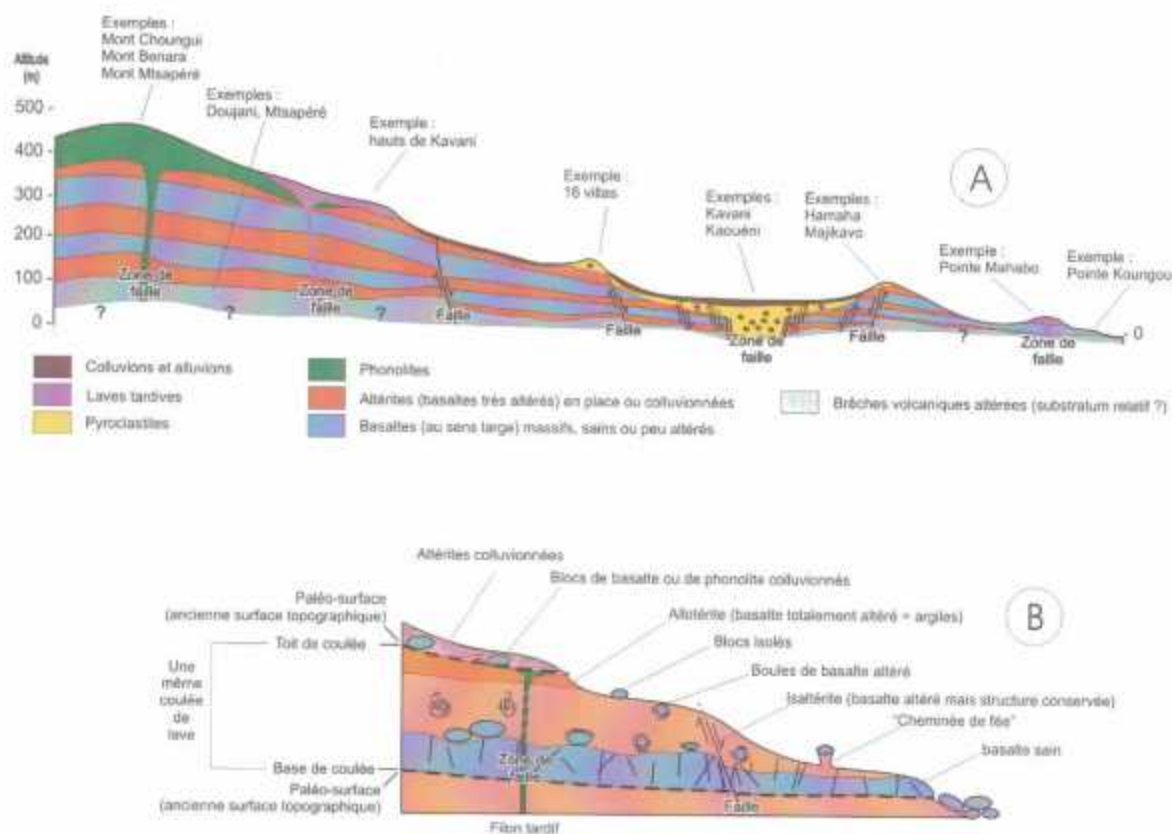


Fig. 7 – Coupes géologiques synthétiques

- A : coupe géologique schématisant les communes de Mamoudzou ou de Koungou. Cette coupe illustre l'alternance dans le sous-sol de roches saines et massives avec des roches totalement altérées en argiles.
- B : détail d'une zone d'érosion intense, appelée « padza » à Mayotte. Les padzas sont des bad-lands correspondant à des profils complets d'altération (altérites s.s.) des coulées de lave.

4. L'aléa mouvements de terrain

4.1 CARTOGRAPHIE

D'une manière générale, la cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » nécessite la prise en compte :

- des événements historiques ;
- des facteurs permanents déterminant la susceptibilité des matériaux au phénomène à considérer : géologie, lithologie, altération, fracturation, pente etc. ;
- des facteurs de déclenchement, ici anthropique, pluviométrique et sismique.

La cartographie des événements historiques a débuté à la saison des pluies 2001-2002. L'objectif est de cartographier tous les indices de mouvements de terrain, même dans les zones où cela a déjà été effectué, afin de disposer de cartes à jour et de réaliser un zonage homogène de l'île. Les périodes de fortes précipitations sont propices pour cartographier les conditions d'apparition des phénomènes. Quand cela est possible, nous cartographions l'emprise linéaire et surfacique des désordres, ce qui nous permet d'évaluer leur progression entre deux campagnes d'observations de terrain (1999 et 2002 pour Mamoudzou, par exemple). Nous avons également réalisé des photographies aériennes obliques depuis un avion volant à 450 et 250 m d'altitude. Ces prises de vues se révèlent très utiles pour la cartographie des mouvements de terrain (Figure 8), mais aussi des inondations.

Les observations sont reportées sur des orthophotoplans, sur des fonds SIG à 1/10 000 ou bien sur la carte IGN agrandie à 1/10 000 pour le confort de lecture. En cas de difficulté de positionnement, les observations sont géoréférencées par GPS (Figure 9). Nous cherchons également à distinguer les mouvements qui sont actifs ou anciens sur le terrain, des mouvements qui sont uniquement observés en photographie aérienne.

Ces observations sont ensuite numérisées et rassemblées dans une table MapInfo pour faire un SIG mouvements de terrain, ce qui permet d'avoir toutes les informations en cliquant sur l'indice à l'écran : type de mouvement, description, photo de l'observation le cas-échéant etc. (Figure 9).

4.2 TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Deux grandes familles de mouvements (appelées à être déclinées en sous-familles) sont mises en évidence à Mayotte à ce stade de l'étude :

- les chutes de blocs. Prises au sens strict (éboulement en milieu *rocheux*), elles ont été observées en bord de mer, en contrebas de coulées massives de basalte et dans les zones à phonolites (Figures B, C et I de la notice générale en annexe) ;
- les glissements de terrain, impliquant -ou pas- des blocs. En zone urbaine ou périurbaine, les glissements sont principalement observés dans les talus des routes et

des habitations (Figures A, D, E, G et H de la notice générale en annexe). Hors des zones urbaines, la morphologie des versants ou des padzas semble indiquer que des glissements se sont produits dans le passé (Figure I de la notice générale en annexe). Si on peut évaluer leur extension sur les photographies aériennes, par exemple, il n'en n'est pas de même pour leur profondeur par manque de connaissance géologique. L'érosion différentielle sur le littoral entraîne également des glissements et des chutes de blocs (Figure F de la notice générale en annexe). Ces glissements se manifestent ou s'accompagnent d'érosion, de fluage (= reptation) et de coulées de boue avec une propagation pouvant être importante. Tous ces mouvements peuvent entraîner des blocs ou les remettre en mouvement, que ce soit en milieu rocheux ou en milieu d'altérites.

Enfin, des phénomènes de laves torrentielles semblent possibles mais n'ont pas encore été observés.

Les conditions initiales favorables sont :

- les pentes : les pentes semblent tout juste à l'équilibre et toute accentuation est susceptible d'entraîner des mouvements ;
- la lithologie : les glissements semblent plutôt concerner les altérites, mais on ne peut pas encore dire s'ils sont plus liés à de la kaolinisation (origine hydrothermale) ou bien à la présence d'épais profils d'altérites argileuses rouges (origine climatique) ; il nous faut donc avancer dans la cartographie des formations superficielles, afin d'effectuer une analyse en retour des glissements. Les chutes de blocs apparaissent en contrebas des coulées ou des massifs de roches saines ;
- la fracturation et le plongement des formations vers l'aval des versants.

Les observations de terrain, ainsi que les produits dérivés du MNT (pentes et courbures par exemple), et les cartes thématiques permettront d'extraire les conditions initiales favorables aux mouvements de terrain (Figure 3).

Les facteurs de déclenchement sont :

- les précipitations abondantes sur une longue période (saison des pluies), les cyclones (pluies et vents déracinant les arbres et déstabilisant les pentes) et, semble t'il aussi, les secousses sismiques (séismes de 1829 ? et de 1993) ;
- l'intervention anthropique : elle est clairement identifiée dans de nombreux événements, en particulier dans les talus routiers, dans les décaissements en zone urbaine, dans les déblais (souvent instables) déposés sur les pentes et dans la non-maîtrise des eaux de ruissellement principalement en site urbain. Les défrichements avec ou sans brûlis sont un autre facteur de déstabilisation des sols.

4.3 ZONAGE PRELIMINAIRE

À ce stade du projet, il apparaît que le zonage de l'aléa réalisé par le BRGM en 1999 sur les communes de Mamoudzou, Koungou et Petite-Terre doit être actualisé, en particulier en site urbain, du fait de l'anthropisation qui modifie les facteurs permanents.

La cartographie des indices montre par ailleurs que de nouveaux indices sont apparus dans des zones considérées en 1999 comme des zones d'aléa faible (Cruchet et Rossi, 2000) et que les anciens indices se sont étendus. Les zones d'aléa moyen et fort ont également été modifiées par rapport aux cartographies antérieures. On observe une augmentation des superficies touchées par les phénomènes ainsi qu'une élévation du niveau d'aléa, en liaison directe avec l'urbanisation.

Nous n'avons pour l'instant réalisé qu'un zonage très préliminaire ; ce zonage évoluera avec l'avancement de la cartographie des formations superficielles et des événements historiques, comme avec la définition des critères d'aléa qui en résultera pour les différents types de phénomènes. Le croisement avec les cartes antérieures et les produits dérivés du MNT permettra de l'affiner (Figure 9).



Fig. 8 – Photographies aériennes obliques du littoral de Mayotte (28/06/02).

- À gauche, Passamaïnti depuis une altitude de 450 m ; observer les décapages dans les altérites rouges (conditions initiales favorables aux mouvements de terrain) et l'extension du bâti (quasi-inexistant sur les photos IGN de 1997) sur ces mêmes secteurs instables.
- À droite, Mamoudzou-center depuis une altitude de 250 m ; noter l'extension intra-muros des zones d'érosion dans les altérites argileuses rouges et l'extension du bâti précaire (là encore inexistant sur les photos IGN de 1997) sur les pentes très instables à l'arrière-plan.

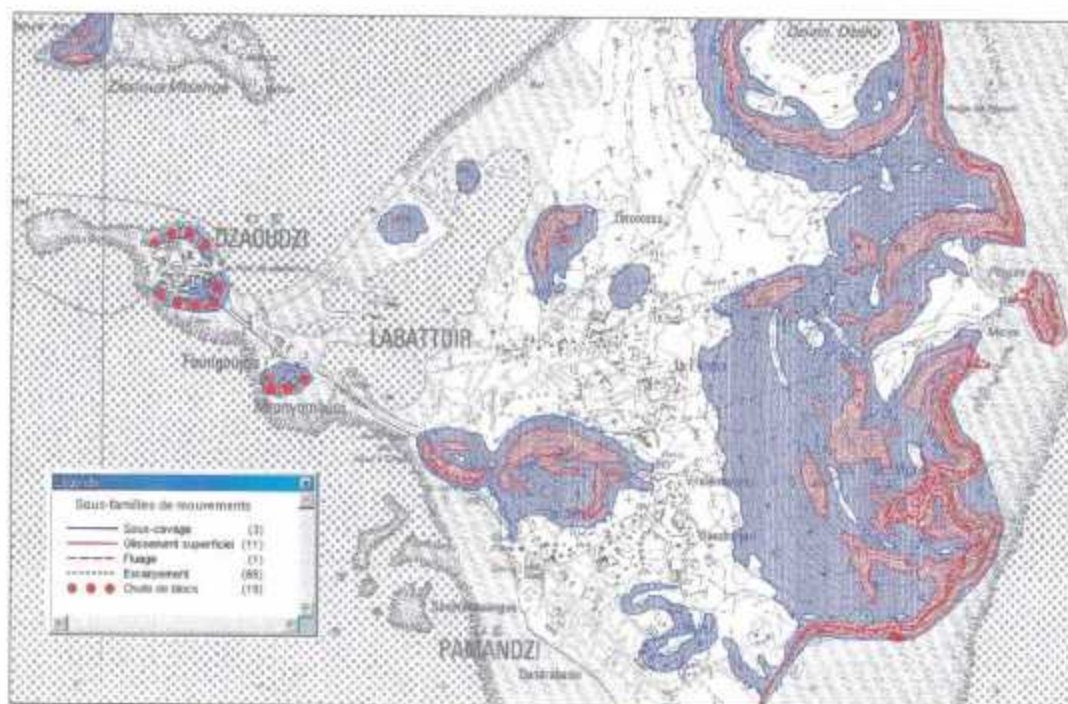
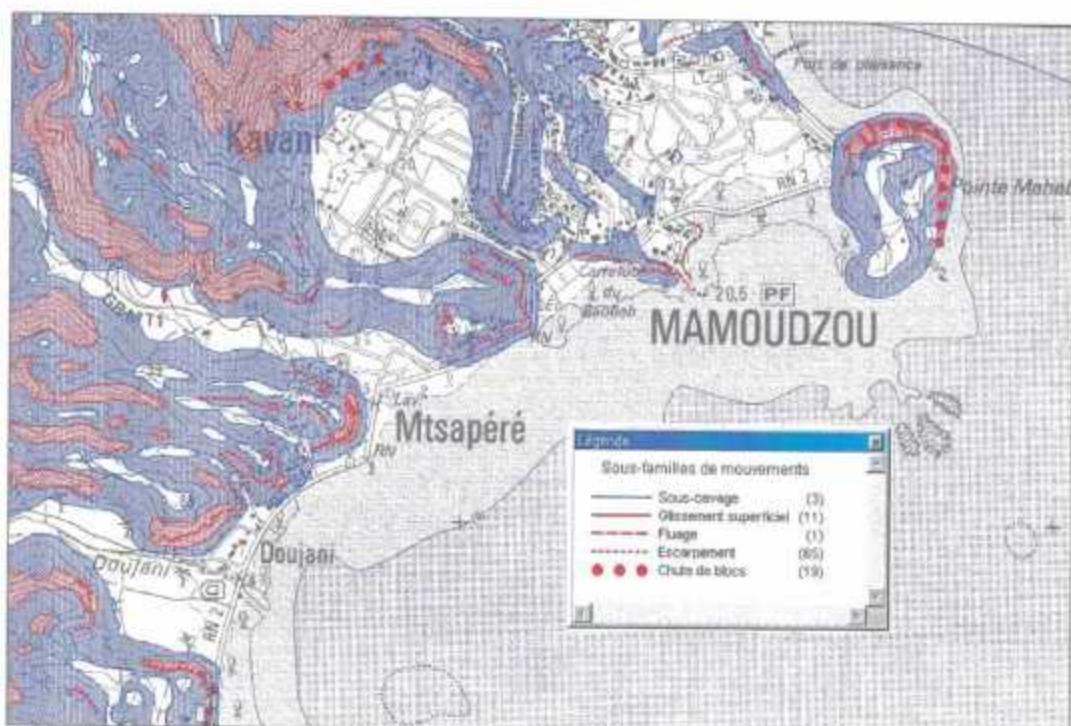


Fig. 9 – Exemple de zonage préliminaire de l'aléa mouvement de terrain.

Communes de Mamoudzou, Dzaoudzi et Pamandzi. Sur ce zonage provisoire, on observe le dépassement des indices hors des zones d'aléa moyen (zones bleues) ou fort (zones rouges). Ces indices sont liés à l'anthropisation qui modifie les conditions naturelles d'apparition des phénomènes ; cela élève le niveau d'aléa et sera pris en compte lors du zonage définitif.

5. L'aléa inondations

5.1 ÉTUDES PRELIMINAIRES

Des recherches de documents d'archives ont été faites (Cf. paragraphe 3.2). Pour le moment, nous n'avons trouvé de témoignages que pour les années 2001 et 2002. Nous recherchons toujours des documents sur les inondations de 1996 qui ont entraîné le décret de classement en Catastrophes Naturelles de plusieurs communes de l'île.

En janvier, puis en décembre 2001, des précipitations abondantes ont touché la ville de Sada. Des coulées de boue, des glissements de terrain et des éboulements ont été observés, des maisons ont été inondées et des murs de soutènement détruits (Source SIDPC).

En février 2002, des pluies abondantes (mais non exceptionnelles selon Météo-France) ont touché Mayotte. Nous citons quelques uns des dégâts observés.

Sur toute l'île, des coulées de boue (y compris au centre de Mamoudzou), des ravinements et des éboulements se sont produits sur les axes routiers ; des poteaux téléphoniques ou des murs de soutènement ont été couchés par les coulées. Des inondations ont touché les maisons particulières, les bâtiments publics (écoles, mosquées), la caserne de pompiers et la station de carburant de Kaouéni. Une personne, (par la suite rescapée) a été entraînée par une coulée boueuse à Kaouéni ; une passerelle en bois a été emportée par la rivière Majimbini à Mtsapéré et un pont s'est écroulé à Mtsangamouji. Les ravines ont rapidement gonflé et accumulé de l'énergie en raison des embâcles de débris ménagers et d'arbres.

En mars 2002, à Passamaïnti, des buses qui étaient installées dans le talus de la déviation en construction sur l'estuaire de la Gouloué, ont été rapidement (2 heures) obstruées par des branchages et des débris ménagers. La rivière Gouloué a immédiatement inondé son estuaire. Des hauteurs d'eau de 2 m ont été constatées par le SIDPC dans les maisons situées sur les berges de la rivière.

Des inondations sont également liées aux cyclones (Cf. paragraphe 7.2). On citera pour mémoire l'exemple de la rivière Koualé : le cyclone Kamisy en 1984 y avait généré des glissements de terrain. Ces éboulements n'ont pas été purgés et ont provoqué des crues encore plus importantes lors du passage de la dépression Feliksa en 1985.

5.2 CARTOGRAPHIE

Un travail préparatoire a été réalisé à partir de l'analyse des photographies aériennes de la mission IGN de 1997 restituées au 1/25 000. Lorsque des photographies aériennes antérieures détenues par des administrations (DAF/SEF par exemple) sont disponibles, nous recherchons les différences qui peuvent exister entre des époques différentes (évolution du lit de la rivière, différences de végétation et du bâti, etc.).

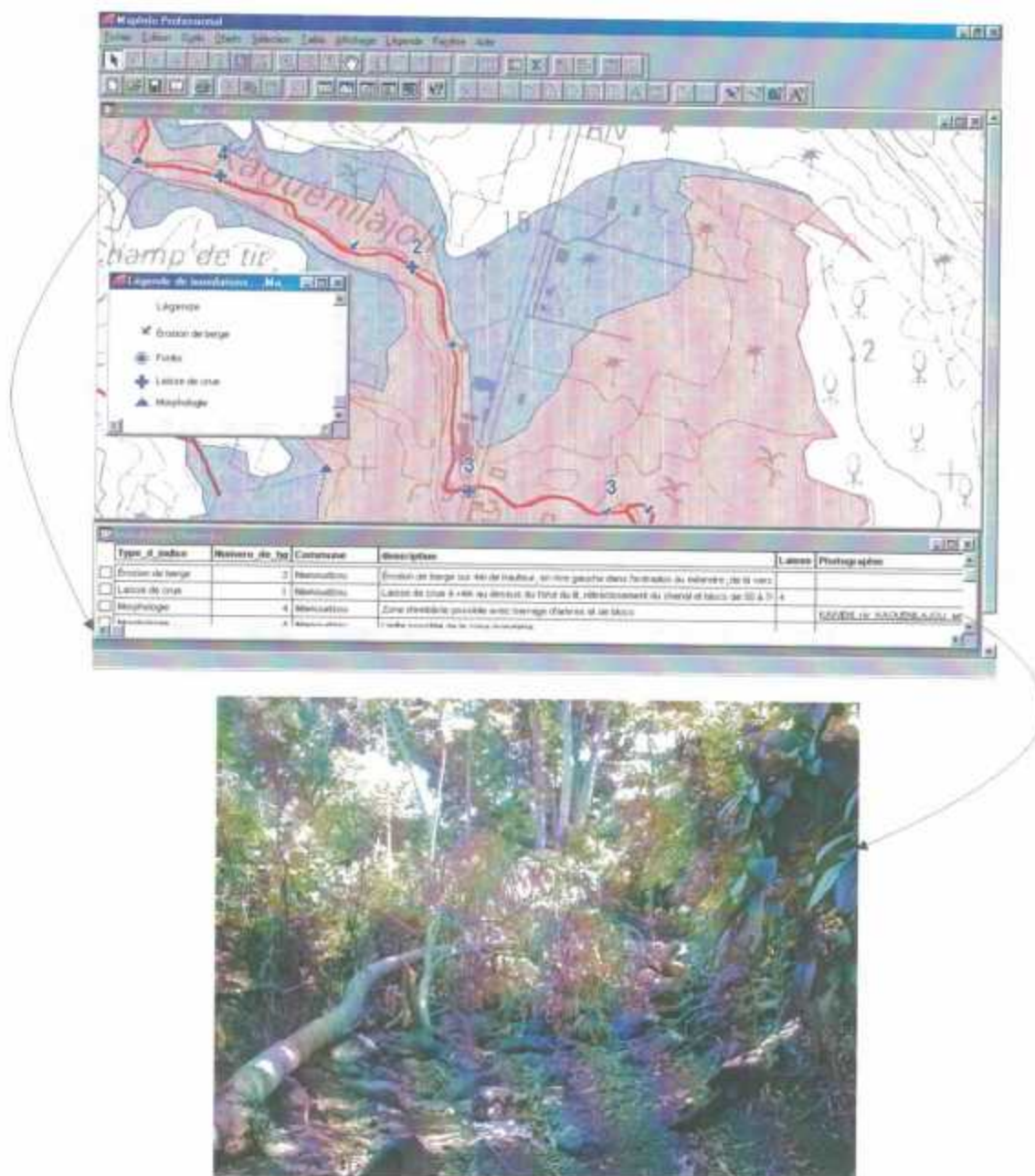


Fig. 10 – Exemple de SIG pour le zonage de l'aléa inondations

Tous les indices sont géoréférencés et classés suivant une analyse thématique, ce qui permet de distinguer le type d'indice (morphologie, laisse de crue, érosion de berge, etc.). Les chiffres correspondent aux hauteurs de crues (laisses de crues) par rapport au fond du lit mineur. Un clic de souris sur un indice fait apparaître toutes les informations qui y sont liées ainsi qu'une photographie de l'indice quand elle existe.

