



Ministère de l'Industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



DIRECTION DE L'ÉQUIPEMENT
de
Mayotte

LE CONSEIL GÉNÉRAL DE MAYOTTE
VOTRE PARTENAIRE



DOCUMENT PUBLIC

Ile de Mayotte :
Programme d'inventaire des phénomènes
naturels dangereux
Cartographie d'orientation à 1/50.000^{ème}

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 96-H-123

septembre 1996
R 39078



Mots clés : Mayotte, risques naturels, mouvements de terrain, érosion, Comores.

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

Thierry P. (1996) - Ile de Mayotte : Programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux. Cartographie d'orientation à 1 / 50 000 ème. Rapport BRGM R39078.

© BRGM, 1996, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'île de Mayotte est une île d'origine volcanique, située au Nord du canal du Mozambique, dans l'Océan Indien. Elle est donc soumise à un climat tropical maritime. Par cette situation géographique, climatique et géologique, cette île subit une érosion intense, souvent aggravée par l'action de l'homme, ou tout simplement par la mise en valeur des terres et par l'aménagement du territoire.

Dans un contexte de fortes pentes et de terrains argileux (altération des roches), cette érosion est aggravée, non seulement par le décapage de sols, mais aussi par l'instabilité des pentes qui est la cause de mouvements de terrain, dont la fréquence et l'importance tend à augmenter. A ces glissements de terrain, se superposent également des risques liés aux mouvements rapides de blocs (éboulements, écroulements de falaises).

Dans le cas particulier de Mayotte, le risque de mouvement de terrain représente un danger pour les personnes et les biens, d'autant plus important que la pression démographique et l'amélioration rapide des conditions de vie ont pour effet une urbanisation accélérée de l'espace. En l'absence de plaines côtières importantes cette urbanisation s'étend vers l'amont, sur des versants à forte pente.

Pour orienter les décisions en matière d'aménagement du territoire, il est donc nécessaire de porter à la connaissance de l'administration, des élus et des aménageurs, les zones géographiques qui sont - ou susceptibles d'être - le siège d'aléas naturels liés aux mouvements de terrain mettant en danger les biens et les personnes, ainsi que les secteurs "fragiles" vis à vis des phénomènes d'érosion.

Cette connaissance passe, en amont d'études plus détaillées, par une première approche des risques naturels, sur l'ensemble de l'île. C'est l'objet de ce travail, qui présente une cartographie d'orientation à l'échelle du 1 / 50 000 traitant des aléas liés aux instabilités de pente ⁽¹⁾.

Trois cartes de synthèse ont été réalisées à cette échelle :

- Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain
- Carte des zones d'érosion
- Carte des principaux enjeux

Les informations recueillies, en particulier sur les enjeux, ont été numérisées et structurées en une base de données géographique (SIG). Ceci garantit leur actualisation.

¹ Autres phénomènes potentiels : cyclones, séismes, inondations.

Mouvements de terrain

Pour les aléas mouvements de terrain (instabilité de pentes), trois types de phénomènes ont été distingués, glissements profonds ou superficiels, glissements pelliculaires et écroulements, chutes de blocs. **La carte réalisée recense les zones susceptibles de présenter des phénomènes de glissements, en précisant les secteurs où des facteurs aggravants ont été notés. L'intensité des phénomènes potentiels, ou leur probabilité d'occurrence (les aléas au sens strict) n'ont pas été déterminées.**

Quatre grandes zones, présentant une problématique homogène par rapport aux contraintes de l'aménagement, ont été identifiées :

1. Le Nord de l'île (communes d'Acoua, M'Tzamboro, ainsi que les moitiés nord-ouest des communes de Bandraboua et M'Tsangamouji) : Où l'association des roches argileuses, favorables aux glissements, et de falaises rocheuses, dans un contexte de fortes pentes, présente un caractère souvent préoccupant.
2. Le Centre-Nord (Sud-Est des communes de Bandraboua et M'Tsangamouji, avec les communes de Tsingoni et Koungou) : Les principaux problèmes y sont liés aux glissements superficiels et aux chutes de blocs.
3. L'Est de l'île (communes de Mamoudzou, Pamandzi et Dzaoudzi) : Des glissements pelliculaires ou des chutes de blocs peuvent s'y produire, le plus généralement à l'occasion de travaux d'aménagement. Les falaises littorales (Petite Terre) sont le siège d'écroulements dangereux.
4. La moitié sud de l'île (communes de Sada, Chiconi, Ouangani, Dembéli, Bandrélé, Chirongui, Bouéni et Kani-Kéli) : Où le principal problème est associé aux glissements de terrain.

Erosion

En ce qui concerne les phénomènes d'érosion (padzas), le bilan de la situation actuelle, a été établi à partir de traitements satellitaires (scène SPOT). La comparaison avec la situation de 1991, qui avait été décrite de manière précise dans une étude du CIRAD, montre une évolution certaine du phénomène. Ces résultats confirment les tendances déjà observées sur le terrain par la direction de l'agriculture et de la forêt :

- les grandes zones actives de padzas, sur les crêtes, sont en voie de fermeture progressive au bénéfice d'une végétation herbacée et arbustive;
- les sources d'érosion active se déplacent désormais vers les emprises villageoises et périurbaines.

Des facteurs contrôlant l'apparition des zones d'érosion ont pu être précisés : pentes, lithologie, proximité des zones d'occupation humaine.

La combinaison de ces facteurs, permet d'identifier un certain nombre de secteurs plus spécialement fragiles, essentiellement situés dans la partie sud de l'île : région de Sada-Chiconi-Ouangani, presqu'île de Bouéni, commune de Kani-Kéli.

Enjeux

Pour analyser les conséquences possibles des phénomènes naturels, il est indispensable de les reporter en regard des éléments exposés (population, infrastructure, biens...). Pour ces enjeux, les informations disponibles, fournies par la Direction de l'Equipement de Mayotte, ont été numérisées et géoréférencées, dans une base de données graphique (SIG). Elles concernent essentiellement :

- la population
- le bâti (zones urbanisées, zones d'activité)
- les installations classées (port, aéroport,...)
- l'énergie (réseau électrique, stations d'essence,..)
- l'alimentation en eau
- les voies de communication

Recommandations générales

Du croisement géographique des enjeux et des phénomènes naturels, trois secteurs ressortent clairement comme nécessitant une étude plus détaillée :

- Le secteur de Sada-Chiconi : où se concentre un fort potentiel de population avec une susceptibilité clairement identifiée aux glissements de terrain.
- Le secteur d'Acoua-M'Tzamboro, avec les risques associés aux chutes de blocs dans les falaises et aux glissements de terrain sur les fortes pentes du Madjabalini et de l'Hachiroungou.
- Le secteur de Mamoudzou-Petite Terre, où la susceptibilité aux phénomènes naturels est moindre mais où la concentration de population demande qu'on y porte une attention détaillée.

Sommaire

Synthèse.....	3
Sommaire.....	6
Introduction.....	9
1. Présentation générale du territoire.....	10
1.1 Cadre géographique.....	10
1.1.1 Aspect administratif et humain.....	11
1.1.2 Géographie physique.....	15
1.1.3 Aspect climatologique.....	18
1.2 Histoire géologique et géomorphologique.....	20
1.2.1 Géologie.....	20
1.2.2 Evolution géomorphologique.....	23
1.3 Lithologie.....	24
1.3.1 Substratum.....	24
1.3.2 Formations superficielles.....	30
2. Instabilités et phénomènes d'érosion.....	33
2.1 Eboulements rocheux.....	33
2.1.1 Chutes de blocs.....	33
2.1.2 Ecoulements de falaises.....	33
2.1.3 Déchaussements de "boules".....	33
2.2 Glissements et coulées.....	36
2.2.1 Glissements profonds (glissements rotationnels).....	36
2.2.2 Glissements superficiels (glissements plans).....	37
2.2.3 Glissements pelliculaires.....	38
2.2.4 Coulées boueuses et coulées d'éboulis.....	38
2.3 Erosion.....	40
2.4 Phénomènes divers.....	41
3. Méthodologie de cartographie.....	42
3.1 Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain.....	44
3.1.1 Principes.....	44
3.1.2 Critères retenus pour la cartographie.....	46
3.2 Padzas.....	49
3.2.1 Evolution de la situation.....	49
3.2.2 Recherche de paramètres contrôlant le phénomène.....	52

4. Résultats et recommandations générales	54
4.1 Instabilités (planche 1)	54
4.1.1 Nord de l'île	54
4.1.2 Centre-Nord.....	54
4.1.3 Est de l'île	55
4.1.4 Moitié sud de l'île.....	56
4.2 Erosion (planche 2)	57
4.2.1 Evolution du phénomène.....	57
4.2.2 Contrôles du phénomène.....	60
4.2.3 Carte des zones d'érosion	63
4.3 Enjeux (planche 3)	64
4.4. Zones les plus exposées et recommandations générales pour la prévention des risques	65
Conclusions.....	67
Bibliographie.....	68
Liste des figures	69
Liste des tableaux	69
Liste des graphiques	70
Liste des planches.....	70
Liste des planches photographiques	70

ANNEXE 1 : Notice descriptive de la base de données numérisée

ANNEXE 2 : Synthèse de quelques caractéristiques géotechniques recueillies



Introduction

Pour orienter les décisions en matière d'aménagement du territoire, il est nécessaire de porter à la connaissance de l'administration, des élus et des aménageurs, les zones géographiques qui sont - ou pourraient être - le siège d'aléas naturels liés aux mouvements de terrain mettant en danger les biens et les personnes, ainsi que les secteurs "fragiles" vis à vis des phénomènes d'érosion.

Dans ce cadre, un programme de cartographie a été lancé, conjointement par la Collectivité Territoriale (convention N° 01/95-SPP - notifiée le 4 septembre 1995 entre la Direction de l'Équipement de Mayotte et le BRGM REUNION) et le Ministère de l'Environnement (convention N° 36/95 notifiée le 2/01/1996). Cette étude, confiée au BRGM et pilotée par la Direction de l'Équipement de Mayotte, est cofinancée par le Ministère de l'Industrie dans le cadre des actions de Service Public du BRGM.