La cartographie des zones d'inondation a commencé sur les ravines des communes de Dembeni, Mamoudzou et Koungou. La démarche utilisée est l'approche hydrogéomorphologique recommandée par l'ex-MATE (2001). Cette démarche associe la cartographie des espaces alluviaux sur le terrain et l'analyse hydrologique. C'est une méthode qui semble bien adaptée à Mayotte où l'on ne dispose pas de données historiques ni de données hydrauliques suffisantes.

Des débits moyens de crues ont été estimés. Cette analyse fournit des ordres de grandeur pour chaque bassin versant. Elle s'établit en prenant en compte la taille du bassin, une quantité de 300mm/h de pluie correspondant à un événement exceptionnel (annuaire hydrologique de la DAF Mayotte pour 2000), un coefficient de ruissellement de 0,8 en zone imperméable (altérite, padza...) à forte pente et de 0,55 en zone de forêt et prairie (coefficients BCEOM 2001, p.5).

Les observations de terrain sont notées sur des cartes au 1/25 000 agrandies au 1/10 000 pour le confort de lecture (il n'existe pas de fond topographique au 1/10 000 pour Mayotte). Nous recherchons les laisses de crue, les zones d'embâcle avérées ou potentielles, les zones de chute de la vitesse de l'eau, les secteurs d'érosion de berge ou de glissement de terrain ainsi que les secteurs où les lits sont modifiés (travaux). Nous cherchons également à recueillir les témoignages de riverains ; malheureusement, ces témoignages doivent être pris avec beaucoup de précautions car les riverains craignent souvent d'être expulsés si ils se trouvent dans une zone inondable.

Les observations de terrain sont photographiées, géoréférencées puis rassemblées dans une table MapInfo. Une analyse thématique (Figure 10) permet d'avoir toutes les informations en cliquant sur l'indice à l'écran (type de mouvement, description, photo etc.). Nous avons aussi réalisé des photographies aériennes obliques depuis un avion volant à 450 et 250 m. Ces prises de vues se révèlent très utiles pour la cartographie des mouvements de terrain mais aussi des inondations (Figure 8).

Une fiche synthétique résume les observations faites sur chaque cours d'eau (Annexe 3).

5.3 ZONAGE PRELIMINAIRE

Les zones d'inondation et l'aléa sont tracés de façon qualitative (Figure 11).

Les lits mineurs et les zones d'inondations fréquentes (annuelles) ou de vitesse d'eau élevées sont cartographiées en niveau d'aléa fort. Le lit majeur, rarement inondé, et où l'on attend plutôt des vitesses d'écoulement faibles est cartographié en niveau d'aléa moyen. En cas d'épisodes pluvieux exceptionnels ou d'une modification importante de la morphologie du lit mineur, le lit peut dériver dans cette zone d'aléa moyen.

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

- la période de retour des crues ;
- la hauteur et la durée de submersion ;
- la vitesse d'écoulement ;
- la torrencialité du cours d'eau.

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres, autres que la quantité de pluie tombée : répartition spatiale et temporelle des pluies par rapport au bassin versant, évaporation et consommation d'eau par les plantes, absorption d'eau par le sol, infiltration dans le sous-sol ou ruissellement ... et pour une même quantité précipitée, une crue se produira ou non.

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale etc.), les débits et l'intensité étant d'autant plus importants que la période de retour est plus longue.

Par ailleurs, les dégâts occasionnés par une inondation dépendent de plusieurs facteurs :

- la hauteur de submersion ;
- la durée de submersion ;
- les vitesses d'écoulement ;
- le volume de matière solide transporté ;
- l'érosion des berges.

Ce zonage qualitatif et préliminaire sera complété par l'analyse hydraulique qui sera réalisée au cours du second semestre 2002. Le zonage sera également contrôlé lors de la saison des pluies de fin 2002-début2003.

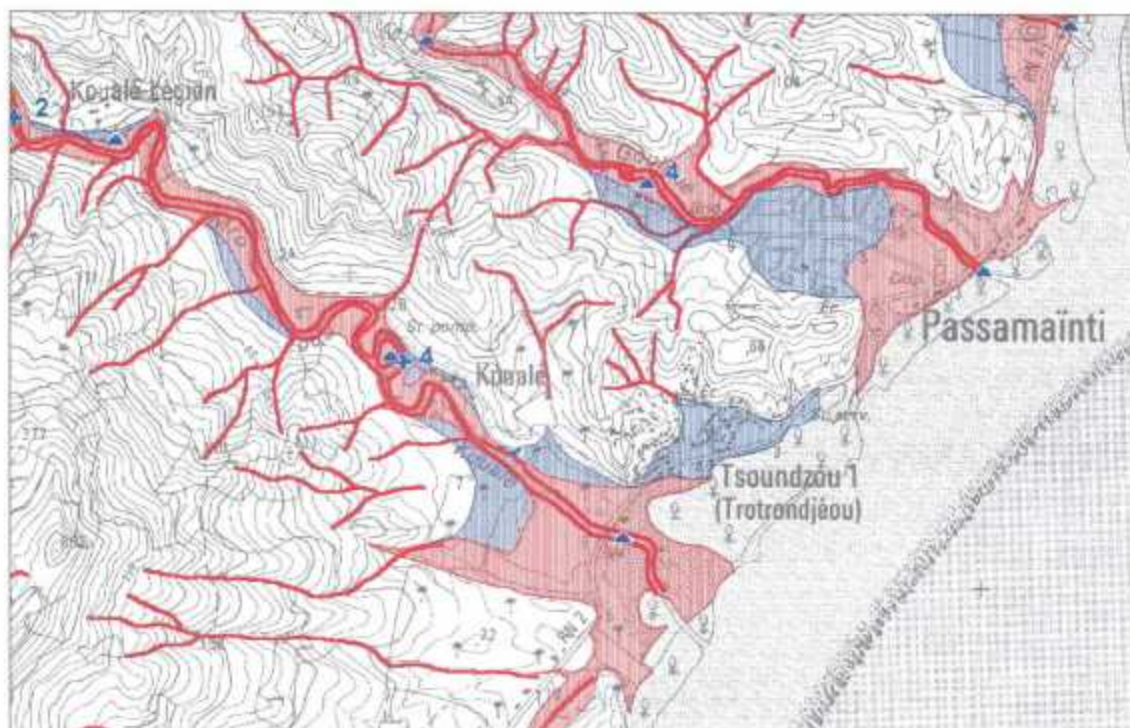


Fig. 11 – Exemples de zonages préliminaires des zones d'inondation

Zonage provisoire de la commune de Mamoudzou : quartiers Tsoundzou et Passamaïnti.

- Les lits mineurs et les zones d'inondation fréquentes ou de vitesse d'eau élevée sont cartographiées en niveau d'aléa fort (en rouge).
- Les lits majeurs, rarement inondés, et où l'on attend plutôt des vitesses d'écoulement faibles sont en niveau d'aléa moyen (en bleu). Les chiffres correspondent aux hauteurs des laisses de crues par rapport au fond du lit mineur.

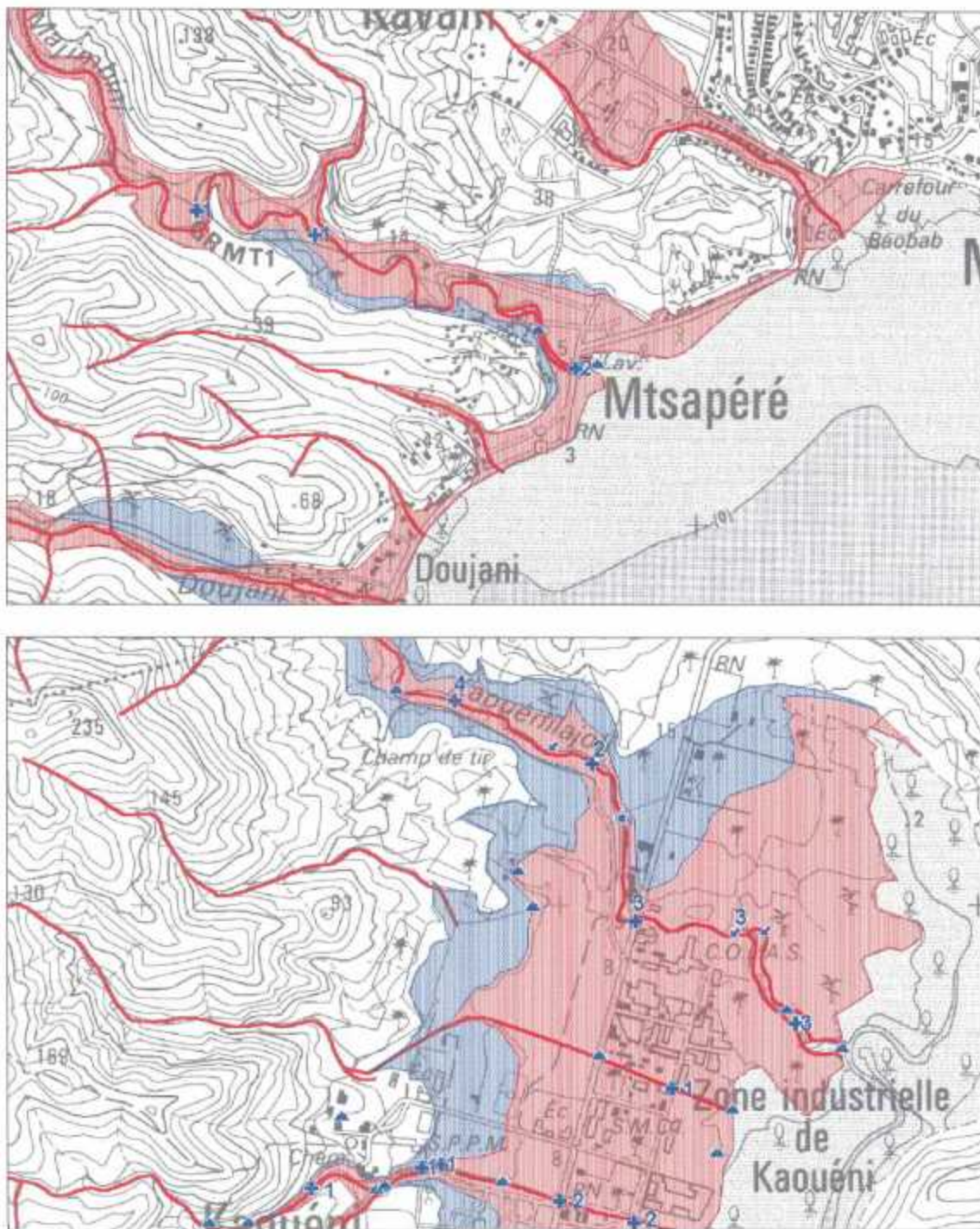


Fig. 11 – suite

Zonage provisoire de la commune de Mamoudzou : quartiers Mtsapéré, Doujani et Kaouéni.

6. L'aléa sismique local

6.1 RAPPELS SUR L'ALEA SISMIQUE REGIONAL

L'aléa sismique régional de Mayotte a été étudié par le BRGM en 2000 (Terrier *et al.*, 2000). Cette analyse régionale présente le contexte tectonique de Mayotte et l'origine probable des séismes. La sismicité de l'archipel des Comores est probablement liée à la déformation du continent africain. L'ouverture du Rift Est-africain se poursuit en mer suivant la ride de Davie, une ancienne faille transformante. La déformation semble maintenant déborder la ride de Davie pour progresser vers le sud-est, c'est à dire vers les Comores et Madagascar (la zone de déformation active s'étend). Il est donc probable que les anciennes failles du bassin des Comores ou même de Madagascar soient peu à peu remises en activité.

Les ruptures sur les failles se traduisent par une sismicité modérée mais persistante dans l'archipel des Comores ; la Figure 12 illustre la sismicité enregistrée par le National Earthquake International Center (NEIC, États-Unis) dans un rayon de 500 km autour de Mayotte entre 1985 et 2002 (les séismes situés à plus de 500 km ne sont pas pris en compte car ils ne peuvent pas générer de fortes secousses à Mayotte).

Des calculs de mécanismes au foyer (le mécanisme est le type de mouvement sur les failles) ont été effectués sur certains enregistrements par le NEIC. Aux Comores, ils traduisent une distension, c'est à dire une ouverture E-O (Figure 12) suivant des failles orientées N170° comme la ride de Davie.

Nous observons des failles de même orientation dans les fonds marins de Mayotte (Figure 13). Une hypothèse préliminaire, mais non argumentée pour le moment, suggère que les failles de direction N170° situées à l'ouest de Mayotte soient aussi actives et responsables des séismes de Mayotte.

Des mouvements sismiques de référence (c'est à dire des spectres de réponse élastique et des valeurs d'accélération utiles à la protection parasismique) ont été déduits de l'évaluation de l'aléa sismique régional (Terrier *et al.*, 2000). Ce sont des valeurs préliminaires, calculées « au rocher horizontal affleurant », qui ne tiennent pas compte des conditions locales de site.

Nous rappelons ici les résultats de cette analyse :

- l'intensité du Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable (SMHV) est de VII-VIII MSK. Les spectres de réponse élastique correspondant à ce séisme fournissent une accélération horizontale de 0,16g (source à 10 km) et 0,045 g (source à 60 km).
- l'intensité du Séisme Majoré de Sécurité est de VIII-IX MSK. Les spectres de réponse élastique fournissent une accélération horizontale de 0,25g.

6.2 LES DEGATS DU SEISME DE 1993

Le séisme du 1^{er} décembre 1993 avait une magnitude « moyenne » de 5.2. Son épicentre était situé à 40 km à l'ouest de Mayotte (Figure 12) ; l'intensité épacentrale avait été estimée à VII-VIII MSK (Terrier *et al.*, 2000).

Nous avons pu recueillir au SIDPC et dans les diverses archives de Mayotte quelques documents qui nous informent sur les dégâts occasionnés par ce séisme.

Les dégâts les plus importants ont été relevés dans le nord et le sud de l'île, mais aucun décès n'a été à déplorer (Source SIDPC). Pour les habitations privées qui étaient touchées, la moitié des maisons en dur était à reconstruire (fissures trop importantes) et toutes les cases traditionnelles en torchis étaient à reconstruire. Pour les bâtiments publics, le SIDPC note que les effondrements ou les risques d'effondrement ont été plus rares : la mosquée de Bandraboua, le dispensaire de Kani-Kéli, le collège de Petite-Terre et la gendarmerie de Dzaoudzi. Des fissures ont été relevées au centre d'émission des Badamiers, au collège de Doujani et de Dzoumonyé, à la Direction de l'Enseignement, à la Préfecture et au Centre d'Hébergement de Mamoudzou et dans les mosquées de M'tsangamouji et de Chembenyoumba. Aucun dégât n'a été observé sur les ouvrages d'art.

Un glissement de terrain a été observé à Passamaïnti, une semaine après ce séisme (Journal de Mayotte du 08/12/93) : la secousse a déstabilisé « une montagne » (nous ne l'avons pas encore localisée) et les pluies abondantes ont fini par l'effondrer, occasionnant des dégâts, mais pas de victime. Ces glissements ne semblent pas exceptionnels à Mayotte, en mer comme à terre. Par exemple, Thomassin (1999), se basant sur des documents d'archives, rapporte qu'un séisme a eu lieu en 1829 ; ce séisme aurait entraîné l'effondrement de la montagne de Maevadoani au sud de Tsoundzou II. Les observations réalisées sur le MNT dans le cadre de ce projet (Figures 3 en bas à gauche) semblent confirmer cette théorie.

Au total, le séisme a généré 11 MF de dégâts (1,7 M€) sur le territoire de Mayotte, à 90% pour les habitations privées et 10% pour les bâtiments publics.

Le séisme le plus récent a eu lieu le 23 septembre 2001. Ce séisme était de faible magnitude ($M_b = 3.7$) et son épicentre était situé à environ 50 km au N de Mayotte. Il a été ressenti de manière fort différente en divers points de Mayotte. Aucun dégât n'a été relevé.

Consécutivement, une enquête macrosismique⁸ a été effectuée par le BRGM à la demande du SIDPC et pour le compte du Bureau Central Sismologique Français en octobre 2001 (Annexe 4). L'enquête réalisée auprès des collèges et lycées, via le vice-rectorat de Mayotte, a confirmé que les habitants de Mayotte ont perçu les secousses de manière différente selon l'endroit où ils étaient installés (phénomène d'effet de site). Les résultats complets de cette enquête sont en cours de dépouillement à l'Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg.

⁸ En France, après chaque séisme, le Bureau Central Sismologique Français (basé à Strasbourg) réalise une enquête sous forme de questionnaire auprès des habitants de la région qui a été touchée par le séisme. Les réponses au questionnaire permettent de dresser une carte qui représente les effets du séisme tels qu'ils ont été perçus par les habitants.

6.3 METHODOLOGIE D'ÉVALUATION

La méthodologie d'évaluation initialement envisagée pour l'aléa sismique local a donc été modifiée avec l'accord du Comité de pilotage du projet afin de prendre en compte ces nouvelles observations. En effet, le recueil de témoignages et l'enquête macrosismique ont suggéré l'existence d'effets de sites. Cela signifie que pour un même séisme, les effets (et donc les dégâts) peuvent être très différents d'un site à l'autre car les ondes sismiques subissent une amplification en fonction de la géologie superficielle et de la topographie. Des données géotechniques complémentaires ont été recueillies auprès du bureau d'étude SEGC de Mayotte (Figure 14), mais elles sont malheureusement peu nombreuses.

Une campagne d'acquisition sismique a été décidée, afin :

- d'évaluer les réponses du sol dans des sites stratégiques en cas de crise ;
- de pallier au manque de données géotechniques⁹ ;
- de connaître les réponses du sol dans des configurations géologiques typiques de Mayotte (argiles, mangroves, remblais etc.) et donc de définir des zones de réponse sismique homogène ;
- d'établir un modèle géotechnique de Mamoudzou.

Les méthodes « SASW » (analyse spectrale des ondes de surface) et « H/V » (rapport des composantes horizontales/verticales du bruit de fond sismique) ont été choisies ; le principe de chaque méthode est détaillé dans le cahier des charges du projet (BRGM, 2002). En résumé, la méthode SASW permet d'accéder aux caractéristiques géomécaniques des formations géologiques superficielles et la méthode H/V permet en première approche de déterminer en chaque point la fréquence propre du sol. C'est à cette fréquence de résonance que l'amplification de l'accélération sera maximale.

Des analyses granulométriques sont en cours au BRGM en métropole afin de déterminer le potentiel de liquéfaction des sables relevés dans des sondages de Kaouéni (Lachassagne *et al.*, 2000).

Les mesures ont été réalisées en mai sur l'ensemble du territoire de Mayotte. Nous avons représenté sur la Figure 15 l'emplacement des 33 profils SASW et des 62 points de mesures H/V. Les points 2, 23, 26, 30 et 31 ont servi de points de calage car des forages carottés et des sondages électriques y avaient été pratiqués lors d'études antérieures (Lachassagne *et al.*, 2000). Des démarches ont été effectuées pour obtenir des autorisations d'accès et de mesures sismiques sur les sites stratégiques : dépôt d'hydrocarbures des Badamiers, futur terminal gazier de Longoni, quai principal de Longoni, aéroport, préfecture, commandement militaire de Mayotte. Des sites civils à enjeux (dispensaires, collèges, mosquées etc.) ont également été choisis pour les mesures. En fin de campagne, le BRGM (en accord avec la DE) a informé les responsables des sites stratégiques des résultats qualitatifs des mesures afin de les sensibiliser au risque sismique qui n'est pas négligeable à Mayotte.

⁹ Seul le bureau d'étude SEGC nous a fourni des données géotechniques sur Mayotte.



Fig. 14 – Localisation des données géotechniques fournies par SEG C

Ces données géotechniques superficielles nous permettent d'affiner l'évaluation de l'aléa sismique local.

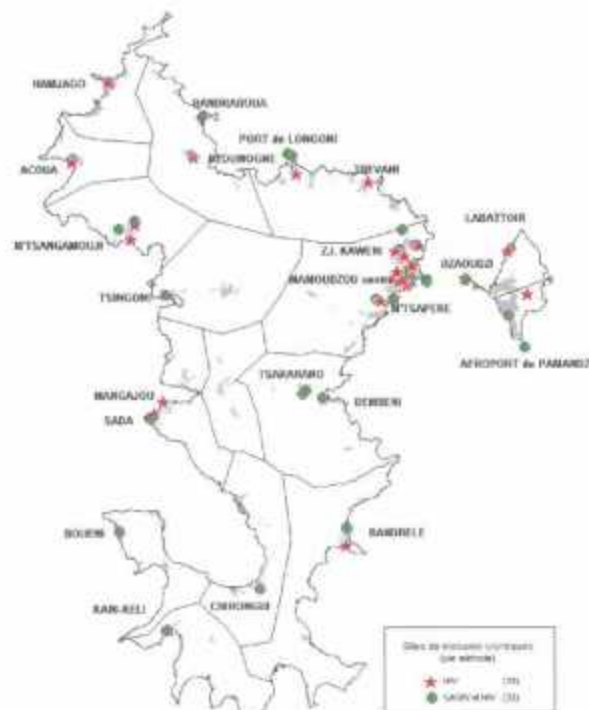


Fig. 15 – Sites de mesures Sasw et h/v de la campagne de mai 2002

Les mesures ont été effectuées sur des sites stratégiques en cas de crise et sur les différents contextes de sols rencontrés à Mayotte. Des mesures ont également été effectuées sur des sites qui avaient été dégradés par le séisme de 1993.

6.4 PREMIERS RESULTATS

Les résultats définitifs ne sont pas encore disponibles (traitement long) et nous ne présentons ici que quelques enregistrements (Figure 16). Sur les profils SASW, l'axe des abscisses indique la valeur de la vitesse de propagation des ondes S et l'axe des ordonnées indique la profondeur associée. Sur les courbes H/V, l'axe des abscisses indique la (ou les) fréquence(s) de résonance associée(s) au site sous-jacent et l'axe des ordonnées donne l'ordre de grandeur de l'amplification attendue.

- Point 1 : bordure nord du cratère de Kaouéni (Mamoudzou)

Le profil SASW indique des vitesses V_s fortes (supérieures 600 m/s) et donc un milieu assez rigide au sens sismique.

Le rapport H/V indique une première fréquence de résonance vers 0.8Hz, certainement issue de la mise en résonance de la couche géologique recouvrant le substratum sismique. Les faibles amplitudes témoignent de l'absence d'un contraste violent d'impédance entre les couches géologiques (confirmé pour les couches superficielles par SASW). Il s'agit donc certainement d'un lieu non soumis aux effets de site lithologiques.

- Point 40 : remblai de la nouvelle déviation de Mtsapéré (Mamoudzou)

Le profil SASW indique des vitesses V_s faibles (vers 200 m/s) et donc un milieu très meuble et homogène.

Le rapport H/V indique une fréquence de résonance vers 2Hz, certainement issue de la mise en résonance de la couche géologique recouvrant le substratum sismique. La forte amplitude témoigne d'un contraste violent d'impédance avec le substratum sismique. Cette fréquence va nous permettre de calculer l'épaisseur de la couche meuble par un modèle tabulaire. Il s'agit d'un lieu soumis à un effet de site lithologique important.

- Point 10 : préfecture de Mamoudzou

Le profil SASW indique des vitesses V_s faibles en surface (vers 250 m/s), puis plus rapides avec la profondeur jusqu'à un milieu assez rigide (vers 500 m/s).

Le rapport H/V indique une fréquence de résonance vers 2.5 à 3Hz. L'amplitude du pic associé témoigne d'un effet de site moyen (lithologique et/ou topographique).

- Point 61 : jardin de l'école devant le dispensaire de Kani-Keli (dégâts observés suite au séisme de 1993).

Le profil SASW indique des vitesses V_s en augmentation progressive avec la profondeur jusqu'à un milieu assez rigide (vers 900 m/s).

Le rapport H/V indique une fréquence de résonance vers 6Hz. L'amplitude du pic associé témoigne d'un effet de site très important (lithologique et/ou topographique).

- Point 8 : bordure nord du stade de Kavani (Mamoudzou)

Le profil SASW indique une alternance de couches géologiques V_s lente (inférieure à 200m/s) et très lente (inférieure à 100m/s). Cette alternance de contrastes de vitesse semble indiquer un remplissage hétérogène du cratère.

Le rapport H/V indique une fréquence de résonance vers 1Hz qui n'est pas due aux fines couches mises en évidence par la méthode SASW, mais plutôt à la résonance

d'une couche plus épaisse que l'on peut associer au remplissage du cratère de Kavani. Cette résonance permettra d'estimer la profondeur du cratère à ce point. L'amplitude du pic associé témoigne d'un effet de site lithologique très important.

- Point 62 : Hôpital de Mamoudzou.

Ce résultat particulier a été communiqué début juin à la DE de Mayotte car des travaux d'extension du centre hospitalier vont débuter avant la fin de l'année.

Le rapport H/V indique deux fréquences de résonance : 0.7 et 2.5 Hz.

La fréquence de résonance de 2.5 Hz semble produire l'amplification la plus importante. Il faut donc tenir compte de ces fréquences pour établir la réponse du sol en cas de séisme. Le rapport H/V présenté n'est valable qu'à l'endroit ponctuel du point de mesure et non pas à l'ensemble du site de l'hôpital. Seule une étude complète du site permettrait d'en déduire la réponse spatiale.

6.5 ZONAGE PRELIMINAIRE

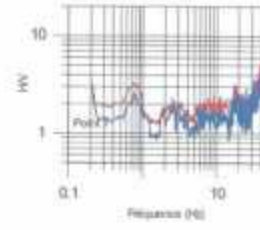
Un zonage préliminaire a été effectué à partir de la seule lithologie (Figure 17), en se basant sur la méthodologie en vigueur en métropole (AFPS, 1993). Une classification « mécanique » de chaque formation géologique a été effectuée selon le guide méthodologique de l'AFPS (formations a, b, c et r). Puis, les formations ont été associées en colonnes de sols, ce qui a permis de les rassembler en quatre types (S0 ... S3) de sites, chaque type correspondant à un comportement mécanique prévisible (Figure 17).

Ce zonage provisoire est actuellement en cours de vérification par simulation numérique.

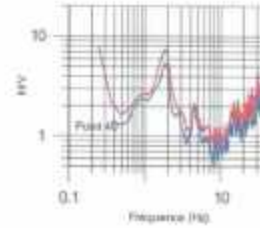
En effet, les mesures SASW et H/V acquises pendant la campagne de mai 2002 sont utilisées pour simuler les réponses des sols pendant un séisme de projet (calculs sous Cyberquake ©BRGM). En sortie, un spectre de réponse élastique sera associé à chaque colonne de sol représentative d'une zone à Mayotte.

La simulation en cours suggère que les réponses des sols sont très variées ; il est donc probable que le zonage préliminaire sera modifié ; il sera mieux adapté au contexte géologique particulier de Mayotte et plus complexe que ce que décrit le zonage standard de l'AFPS 1993.

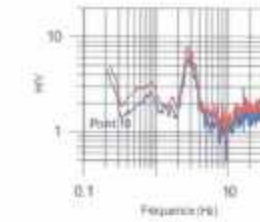
Point 1 : bordure nord du cratère de Kaoueni (Mamoudzou)



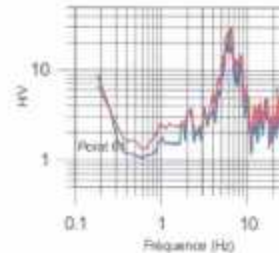
Point 40 : remblai sud à Mtsapère (Mamoudzou)



Point 10 : préfecture (Mamoudzou)



Point 61 : dispensaire de Kali Keli



Point 8 : bordure nord du stade de Cavani (Mamoudzou)

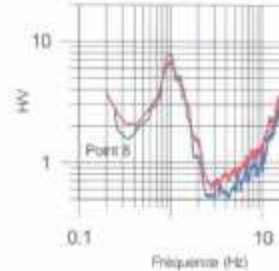


Fig. 16 – Résultats préliminaires des mesures Sasw et h/v

Ces résultats sont essentiels pour l'évaluation de l'effet de site à Mayotte. Les sites de mesures sont dans la colonne de gauche, les mesures SASW dans la colonne centrale et les mesures H/V dans la colonne de droite ; voir les commentaires dans le texte.

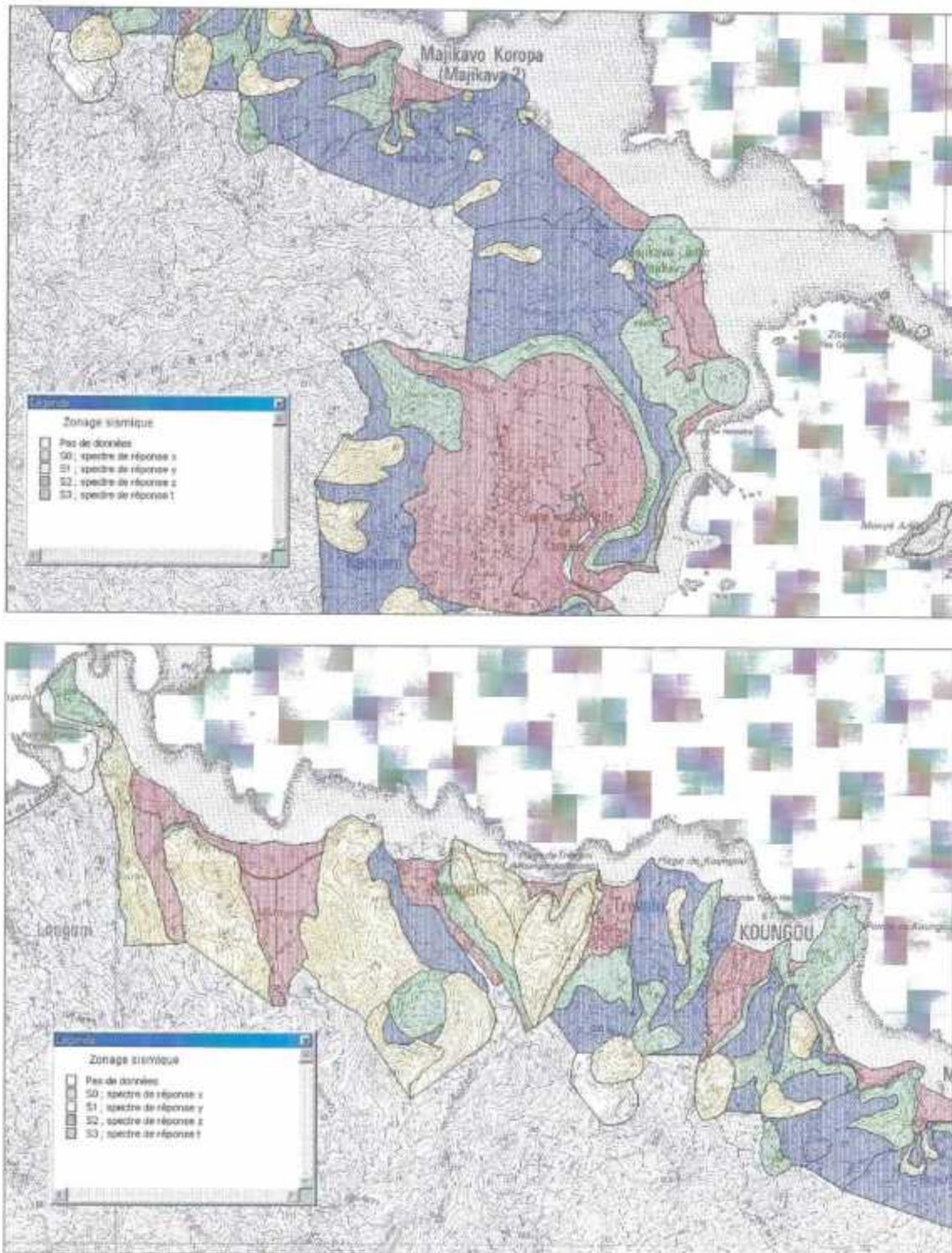


Fig. 17 – Zonage sismique provisoire de Mamoudzou nord et de Koungou

Ce zonage est basé sur la méthodologie de l'AFPS (1993) ; il sera modifié par les résultats des mesures Sasw et H/V ainsi que par les simulations de réponses des sols effectuées sous Cyberquake (© BRGM).

7. L'aléa cyclonique

7.1 CALCUL DE LA SURCOTE MARINE

La Division Marine et Océanographique de Météo-France à La Réunion a commencé début juin l'évaluation des surcotes marines liées aux cyclones sur le littoral de Mayotte. Les résultats des simulations de surcotes à Mayotte seront fournies par Météo-France au BRGM sous la forme d'une grille avec une valeur de surcote par point de grille. Le pas choisi en fonction de la bathymétrie disponible est de 12 secondes en longitude/latitude, soit environ 370 m. Le rapport final sera remis par Météo-France au BRGM en avril 2004.

7.2 DEGATS LIES AUX CYCLONES A MAYOTTE

Nous avons effectué en parallèle des recherches documentaires, afin d'évaluer les dégâts liés aux cyclones à Mayotte. En raison de sa latitude élevée et de la « protection » de Madagascar, on pourrait supposer que Mayotte soit épargnée par les cyclones. Pourtant une compilation (encore incomplète) de données de diverses origines suggère que 11 cyclones ou dépressions tropicales intenses¹⁰ auraient touché Mayotte depuis 1858 (Figure 18) et généré des dégâts (Figure 19).

Année	Nom	P hPa	Vents km/h	Précipitations mm/24h	Observations
1858					destructions importantes
1898					destructions des plantations de canne à sucre (Encyclopedia Britannica, 1911)
1900					pas de renseignements précis
1934	« Disséli »	972	Raf. 150-160		<i>Voir détails ci-après</i>
1953		977	> 100		Passage W de Dzaoudzi
1969	Corine	976	95-100		Passage entre Anjouan et Pamandzi
1976	Clotilde	990	Raf. 112		Passage à l'E de Mayotte
1982	Bénédicte		61-76	155	Passage à 90 km au SE de Mayotte
1984	Kamisy	985	115-148	166	<i>Voir détails ci-après</i>
1985	Feliksa	995	97-126	233	<i>Voir détails ci-après</i>
1990	Hanta	1005	70	Maxi : 388	

(Sources : Direction de la Météorologie 1984 et 1985, Delaygue-Cheyssial 1990, Archives orales 1998, Haugomat, 2000 ; Météo-France 2002)

¹⁰ Les vents sont >87km/h pour une dépression tropicale intense et sont >117 km/h pour un cyclone.

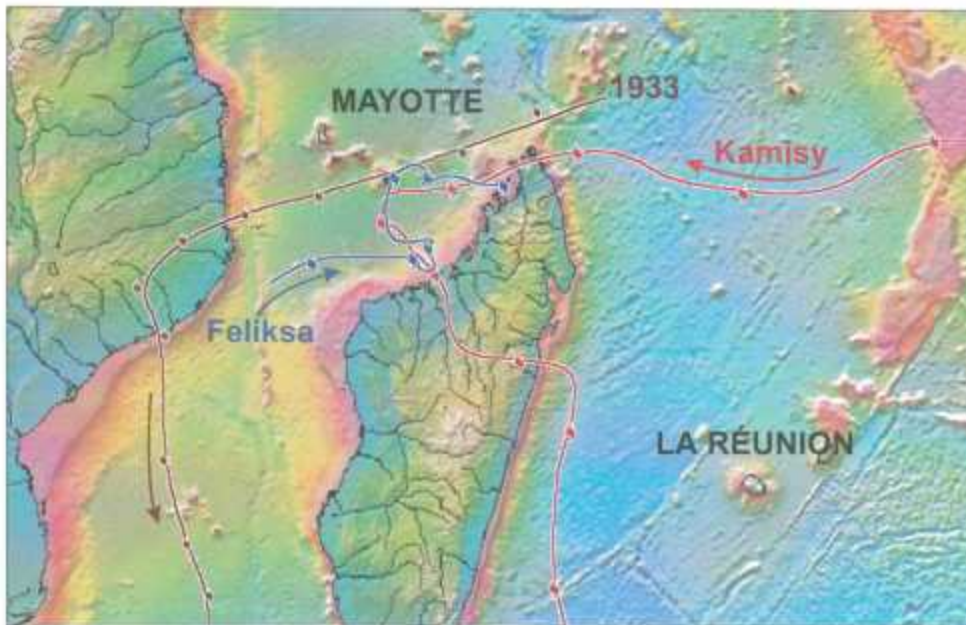


Fig. 18 – Routes des cyclones connus ayant entraîné des destructions à Mayotte
Les cyclones ou dépressions tropicales Disséli (1934), Kamisy (1984) et Félikxa (1985), ont entraîné des dégâts dépassant à l'époque 160 M^F (Kamisy) soient 24 M€.



Fig. 19 – Dégâts dans un lotissement de Sada après le passage de Kamisy en 1984
Les cases traditionnelles sont à terre et les toitures métalliques des maisons en dur ont été emportées (Source Météo-France, 1984).

Le cyclone Disseli de 1934 : les témoignages évoquent des « pluies salées » ainsi que des « feux follets » (?). Des rafales à 250 km/h auraient été relevées à Dzaoudzi qui aurait été rasée à l'exception de la « Résidence » du préfet. Les villages de Mtsapéré, Pamandzi, Bouéni et Mzouazia auraient aussi étaient détruits ; les ravages dans les cultures ont entraîné une famine. Le cyclone a été nommé en « hommage » à M. Disseli, colon de l'époque qui a mis en place l'aide alimentaire à Mayotte ; le nom international du cyclone est XXXX934509 (site internet de Météo-France).

Le cyclone Kamisy (10 au 11 avril 1984) est le plus fort et le plus récent qui ait fait l'objet d'enregistrements à la station météorologique de Pamandzi ; il constitue donc la référence actuelle pour les cyclones à Mayotte.

Le centre du cyclone est passé à seulement 60 km au SSE de Dzaoudzi le 10 avril à 11h45 puis à 25 km au sud de Grande-Terre quelques minutes plus tard. Sa vitesse de déplacement était très lente (6 à 8 km/h) ce qui explique la durée des rafales de vent. Le vent moyen était de 115 km/h avec des rafales à 148km/h du NNO. La pression est descendue à 985 hPa. Les pluies ont été abondantes, mais pas exceptionnelles pour la saison des pluies : 104 mm de 7h à 17h le 10 avril (équivalent d'un gros orage).

Les dégâts ont été principalement liés à la violence et à la durée des vents.