Ce programme comprend deux parties :

1. Un inventaire territorial de la susceptibilité aux phénomènes d'instabilité qui aboutira à une première représentation cartographique et à la définition des zones les plus exposées (SPPR - Secteurs Prioritaires de Prévention des Risques). Cette opération, menée avec une précision compatible avec l'échelle du 1 / 50 000, fait l'objet du présent rapport.
2. La cartographie des aléas naturels, liés aux mouvements des sols, sur un premier bassin de risque (bassin de SADA et CHIRONGUI), cette carte servira de test méthodologique pour les autres zones exposées.

Le présent rapport rend donc compte de la première phase de ce programme : inventaire territorial de la susceptibilité aux mouvements de terrain.

1. Présentation générale du territoire

1.1 Cadre géographique

L'île de Mayotte, qui appartient à l'archipel des Comores, est située dans l'Océan Indien, au Nord du canal du Mozambique, entre Madagascar et les côtes africaines.

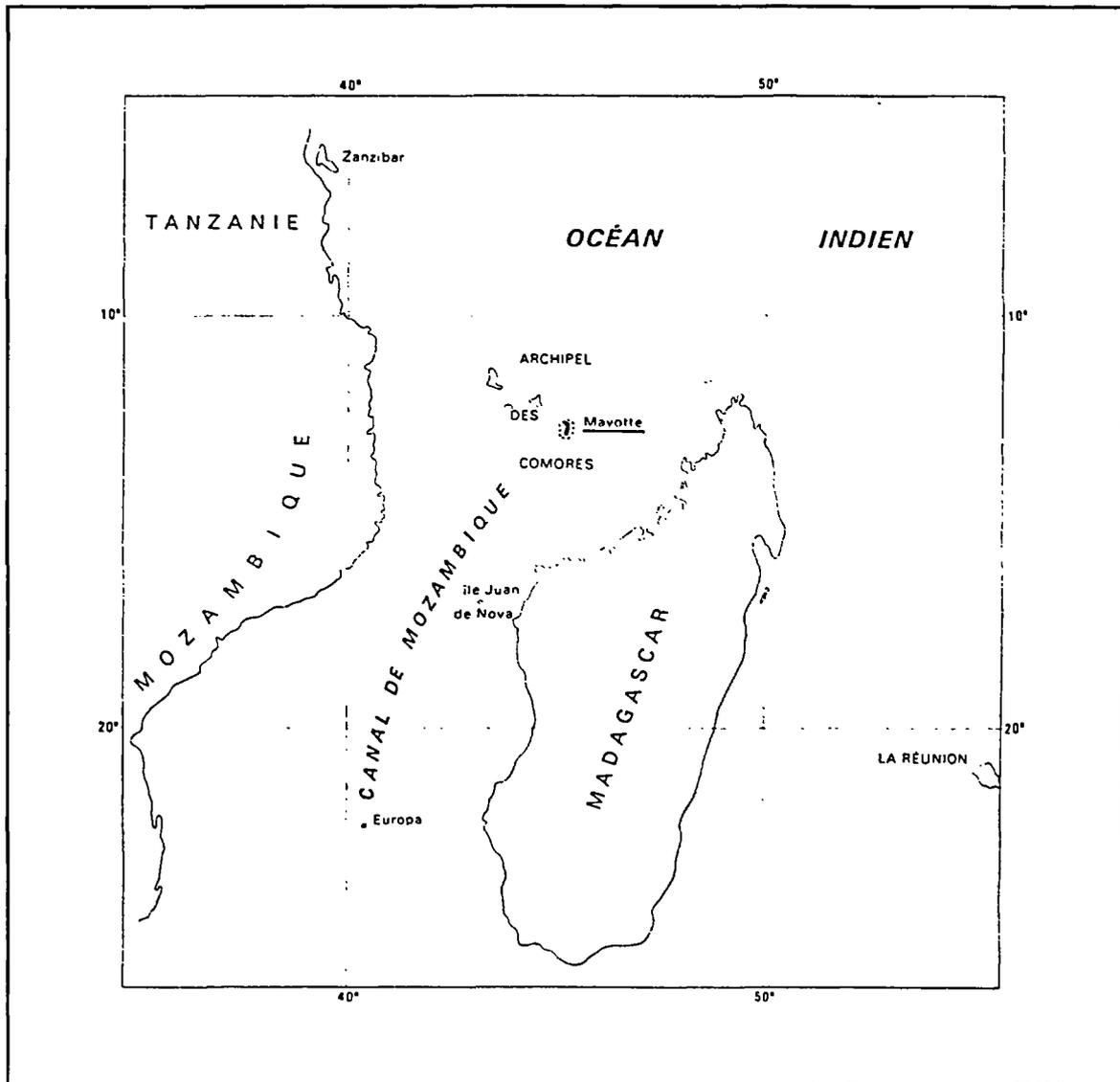


Fig. 1 : Localisation de l'archipel des Comores et de l'île de Mayotte (d'après STIELTJES 1988)

1.1.1 Aspect administratif et humain

L'île de Mayotte est un Territoire français d'outre mer. C'est une "Collectivité territoriale" de la République française depuis 1976, dotée d'un Conseil général et d'un Préfet. Elle est découpée en 17 communes (Fig. 2).

Mayotte se compose de deux îles principales : Grande Terre, 360 km², située au milieu du lagon, et la Petite Terre (14 km²), accrochée à la barrière. Elle a donc une superficie totale de 374 km² pour une population de près de 100 000 habitants (donnée 1992; prévision 136000 en 2000). Une quinzaine d'autres îlots, de petites surfaces, sont inhabités. Si la densité de population (267 hab./km²) reste acceptable, le rythme d'accroissement (4,5% par an) est préoccupant.

Actuellement la population se répartit principalement sur les côtes, avec quelques exceptions (Combani, Ouangani, Choungui,...). Elle est en grande partie concentrée dans le Nord-Est de l'île (communes de Mamoudzou, environ 28 000 habitants, et Koungou, environ 9000 habitants), et, sur Petite Terre (communes de Dzaoudzi et Pamandzi, 18 000 habitants à elles deux). Une deuxième concentration notable de population correspond, sur le côté ouest, à la région de Sada (environ 12 000 habitants entre les communes de Sada et Chiconi).

Nom de la commune	Population	Densité de pop. (habitants / km ²)	Superficie (hectares)
ACOUA	4375	337	1297
BANDRABOUA	6530	209	3122
BANDRELE	4682	134	3496
BOUENI	4620	328	1410
CHICONI	5509	662	832
CHIRONGUI	3940	150	2623
DEMBENI	4913	130	3767
DZAOUZDI	10333	1582	653
KANI-KELI	3918	193	2027
KOUNGOU	8850	319	2777
M'TSANGAMOUJI	4809	220	2189
M'TZAMBORO	5971	442	1351
MAMOUDZOU	28544	689	4143
OUANGANI	3710	202	1834
PAMANDZI	6428	1546	416
SADA	6765	613	1103
TSINGONI	4945	143	3454

Tableau 1 : Communes de Mayotte (estimation INSEE de la population en 1995 et superficie)

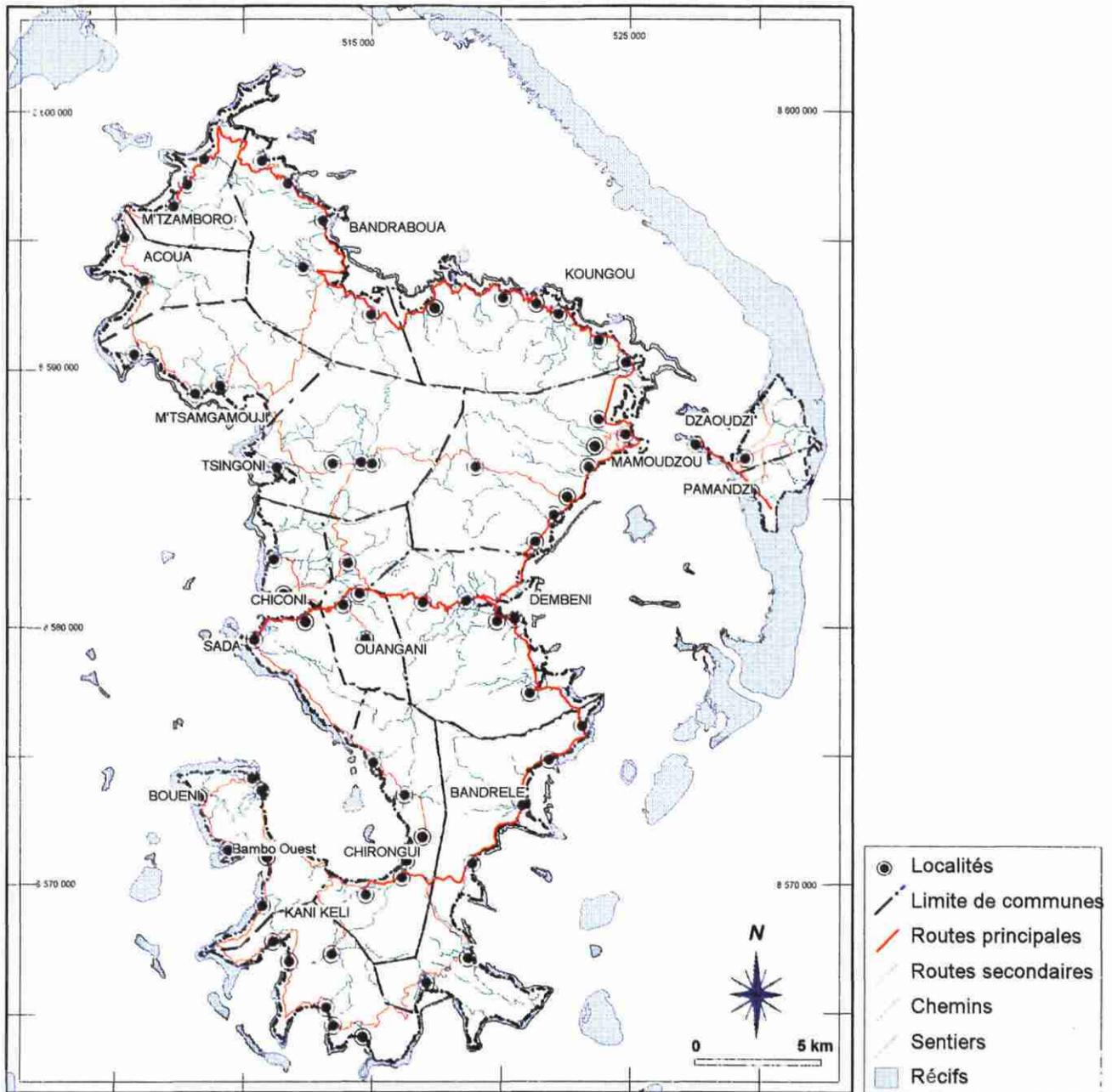


Fig. 2 : Limites des communes, principales localités et voies de communication

Les principales activités sont associées à l'agriculture, vivrière (bananier, manioc, riz pluvial,...) ou cultures de rente (ylang-ylang, vanille, café,...). En matière d'élevage, la plupart des agriculteurs possèdent quelques têtes de bétail (zébus et chèvres).