Le Journal de Mayotte du 14 avril 1984 (4 jours après le passage du cyclone) nous fournit des instantanés des dégâts sous forme de descriptions et de photographies. Le cyclone a fait 1 victime et 55 blessés (source SIDPC), 20 à 25 000 sinistrés, et détruit 90% des cases mahoraises (torchis) et des récoltes. De nombreuses pistes étaient inutilisables et des villages sont restés isolés plusieurs jours avant d'être ravitaillés par l'armée via la mer ou les airs.

Les vents ont emporté des toits de tôles et arraché des arbres et des clôtures qui se sont accumulés dans les jardins et les rues. Les sinistrés se sont rapidement réfugiés dans des bâtiments publics (écoles et mairies). De nombreuses cases se sont écroulées, mais également des maisons en dur (pas de précisions). Les axes routiers ont été encombrés par les toitures effondrées, les branchages et les débris divers. L'adduction d'eau a souffert des chutes d'arbres et des glissements de terrain, l'électricité a été coupée pendant plus de 48h et le réseau téléphonique a été endommagé à 70%. Les pénuries ont été compensées par des ponts aériens. Il semble également qu'un navire (porte-container ou cargo) se soit échoué (site ?).

Sada a été sinistrée à 90% ; 3000 habitants sur 3500 ont déploré d'importants dommages. Les communes de Kani-Keli, M'tsangamouji et Chirongui ont été les plus touchées. Sur 250 classes primaires, 15 ont été totalement détruites et 46 partiellement ; les collèges de Mamoudzou, Dzaoudzi et Tsimkoura ont été gravement endommagés (toitures, mobilier etc.). Le total des dégâts a été estimé 168 MF (25,5 M€) (source journal Kwezi 2000).

La dépression tropicale Feliksa a touché Mayotte le 15 février 1985.

Elle est passée à 30 km à l'Est de Mayotte. Sa vitesse de déplacement était de 15 km/h et la dépression est restée moins longtemps que Kamisy sur Mayotte. La pression minimale était de 994 hPa. La dépression s'est caractérisée par des vents moins forts (97 km/h, rafales à 126 km/h), une trajectoire inhabituelle du sud vers le nord et surtout des

pluies bien plus abondantes. Les précipitations ont atteint 233 mm de 17h à 7h du 15 au 16 février ; celles-ci se sont ajoutées aux pluies abondantes qui étaient déjà tombées depuis le 10 février.

Des informations concernant l'étendue des dégâts sont fournies par le Journal de Mayotte du 22 février 1985.

Les vents ont abîmé les toitures des bâtiments privés et publics et les infrastructures portuaires (pas de détail). De nombreuses cases ont été détruites ou endommagées, des toitures emportées, des arbres arrachés et des bateaux drossés sur les rochers. Les cultures ont été détruites par l'arrachement des arbres, mais aussi par des glissements de terrain. Sada a de nouveau été touchée par des mouvements de terrain.

Les précipitations ont plus particulièrement affecté le réseau routier et les ouvrages d'art avec des inondations et des glissements de terrain (colline de Moinatrindi, descente de Tsoundzou, abords nord de Mtsamgaboua, pont de Dzoumonyé).

La ZI de Kaouéni a été inondée : un dépôt proche de la route nationale a été envahi par un mètre d'eau et de boue. L'électricité a été coupée en raison des arbres qui fauchaient les lignes, faute d'élagage. Des crues ont enfin été observées sur la rivière Koualé qui était encore obstruée par des éboulements liés au cyclone Kamisy de 1984.

Le total des dégâts a été estimé à 60 MF (~9 M€), dont 40 MF pour le réseau routier.

Les surcotes marines liées à ces cyclones ne sont jamais évoquées dans les témoignages. Pourtant, lors de la construction de la piste de l'aéroport de Pamandzi, Bouttes (1987) avait estimé des surcotes de 1,5 m pour un cyclone de 980 hPa (Kamisy était à 985 hPa) et des surcotes de 2,1 m pour un cyclone extrême de 950 hPa.

Haugomat (2000) a calculé que le cyclone de référence Kamisy avait généré une surcote maximale de 1 m. Cet auteur a également souligné que la barrière de corail et la mangrove avaient une forte action dissipatrice sur la houle. Et lorsque la mangrove est supprimée pour construire un talus routier, ce talus peut faire office de protection contre la houle. Haugomat (2000) note ainsi que 23 villages seraient inondés en cas de surcote de 1 m.

8. L'aléa érosion

8.1 METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'EROSION

Un projet de convention proposé par le BRGM au Cirad, est actuellement à l'étude au Cirad de Montpellier afin de contractualiser la collaboration du Cirad au projet.

L'étude sera basée sur la classification d'une image du satellite SPOT. Outre l'image acquise par le BRGM en septembre 1995, la consultation du catalogue SPOT montre qu'une donnée de bonne qualité (couverture nuageuse insignifiante, sauf sur Petite Terre) a été prise le 15 juin 2001 (Figure 20).

Après réception, l'image sera corrigée géométriquement selon la Projection Combani 1950 –UTM 38, de façon à être intégrée dans le nouveau SIG de Mayotte.

Cette image récente sera être complétée par les images Ikonos de 2001 fournies par la Direction de l'Équipement de Mayotte et référencées par le BRGM

La validation de la classification devrait être effectuée sur le terrain en novembre 2002. Cette mission de terrain CIRAD-BRGM permettra de valider ou de modifier la classification de l'occupation du sol réalisée à partir de l'image SPOT.

L'occupation du sol urbaine sera extraite de l'image Ikonos, puis injectée dans le résultat de la classification SPOT, afin de contourner les problèmes de confusions existant entre zones bâties et sols nus sur SPOT. Le résultat sera alors comparable à l'exemple de la Figure 20.

L'occupation du sol issue de SPOT, combinée aux paramètres morphologiques et géologiques dans le cadre d'une analyse multicritère, permettra de cartographier la sensibilité potentielle des sols au ruissellement, élément préalable à l'analyse de l'érosion conduite avec le CIRAD (Figure 20).

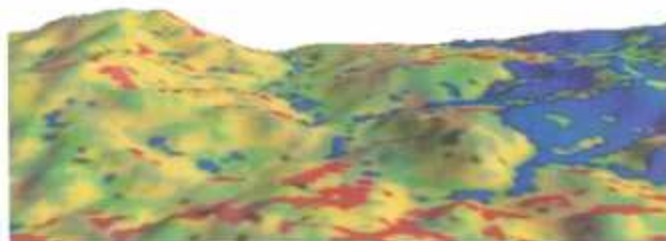
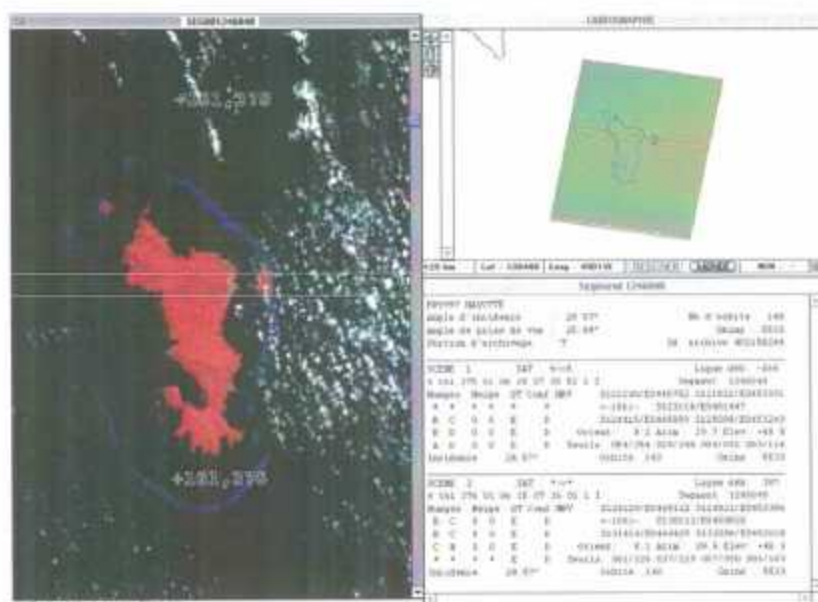


Fig. 20 – Outils et méthodes pour la cartographie de l'aléa érosion

- En haut : image SPOT du 15 juin 2001 qui sera acquise par le BRGM au second semestre 2002.
- Au centre : exemple de classification de l'occupation du sol à partir de l'analyse d'une image SPOT.
- En bas : exemple de restitution de la classification et de l'évaluation du potentiel de ruissellement.

9. Déroulement prévisionnel d'ici fin 2002

Au second semestre 2002, l'analyse hydraulique de Mayotte débutera par bassin versant ; il est aussi prévu que débutent les interventions du Cirad sur le module « érosion ». La cartographie et le zonage des autres aléas se poursuivra. Fin 2002, le BRGM prévoit d'installer un accéléromètre à Mayotte, appareil destiné à mesurer les accélérations du sol pendant un séisme (Cf. Cahier des charges du projet, 2002).

En décembre 2002, le BRGM réalisera une maquette du premier atlas (Mamoudzou-Koungou-Petite Terre). Il s'agira d'une maquette car cet atlas ne comportera ni les cartes de surcotes de Météo-France, ni les cartes d'aléa érosion. L'objectif de cette maquette sera de faire le point sur les livrables du projet avec la DE. La saison des pluies 2002-2003 nous permettra ensuite de valider ou de modifier nos modèles et nos cartes des aléas mouvements de terrain et inondations.

Chronogramme pour l'année 2002, établi le 01/07/02.

Principales étapes	Fin d'année 1						Début d'année 2					2003	
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
Acquisition, retraitement et validation des données SIG	■	■	■	■	■								
Cartographie des désordres sur le terrain		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aléa houle cyclonique, modélisation Météo-France					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aléa érosion, collaboration avec le Cirad									■	■	■	■	■
Notice générale de présentation des aléas naturels à Mayotte					■	■							
Typologie, qualification et zonage des aléas						■	■	■	■	■	■	■	■
Expérimentations géophysiques et traitement des données					■	■	■	■					
État d'avancement à mi-échéance			■										
Rapport de fin d'année 1							■						
Réunion du Comité de pilotage		■											■

10. Bibliographie

- AFPS (1993) – Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique. *Association Française du Génie Parasismique*.
- Archives orales (1998) – Histoires et légendes mahoraises. Cahier n° 3. *Éditions du Baobab*, 5 p.
- BCEOM (2001) – RN3 ; reconstruction de pont de Dembéni, étude hydraulique. Rapport n° A01-01/10800 T.
- Bouttes F. (1987) – Aéroport de Mayotte, extension de la piste, note sur les houles et les surcotes de projet. Compiègne, *STCPPMVN*, 15 p.
- BRGM (2002) – Cahier des charges du projet « risques naturels et érosion », contrat de plan 2001-2005 État – Collectivité départementale de Mayotte, 2002, 23 p.
- BRGM (2002) – État d'avancement du projet « risques naturels et érosion » au 8 mars 2002, contrat de plan 2001-2005 État – Collectivité départementale de Mayotte, 12 p.
- Cruchet M. et Rossi F. (2000) – Cartographie à 1/10 000 de l'aléa mouvement de terrain du bassin de risques de Koungou, Mamoudzou, Dzaoudzi_Labattoir, Pamandzi, île de Mayotte. Rapport BRGM RP-50730-FR.
- Delaygue-Cheyssial É. (1990) – La saison des cyclones. *Revue Jana Na Leo*, n° 18, p. 36-56.
- Direction de la Météorologie, service de Mayotte (1985) – Rapport préliminaire sur la forte dépression tropicale Feliksa.
- Direction de la Météorologie, service météorologique régional de La Réunion (1984) – Rapport sur le cyclone tropical Kamisy, 3 au 16 avril 1984.
- Haugomat C. (2000) – Protection du littoral de Mayotte, approche du phénomène cyclonique et propositions d'investissement. École Nationale des Travaux Publics de l'État, Direction de l'Équipement de Mayotte, Travail de fin d'études, 54 p.
- Journal Kwezi (hebdomadaire) n° 276 du 3 mars 2000.
- Journal de Mayotte (hebdomadaire) n° 20 du samedi 14 avril 1984.
- Journal de Mayotte (hebdomadaire) n° 21 du vendredi 4 mai 1984.
- Journal de Mayotte (hebdomadaire) n° 65 du vendredi 22 février 1985

- Lachassagne P., Cruchet M., Daesslé M. et Lebon D. (2000) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne prioritaire d'étude et de forages de reconnaissance et d'exploitation (juin 1999 – octobre 2000). Compte-rendu des travaux et principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. Rapport BRGM RP-50428-FR.
- Météo-France, service de Mayotte (2002) – Phénomènes cycloniques ayant intéressé directement ou menacé Mayotte depuis 1858. Note de Perraudin G. et Benito R.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2001) – Élaboration d'atlas de zones inondables par des techniques d'analyse hydrogéomorphologique. *Termes de référence du CCTP relatif à la réalisation des atlas*. 57 p.
- SHOM (1974) – Ile de Mayotte à 1/156 100, carte marine n° 6237.
- SHOM (1974) – Ile de Mayotte (partie Sud-Ouest) à 1/35 000, carte marine n° 6530.
- SHOM (2000) – Ile de Mayotte (partie Nord) à 1/35 000, carte marine n° 7492.
- SHOM (2000) – Ile de Mayotte (partie Est) à 1/35 000, carte marine n° 7493.
- SHOM (2002) – Annuaire des marées ; tome 2 ; ports d'outre-mer, 233 p.
- Terrier M., Audru J.C., Bour M. et Dominique P. (2000) – Étude de l'aléa sismique régional de l'île de Mayotte ; détermination des mouvements sismiques de référence. Rapport BRGM RP-50250-FR, 95 p.
- Thomassin B. (1999) – Mayotte, île volcanique à large lagon (N. Canal de Mozambique, Océan Indien) : sa construction et celles de ses récifs coralliens. *Bulletin des Naturalistes, Historiens et Géographes de Mayotte*, n° 1, p. 4-18.

11. Annexes

Annexe 1

Maquette de la notice de présentation des aléas naturels à Mayotte



-- MAQUETTE PROVISoire --

Atlas des risques naturels à Mayotte

Bassin de risques de ...

Notice générale de présentation des risques naturels

(la notice définitive sera imprimée en A3, certaines zones de texte sont donc surdimensionnées dans cette maquette A4)

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public 2001-RIS-311

juillet 2002



Préambule

L'atlas du bassin de risques de ... comporte deux pièces :

- pièce 1 : cette notice générale
- pièce 2 : l'évaluation et la cartographie des différents types d'aléas

Dans le cadre de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 et du décret d'application n° 90-518 du 11 octobre 1990, l'État se doit de porter à la connaissance du public l'ensemble des phénomènes naturels pouvant faire courir un risque aux personnes et aux biens.

Une application de cette démarche d'information préventive, a été imaginée au début des années 1990 par le BRGM aux Antilles Françaises, sous la forme d'atlas communaux des risques naturels. Toutes les communes de Martinique et de Guadeloupe ont été couvertes par un atlas des risques naturels. À La Réunion, ce travail est en cours. À Mayotte, les atlas et la notice de présentation générale synthétiseront les résultats acquis dans le cadre du projet Risques naturels et érosion conduit par le BRGM.

Cette information, traduite notamment sous forme cartographique, est élaborée à partir des connaissances scientifiques et techniques du moment. Elle concerne les aléas mouvements de terrain, inondation, sismique, cyclonique et érosion.

Afin d'homogénéiser le contenu et la présentation de ce « porté à connaissance » sur les 6 bassins de risque de Mayotte, chaque atlas contient :

- la même notice de présentation générale, décrivant les phénomènes naturels dangereux traités, le type de dégâts qu'ils sont susceptibles d'occasionner, et les moyens de leur surveillance et de leur prévention ;
- une série de cartes et leur notice explicative, précisant pour chaque type d'aléa traité, les indices observés et son zonage (type et niveau d'aléa) à l'échelle du 1/10 000 ou du 1/25 000.

Sommaire

INTRODUCTION	2
DÉFINITIONS DES ALÉAS NATURELS À MAYOTTE	3
Aléa mouvements de terrain.....	4
Définitions.....	4
Conditions d'apparition, cartographie.....	5
Chutes de blocs - Éboulements.....	6
Glissements - Coulées de boue.....	7
Aléa inondations.....	8
Définitions.....	8
Conditions et facteurs.....	9
Les différents types (1/2).....	10
Les différents types (2/2).....	11
Aléa sismique.....	12
Définitions.....	12
Sismicité régionale et locale.....	13
Aléa cyclonique.....	14
Définitions.....	14
Genèse et effets.....	15
Phénomènes historiques.....	16
Aléa érosion.....	17
SUIVI ET PRÉVENTION	18
Aléa mouvements de terrain.....	19
Aléa inondation.....	20
Aléa sismique.....	21
Aléa cyclonique.....	22
BIBLIOGRAPHIE	23

Introduction

L'île de Mayotte est située sur la plaque tectonique Afrique, dans l'archipel des Comores (Figure ci-contre).

Les unités tectoniques actives autour de Mayotte sont le Rift est-africain, le bassin du Mozambique, la ride de Davie et l'archipel des Comores. Ces unités tectoniques sont actuellement déformées en régime extensif (ouverture) de direction est-ouest (flèches rouges sur la figure), ce qui se traduit par des séismes.

Ainsi, l'ouverture de l'Afrique s'effectue suivant la série de failles du rift est-africain. Cette déformation migre par sauts vers le SE et passe en mer sur la ride de Davie, une ancienne faille orientée NNO-SSE. La ride de Davie est réactivée par cette déformation et il est probable qu'il en soit de même pour les anciennes failles des Comores ainsi que pour celles de Mayotte.

L'île de Mayotte est une île volcanique de type intraplaque. Cela signifie que les laves, issues de réservoirs magmatiques situés à 2 ou 3 km de profondeur sous le plancher océanique, sont parvenues à la surface grâce à des ouvertures du plancher océanique suivant de grandes failles.

Mayotte résulte de l'édification de deux principaux volcans entre -8 et -4 millions d'année (Ma). L'activité volcanique s'atténue puis se termine par une phase explosive il y a 0,5 Ma. Les flancs des deux vastes volcans ont été largement entamés par de grands effondrements sous-marins, par l'érosion depuis 8 Ma puis par leur submersion progressive depuis 2 Ma.

L'évolution géomorphologique de Mayotte depuis les dernières éruptions se traduit par des reliefs peu élevés (680 m vs. 2263 m à la Grande Comore), des profils d'altération épais d'une dizaine de mètres chacun et par une couronne récifale qui illustre la subsidence générale de l'île.

L'évolution géologique contemporaine se traduit par l'ennoisement des calderas, l'érosion et l'altération argileuse des séries volcaniques, l'installation de plages sableuses et de lagunes à mangroves limitées par la couronne récifale, toujours en construction.

En raison de sa situation géographique, de son relief et de sa géologie, Mayotte est soumise à des phénomènes naturels dangereux.

Sa position en zone tropicale l'expose au passage de cyclones et de dépressions, responsables de dégâts liés au vent et aux précipitations abondantes : inondations, marées de tempête et houles cycloniques.

Les fortes précipitations peuvent aussi déclencher des mouvements de terrain : glissements et chutes de blocs, coulées boueuses etc. Les conditions initiales favorables et les facteurs déclenchants nombreux favorisent également l'érosion des sols argileux.

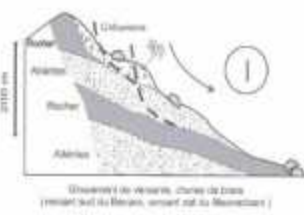
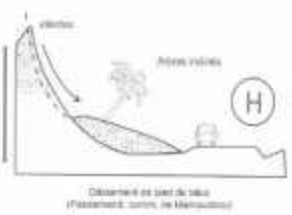
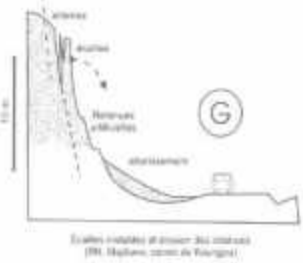
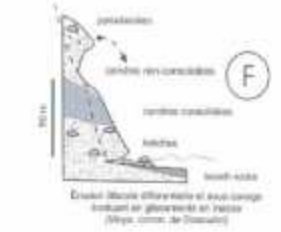
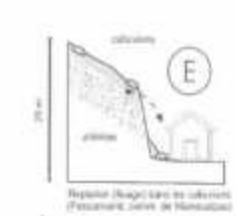
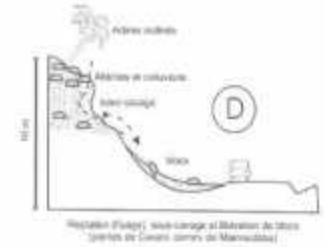
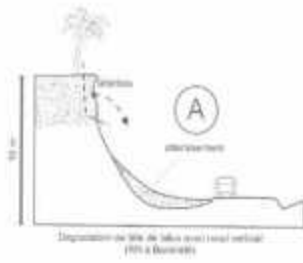
Enfin, la déformation de l'Afrique de l'Est se traduit à Mayotte par des séismes. Il n'y a pas d'activité volcanique actuelle connue à Mayotte.



Définitions et caractérisation des aléas naturels à Mayotte

Aléa mouvements de terrain

Définitions



Un **mouvement de terrain** est une manifestation du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (pluviométrie anormalement forte, séisme, ...) ou anthropiques (terrassement, déboisement, exploitation de matériaux du sous-sol ou de nappes aquifères, ...).

Sous l'expression générique "mouvements de terrain" sont regroupés plusieurs types de phénomènes d'instabilité des terrains, variables en fonction du mécanisme mis en jeu (évolution de l'instabilité, vitesse du mouvement durant la phase d'instabilité majeure, surface de rupture, désorganisation des terrains, ...).

Les types de mouvements de terrain rencontrés à Mayotte sont :

- les glissements dans les talus routiers (schémas A, C, D, E, G et H) ;
- Les glissements de versants montagneux (schéma I) ;
- les chutes de blocs (schéma B) ;
- les phénomènes d'érosion littorale (schéma F).

Schémas de quelques types de mouvements de terrain rencontrés à Mayotte à partir d'exemples remarquables

Aléa mouvements de terrain

Conditions d'apparition, cartographie

LES PRINCIPAUX FACTEURS D'INSTABILITÉ

CONDITIONS INITIALES FAVORABLES

- **Les pentes** : secteurs de pentes supérieures à 8-10°, accentuations anthropiques des pentes ;
- **La lithologie, c'est à dire la nature des roches** : altérites argileuses rouges et kaolinites blanches, matériaux incohérents (bloc, colluvions) ;
- **La fracturation, la fissuration et le plongement des formations vers l'aval** ;
- **Les infiltrations et les circulations souterraines** : eau le long des surfaces de discontinuité (fractures) ;

FACTEURS DÉCLENCHANTS

- **Les précipitations abondantes et prolongées** (cyclones et dépressions tropicales pendant la saison des pluies) ;
- **Les interventions anthropiques** : aménagements, défrichements, déblais, non-maîtrise des drainages, etc. ;
- **Les phénomènes de rétraction thermique** des matériaux argileux en saison sèche ;
- **Les secousses sismiques** : déstabilisation des pentes et des blocs en équilibre ;
- **Les cyclones** : les vents déracinent les arbres et déstabilisent les pentes ;

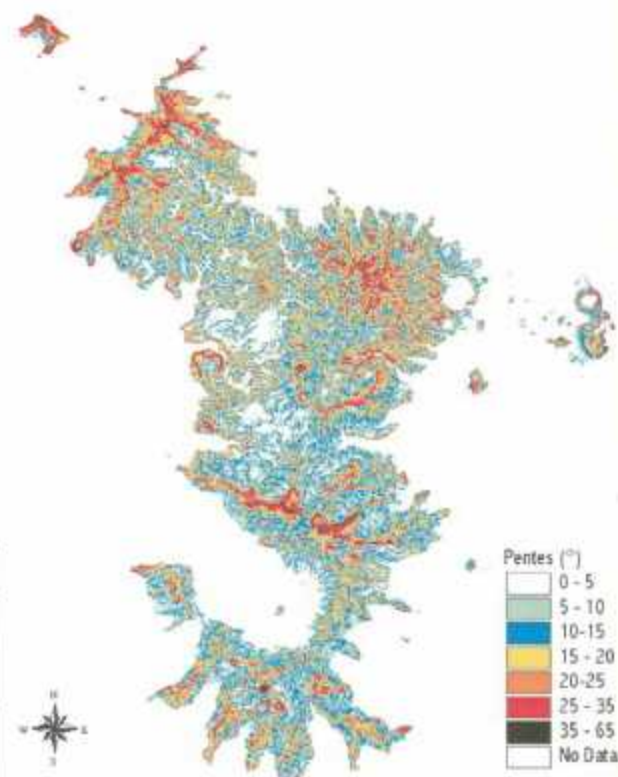
EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA À L'ÉCHELLE DU 1/10 000 ET DU 1/25 000

La démarche utilisée pour évaluer et cartographier l'aléa mouvement de terrain a été naturaliste (observations de terrain et photo-interprétation). Les phénomènes ont été localisés / délimités, géoréférencés et leur niveau d'aléa a été évalué. Pour étayer cette évaluation, il a été nécessaire de se référer aux phénomènes historiques connus. Dans les zones inaccessibles, la délimitation de l'aléa « mouvements de terrain », s'est faite à partir de la photo-interprétation et de critères de pente.

Le niveau d'aléa d'une zone donnée traduit la susceptibilité de cette zone à être affectée par des phénomènes de type "mouvements de terrain". Ce niveau d'aléa dépend donc de l'intensité des phénomènes qui peuvent s'y produire.

Le niveau d'aléa s'exprime selon la gradation suivante : nul, faible, moyen et fort.

Niveau d'aléa	Description des phénomènes	Localisation (exemples)
Considéré comme nul	Absence de phénomènes naturels connus. Ce niveau d'aléa existe au niveau réglementaire mais n'est pas appliqué à Mayotte à l'échelle de 1/25 000 en raison des conditions climatiques exceptionnelles pouvant affecter l'île. En effet, des phénomènes de ruissellement, d'instabilité de berges ou de talus sous l'effet de fortes pluies peuvent affecter les zones plates à l'aval de fortes pentes.	
Faible	Pas de phénomènes recensés ou événements d'ampleur limitée, rares, sous gravité, liés à des conditions climatiques exceptionnelles (cyclones). Ce sont les ruissellements superficiels, les instabilités de talus, les glissements superficiels, les affaissements, etc.	plumes littorales, lits de cailloux, plaines et plateaux
Moyen	Phénomènes mal connus, notamment liés à leur ampleur, de leur extension et de leur fréquence	versants en pente faible flancs externes des volcans
Fort	Phénomènes naturels potentiellement dangereux dans la fréquence au éboulis sous l'ampleur des précipitations : éboulements de talus, glissements de grande ampleur, laves tourbillonnantes, coulées de boue	versants en pente forte, flancs internes des volcans, talus, gorges



Cartographie numérique des pentes à partir du MNT à au pas de 25 m de Mayotte. Les pentes sont la condition initiale principale pour les mouvements de terrain à Mayotte

Aléa mouvements de terrain

Chutes de blocs - Éboulements

Les chutes de blocs et les éboulements sont des phénomènes rapides, mobilisant des masses rocheuses plus ou moins homogènes, à partir d'une paroi verticale ou d'une forte pente.

Ils consistent en la libération par gravité, de blocs formés par fragmentation de ces masses rocheuses.

La chute de blocs ne concerne qu'un nombre réduit d'éléments ; pour les éboulements, la masse mise en mouvement est beaucoup plus volumineuse.

CARACTÉRISATION DU PHÉNOMÈNE CHUTES DE BLOCS ET ÉBOULEMENTS

Les chutes de blocs et les éboulements rocheux sont des phénomènes rapides et événementiels. Ils se caractérisent par une forte désorganisation ou dislocation des matériaux mis en mouvement.

Le volume de matériaux mis en jeu est extrêmement variable, de quelques dizaines à quelques milliers de m³. Selon les volumes en jeu, on distingue :

- les **chutes de pierres ou de blocs** (volume maximal de quelques m³) ;
- les **éboulements en masse** (volume total de 100 à 10 000 m³) ;
- les **éboulements en grande masse** (volume total supérieur à 10 000 m³ pouvant atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Les blocs déstabilisés ont une trajectoire plus ou moins autonome. L'extension du phénomène est variable, car la distance parcourue par les blocs rocheux est fonction de la taille des blocs, de la valeur de la pente, de l'amortissement des chocs, etc. L'ampleur du phénomène est liée d'une part à la quantité et au volume de blocs mobilisés, d'autre part à la surface et la topographie de l'aire d'atterrissement des blocs éboulés.

FACTEURS DÉCLENCHANTS ET LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES

Les conditions initiales sont :

- **L'individualisation des blocs** au sein d'une formation massive fracturée ou d'une formation hétérogène présentant une matrice meuble à grain fin ; orientation favorable des blocs ;
- **La topographie** en falaise ou la présence de reliefs rocheux fissurés ou hétérogènes dominant les pentes ;
- **La présence** éventuelle d'altérites sous les sources de blocs ;
- **L'action mécanique** de l'eau (pressions hydrauliques interstitielles).

Les **secousses sismiques** sont un facteur déclenchant. Elles mettent en mouvement des blocs instables et peuvent élargir les aires d'atterrissement. Les séismes peuvent aussi remobiliser des blocs déjà éboulés et stoppés dans les aires d'atterrissement en forte pente.

Tous les reliefs abrupts de l'île sont producteurs de blocs (fronts d'anciennes coulées, pitons etc.)



Exemples de chutes de blocs : falaise du Rocher en Petite-Terre

Le signe avant-coureur le plus significatif de déstabilisation d'une masse rocheuse sur une pente forte est l'apparition de fissures ouvertes.

La présence de blocs épars ou concentrés en pied de relief traduit l'existence d'éboulements ou de chutes de blocs dans le passé.

Aléa mouvements de terrain

Glissements - Coulées de boue

Un **glissement de terrain** correspond à un déplacement lent d'une masse de terrains meubles et/ou instables à partir d'une surface de rupture.

Une **coulée de boue** correspond à un mouvement rapide d'une masse de matériaux solides remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse.

Elle prend fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain. Ce type de phénomène, connu sous le nom de **glissement - coulée** se déclenche souvent sur des terrains altérés, à forte pente, dans des zones d'émergence de sources, saturées en eau.

CARACTÉRISATION D'UN PHÉNOMÈNE GLISSEMENT DE TERRAIN

- La vitesse d'un glissement de terrain est généralement faible.
- Les volumens de matériaux mis en jeu sont variables, ils peuvent être considérables en cas de glissement de versant.
- L'extension de la masse glissée dépend de la vitesse d'évolution du mouvement.

Un glissement montre les figures suivantes :

- dans sa partie amont, des **niches d'arrachement** avec de brusques ruptures de pente (pentes concaves) ;
- dans sa partie aval, un **bourrelet de pied** (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied se marque fréquemment par un tracé anormal des cours d'eau en aval ;
- une **surface topographique bosselée** (ondulations, dissémination de blocs de forte taille, etc.)

CARACTÉRISATION D'UN PHÉNOMÈNE COULÉE DE BOUE

- La vitesse d'une coulée de boue est élevée.
- Le déplacement correspond à un glissement avec fracturation d'une masse plus ou moins compacte. Les terrains gorgés d'eau glissent puis se liquéfient ; les blocs rocheux restent sur place ou s'accumulent en pied de versant.
- La distance parcourue par une coulée boueuse est très variable, dépendant de nombreux facteurs comme la nature des matériaux, la quantité d'eau, la viscosité du mélange eau/matériau, solides, la topographie, la saturation en eau des sols sur lesquels elle se déplace.

Les dépôts d'une coulée boueuse montrent presque toujours :

- une **zone supérieure élargie** (zone de départ de la coulée)
- un **chenal d'écoulement** beaucoup plus étroit et de longueur variable (zone de transfert) ;
- un **lobe terminal** (zone d'atterrissement) élargi en un cône de déjection mais de profil convexe.

Les facteurs favorables au déclenchement de **coulées boueuses** sont la faible cohésion des matériaux, le fort degré de remaniement, l'augmentation de la teneur en eau et des pressions interstitielles par des épisodes pluviométriques intenses, l'apport brutal d'énergie (caractère accidentel) suite à un glissement ou à un éboulement.

FACTEURS DÉCLENCHANTS ET LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES

Exemples de **glissements de terrain** résultant d'interventions anthropiques (talus, défrichage) à Passamaïnti, commune de Mamoudzou.



LES MOUVEMENTS DE TERRAIN DE GRANDE AMPLIEUR

Les surfaces concernées par ces mouvements de terrain sont considérables. Les anomalies de relief observables au nord de Dombeni sont, ainsi, attribuées à un vaste glissement de versant qui *aurait* été provoqué par un séisme en 1829.



Aléa inondation

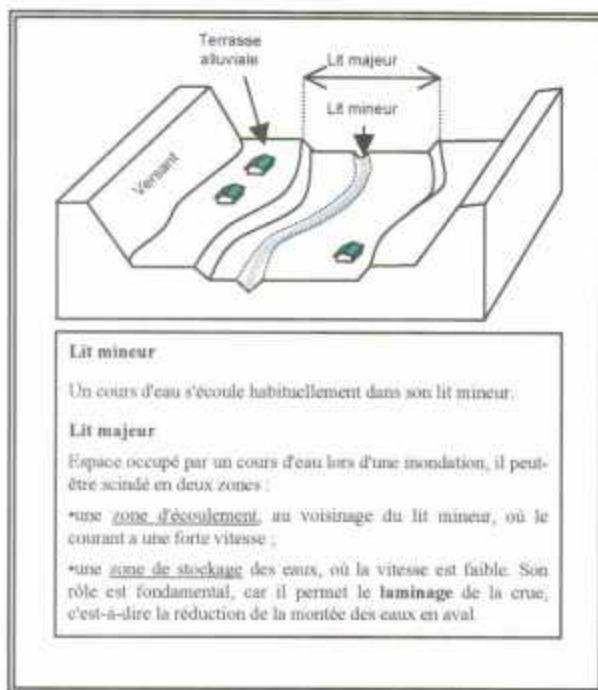
Définitions

1: **inondation** désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur à différents niveaux d'un cours d'eau pérenne ou qui afflue dans les cours d'eau non pérennes (ruisselles) ou dans les dépressions et les plaines côtières.

Différents types d'inondations sont susceptibles d'affecter Mayotte :

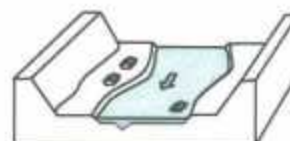
- les inondations rapides par concentration du ruissellement ;
- les inondations lentes par stagnation d'eaux pluviales ou par remontée de nappe ;
- les inondations par ruissellement urbain.

En zone littorale, il existe également un type plus particulier d'inondations : les submersions marines provoquées par des phénomènes météorologiques (houle cyclonique, marée de tempête, ...).



Schémas de quelques types d'inondations observés à Mayotte (fin 2002 ...)

LES INONDATIONS RAPIDES



Inondation par débordement du lit mineur



Inondation par concentration du ruissellement dans une ravine

LES INONDATIONS LENTES



Inondation par stagnation des eaux pluviales dans une zone plane et en creux

LES INONDATIONS URBAINES



Inondation par ruissellement urbain

LES SUBMERSIONS MARINES



Inondation côtière par submersion marine (houle cyclonique)

Aléa inondation

Conditions et facteurs aggravants

LES CONDITIONS

- L'**eau mobilisable** : elle peut provenir de pluies répétées et prolongées, ou d'averses relativement courtes mais intenses ;
- Le **ruissellement** : il dépend de la nature du sol et de son occupation de surface. Il est d'autant plus réduit que la couverture végétale est dense, et les sols épais et non saturés par des épisodes pluvieux récents. Inversement, l'imperméabilisation des sols due à l'urbanisation le favorise ;
- Le **temps de concentration** : définit par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau arrivée sur le sol parvienne jusqu'à l'exutoire ;
- La **propagation de la crue** : elle dépend de la pente et de la largeur du champ d'écoulement.

ACTEURS AGGRAVANTS

- Tout ce qui empêche le laminage de la crue ou la pénétration des eaux dans le sol, sur les bassins versants et dans les zones de stockage : déboisement, modification des écoulements agricoles, suppression des haies, imperméabilisation des sols (routes, parkings...);
- Tout ce qui contrarie l'écoulement : constructions, obstacles (naturels ou anthropiques)
- D'autres facteurs de vulnérabilité existent, comme la concentration des personnes dans les zones exposées aux inondations, le dépôt de produits indésirables (pris en charge puis abandonnés lors d'une inondation).

L'ALÉA INONDATION

L'aléa de référence, qui correspond à une période de retour choisie pour se prémunir du phénomène inondation, est conventionnellement « la plus forte crue connue, et dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière » (circulaire du Ministère de l'Équipement du 24 avril 1996).

À Mayotte, dans la majorité des cas (lorsque des zones ne sont pas couvertes par des études hydrauliques précises), les limites de la crue dite **centennale** ont été assimilées aux limites de plus hautes eaux observées par les riverains. Les niveaux d'aléa sont caractérisés en fonction de la hauteur de submersion et du régime torrentiel, en faisant généralement la distinction entre les deux niveaux suivants :

- Un niveau d'aléa **fort** concerne une hauteur d'eau supérieure à 1 mètre, et/ou les régimes torrentiels (zones rouges)
- Un niveau d'aléa **moyen** concerne une hauteur d'eau inférieure ou égale à 1 mètre et les régimes hydrauliques non torrentiels (zones bleues)



Exemple d'embâcle de branchages sous le pont de Bandré, le 7 mars 2001. © F. Bouffery.

Exemples saison des pluies 2002-2003

Aléa inondation

Les différents types (1/2)

INONDATIONS RAPIDES

Les inondations rapides résultent de la concentration rapide du ruissellement des eaux de pluie dans un cours d'eau à pente forte et ordinairement sec (ravines). Elles sont accompagnées de phénomènes d'érosion et d'accumulation massive de matières solides.

Suite à des pluies violentes ou durables, l'augmentation du débit des cours d'eau peut être telle que ceux-ci peuvent gonfler au point de déborder de leur lit mineur, pour envahir leur lit majeur. Les dégâts peuvent être très importants, et surtout, le risque de noyade existe (en particulier, lors du franchissement de gués lors de l'arrivée de l'onde de crue).

Une **crue** correspond à l'augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau dépassant plusieurs fois le débit moyen.

Les **laves torrentielles** et les **crues torrentielles** ont un comportement intermédiaire entre celui des glissements de terrain et des crues. Ce sont des écoulements mêlant intimement l'eau et des matériaux solides de toutes tailles. L'enrichissement en matériaux solides peut provenir de l'arrachement des berges dû au débit anormal du cours d'eau ou à un ruissellement important sur le bassin versant amenant une importante charge solide.

Sur l'île, les conditions pour que de tels phénomènes surviennent (précipitations abondantes, pentes généralement fortes, terrains meubles, éboulis stockés sur les pentes) peuvent être réunies, même si la probabilité en est faible.

Étant donné le caractère soudain et énergétique du phénomène, les effets des laves et crues torrentielles sont potentiellement très destructeurs et meurtriers.

Le phénomène d'**embâcle** correspond à l'obstruction d'un cours d'eau par accumulation de matériaux divers (glissements de terrain au niveau des berges, branchages, débris etc.). Une retenue d'eau se forme à l'amont du barrage naturel qui peut rompre sous l'effet des pressions hydrauliques. Selon le profil du cours d'eau, une rupture brutale peut donner naissance à une onde de crue, avec ou sans transport solide ou à une lave torrentielle dévastatrice : on parle alors de **débâcle**.

Crue torrentielle

Elle se forme par enrichissement du débit d'un torrent en matériaux solides qui accroissent très fortement son pouvoir érosif.

Lave torrentielle

C'est un phénomène de crue particulier, qui consiste en la propagation d'un volume considérable de **houes denses** charriant des blocs.

La lave torrentielle se distingue d'une **coulee boueuse** (aléa mouvement de terrain) par une vitesse plus élevée et un déplacement de type écoulement fluide (et non pas glissement avec fracturation d'une masse plus ou moins compacte).

INONDATIONS LENTES

Inondations par stagnation d'eaux pluviales

Le niveau et la vitesse de l'eau sont faibles. La stagnation des eaux est liée à une capacité insuffisante d'infiltration et d'évacuation des sols lors de pluies anormales. Sont concernés :

- les **zones basses littorales**, que la pente et l'altitude trop faibles exposent à la stagnation des eaux de pluie (par exemple : le littoral de Mitsapere ou Tsoundzou);

- les **zones de dépression topographique** occupées ou non par de l'eau (par exemple : la dépression de Kavani).