Sur Grande Terre, trois routes principales permettent de relier :

- Mamoudzou à Mtsamboro (RN1)
- Mamoudzou à Sada (RN2)
- Dembeni à Tsimkoura (RN3)

Des routes secondaires (CCT1,...) permettent de relier les autres localités, essentiellement par la côte. Sur Petite Terre, la route principale (RN4) relie Dzaoudzi à l'aéroport.

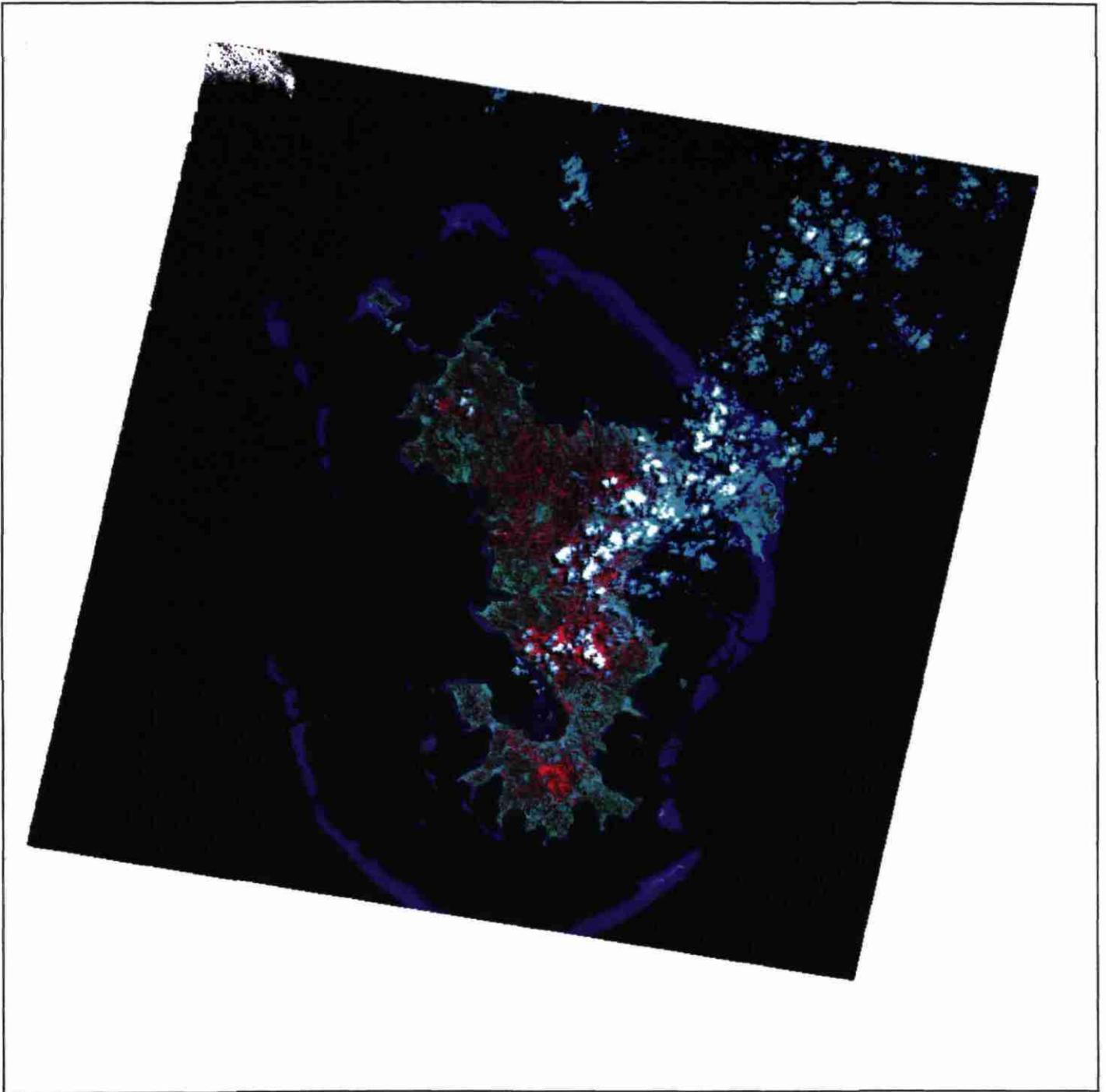
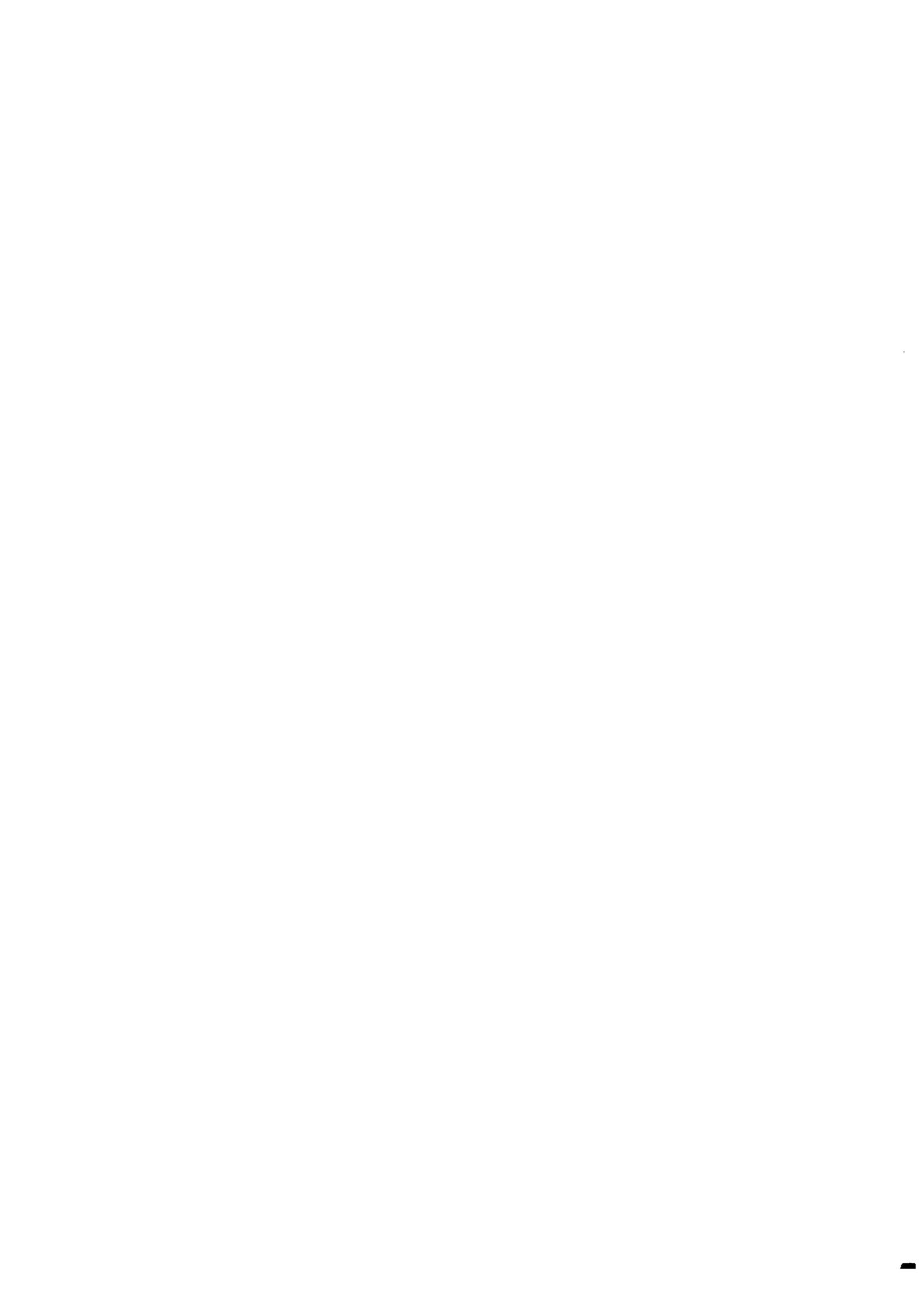


Fig. 3 : Image satellitaire de Mayotte (rééchantillonnage à 25%).
Scènes SPOT XS, KJ 161-375/376 du 30 septembre 1995



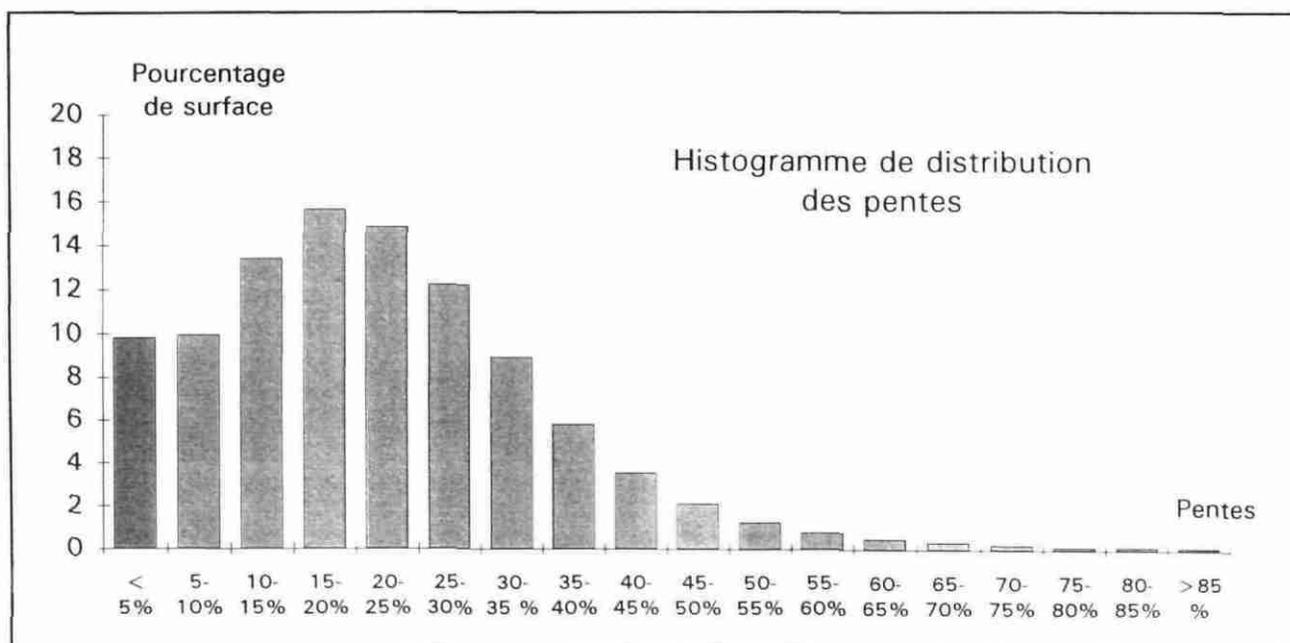
1.1.2 Géographie physique

L'ensemble des îles constituant Mayotte est situé dans un lagon d'environ 1000 km². Ce lagon est isolé par une barrière de corail, échançrée par plusieurs passes (Fig. 3). Pour Grande Terre, les dimensions maximales sont de 39 km par 22 km.

L'origine volcanique de ces îles explique la faible extension des zones planes, plaines littorales et fonds de vallées. Ces zones (pente inférieure à 2%) occupent moins de 4% des terres. A l'inverse, 3,5% des surfaces correspondent à des pentes supérieures à 50%. La majeure partie des îles se présente donc avec des pentes variant de 10 à 30%, qui correspondent à une morphologie relativement souple (graphique 1).

La Grande Terre est constituée de quatre unités montagneuses de moyenne altitude (Fig. 4), qui correspondent à quelques unes des principales formations géologiques.

- le massif du Nord, dominé par l'Hachiroungou (497 m) et le Dziani Bolé (472 m);
- le complexe du M'Sapéré (572 m) et du Mont Combani (481 m) à l'Est et au Centre;
- le massif du Bénara (660 m), plus au Sud;
- l'unité du Choungui (584 m), à l'extrême Sud.



Graphique 1 : Histogramme de distribution des pentes

La dissection, assez poussée, des massifs a conduit au découpage de l'île en bassins versants très fermés (Fig. 5). Il en résulte l'absence de cours d'eau principaux. On dénombre 27 bassins versants, d'une superficie supérieure à 2 km², mais aucun ne dépasse 25 km² (la plus grande longueur d'un bassin versant n'atteint pas 10 km).

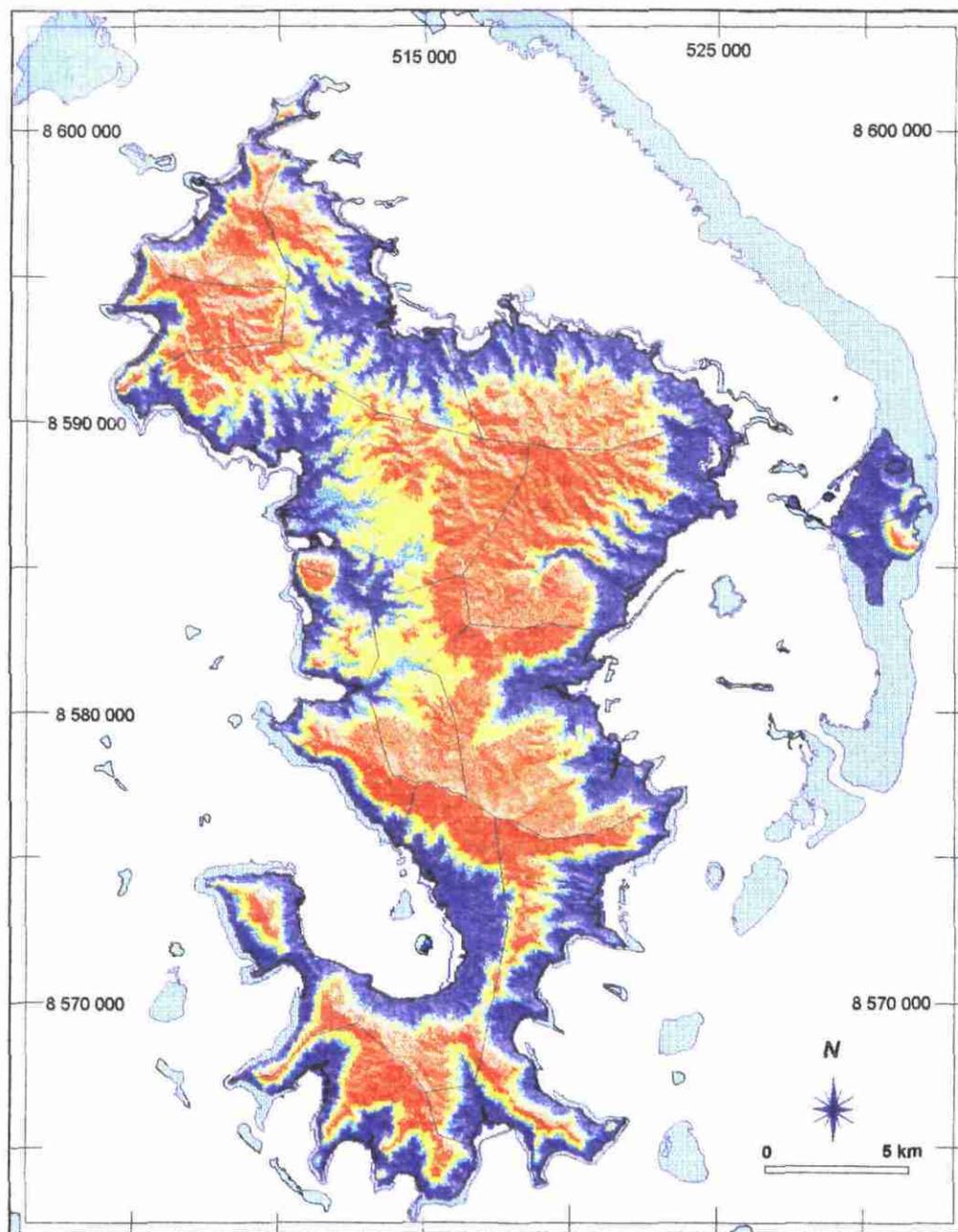


Fig. 4 : Relief (obtenu par ombrage du MNT à pas de 50 m)

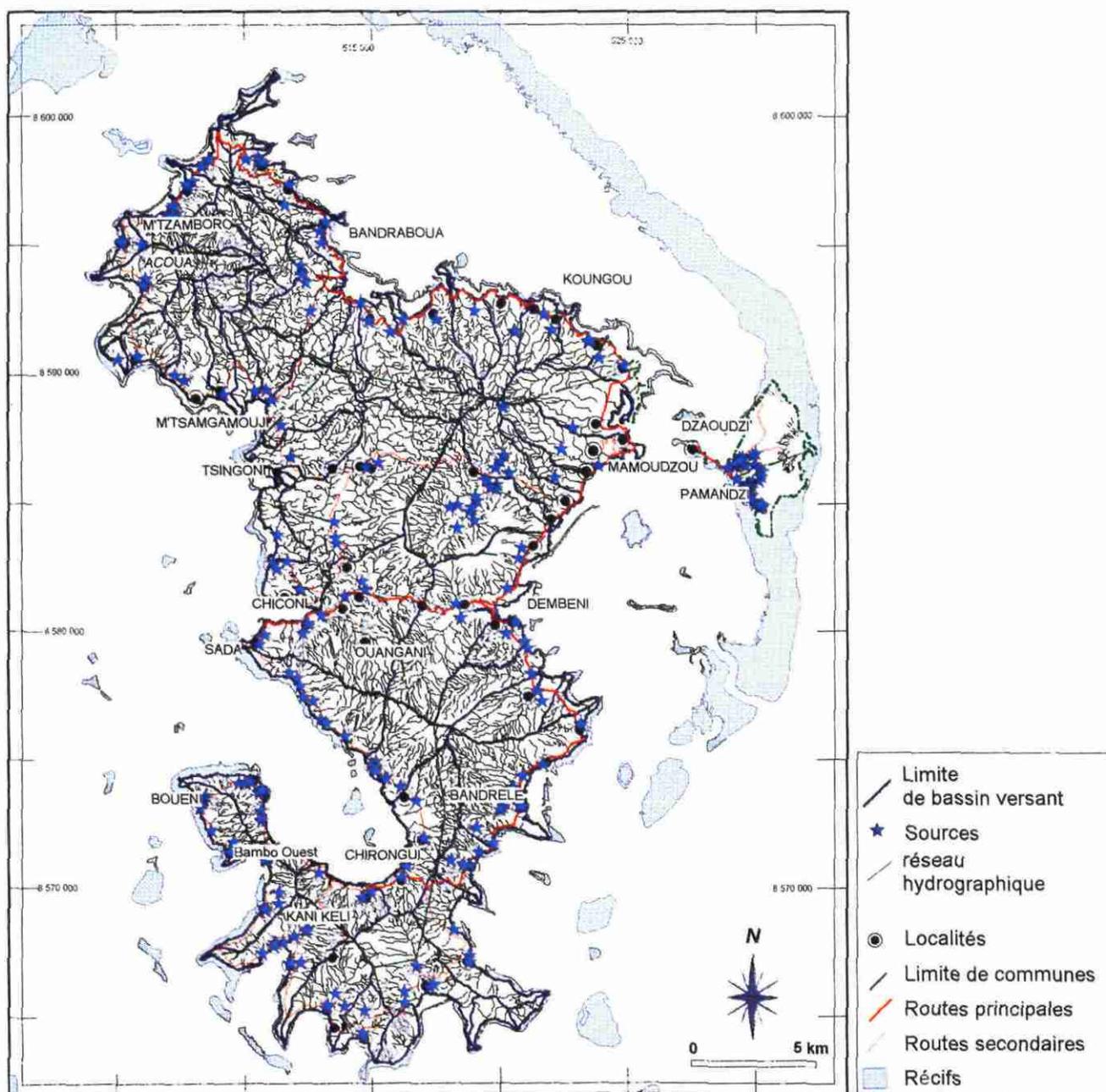


Fig. 5 : Réseau hydrographique (d'après cartes IGN à 1 / 25 000), bassins versants et inventaire des sources (BILLARD 1977)

Les lignes de crêtes qui descendent presque toutes jusqu'au lagon rendent difficile le désenclavement des villages côtiers. Ces lignes de crêtes délimitent 44 baies.