• Inondations par remontée naturelle de nappe phréatique

Des pluies abondantes et prolongées peuvent recharger la nappe phréatique et la faire déborder au niveau de tous les points bas de son secteur. La lenteur de la propagation de l'eau dans le sous-sol peut conduire à un décalage important par rapport à la série pluvieuse et à une durée considérable de l'inondation. On observe ces phénomènes à Dapani, Majikavo (Comm. de Mamoudzou) et dans le lit de la Koualé à Tsoundzou (Comm. de Mamoudzou).

Exemples saison des pluies 2002-2003

Aléa inondation

Les différents types (2/2)

INONDATIONS PAR RUISSELLEMENT URBAIN

En secteur urbain, des pluies intenses peuvent occasionner un très fort ruissellement : le phénomène d'infiltration est considérablement réduit en raison de l'imperméabilisation par l'Homme, des terrains naturels (trottoirs, parkings, routes, ...). Le réseau d'évacuation des eaux pluviales est rapidement saturé et entraîne des inondations des secteurs les plus bas.

Un sous-dimensionnement des ouvrages hydrauliques (buses, fossés) et une absence d'entretien (accumulations de débris et de boue) engendrent des rétrécissements qui vont gêner le passage de l'eau et accentuer le risque d'inondation.

SUBMERSIONS MARINES

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et de marées particulières. À Mayotte, elles sont dues à des fortes marées, à des marées de tempête et des houles cycloniques (voir le chapitre ALEA CYCLONIQUE).

Les submersions marines sont en principe de courte durée en raison de leur origine et se traduisent par l'invasion de zones littorales par des eaux salées.

Aléa sismique

Définitions

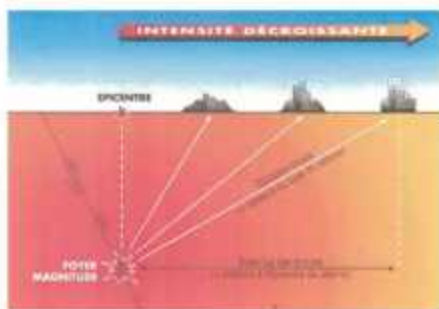
Un **séisme**, ou tremblement de terre, est une secousse ou série de secousses plus ou moins violentes du sol. Il se déclenche lors de la libération brutale de contraintes accumulées (par le jeu de déplacements tectoniques ou par des montées de magma) qui provoque la rupture des roches en profondeur. L'énergie ainsi libérée se propage dans le sous-sol sous forme de plusieurs types d'ondes (vibrations).

Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, de la fréquence, de la durée des vibrations, mais également de la nature des terrains (sol et sous-sol) et de la topographie.

UN SÉISME EST DÉFINI PAR :

- un **foyer** ou **hypocentre** : lieu d'origine de la rupture des roches en profondeur ;
- un **épicentre** : lieu de la surface terrestre situé exactement à la verticale du foyer, où l'intensité du séisme est la plus importante ;
- une **magnitude** : elle indique l'énergie libérée au foyer du séisme. L'échelle de Richter est l'échelle la plus utilisée pour mesurer la magnitude. Augmenter la magnitude d'un degré revient à multiplier l'énergie libérée par 30 environ. Théoriquement sans limite, les valeurs les plus élevées mesurées n'ont pas dépassé 9.
- une **intensité** : elle correspond à l'évaluation des dégâts observés sur le terrain en un site donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle M.S.K., graduée de I (séisme non perceptible) à XII (changement total du paysage). Un même séisme sera ressenti avec des intensités différentes selon la distance par rapport à l'épicentre et selon les caractéristiques locales (effets de site).

ORIGINE DES SÉISMES :



Les séismes sont d'origine :

- **Tectonique** : la lithosphère terrestre se compose de plusieurs plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Les déplacements sont très lents, de l'ordre de quelques cm par an. Lorsque les plaques s'affrontent, il y a accumulation de contraintes (énergie), principalement sur leurs bordures. Lorsque les contraintes excèdent la résistance de la roche, des mouvements se produisent le long des failles, la rupture se déclenche et c'est cela qui génère le séisme ;
 - **volcanique** (lois de la montée du magma) ;
 - **humaine** (exploitation du sous-sol, tir à l'explosif dans les carrières...)
- © de la figure

LES ONDES SISMQUES

Les ondes émises par un séisme sont de quatre types :

- des **vibrations longitudinales** ou ondes P (primaires), en compression, sont les plus rapides ; leur vitesse de propagation varie entre 3,5 à 14 km/s, suivant la nature des roches et la profondeur de propagation ;
- des **vibrations transversales**, ou ondes S (secondaires), en cisaillement perpendiculaire à la direction de propagation, moins rapides que les ondes P (la vitesse des ondes P est environ supérieure de 1,7 fois à la vitesse des ondes S) ;
- des **ondes superficielles** : ondes de Love, de grande longueur d'onde qui sont plus lentes encore que les ondes S et les ondes de Rayleigh qui ont un mouvement elliptique complexe.

UNE SECOUSSE SISMQUE

Pendant une secousse sismique, deux types d'effets peuvent avoir lieu :

- **des effets de site** : la topographie et la présence de formations géologiques de nature et/ou de géométrie variables, peuvent accroître les effets d'un séisme par modification des caractéristiques du mouvement vibratoire ;
- **des effets induits** : dus à des mises en mouvement du sol conduisant à des glissements de terrain, des éboulements, des phénomènes de liquéfaction de certains sols saturés en eau.

Aléa sismique

Sismicité régionale et locale

LE CONTEXTE SISMIQUE DE MAYOTTE DANS L'OcéAN INDIEN

La sismicité de Mayotte est vraisemblablement liée à la déformation de l'Afrique de l'Est ; cette déformation se propage vers le SE sur la faille de la Ride de Davie et sur les Comores.

D'anciennes failles observées en mer à proximité de Mayotte pourraient être remises en mouvement et être à l'origine de séismes proches de Mayotte (séismes de 1993 et 2001).

Mayotte est actuellement classée en zone de sismicité 1b du Zonage Sismique de la France (sismicité modérée).

SISMICITÉ HISTORIQUE

Le séisme du 1^{er} décembre 93 avait une magnitude « moyenne » de 5.2. Son épicerentre était situé à 40 km à l'ouest de Mayotte (Figure XX) ; l'intensité épicentrale avait été estimée à VII-VIII MSK (Terrier *et al.*, 2000).

Le séisme le plus récent a eu lieu le 23 septembre 2001. Ce séisme était de faible magnitude ($M_b = 3.7$) et il a été ressenti avec une intensité fort différente en divers points de Mayotte. Aucun dégât n'a été observé.

Cadre tectonique de l'Afrique (à gauche, source internet), structures tectoniques proches de Mayotte (au centre) et sismicité instrumentale (NEIC, 1985-2002) dans un rayon de 300 km autour de Mayotte (à droite).



MOUVEMENTS SISMQUES DE RÉFÉRENCE

Des mouvements sismiques de référence (c'est à dire des valeurs d'accélération utiles à la construction de bâtiments) ont été déduits de l'évaluation de l'aléa sismique régional (Terrier *et al.*, 2000). Ce sont des valeurs préliminaires, calculées « au rocher horizontal affleurant », qui ne tiennent pas compte des conditions locales de site.

- l'intensité du Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable (SMHV) est de VII-VIII MSK. Les spectres de réponse élastique correspondant à ce séisme fournissent une accélération horizontale de 0,16g (source à 10 km) et 0,045 g (source à 60 km).
- l'intensité du Séisme Majoré de Sécurité est de VIII-IX MSK. Les spectres de réponse élastique fournissent une accélération horizontale de 0,25g.

Aléa cyclonique

Définitions

Les **cyclones** sont des perturbations atmosphériques tourbillonnaires, de grande échelle, associées à une zone de basses pressions. Ils se forment dans les régions tropicales.

Ils sont caractérisés par des pluies intenses et des vents très violents (supérieurs à 117 km/h), tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (hémisphère sud) ou dans le sens inverse (hémisphère nord).

UN CYCLONE SE CARACTÉRISE PAR :

- au centre, l'**œil**, de diamètre inférieur à 50 km. A l'intérieur de celui-ci, les conditions sont relativement calmes : précipitations nulles, vent faible, ciel clair. La pression y est très basse, et atteint son minimum ;
- autour de l'œil, le **mur** de l'œil : énorme masse nuageuse, de 20 à 50 km de largeur. La violence des conditions météorologiques est maximale (vents forts, pluies diluviennes...);
- à la périphérie, une masse nuageuse dense génératrice de fortes pluies, d'un diamètre moyen de 500 km, organisée en **bandes spiralées** qui convergent vers le centre.

Image Meteosat du cyclone Dina du 24 janvier 2002. Noter également les trois zones de perturbations arrivant sur Mayotte ; ces paquets peuvent entraîner des précipitations abondantes dont les conséquences sont souvent catastrophiques (février et mars 2002 par exemple).

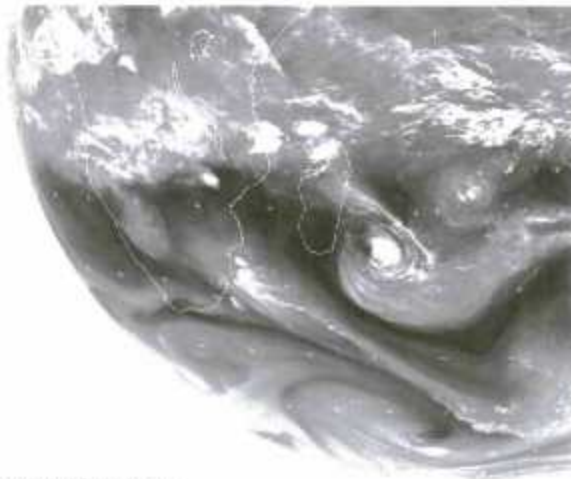


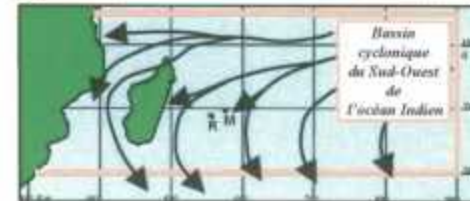
Image Météosat : Dina (24/01/2002)

À Mayotte, la **saison cyclonique** s'étend de novembre à avril. Les statistiques montrent que la période critique pour leur formation correspond aux mois de janvier, février et mars.

La **vitesse** de déplacement d'un cyclone (masse nuageuse) est faible (10 à 40 km/h) et il peut y avoir des arrêts, voire des points de rebroussement. La vitesse des vents tournant circulairement autour de l'œil, peut atteindre 300 km/h.

La **trajectoire**, classiquement parabolique autour d'un anticyclone, est, dans le sud-ouest de l'océan Indien, souvent variable et très capricieuse (exemple de Hyacinthe, 1980).

Trajectoires typiques des cyclones du sud-ouest de l'océan Indien (source Météo-France)



Trajectoires des 3 derniers cyclones les plus destructeurs à Mayotte de 1933, 1984 et 1985 (Source des points : Météo-France).



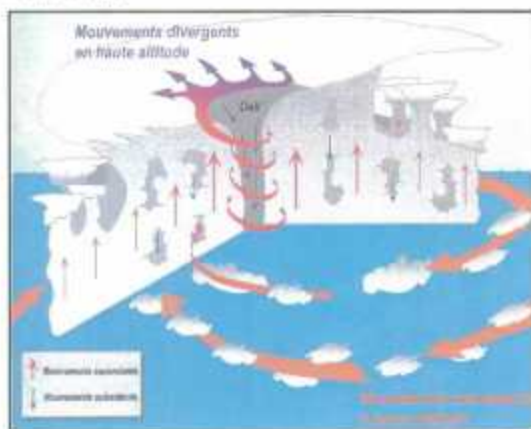
Aléa cyclonique

Genèse et effets

CINQ CONDITIONS INDISPENSABLES POUR CRÉER ET MAINTENIR UN SYSTÈME CYCLONIQUE :

- **latitude supérieure à 5°** : le mouvement tourbillonnaire peut alors s'amorcer grâce à la force de CORIOLIS (qui, induite par la rotation de la terre, dévie toute particule en mouvement, et donc aussi les vents, vers la droite dans l'hémisphère nord et la gauche dans l'hémisphère sud) ;
- **température de l'océan supérieure à 26°C** dans les soixante premiers mètres de profondeur : l'évaporation de l'eau alimente les masses gazeuses du cyclone ; un cyclone prend toujours naissance au dessus de l'océan à partir d'un amas nuageux préexistant ;
- **zone dépressionnaire initiale entraînant un tourbillon** ;
- **forte humidité de l'air dans une atmosphère instable**, favorisant le développement de mouvements ascendants ;
- **vents dont la vitesse ou la direction varient peu avec l'altitude**.

Coupe schématique d'un cyclone tropical de l'hémisphère Sud ;
© Météo-France



UN CYCLONE S'ACCOMPAGNE DE PLUSIEURS PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES :

- **des vents très forts**, avec des rafales pouvant aller jusqu'à 350 km/h. Après le passage de l'œil, les rafales recommencent brusquement en venant de la direction opposée.
- **des pluies diluviennes**, responsables d'inondations brutales, de coulées de boue et de glissements de terrain. À Mayotte, ces précipitations sont renforcées par la présence des reliefs.
- **une houle cyclonique** importante sur le littoral. Elle se caractérise par des ondulations de grande amplitude qui se propagent sur des centaines de kilomètres, avec des vagues d'une hauteur de mètres à proximité du cœur du cyclone. Quand elle arrive sur les côtes, la houle déferle sur le rivage et moule parfois les régions littorales.
- **des marées cycloniques ou marées de tempête**, correspondant à une élévation anormale et brutale du niveau de la mer lors du passage d'un cyclone. Dues en grande partie au courant de surface provoqué par les vents forts et en partie aussi à la baisse de la pression de surface, les marées cycloniques dépendent essentiellement de la topographie sous marine, de la trajectoire et de l'intensité du cyclone. Ce type de phénomène constitue un danger réel en cas de fort cyclone car il peut conduire à l'invasion, par la mer, des zones littorales basses.

L'intensité d'un cyclone est définie par rapport à la vitesse du vent maximale près de son centre, moyennée sur 10 minutes. La classification utilisée dans le sud-ouest de l'océan Indien est la suivante :

- **Dépression tropicale** : apparition d'une circulation tourbillonnaire près du centre, avec des vents moyens entre 55 et 62 km/h
- **Tempête tropicale modérée** : vents moyens entre 63 et 88 km/h
- **Forte tempête tropicale** : vents moyens entre 89 et 117 km/h
- **Cyclone tropical** : vents moyens entre 118 et 165 km/h
- **Cyclone tropical intense** : vents moyens entre 166 et 212 km/h
- **Cyclone tropical très intense** : vents moyens supérieurs à 212 km/h

AFFAIBLISSEMENT ET DISPARITION D'UN CYCLONE :

Deux causes peuvent entraîner la mort d'un cyclone :

- la suppression de la source d'énergie, fournie par l'évaporation des eaux chaudes de la mer. Quand le cyclone arrive sur des terres continentales ou sur une surface d'eau plus froide, il se désagrège et disparaît, faute d'énergie suffisante ;
- l'apparition d'un "cisaillement" vertical du vent au-dessus du tourbillon de surface qui contribue à désactiver le phénomène ;

La durée de vie d'un cyclone varie de 24 h à plus de 3 semaines.

Aléa cyclonique

Phénomènes historiques

LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES

Tous les secteurs de l'île sont susceptibles d'être touchés par le vent et les précipitations associés au passage d'un cyclone.

L'ALÉA CYCLONIQUE À MAYOTTE

L'aléa cyclonique lié aux effets du vent concerne l'ensemble de Mayotte. Le relief joue un rôle important sur la distribution des vents : il contribue à protéger temporairement certaines régions renforçant, à l'inverse, le vent sur les autres secteurs.

Les effets liés aux précipitations se traduisent par des inondations et des mouvements de terrain. On se réfère donc aux cartographies de ces deux autres types d'aléa.

Les effets de type marée de tempête et houle cyclonique sont limités aux zones côtières. Selon la nature lithologique et la morphologie de la zone côtière, mais aussi selon la topographie des fonds sous-marins, les effets pourront être plus ou moins importants. L'interaction entre houle et marée, deux phénomènes de genèse différente, reste cependant difficile à préciser.

MÉTÉO-FRANCE démarre actuellement le calcul de surcôte lié à la marée de tempête à Mayotte. Ceci permettra de quantifier la hauteur de houle en fonction de l'intensité du cyclone.

ÉVÈNEMENTS CYCLONIQUES QUI ONT MARQUÉ MAYOTTE au cours des deux derniers siècles :

Année	Nom	P hPa	Vents km/h	Précipitations mm/24h	Observations
1858					destructions importantes
1898					destructions des plantations de canne à sucre (Encyclopedia Britannica, 1911)
1900					pas de renseignements précis
1934	« Disséli »	972	Raf. 150-160		Voir détails ci-après
1953		977	> 100		Passage W de Diaoudzi
1969	Corine	976	95-100		Passage entre Anjouan et Pamandzi
1976	Clotilde	990	Raf. 112		Passage à l'E de Mayotte
1982	Bénédictine		61-76	155	Passage à 90 km au SE de Mayotte
1984	Kamisy	985	115-148	166	Dégâts très importants liés aux vents
1985	Feliksa	995	97-126	233	Dégâts très importants liés aux pluies
1990	Hanta	1005	70	Maxi : 388	



Loisierement détruit après le passage de Kamisy (1984)

© Météo-France 1984



Quartier de Sada après le passage de Kamisy (1984)

© Journal de Mayotte n°20 du samedi 14 avril 1984



Case détruite à Pamandzi après le passage de Kamisy (1984)

© Journal de Mayotte n°20 du samedi 14 avril 1984

Aléa érosion

Le terme d'**érosion** désigne un découpage superficiel des sols et de la sub-surface. L'érosion est souvent considérée comme un phénomène lent et progressif, mais ses conséquences peuvent être brutales et dangereuses.

Mayotte présente un relief récent (les volcans de Petite-Terre ont moins de 100 000 ans), et se situe dans une région climatique à précipitations abondante, notamment en saison des pluies. De ce fait, elle est affectée par des phénomènes d'érosion très actifs en particulier sur les zones de padzas (=bad-lands). Les padzas sont des évolutions naturelles des altérites qui forment les crêtes des collines. Cette évolution naturelle est ou a été parfois accélérée par l'homme. Mais l'érosion touche aussi les terres agricoles des versants de faible pente.

Cette érosion peut avoir des conséquences agronomiques et économiques lourdes : elle participe à la destruction des terres agricoles, à l'envasement du lagon et peut déclencher des mouvements de terrain.

ÉROSION DE BERGES

Elle se manifeste par un glissement ou un éboulement de la berge :

- la force érosive de l'écoulement des eaux sappe le pied des rives et conduit au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée qui assurait l'équilibre ;
- l'enfoncement du cours d'eau au fil du temps conduit également à l'éboulement de la berge.

Ci-contre, un exemple d'érosion de berge à Mtsungamouji



ÉROSION LITTORALE

Les mécanismes d'évolution du littoral sont conditionnés par la nature des formations géologiques. Le littoral mahorais est soit de type rocheux soit de type alluvionnaire (galets, sables) au débouché des grandes rivières.

L'érosion littorale résulte de la combinaison de plusieurs facteurs hydrodynamiques (houle, marée et vent) auxquels s'ajoute l'action de l'homme (aménagements dans les ravines et en mer, extractions de sables et galets des rivières, atteintes au récif corallien par la pollution, ...).

On rencontre localement sur le littoral de petites cavernes qui ont été façonnées par l'érosion marine. C'est le cas, notamment de la falaise de Mahabo à Mamoudzou (ci-contre).



ÉROSION DES SOLS

L'érosion des sols correspond à une ablation mécanique. Les mécanismes mis en jeu sont, successivement, la désagrégation des matériaux, leur ablation, leur transport puis leur dépôt. Les deux derniers phénomènes ne concernent plus strictement les phénomènes d'érosion ; ils en sont la conséquence.