La Petite Terre est peu élevée (colline de la Vigie : 203 m). Elle ne possède aucun cours d'eau. A noter, toutefois, sur la moitié nord, la présence du lac de cratère du Dziani Dzaha.

1.1.3 Aspect climatologique

Le climat des Comores est de type tropical maritime.

Il se caractérise par de faibles variations de températures annuelles (autour de 25°C en moyenne) et des précipitations abondantes, plus de 1,5 m par an en moyenne sur l'île. Deux saisons ponctuent l'année, l'une chaude et pluvieuse (décembre à mars), l'autre plus fraîche et plus sèche (juin à septembre). Elles sont séparées par deux intersaisons plus brèves.

La répartition des précipitations est conditionnée par l'exposition et le relief (Fig. 6). Ainsi les massifs sont-ils plus arrosés, en particulier sur leur versant nord-ouest (plus de 2 m par an).

Des perturbations ou tourbillons violents, qui prendront suivant leur intensité le nom de dépressions tropicales ou de cyclones, peuvent affecter l'île durant la saison chaude (cyclone KAMISY du 6 au 8 avril 1984, dépression FELIKSA du 10 au 18 février 1985). Il est important de noter que ces dépressions tropicales sont associées à des pluies de très forte intensité (135 mm en deux heures le 2 décembre 1973 à Dzoumogné, 76 mm en quarante-cinq minutes le 15 mars 1974 et 64,4 mm en une heure trente en fin de saison sèche à Coconi). La dépression FELIKSA, le 15 février 1985 entre 22 heures et 23 heures, a donné des intensités horaires de 78 mm/h à Pamandzi et de 96 mm/h à Mamoudzou. Les conséquences de ces précipitations est importante, tant du point de vue de la puissance érosive que comme déclencheurs de glissements.

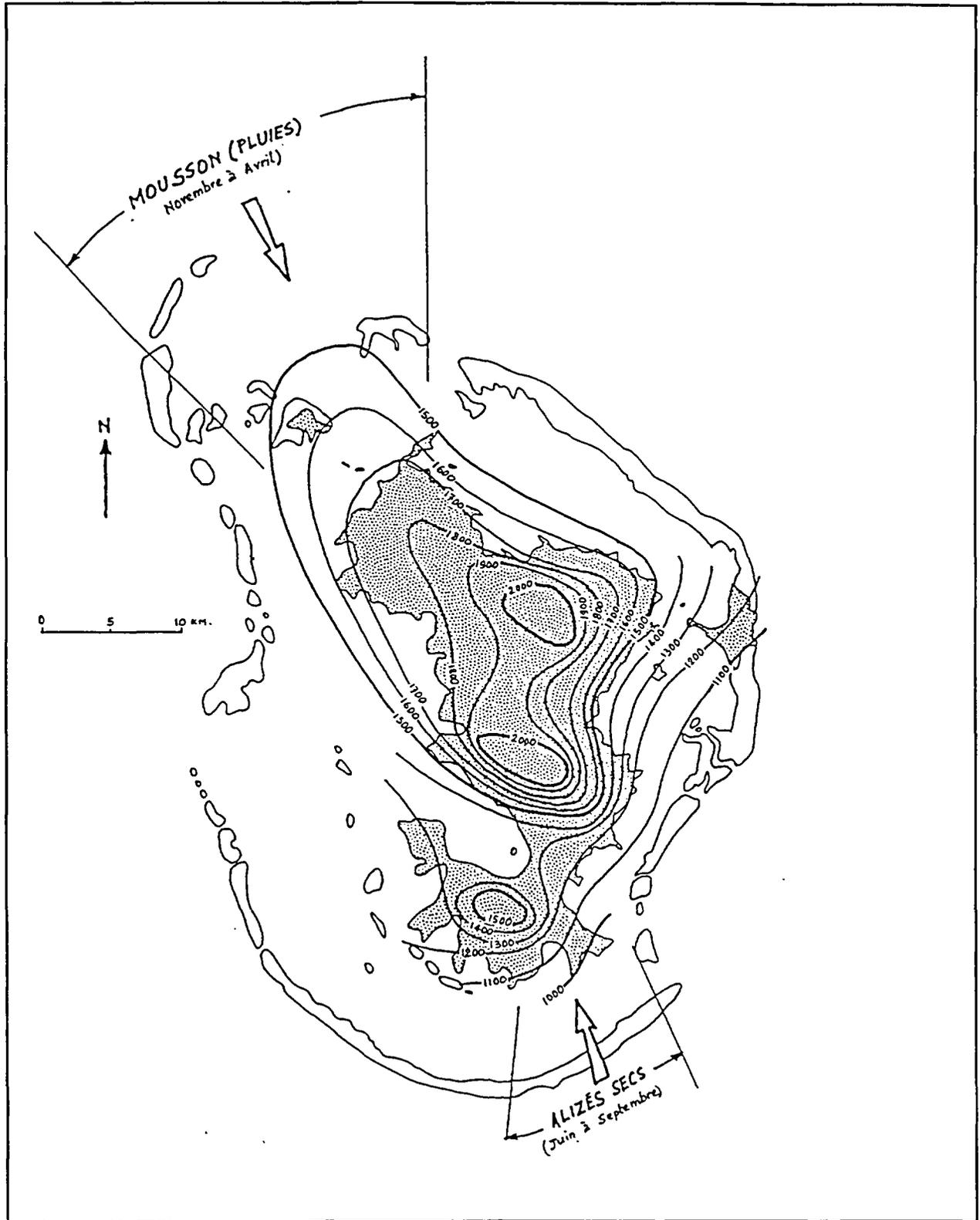


Fig. 6 : Pluviométrie moyenne annuelle (d'après RAUNET 1992)

1.2 Histoire géologique et géomorphologique

L'île de Mayotte représente la partie émergée d'un édifice volcanique, qui s'est édifié en plusieurs phases successives. Cette construction s'est poursuivie sur 8 millions d'années, jusqu'à une période "récente", 10 000 ans environ. Les caractéristiques des différentes phases volcaniques, leur évolution (altérations), leur histoire morpho-tectonique conditionnent en grande partie le comportement actuel des terrains et permettent la délimitation de grands ensembles homogènes.

1.2.1 Géologie

Le lecteur se reportera à la notice de la carte géologique (Fig. 7), pour une description plus complète de la géologie de l'île (STIELTJES 1988) .

Mayotte se caractérise par des laves d'une série alcaline sodique sous-saturée en silice.

Pour résumer l'historique, la séquence suivante peut être proposée :

8 à 4 millions d'années (époque mio-pliocène) :

A partir de deux sources magmatiques distinctes, deux volcans boucliers se forment. Le premier, plus précoce, est situé à l'Ouest de l'île actuelle, le deuxième, plus tardif, au Nord. Les laves, initialement très fluides, de ces volcans constituent encore la plus grande partie de l'île. L'édification de ces boucliers s'est poursuivie durant une très longue période, avec des alternances d'activité et de repos. Ces périodes de repos ont été accompagnées de phénomènes d'altérations et d'érosions. C'est ainsi que les dernières coulées de cette phase mio-pliocène se sont déposées sur du matériel déjà très altéré, en suivant le tracé des fonds de vallée. Ces coulées plus tardives, et actuellement encore moins altérées, constituent certaines des crêtes actuelles, à la suite d'un phénomène d'inversion de relief (les anciennes collines qui encadraient les coulées tardives, parce que plus altérées, ont été érodées préférentiellement).