Les principaux facteurs entrant en jeu sont les pluies (effet « splash » de l'impact des gouttes d'eau désagrégeant le sol), la battance (favorisant le ruissellement), le ruissellement des eaux de surface (lorsque l'intensité des pluies est supérieure au pouvoir d'absorption du sol), la dessiccation des sols, le vent, et divers facteurs anthropiques (agriculture, travaux mettant le sol à nu, actions mécaniques tels que le piétinement ou la circulation, ...).

L'ampleur du phénomène dépend de paramètres tels que le recouvrement végétal, la nature et la structure du sous-sol, le réseau hydrographique, le relief (en particulier la valeur des pentes), les aménagements et le climat.

À Mayotte, les secteurs d'érosion intenses sur les altérites en position de crêtes sont appelées padzas : l'exemple ci-dessous illustre un padza à Diquani.



À compléter et à modifier avec le SIDPC

Suivi et prévention

Suivi et prévention

Aléa mouvements de terrain

LES MOYENS DE SUIVI

Pour l'ensemble de l'île, le BRGM renseigne actuellement une base de données thématique dans le cadre d'un Système d'Informations Géographiques. Cette base recense les mouvements de terrain observés par le BRGM et recensés dans les archives.

LE DOCUMENT RELATIF A LA PRÉVENTION

Le PLU (ex POS)

Lors des prochaines révisions, le Plan d'Occupation des Sols sera remplacé par le Plan Local d'Urbanisme (PLU). Le PLU ne sera plus seulement un document réglementaire mais il intégrera les notions d'aménagement et de développement durable à l'échelle communale, voire intercommunale. Sur le territoire de Mayotte, les PLU sont en cours d'élaboration.

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) est élaboré par le Maire et arrêté en conseil municipal après enquête publique.

L'enquête publique est une procédure dont l'objet est d'informer le public et de recueillir, préalablement à la prise de décisions, ses appréciations, ses suggestions, ses contre-propositions, afin de permettre à l'autorité compétente de disposer de tous les éléments nécessaires à son information et donc à la décision.

Le PLU se révèle un instrument de planification précis et de prescriptions. Il est opposable aux tiers. C'est un outil qui peut permettre de prévenir les risques majeurs, par une affectation effective des sols :

- dans les espaces déjà urbanisés, le PLU soumet à permis de construire les constructions nouvelles et les travaux sur des bâtiments existants ;
- dans les zones d'urbanisation future, le PLU a pour vocation d'autoriser de nouvelles implantations, aux seules activités non susceptibles de compromettre la sécurité et l'hygiène ;
- dans les zones naturelles, le PLU interdit ou limite le droit de construire.

LE PPR (intégré au PLU)

Le PPR Depuis la loi Barnier de 1993 et son décret d'application, tous les outils et documents de prévention antérieurs (Plans d'Exposition aux Risques, Plans de Surfaces Submersibles, etc...) ont été remplacés par un document unique dont l'élaboration et la mise en œuvre sont du ressort de l'Etat : " le Plan de Prévention des Risques (PPR) naturels prévisibles "

Son objectif est de délimiter les zones exposées aux risques naturels (secteurs inconstructibles et ceux soumis à prescriptions), ainsi que de définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à y mettre en œuvre tant par les particuliers que par les collectivités publiques.

Pour cela, les actions suivantes sont en cours d'engagement à Mayotte :

- choix des communes à forts enjeux pour le lancement prioritaire des études ;
- évaluation et cartographie des aléas à différentes échelles (zonage et micro-zonage) (documents pré-PPR) ;
- mise en place d'une Carpi à Mayotte (Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive) à laquelle le BRGM a été intégré (Arrêté n°351/CAB/SIDPC du 12 juin 2002).

LES PLANS D'INTERVENTION

LES BONS RÉFLEXES

Si vous êtes témoin d'un mouvement de terrain ou si vous en percevez les signes précurseurs (affaissements, fissures,...)



Informez les autorités.

Si vous êtes exposé à un mouvement de terrain :



Évacuez immédiatement.



Classez et réparez les habitations.



Informez les autorités.



Restez dans un abri pour attendre les secours à venir (RPU).

Dans tous les cas :



D'une façon générale, lorsqu'il y a eu, évitez les zones à risques (bordures et lits de rivières, pentes rapides de falaises...).



N'allez pas jouer les enfants sur les zones d'habitat. Il est irresponsable d'aller jouer là-bas.

OÙ S'INFORMER ?

Qui contacter :

- Préfecture (Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles - SIDPC) ;
- Mairie (services techniques municipaux) ;
- Subdivision de la Direction de l'Équipement (DE) ;
- Antenne du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à Mayotte ;
- Gendarmerie ;
- Caserne des Sapeurs-Pompiers.

Pour consulter des documents :

- Mairie, Préfecture (SIDPC)

Suivi et prévention

Aléa inondation

LES MOYENS DE SUIVI

Le suivi des précipitations. À compléter avec Météo-France

Le réseau pluviométrique de Mayotte comporte 7 pluviographes mécaniques, 11 pluviomètres automatiques gérés par la DAF et également 10 pluviomètres propriété de Météo-France dont 4 stations complètes (Pamandzi, Cocani, Dombeni et M'tzamboro) exploitées par les services de la Météorologie Nationale.

D'origine cyclonique ou orageuse, de fortes pluies affectent régulièrement chaque année Mayotte. En raison du risque de perturbations, voire de situations critiques que ces pluies peuvent entraîner, le service de Météo-France à Mayotte est chargé d'informer en temps utile, les autorités concernées, du risque éventuel de déclenchement de fortes précipitations.

LE DOCUMENT RELATIF A LA PRÉVENTION

Le PLU :

cf. Suivi et Moyens dans le chapitre « Aléa Mouvements de terrain »

LES PLANS D'INTERVENTION

LES BONS RÉFLEXES

Ce qu'il faut faire :



Véri- fier les portes et les



Véri- fier les issues d'évacua-



Ré- garder un pièce en hauteur si les eaux s'élèvent, surtout de nuit, s'agripper aux murs, se couvrir le face, puis attendre les consignes à



Dans tous les cas :



Avant d'envoyer vos enfants à l'école



Évitez les zones d'habitation



Évitez les zones d'habitation

OÙ S'INFORMER ?

En dehors des périodes de menace :

- Services municipaux ;
- Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DAF) ;
- Direction de l'Équipement (DE) ;
- Délégation à l'Environnement (DEN).

En cas de menace :

- information par voie de télévision et/ou radio ;
- répertoire de Météo-France ;
- services municipaux ;
- centres de secours des sapeurs pompiers.

Après l'inondation :

- répertoire de Météo-France ;
- services municipaux ;
- dispensaires de la DASS ;
- centres de secours des sapeurs pompiers ;
- brigade de gendarmerie nationale (en zone rurale) ;
- Police Nationale (en zone urbaine).

Pour consulter des documents :

- Mairie, Préfecture (SIDPC)

Suivi et prévention

Aléa sismique

LES PLANS D'INTERVENTION

LES MOYENS DE SUIVI

Le BRGM va installer un accéléromètre (variété de sismomètre) fin 2002 à Mayotte.

Cet accéléromètre enregistrera les accélérations du sol en cas de séisme, ce qui permettra d'affiner considérablement l'évaluation des effets de site et le microzonage sismique. Avec le réseau mondial de sismomètres, cet appareil assurera l'enregistrement en continu des signaux sismiques. Cela contribuera à la détermination de la localisation des épicentres des séismes qui touchent Mayotte.

LES BONS RÉFLEXES

Pendant la première secousse : rester où l'on se trouve

Si l'on se trouve dans un bâtiment :

- ne pas tenter de sortir
- s'abriter sous des meubles solides
- s'éloigner des bords vitrés, des fenêtres
- ne pas allumer de flamme

Si l'on se trouve dans la rue

- s'éloigner de ce qui peut s'effondrer (bâtements, ...)
- ne pas rester sous les fils électriques
- rester au milieu des rues ou dans les espaces libres

Si l'on se trouve en voiture

- s'arrêter à distance des bâtiments et des fils électriques
- arrêter le moteur, ne pas descendre avant la fin de la secousse

Après la première secousse :

Si l'on se trouve dans un bâtiment :

- couper le gaz, l'électricité et l'eau
- ne pas allumer de flamme et ne pas fumer ; en cas de fuite de gaz, ouvrir les fenêtres et les portes et avorter les services de secours
- évacuer l'immeuble
- ne pas utiliser l'ascenseur

Si l'on se trouve dans la rue

- s'éloigner de ce qui peut s'effondrer (bâtements, ...)
- se diriger vers un endroit isolé en prenant garde aux chutes d'objets et aux fils électriques qui pendent
- ne pas allumer de feu à flamme nue (allumettes, briquets). Ne pas fumer
- prendre contact avec ses voisins qui peuvent avoir besoin d'aide

Ne pas aller chercher les enfants à l'école

- écouter la radio
- ne pas revenir dans les constructions de la zone sinistrée sans l'accord des autorités
- ne téléphoner aux services d'urgence qu'en cas d'extrême nécessité, pour éviter d'encombrer les lignes

OÙ S'INFORMER ?

Qui contacter ?

- Préfecture
- Antenne du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à Mayotte ;
- Mairie : services municipaux ;
- SDDPC ;
- Centre de secours des Sapeurs Pompiers.

Suivi et prévention

Aléa cyclonique

LES MOYENS DE SUIVI

Chaque année, avant le début de la saison cyclonique (à la mi-novembre), les autorités préfectorales et les médias (télévision, radio, presse écrite) rappellent aux populations les consignes à appliquer en cas de menace cyclonique ou de confirmation de menace.

En cas de menace cyclonique, le Préfet, sur avis de Météo-France, peut être amené à déclencher différentes phases d'alerte afin d'avertir en temps utile la population, du danger.

Le système mis en place à Mayotte comprend deux niveaux d'alerte, l'alerte orange et l'alerte rouge, précédés d'un appel à la vigilance cyclonique.

OÙ S'INFORMER ?

En dehors des périodes de menace ou avant la saison cyclonique :

- Météo-France :
- prévision météorologique pour toute l'île de Mayotte : les prévisions à 24 heures, les prévisions marines et le temps en direct : 02 69 60 10 04 ;
- site internet de Météo-France : <http://www.meteo.fr> ;
- minitel 3615 METEO, qui propose une page spéciale " cyclone " ;
- mairie (services municipaux) ;
- Préfecture (SIDPC) ;
- centre de secours des sapeurs pompiers.

Pendant la saison cyclonique et en cas de menace :

- Météo-France
- services municipaux ;
- services de la DASS ;
- centre de secours des sapeurs pompiers ;
- brigades de la gendarmerie nationale ;
- police nationale.

Après le passage du phénomène :

- services municipaux ;
- dispensaires de la DASS ;
- centre de secours des sapeurs pompiers ;
- brigades de la gendarmerie nationale ;
- police nationale.

Pour consulter des documents :

- DE, Mairie, Préfecture (SIDPC)

LES PLANS D'INTERVENTION

LES BONS RÉFLEXES

Au début de la saison cyclonique :



Préparez votre habitation (toiture, portes et fenêtres, véranda, etc.), nettoyez les arbres, retirez les objets volants.



Constituez une réserve de vivres (conserves, légumes secs, produits secs).

Vigilance cyclonique : un cyclone s'approche de Mayotte, soyez attentif à son évolution



Évitez les zones à risque.



Évitez la radio.



Ne faites pas de feu.



Ne prenez pas la mer.

Alerte Orange : danger dans les 24 heures, les établissements scolaires et les crèches ferment, mais la vie économique continue



Évitez les zones qui sont peu sûres.



Évitez les zones à risque.



Évitez les zones à risque (toiture, planches, etc.).



Évitez la radio.

Alerte Rouge : le danger est imminent, interdiction de circuler



Évitez complètement les zones à risque (toiture, planches, etc.).



Ne marchez pas.



Ne faites pas de feu.



Ne prenez pas la mer.

Après le passage du cyclone :



Évitez les zones à risque.



Évitez les zones à risque.



Évitez les zones à risque.



Ne prenez pas la mer.



Ne touchez pas les fils électriques tombés à terre.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE (ouvrages consultés)

AFPS, 1993 – Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique. Association Française du Génie Parasismique.

Archives orales, 1998 – Histoires et légendes mahoraises. Cahier n° 3. Éditions du Baobab, 5 p.

Chausagnoux D., 1998 – Cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la commune de Sada, Collectivité Territoriale de Mayotte. Rapport BRGM R 39991.

Chausagnoux D., Cruchet M. et Fontaine F., 1998 – Cartographie de l'aléa mouvements de terrain, sur la commune de Sada. Collectivité territoriale de Mayotte. Rapport BRGM 44199.

Cruchet M. et Rossi F., 2001 – Cartographie à 1/10 000 de l'aléa mouvement de terrain du bassin de risque Koungou, Mamoudzou, Dzaoudzi-Lahafoir, Pamandzi. Rapport BRGM RP-50730-FR.

Cruchet M., 2000 – Évaluation et cartographie des risques sur les secteurs d'habitat précaire de la périphérie de Mamoudzou (Ile de Mayotte). Rapport BRGM RP-50444-FR.

Direction de la Météorologie, service de Mayotte, 1985 – Rapport préliminaire sur la forte dépression tropicale Feliksa.

Direction de la Météorologie, service météorologique régional de La Réunion, 1984 – Rapport sur le cyclone tropical Kamisy, 3 au 16 avril 1984.

Dossier Départemental des Risques Majeurs : un exemple, La Réunion. Co-édition Préfecture-BRGM-Rectorat, mars 1995.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2000 – Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain. *LCTPC*, 91 p.

Météo-France, service de Mayotte, 2002 – phénomènes cycloniques ayant intéressé directement ou menacé Mayotte depuis 1858. Note de Perraudin G. et Benito R.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2001 – Élaboration d'atlas de zones inondables par des techniques d'analyse hydrogéomorphologique. Termes de référence du CCTP relatif à la réalisation des atlas. 57 p.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997 – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), guide général. *La Documentation Française*, 76 p.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999 – Plans de prévention des risques naturels (PPR), risques d'inondation : guide méthodologique. *La Documentation Française*, 123 p.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999 – Plans de prévention des risques naturels (PPR), risques de mouvements de terrain : guide méthodologique. *La Documentation Française*, 71 p.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999 – Plans de prévention des risques littoraux (PPR) : guide méthodologique. *La Documentation Française*, 54 p.

Monge O. et Fontaine F., 1998 – Cartographie des risques naturels à Mayotte : aléa mouvements de terrain et principaux enjeux du bassin de risque de Mzamboro, Acoua et Mtiangamouji. Rapport BRGM 44254.

Plaquette d'information préventive (1995) - les bons réflexes, Préfecture de La Réunion.

Rauret M., 1992 – Île de Mayotte (archipel des Comores, Océan Indien). Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Rapport Cinad, 68 p.

Stieltjes L., 1988 – Carte géologique à 1/50 000 et notice explicative de Mayotte. Éditions du BRGM.

Terrier M., Aidru J.C., Bour M. et Dominique P., 2000 – Étude de l'aléa sismique régional de l'île de Mayotte ; détermination des mouvements sismiques de référence. Rapport BRGM RP-50250-FR, 95 p.

Thierry P., 1996 – Île de Mayotte : Programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain du bassin de risques de Sada ; communes de Chiconi, Sada, Ouangani et Chirongui. Rapport BRGM 43336.

Thierry P., 1996 – Île de Mayotte : programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux : cartographie d'orientation à 1/50 000. Rapport BRGM 43292.

ORIGINE DES ILLUSTRATIONS

- Lorsque la source n'est pas précisée, les photographies ou les illustrations d'origine BRGM.
- Le fond bathymétrique global est réalisé par NOAA/NGDC, Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry, 1997.

REMERCIEMENTS

- SIDFC : M. Cavarroc ;
- Journal Kwezi : M. Hermann ;
- Archives orales de Mayotte : M. Matoire ;
- Archives territoriales de Mayotte : M. Forest ;
- Archives RFO : Mme Marone ;
- Météo-France, service de Mayotte : M. Benito ;
- Association des naturalistes, historiens et géographes de Mayotte : M. Boufftemy.

Annexe 2

Questionnaire d'enquête sur les risques naturels envoyé aux mairies



Mamoudzou, le jeudi 16 mai 2002

Réf : JCA/02105

**Objet : Enquête sur les risques naturels à
Mayotte**

Affaire suivie par : J.C. Audru, chef de projet

Questionnaire d'enquête sur les risques naturels (mai 2002)

Ce questionnaire est destiné à recenser les désordres ou les dégâts liés aux risques naturels sur votre commune. Merci de bien vouloir noter ceux que vous connaissez et n'hésitez pas à faire des commentaires ou des observations supplémentaires.

Ce questionnaire n'engage pas votre responsabilité. Les géologues du BRGM vous rencontreront ensuite pour plus de détails.

Merci de reporter les désordres ou les dégâts sur la photocopie jointe de la carte topographique.

Commune : _____

Rédacteur (s) des fiches : _____

Fonction (s) : _____

1. Mouvements ou glissements de terrain

Localisation des mouvements (*marquer en rouge l'emplacement sur la carte jointe*) :

Lieux-dits, points de repères éventuels, date ou période même approximative

Types de mouvements :

Cocher une case

Glissements

Chute de blocs, éboulements, écroulements

Coulées de boue

Effondrements, affaissements

Érosions de berge

Retrait / gonflement

Ravines, ravinements

Ne sait pas

Autres , lesquels :

Remarques particulières (par exemple, les mouvements sont-ils répétitifs ?) :

Causes :

Si elles sont connues (fortes pluies ou fortes sécheresses, tremblements de terre, inondations, cyclones, travaux de terrassement, ...)

Dégâts constatés :

Sur des personnes (blessés...) Oui Non Ne sait pas

Sur des bâtiments, des rues, des ouvrages (fissures...) Oui Non Ne sait pas

Y-a t'il eu des travaux de confortement ? Oui Non Ne sait pas

Observations et autres commentaires que vous jugez utiles de figurer dans ce questionnaire :

2. Inondations

Localisation des zones inondables (*marquer en bleu les limites sur la carte jointe*) :

Lieux-dits, points de repères éventuels, date ou période même approximative

Types d'inondations :

Cocher une case

Inondation de fortes pluies

Crue torrentielle de ravine

Débordement de rivière

Ruissellement urbain

Inondation par l'océan

Ne sait pas

Autres , lesquels :

Remarques particulières (par exemple quelle ravine, quelle hauteur d'eau en ville, jusqu'à quel bâtiment l'eau est-elle arrivée, l'eau était-elle en mouvement ou bien stagnante ?)

Causes :

Si elles sont connues (fortes pluies, débordement de ravines, ponts ou buses obstrués, cyclones, tempêtes, fortes marées, travaux ...)

Dégâts constatés :

Sur des personnes (blessés...) Oui Non Ne sait pas

Sur des bâtiments, des rues, des ouvrages (fissures...) Oui Non Ne sait pas

Y-a t'il eu des travaux de protection ? Oui Non Ne sait pas

Observations et autres commentaires que vous jugez utiles de figurer dans ce questionnaire :

3. Tremblements de terre

Votre commune a-t-elle subi des tremblements de terre depuis 10 ou 20 ans ; vous souvenez-vous de l'année et du mois ? Avez-vous des témoignages pour des périodes plus lointaines ?

Ces tremblements de terre ont-ils été plus ressentis à un endroit qu'un autre de votre commune, et où ?

Lieux-dits, points de repères éventuels

Ces tremblements de terre ont-ils entraîné des mouvements de terrain ?

Cocher une case

Glissements

Chute de blocs, éboulements, écroulements

Coulées de boue

Effondrements, affaissements

Liquéfaction (sols devenant brutalement liquides)

Ne sait pas

Autres , lesquels :

4. Cyclones

Votre commune a-t-elle subi des cyclones depuis 10 ou 20 ans ; vous souvenez-vous de l'année et du mois ? Avez-vous des témoignages pour des périodes plus lointaines ?

Ces cyclones ont-ils entraîné des mouvements de terrain, des inondations, des arrachements d'arbres ?

Cocher une case

- Glissements Chutes de blocs, éboulements, écroulements
Coulées de boue Effondrement, affaissements Ravinements
Inondations loin dans les terres Inondation du bord de mer
Arbres arrachés
Ne sait pas Autres , lesquels :

Ces cyclones ont-ils entraîné des dégâts ?