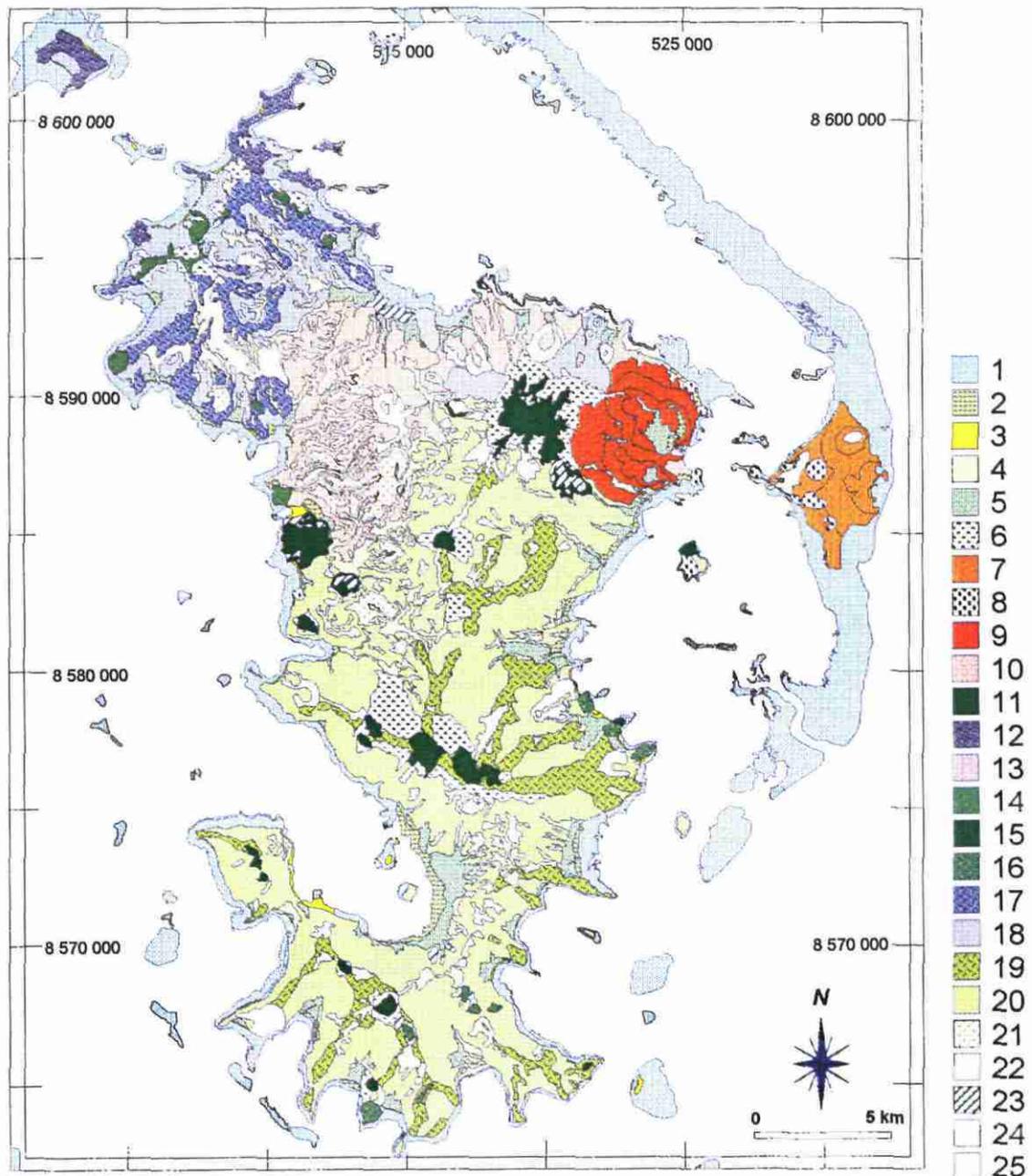


Fig. 7 : Carte géologique de Mayotte. Synthèse d'après BRGM 1988

1. Récifs ; 2. Mangrove ; 3. Form. de plages ; 4. Form. de rivières ; 5. Form. alluviales ;
6. Colluvions de versants ; 7. Cinérites de Pamandzi ; 8. Scories basaltiques ; 9. Trachites de Kawéni ;
10. Laves différenciées du M'Sapéré ; 11. Phonolites du M'Sapéré ; 12. Basanites à olivines ;
13. Basaltes à hornblende ; 14. Phonolites alcalines ; 15. Phonolites alcalines du Sud ;
16. Néphélinites ; 17. Basaltes altérés en boules (Nord) ; 18. Basaltes altérés (Nord) ;
19. Basaltes altérés en boules (Sud) ; 20. Basaltes altérés (Sud) ; 21. Cendres ; 22. Altérites ferralitiques
23. Altérations fumerolliennes ; 24. Basaltes altérés (Sud) appareil volcanique ;
25. Laves différenciées du M'Sapéré appareil volcanique.

3,5 à 2,4 millions d'années (époque pliocène) :

Les laves, beaucoup plus visqueuses, de cette période ont traversé, par des fractures les séries plus anciennes des deux volcans boucliers, pour former des dômes, des pitons, des laves à parois abruptes. Ce sont les "phonolites" qui forment les reliefs les plus caractéristiques de l'île (le piton du Choungui par exemple). Cette activité a été accompagnée par des venues de fluides (altération hydrothermale ou fumerollienne) qui ont aggravé les phénomènes d'altération des séries anciennes.

Dans la même période, de nombreux dykes de 1 à 10 m d'épaisseur ont injecté les plans de fracturation des boucliers (réajustements morphotectoniques).

2,2 à 2 millions d'années (fin du pliocène) :

Par un phénomène de subsidence, les îles s'enfoncent lentement. Au Nord de l'île actuelle, un rift (fossé d'effondrement) s'est formé sous l'effet d'une distension de la croûte. Des coulées de laves fluides lui sont associées. La majeure partie de ces laves a disparu aujourd'hui, par glissements et effondrements en mer. Seuls quelques témoins de cet épisode existent encore (Ilot de M'Tzamboro, Rassi Douamounyo par exemples).

1,8 à 1,4 millions d'années (époque pléistocène, début du quaternaire) :

Cette phase débute par l'extrusion du dôme de laves visqueuses "phonolites" qui forme le massif actuel du M'Sapéré. Cette extrusion s'accompagne, comme pour l'épisode phonolitique précédant, d'un intense dégagement fumerollien qui désagrège les séries environnantes. Il y a constitution d'un épais manteau d'éboulis, maintenant ferralitisés.

Plus tardivement, d'épaisses coulées basaltiques combleront la dépression située entre les deux boucliers primitifs. Elles forment le plateau de Combani.

Comme le volcanisme antérieur, mais à un degré moindre, les laves émises durant cette période sont maintenant altérées et ferralitisées.

500 000 ans à 10 000 ans (époque pléistocène-holocène) :

Après une longue période de calme (un million d'années environ), on assiste au réveil de l'activité volcanique, sur le littoral nord-est de l'île, en milieu marin de lagon. C'est un volcanisme très différent de ceux qui ont précédé. Il est caractérisé par une nature différente des laves (enrichies en silice ce qui leur donne une couleur plus claire) et surtout par le caractère explosif des éruptions (les laves se déposent principalement sous forme de cendres). Les édifices les plus précoces sont ceux de Kawéni et Kavani (500 000 ans). Les panaches de cendres (non consolidées et maintenant ferralitisées) ont recouvert les environs, parfois sur plusieurs mètres. Les derniers épisodes éruptifs voient la constitution des édifices de l'île de Pamandzi. La formation de quelques cônes basaltiques à scories (Dzaoudzi, Mahabo,...) accompagnent ces phénomènes.

Cette alternance d'activités volcaniques et de repos, donc d'érosions et d'altérations, impliquent qu'en bien des endroits des dépôts récents recouvrent des formations altérées. Ce phénomène peut avoir des conséquences importantes, tant en fait de susceptibilité aux mouvements de terrain qu'en fait d'érosions.

En conclusion, on distingue donc trois grands ensembles géologiques :

- Les "formations anciennes", le plus souvent très fortement altérées, émises initialement par deux volcans distincts, au Nord et au Sud. Ces formations sont majoritaires sur l'île. Elles sont associées à des dykes et des extrusions "phonolitiques".
- Un volcanisme "intermédiaire", plus récent, moins altéré, qui sépare les formations anciennes du Nord et du Sud de l'île.
- Un volcanisme "récent", différent des épisodes précédants (cendres grises et nature explosive des éruptions). Ce volcanisme est limité au secteur nord-est de l'île (Mamoudzou et Petite Terre).

1.2.2 Evolution géomorphologique

RAUNET (1992) a réalisé une étude détaillée de l'évolution géomorphologique de Mayotte. Nous nous contenterons d'en reprendre les principales conclusions.

Une série de phénomènes ont conditionné l'évolution de la morphologie de l'île :

- Les effondrements volcano-tectoniques du type "caldeira";
- la subsidence (enfouissement lent et continu) de l'édifice volcanique;
- l'altération intense des roches (climatique ou fumerollienne);
- la présence de mûles résistants (phonolitiques);
- la fracturation et la mise en place, associée, de dykes;
- les glissements de grande ampleur vers la mer, ou plus localisés à l'intérieur des terres;
- l'érosion dite "géologique" (ravinement, accumulations alluviales et colluviales,...);
- évolution récente anthropique (pratiques agricoles, pression démographique,...).

En ce qui concerne le lagon, d'autres phénomènes ont pu jouer plus particulièrement (régressions et transgressions marines, dynamique littorale,..).

Pour résumer la morpho-dynamique de l'île :

La majeure partie de l'île est constituée de séries volcaniques anciennes très fortement argilisées et ferralitisées. Ces séries ont subi des effondrements (caldeiras), sub-circulaires ou en arcs recoupés, consécutifs aux vides créés par la vidange de la chambre magmatique. Les fractures associées à ces mouvements tectoniques ont pu être injectées par des laves visqueuses, qui ont produit soit des dykes, quand elles ne

parvenaient pas à la surface, soit des dômes, des lames ou des pitons. Ces dykes et ces extrusions, moins altérés que leur encaissant, constituent les armatures actuelles de nombre des reliefs.

Les formations volcaniques "intermédiaires" et récentes forment des ensembles moins altérés.

La régression marine würmienne (dernière glaciation de -125 000 à -10 000 ans) a fait baisser le niveau de la mer d'une centaine de mètres, entraînant une accélération de l'érosion régressive. Cette érosion régressive, convergente à partir des côtes, a modelé les nombreux bassins en amphithéâtres et alvéoles, séparés par des crêtes et débouchant sur les multiples baies. Ce phénomène s'est opéré par des glissements successifs, en masses des formations les plus altérées. Ce déplacement vers l'aval a fauché et incorporé de nombreux blocs, résidus d'altération des dykes ou des coulées tardives. Les reculs des fronts d'érosion ont stoppé, à partir du moment où ils se sont recoupés en crêtes et que ces crêtes se sont trouvées accrochées aux extrusions phonolitiques.

En ce qui concerne les formations volcaniques plus récentes, l'érosion régressive s'est traduite par un niveau de dissection proportionnel à l'âge et à la résistance des matériaux.

Avec la fonte des derniers glaciers, on a assisté à une remontée du niveau de la mer, (la transgression flandrienne, de - 10 000 à - 2 000 ans, jusqu'à 1 ou 1,5 m de hauteur au dessus du niveau actuel). Il y a donc eu comblement des vallées par les alluvions et les colluvions, qui ont donné les plaines littorales actuelles. On peut noter que celles ci sont à nouveau entaillées par leurs cours d'eau, à la suite de la dernière baisse du niveau marin .

1.3 Lithologie

1.3.1 Substratum

Dans ce paragraphe, est présentée une classification sommaire des faciès lithologiques, en fonction de leur comportement mécanique. Des regroupements ont donc été opérés entre des formations d'ages différents (cf. tableau 2 et Fig. 8). Cette classification a été élaborée pour faciliter l'exploitation de la carte géologique à 1 / 50 000 dans une optique de cartographie de l'aléa mouvement de terrain, à cette échelle. Nous nous sommes donc surtout intéressés à la tranche superficielle des différents faciès (niveau d'altération). Le lecteur se reportera à la notice de la carte géologique, pour la description pétrographique des roches rencontrées.

Altérites de base

Ce sont les formations les plus anciennes de l'île; basaltes, basanites, basaltes à néphélines et néphélinites des boucliers mio-pliocènes (4 à 8 millions d'années).