Sur des personnes (blessés...) Oui Non Ne sait pas

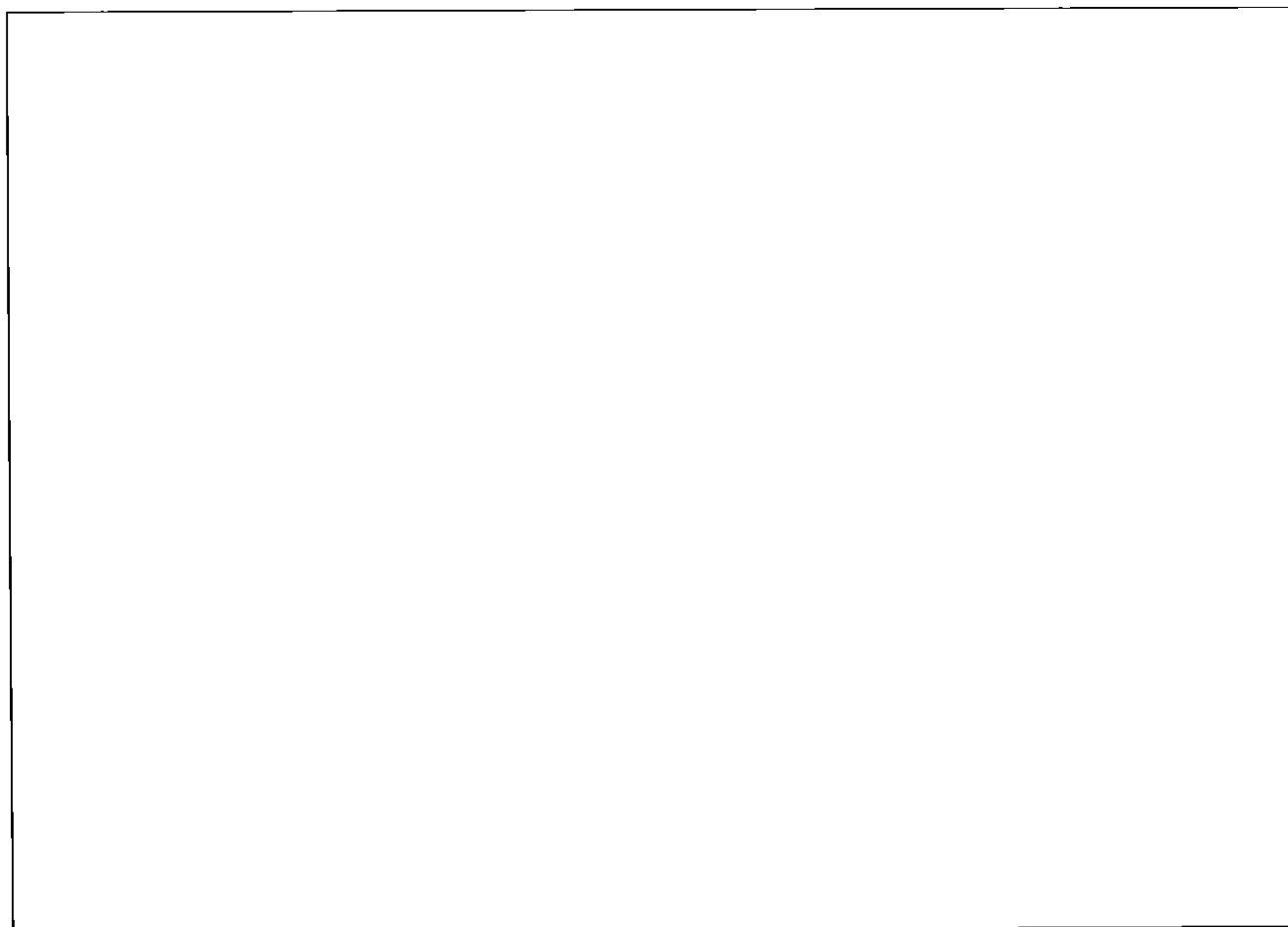
Sur des bâtiments, des rues, des ouvrages (toitures...) Oui Non Ne sait pas

Y a-t-il eu des travaux de protection ? Oui Non Ne sait pas

Ces cyclones ont-ils laissé des traces observables ?

Lieux-dits, points de repères éventuels

Observations et autres commentaires que vous jugez utiles de figurer dans ce questionnaire :

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to write their observations and comments. The box is currently blank.

Annexe 3

Exemples de fiches de synthèse des cours d'eau

Rivière DOUJANI

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1km)



Précipitations 2000 (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1180,5 mm
- Mois le plus pluvieux : 241 mm
- Moyenne mensuelle : 98,4 mm

Le risque associé :

Le centre de Doujani est situé en zone inondable. L'événement le plus récent est celui de début 2002 (janvier ?, février ? mars ? à préciser).

Les berges de la rivière paraissent assez instables. Arbres et terre sont susceptibles d'être arrachés et transportés par la rivière en crue pour éventuellement être stoppés et former un obstacle (barrage) à hauteur du pont de la RN2.

Informations hydrauliques :

Longueur de drainance : 13,9 km
Superficie du bassin versant : 2,6 km²
Périmètre du bassin versant : 10,2 km
Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 13,2 m³/s

Débits mensuels (source DAF 2000) :

Max : -
Moyen : -
Minimum : -



Vue vers l'aval prise du bourg de Doujani à marée basse, le 15/04/02



Vue vers l'aval prise du bourg de Doujani à marée haute, le 13/04/02

Vue du bourg de Doujani à marée haute, le 13/04/02 : Les maisons situées le long de la rivière sont en zone rouge, c'est à dire où l'aléa est fort.



Rivière GOULOÛÉ

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1km)



Le risque associé :

Le centre de Passamaïnti est situé en zone inondable. L'événement le plus récent est celui de début 2002 (janvier ?, février ? mars ? à préciser).

Les berges de la rivière paraissent assez instables. Arbres et terre sont susceptibles d'être arrachés et transportés par la rivière en crue pour éventuellement être stoppés et former un obstacle (barrage) à hauteur du pont de la RN2.

Informations hydrauliques :

Longueur de drainage : 46,4 km

Superficie du bassin versant : 7,6 km²

Périmètre du bassin versant : 16,1 km

Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 38,0 m³/s

Débits mensuels (source DAF) :

Max : 45,3 l/s

Moyen : 18,4 l/s

Minimum : 3,1 l/s

Précipitations (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1180,5 mm

- Mois le plus pluvieux : 241 mm

- Moyenne mensuelle : 98,4 mm



Vue vers l'aval prise du bourg de Passamaïnti à marée basse, le 15/04/02



Vue vers l'aval prise du bourg de Passamaïnti à marée haute, le 13/04/02



Vue du pont de la rivière Gouloué au passage de la RN2, vue prise à marée haute, le 13/04/02 : terre, rochers et végétaux transportés par la rivière en crue risquent de créer un obstacle (barrage) à hauteur du pont.

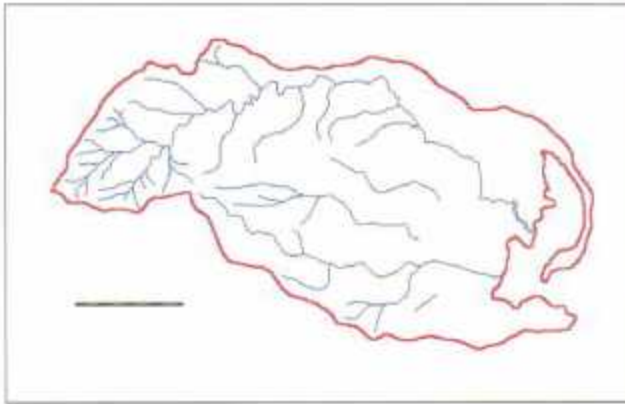
Vue prise à environ 1,3 km de l'embouchure de la Gouloué (le 13/04/02) : Lit mineur de la Gouloué, les berges sont peu marquées. De nombreux blocs sont observés au fond du lit.



Modification de l'estuaire de la Gouloué pour la construction d'une déviation routière (marée haute le 26/06/02)

Rivière KAOUENILAJOLI

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1 km)



Le risque associé :

La zone industrielle de Kaouéni est située en zone inondable (1 m d'eau relevé en 1996). Les événements les plus récents sont ceux de 1996 et 2000 (?à préciser ?).

Les berges de la rivière sont localement instables, des arbres et des blocs jonchent localement le lit mineur. Ces éléments peuvent rapidement s'amonceler lors d'une crue et former un obstacle (barrage) dans les secteurs où le lit est étroit ou bien à hauteur du pont de la RN.

Informations hydrauliques :

Longueur de drainance : 29,8 km

Superficie du bassin versant : 8,9 km²

Périmètre du bassin versant : 18,5 km

Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 44,5 m³/s

Précipitations 2000 (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1597 mm

- Mois le plus pluvieux : 429 mm

- Moyenne mensuelle : 133,1 mm

Débits mensuels (source DAF 2000) :

Max :- Moyen :- Minimum :-



Vue de la confluence de Kaouenilajoli dans son estuaire à marée basse le 04/06/02

Pas de photo disponible à marée haute

Vue de la confluence de Kaouenilajoli dans son estuaire à marée haute le 22/06/02



Vue prise à environ 1,4 km de l'estuaire de la Kaouenilajoli (le 06/06/02) : le lit mineur est encombré de troncs d'arbres et de gros blocs de basalte qui peuvent constituer des embâcles. Les laisses de crues observées dans ce secteur sont à 4 m au dessus du lit mineur.

Exemple d'érosion de berge en rive gauche de la rivière : ci-contre en amont du pont sur la RN, ci-dessous en aval du pont. Les laisses de crues observées sont à 3 m au dessus du fond du lit.



Rivière KIRISSONI

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1 km)



Le risque associé :

Les quartiers sud de Koungou sont situés en zone inondable (inondations de 1996 et 2000 ?, à préciser).

Les cases sont parfois installées dans le lit mineur. Les berges de la rivière sont localement instables et les amoncellements de débris ménagers peuvent former des embâcles menaçantes pour les riverains (risques pathologiques).

Informations hydrauliques :

Longueur de drainage : 15,5 km

Superficie du bassin versant : 3,8 km²

Périmètre du bassin versant : 9,1 km

Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 18,9 m³/s

Débits mensuels (source DAF 2000) :

Max : -

Moyen : -

Minimum : -

Précipitations 2000 (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1334 mm

- Mois le plus pluvieux : 351,5 mm

- Moyenne mensuelle : 111,2 mm



Vue de l'estuaire de la Kirissoni à marée basse le 04/06/02.



Vue de l'estuaire de la Kirissoni à marée haute le 26/06/02.



Vue prise à 500 m de l'estuaire de la Kirissoni. Les maisons sont fréquemment en équilibre instable sur les berges.



Vue prise à 500m de l'estuaire. Les maisons seront rapidement inondées en cas de crues et submergées par des eaux chargées en débris ménagers.

Rivière KOUALÉ

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1 km)



Le risque associé :

En amont de Koualé-Légion, la vallée (resserrement) présente une morphologie très favorable à la formation d'embâcle.

Certaines habitations situées à Koualé-Légion ainsi qu'à Koualé sont situées dans des zones où des crues exceptionnelles peuvent devenir très dangereuses.

En aval, en cas d'événement exceptionnel la rivière peut déborder et sortir de son lit. La zone d'aléa fort est alors très large.

Informations hydrauliques :

Longueur de drainance : 90,6 km

Superficie du bassin versant : 15,5 km²

Périmètre du bassin versant : 20,2 km

Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 77,6 m³/s

Débits mensuels (source DAF) :

Max : 32,7 l/s

Moyen : 13,5 l/s

Minimum : 4,8 l/s

Précipitations (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1473 mm

- Mois le plus pluvieux : 328,5 mm

- Moyenne mensuelle : 122,8 mm



Vue vers l'amont prise du pont de la RN2 à marée basse, le 15/04/02



Vue vers l'amont prise du pont de la RN2 à marée haute, le 26/06/02



Vue du pont de la rivière Koualé au passage de la RN2, vue prise à marée basse, le 15/04/02 ; à marée haute les eaux de la mangrove se mêlent à celles de la rivière.



Vue prise à la hauteur du quartier Koualé : Laises de crue de la rivière Koualé (hauteur environ 3,5 m) ; Travaux réalisés dans le lit mineur de la rivière (épis, mur de soutènement du versant).

Rivière MAJIMBINI

Limites du bassin versant (barre d'échelle = 1 km)



Précipitations 2000 (pluviographe DAF le plus proche)

- Par an : 1597 mm
- Mois le plus pluvieux : 429 mm
- Moyenne mensuelle : 133,1 mm

Le risque associé :

Les quartiers sud de Mamoudzou (Mtsparéré) sont situés en zone inondable (inondations de 1996 et 2000, à préciser).

Les berges de la rivière sont localement instables. Mais ce sont surtout les branchages et les épaves de voitures qui peuvent former un obstacle (barrage) en amont ou à hauteur du pont de la RN.

Informations hydrauliques :

- Longueur de drainance : 24,3 km
- Superficie du bassin versant : 6,5 km²
- Périmètre du bassin versant : 16 km
- Débit moyen de crues (ordre de grandeur) : 32,7 m³/s

Débits mensuels (source DAF 2000) :

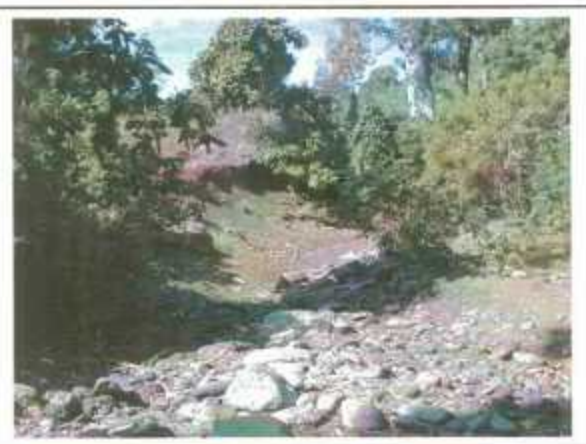
- Max : -
- Moyen : -
- Minimum : -



Vue de l'estuaire de la Majimbini à marée basse le 04/06/02. L'estuaire a été réaménagé en 2002 pour la construction de la déviation de Mtsapéré (pont).



Vue de l'estuaire de la Majimbini à marée haute le 26/06/02.



Vue vers l'amont à 1 km de l'estuaire. L'érosion des berges et la présence de nombreux blocs témoignent d'une énergie importante. Des laisses de crues sont ici observées à 2 m au dessus du fond du lit mineur.



Vue vers l'amont à 300 m de l'estuaire de la Majimbini. Les maisons seront rapidement inondées en cas de crues. Les branchages et les carcasses de voitures laissées à l'abandon dans le lit mineur peuvent également former des embâcles et obstruer le passage sous le pont de la RN. En 2002, une passerelle en bois a été emportée par la rivière en crue, 200 m en amont de ce pont. Des laisses de crues sont observées sur les piles à 2 m au dessus du fond du lit mineur.

Annexe 4

Formulaire d'enquête du Bureau central sismologique français

Formulaire d'enquête du Bureau Central Sismologique Français

Temps nécessaire pour remplir le questionnaire : 3 minutes

Les informations nominatives demandées seront traitées en toute confidentialité et ne donneront lieu à aucun usage commercial par le BCSEF.

Date du séisme (jj/mm/aaaa) :

Heure du séisme (hh:mn) :

Le séisme a-t-il été ressenti ?

oui

non

sans réponse

L'avez-vous personnellement ressenti ?

oui

non

sans réponse

Nom (facultatif) :

Prénom (facultatif) :

E-mail (facultatif) :

L'adresse E-mail nous permet de vous informer de la mise en ligne des résultats.

N° et rue :

Lieu-dit :

Commune :

Code postal :

Le nom de la commune et le code postal sont indispensables pour localiser géographiquement le témoignage.

En cas de doute indiquez « sans réponse »

Situation du séisme :

• à l'intérieur d'une maison :

oui

non

sans réponse

• à l'intérieur d'un immeuble :

oui

non

sans réponse

nombre d'étages :

sans réponse

lors du séisme, j'étais au :

sans réponse

• à l'extérieur (en plein air) :

oui

non

sans réponse

• activité lors du séisme :

sans réponse

• J'ai ressenti la secousse :			
comme un balancement	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
comme une vibration	faible <input type="radio"/>	forte <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• Le mouvement était	vertical <input type="radio"/>	horizontal <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• La secousse m'a réveillé(e)	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• La secousse m'a inquiété(e) <input type="radio"/>	effrayé(e) <input type="radio"/>	paniqué(e) <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• Je suis sorti(e) du bâtiment en courant	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• J'ai perdu l'équilibre	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>

• oscillation des objets suspendus (lustres, cadres ...)	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• vibration des petits objets (porcelaine, verres, bibelots ...)	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• tremblement du mobilier léger (chaise, table de chevet ...)	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• vibration des portes, fenêtres, vitres, vitrines	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• craquement des poutres, plancher et meubles	faible <input type="radio"/>	fort <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• oscillation des liquides dans les récipients	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• débordement des liquides des récipients pleins	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• ouverture et fermeture des portes ou fenêtres	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• bris d'objets (tableaux, verres, porcelaine ...)	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
déplacement, chutes de :			
• petits objets instables ou mal fixés	déplacement <input type="radio"/>	chute <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• mobilier léger (chaise, table de chevet ...)	déplacement <input type="radio"/>	chute <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• mobilier lourd (armoires, lit, buffet ...)	déplacement <input type="radio"/>	chute <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>

Bruits entendus

Le bruit ressemblait à :

- un grondement souterrain ou aérien (camion lourdement chargé) sans réponse
- un coup de tonnerre, une explosion faible fort sans réponse

• autre (précisez dans la case observations ci-dessous) faible fort sans réponse

observations :

↑

↓

←

→

• type	domestique <input type="radio"/>	élevage <input type="radio"/>	sans réponse <input checked="" type="radio"/>
• situation	à l'intérieur d'un bâtiment <input type="radio"/>	à l'extérieur <input type="radio"/>	sans réponse <input checked="" type="radio"/>
• réaction	mal à l'aise <input type="radio"/>	effrayé <input type="radio"/>	sans réaction <input type="radio"/>

vibration, sensation de balancement du bâtiment léger sans réponse

dommages aux parties non porteuses du bâtiment (murs de remplissage, cloisons) oui non sans réponse

- fissures fines ou superficielles dans les murs oui beaucoup sans réponse
- fissures larges ou profondes dans les murs oui beaucoup sans réponse
- chute de petits morceaux de plâtre ou d'un élément haut mal scellé oui beaucoup sans réponse
- chute de gros morceaux de plâtre ou de revêtement oui beaucoup sans réponse
- éroulement de morceaux de cloisons, murs, pignons oui beaucoup sans réponse

dommages à la structure du bâtiment (poutres, poteaux, murs porteurs, panneaux et dalles) oui non sans réponse

- fissures fines oui non sans réponse
- fissures larges oui non sans réponse

• fissures larges	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• fissures aux joints de poutres, poteaux, angles de murs	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• chute de mortier aux joints de murs ou dalles armées	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• flambage, torsion de poteaux	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• déplacement de poutres (toits ou planchers)	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• effondrement de poteaux ou d'un étage	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• effondrement quasi total des structures	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
<u>dommages aux toitures et cheminées</u>	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• chute de couronne de cheminée	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• chute de cheminée (cassée au ras du toit)	oui <input type="radio"/>	non <input type="radio"/>	sans réponse <input type="radio"/>
• chute de tuiles, d'ardoises :	sans réponse <input type="button" value="v"/>		
• effondrement de toiture :	sans réponse <input type="button" value="v"/>		

Noter ici les autres observations (*glissements de terrain, chute de rocher, crevasse dans le sol, débit des sources, niveaux des sources, niveaux des puits, phénomènes lumineux, autres secousses ressenties (date et heure) ...*)

Merci d'avoir rempli ce formulaire.
 Pour le soumettre, pressez le bouton "envoi"

annulation

Bureau Central Sismologique Français
 Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre
 5, rue René Descartes - 67084 Strasbourg Cedex
 Tél : 03 90 24 00 85 - Fax : 03 90 24 01 25
 Email : bcsf@eost.u-strasbg.fr
<http://www.seisme.prd.fr>
 URL : http://www.seisme.prd.fr/formulaire_oui.html

BRGM
SGR/RÉU

Antenne de Mayotte – BP 1398 – 97600 Mamoudzou – Tél. : 33 (0)2 69 61 28 13