Elles se présentent sous forme de niveaux argilisés homogènes. La couleur est fonction de l'altération (violacée, rouge, orangée, jaune,...). La texture initiale est visible, en particulier par les fantômes de phénocristaux. On reconnaît aussi fréquemment la présence de dykes contemporains altérés (Pl. 1, photo 1) et les différents niveaux (coulées et projections). A noter, également, la présence de fractures (anciennes failles) qui peuvent jouer un rôle très important dans les circulations d'eau.

La puissance de l'altération météorologique est importante, généralement supérieure à la dizaine de mètres et doit pouvoir atteindre 50 mètres. L'intensité de l'argilisation varie suivant les lieux en fonction de plusieurs critères ; la texture plus ou moins vitreuse de la roche initiale, la fracturation ou les différences dans le chimisme.

Les caractéristiques mécaniques de ces altérites sont généralement assez médiocres. Quelques résultats de mesure ont pu être compilés (Annexe 2), à partir de données fournies par la Direction de l'Équipement de Mayotte. L'interprétation précise de ces données est délicate, dans la mesure où il est difficile de les rattacher à un faciès (niveau d'altération entre autres) précis. Trois études différentes sur Doujani, Sada et Combani montrent des faciès d'altérite de caractéristiques variables. Elles peuvent aller d'une tenue très faible (angle de frottement interne inférieur à 15°), à une tenue "moyen / faible" (ϕ autour de 20°) et même, pour les faciès les moins altérés de couleur grise, à une assez bonne tenue (ϕ de 30° à 40°).

Des phénomènes d'altération hydrothermale (kaolinisation fumerollienne) associés à des épisodes volcaniques postérieurs ont pu affecter ces basaltes. Ils se présentent alors avec des couleurs plus "bariolées": rouges, violettes, jaunes ou blanches. L'apparition de ce type d'altération se traduit également par une dégradation des qualités mécaniques.

Certains auteurs ont noté que l'intensité de l'altération diminuait en direction de la mer. Nos propres observations ont confirmé, en plusieurs points le phénomène. Plusieurs explications peuvent être envisagées, sans qu'il soit possible de choisir actuellement :

- plus grande pluviométrie au centre de l'île;
- cote de la surface naturelle plus basse en bordure de mer, et érosion antérieure plus poussée;
- proximité en bordure de mer du centre des édifices volcaniques initiaux.

Lors des études antérieures, différents appareils volcaniques ont été identifiés dans cette série. Leur niveau moindre d'altération nous les a fait classer avec les "altérites en boules" (cf. infra).

Cette formation évolue en surface vers des sols ferrallitiques rouges. Mais ce n'est pas la règle, les altérites peuvent être directement recouvertes de sols bruns ou de colluvions. Elles peuvent être, également, recoupées de dykes de roches nettement plus saines, qui arment alors le relief (Pl. 2, photo 2).

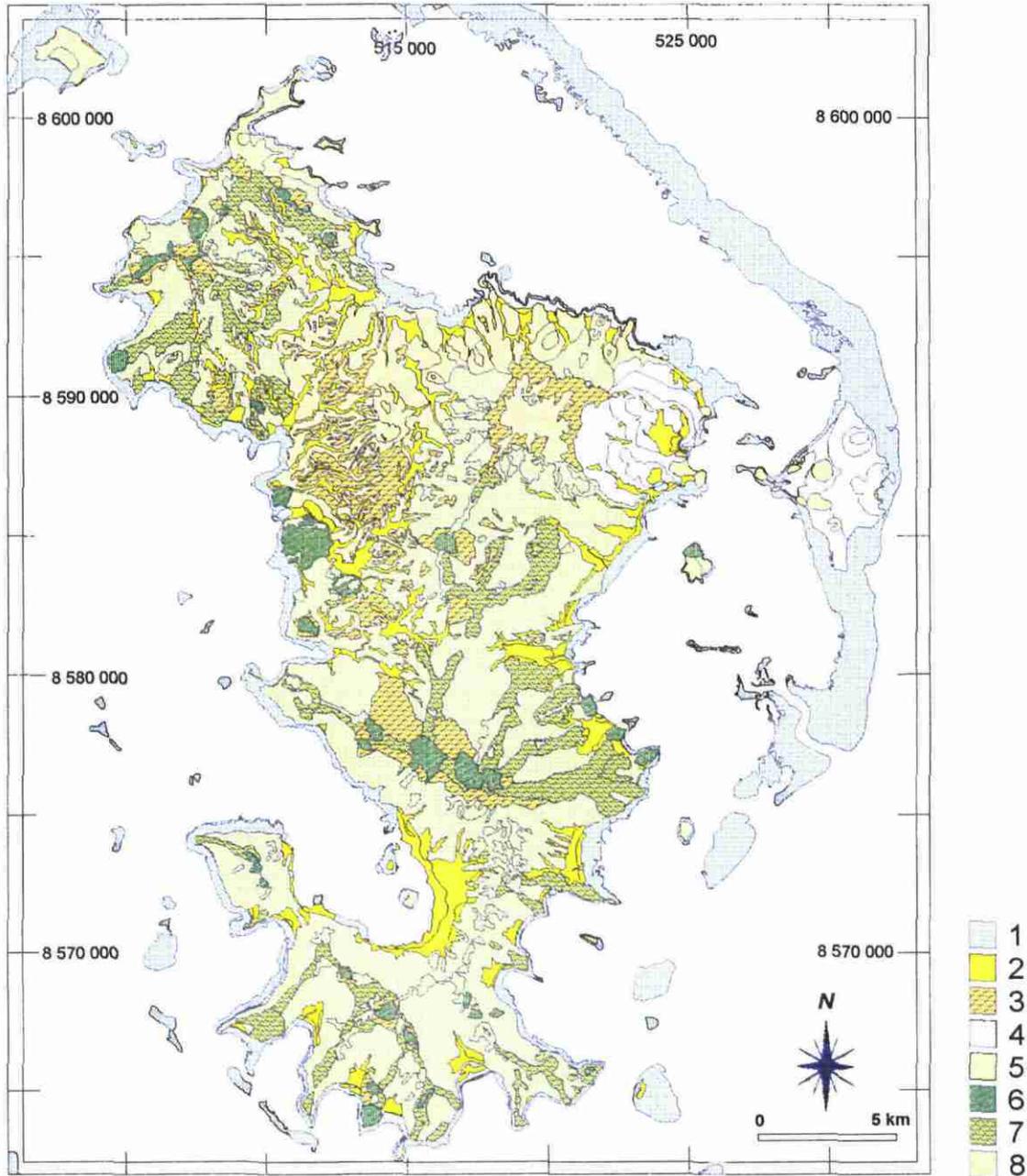


Fig. 8 : Regroupement des faciès géologiques en unités homogènes

1. Récifs ; 2. Formations de surfaces horizontales ; 3. Eboulis et colluvions ; 4. Volcanisme peu altéré ; 5. Volcanisme intermédiaire ; 6. Extrusion phonolitique ; 7. Altérites à boules ; 8. Altérites de base.

Altérites à boules

Sous cette dénomination, nous avons regroupé les coulées tardives sur les altérites de base. Ce sont les ankaramites des boucliers primitifs. Ces coulées constituent des crêtes, par un phénomène d'inversion de relief. Ce phénomène classique correspond à la mise en place de coulées résistantes, dans les fonds de vallées, sur un substratum déjà argilisé. Ce substratum sera ultérieurement érodé de manière préférentielle.

Ces laves se présentent actuellement sous la forme d'un "empilement" de boules ovoïdes de roche saine, réunies par une matrice argileuse jaune. Ces boules, résidus d'altération, sont de dimension généralement métrique à infra-métrique.

	Faciès cartographié (carte géologique à 1/50000)	Regroupement
1	Récifs	
2	Mangrove	Form. de surfaces horizontales
3	Formations de plages	"
4	Formations de rivières	"
5	Formations alluviales	"
6	Colluvions de versants	Eboulis et colluvions
7	Cinérites de Pamandzi	Volcanisme peu altéré
8	Scories basaltiques	Volcanisme intermédiaire
9	Trachites de Kawéni	Volcanisme peu altéré
10	Laves différenciées du M'Sapéré	Volcanisme intermédiaire
11	Phonolites du M'Sapéré	"
12	Basanites à Olivines	"
13	Basaltes à Hornblende	"
14	Phonolites alcalines	Extrusion phonolitique
15	Phonolites alcalines du sud	"
16	Néphélinites	"
17	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Nord)	Altérite en boules
18	Basaltes altérés (Nord)	Altérite de base
19	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Sud)	Altérite en boules
20	Basaltes altérés (Sud)	Altérite de base
21	Cendres	"
22	Altérites ferralitiques	"
23	Altérations fumeroliennes	"
24	Basaltes altérés (Sud) ; appareil volc.	Altérite en boules
25	Laves différenciées du M'Sapéré ; appareil volc.	Volcanisme intermédiaire

Tableau 2 : Regroupements des faciès géologiques

Là aussi, l'intensité de l'altération, et donc la proportion de matrice argileuse, est très variable, en fonction de la localisation. Tous les termes de passage existent depuis des

faciès proches des altérites de base, jusqu'à la roche saine, qui peut être affleurante. Elle est alors souvent exploitée en carrière (carrière de Chembényouba ²).

En séquence normale, ces altérites en boules sont recouvertes par un sol brun, caillouteux, de faible épaisseur, inférieure au mètre.

Extrusions phonolitiques

Ces faciès plus récents (2.5 à 3.5 millions d'années) sont à l'origine, dans la morphologie, des principaux reliefs abrupts : crêtes et falaises du Choungui, du Madjabalini (Pl. 2, photo 1) entre autres. On les retrouve également sous forme de dykes (Pl. 2, photo 2).

Ce sont des roches massives, à comportement élastique (³), dures, très peu altérées. L'argilisation ne semble pas dépasser le millimètre et crée un enduit noir ou jaune marron.

Elles ont généré de vastes tapis d'éboulis.

Volcanisme intermédiaire

Dans cet ensemble, nous avons également regroupé des faciès du volcanisme quaternaire précoce (pléistocène 1.4 à 1.8 millions d'années). Ce sont les basaltes différenciés de fond de vallée du M'Sapéré, ainsi que les basaltes ankaramitiques, les basanites, les basaltes à olivines ou hornblende du Nord de l'île. Les phonolites du M'sapéré peuvent leur être associées, dans la mesure où elles se présentent sous la forme d'un massif, et non pas de lame ou de dôme. Dans ce groupe ont été également intégrés les scories basaltiques de Mamoudzou et de Pamandzi (volcanisme très récent 10 000 ans).

² Cette carrière présente un risque certain de par la présence de nombreux blocs, parfois plurimétriques, désolidarisés et souvent en équilibre instable sur le front de taille. Une mise en sécurité de ce site est indispensable.

³ Leur nom "Phonolite" vient du son qu'elles produisent sous le choc du marteau



Photo N° 1 : Altérites anciennes avec dykes (terrain de football de MTsangamboua)

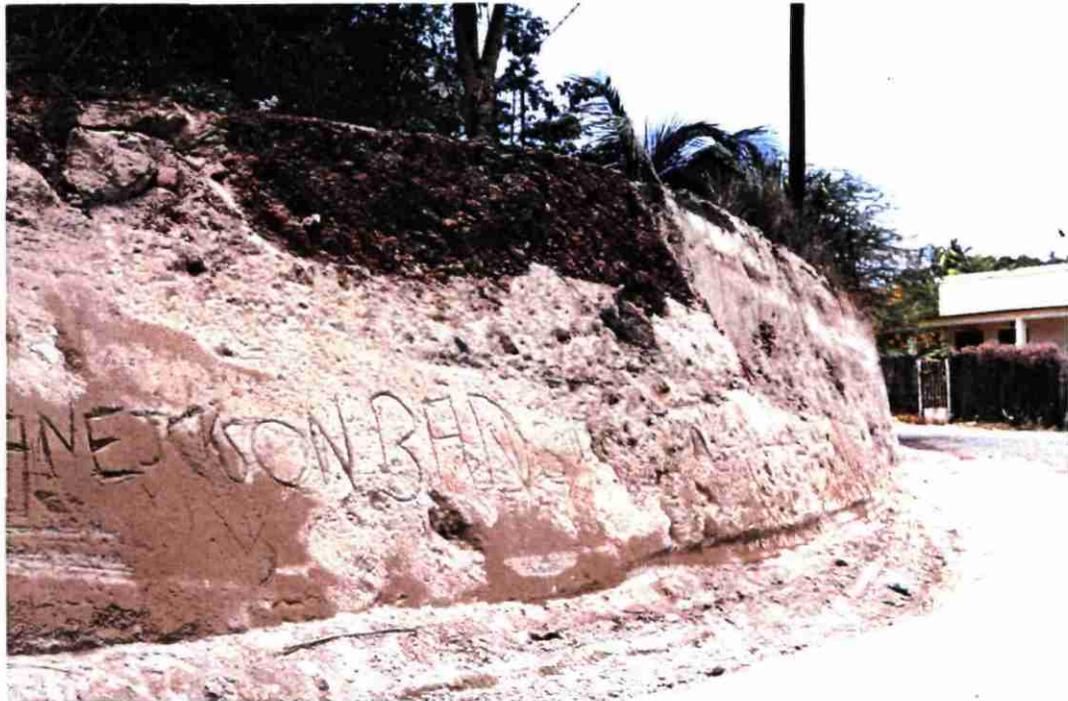


Photo N° 2 : Ponces de Pamandzi

Planche photographique 1

Ces formations se présentent sous forme d'alternances de niveaux métriques indurés et fracturés et de niveaux plus fins, scoriacés. Ce type de structure est susceptible de libérer des blocs, en particulier dans les talus verticaux. Par endroits, les faciès du volcanisme intermédiaire rejoignent celui des altérites en boules peu altérées. Comme elles, ils sont recouvert d'un sol marron, souvent peu épais.

Volcanisme peu altéré

Ce sont les produits du volcanisme explosif "récent" (500 000 ans) avec les pyroclastites de Kawéni et Kavani, ainsi que les cinérites et ponces de Pamandzi (Pl. 1 photo 2).

Ce sont des roches grises ou blanches, friables en surface, peu ou pas altérées. Elles présentent des conditions d'induration variables (blocs ou dalles de plusieurs mètres d'épaisseur). Elles sont recouvertes d'un sol brun peu épais, d'une puissance inférieure au mètre.

Cendres

Ce faciès, probablement associé aux épisodes explosifs du Pléistocène (volcanisme de Mamoudzou) constitue le recouvrement des plateaux horizontaux dans le centre nord de l'île, en particulier près de Combani. Ce niveau, ferralitisé, ne se distingue que difficilement des sols ferralitiques sur coulées plus anciennes. Nous assimilerons donc les deux comportements.

1.3.2 Formations superficielles

Les faciès décrits précédemment ont produit des sols ou des formations superficielles, qui n'ont été que peu différenciées dans la carte géologique (⁴). Leur importance est cependant grande dans la mise en mouvement des terrains. Ces faciès seront donc plus précisément pris en compte au niveau des études plus détaillées.

Sols ferralitiques

Ils forment des niveaux de recouvrement très argileux, de couleur rouge à brune. Ils sont caractérisés par une très grande homogénéité. La différence la plus notable avec les altérites de base consiste dans la disparition des témoins de texture et de "litage". Leur puissance varie de 1 à 5 m.

⁴ L'objet de cette carte est plus orienté vers la connaissance de base de l'histoire géologique.

En certains points, on observe la présence de gravillons latéritiques. D'après la bibliographie, il n'a pas été noté de croûtes latéritiques vraies.

Sols bruns humifères

Sous ce nom, nous avons regroupé les pellicules argileuses, à matières organiques, qui se forment sur les différents faciès du volcanisme peu altéré. L'épaisseur varie de 0.1 à 1 m. La présence ou la quantité de graviers ou de cailloux est variable.

Colluvions et colluvions à blocs

Elles résultent du décollement et du glissement lent des sols ferrallitiques le long des pentes. Ce fluage se déclenche dans un matériel très humide. La faible désorganisation du matériau, par ailleurs très homogène, rend difficile la mise en évidence de ce phénomène.

Dans le cas où des coulées plus tardives ou de dykes surmontent les altérites de base, il y a alors libération de "boules". Celles-ci poinçonnent l'argile sous-jacente saturée en eau. Elles sont prises dans le mouvement de fluage et peu à peu été emballées dans l'argile. En quelques points, il semble que le phénomène ait joué au sein même de l'altérite, avec conservation de fantômes de texture volcanique dans la matrice argileuse, autour des blocs.

Ce faciès, très caractéristique est largement représenté dans l'île. La puissance de ces niveaux peut être importante, de 1 à 5 mètres. La dimensions des "boules" est très variable de 0.1 à 2 mètres.

Eboulis et éboulis colluvionnés

Les extrusions phonolitiques ont donné naissance, par endroits, à des éboulis à gros blocs, probablement très précoces dans leur mise en place. La morphologie de ces blocs se distingue, par leur caractère plus anguleux, de celle des "boules" constituées de résidus d'altération.

Quand la granulométrie des blocs est suffisamment faible, il peut y avoir remplissage des vides par de l'argile. On évolue alors vers des éboulis colluvionnés.

Formations de fond de vallée et mangroves

Ce sont les formations limoneuses qui tapissent les fonds de vallée. Elles sont constituées par la redépositions des matériaux enlevés des pentes et ne présentent donc pas de caractéristiques mécaniques originales. Leur disposition dans les points bas ne prédisposent pas ces faciès aux mouvements. Les effets d'un séisme sur leur stabilité, phénomènes de liquéfaction, restent toutefois à déterminer.



Photo N° 2 : Dyke non altéré dans une altérite.



Photo N° 1 : Falaise du Madjabalini (Mtsangadoua). Noter la présence du bloc éboulé au bord de la route.

PLANCHE 2

2. Instabilités et phénomènes d'érosion

2.1 Eboulements rocheux

2.1.1 Chutes de blocs

Dans les falaises créées par les extrusions phonolitiques la présence de blocs instables peut être observée. Ceux ci sont susceptibles de se désolidariser et de prendre une accélération dangereuse dans les trop fortes pentes (Pl 2, photo 1).

Les volcanites intermédiaires peu altérées sont également susceptibles de libérer des blocs, mais les dénivelés disponibles, ainsi que l'accélération potentielle sont moindres que dans le cas des falaises phonolitiques. Dans ce cas, le problème paraît plus important au niveau des talus (routes ou habitations) que dans les pentes naturelles.

2.1.2 Ecoulements de falaises

Les falaises littorales, en particulier à l'Est de Pamandzi (Pl. 3, photo 1), sont soumises à des phénomènes de sape par la mer. Cela se traduit par la formation de sous-cavages et de désolidarisations d'écaillés. Celles ci s'effondrent régulièrement. La désorganisation qui suit ces effondrements est propice à la mise en déséquilibre de nombreux blocs. **Ces falaises présentent donc un danger réel.**

2.1.3 Déchaussements de "boules"

Dans les pentes recouvertes de colluvions à blocs, il arrive que l'érosion dégage une "boule" (résidu d'altération dont la dimension peut être métrique à plurimétrique) de sa matrice argileuse. Dans les fortes pentes, il est possible que certains de ces blocs déchaussés puissent prendre une accélération suffisante, soit entraînée dans une coulée boueuse, soit dans le cas d'un ressaut en roulant dans la pente. Ce phénomène sera à considérer dans de nombreux villages (Pl. 3, photo 2).



Photo N° 1 : Falaise de Pamandzi (noter les écailles désolidarisées)



Photo N° 2 : Colluvions à "boules" (village de Sada)

PLANCHE 3



Photo N° 1 : Glissement en masse le long de la route CCT5 (Poroani)



Photo N° 2 : Mécanisme de glissement en masse dans les altérites (route de Choungui). Noter la présence de plusieurs surfaces de décollements dans la pente.

PLANCHE 4

2.2 Glissements et coulées

2.2.1 Glissements profonds (glissements rotationnels)

Ces mouvements se caractérisent par la profondeur de la surface de glissement, parfois plus de 5 mètres (Fig. 9). Ils peuvent engager de grands volumes. Dans ce cas, on parle également de "glissements de versant". Ils se déclenchent généralement au sein d'un même faciès, le plus souvent par dégradation des caractéristiques mécaniques et surcharges hydrauliques (Pl. 4, photos 1 et 2).

La présence d'une discontinuité (limite de coulée, modification du niveau d'altération ou fracturation) favorise leur déclenchement. Celui-ci est précédé par l'apparition de fissures de traction concentriques, dans la zone de décollement de tête.

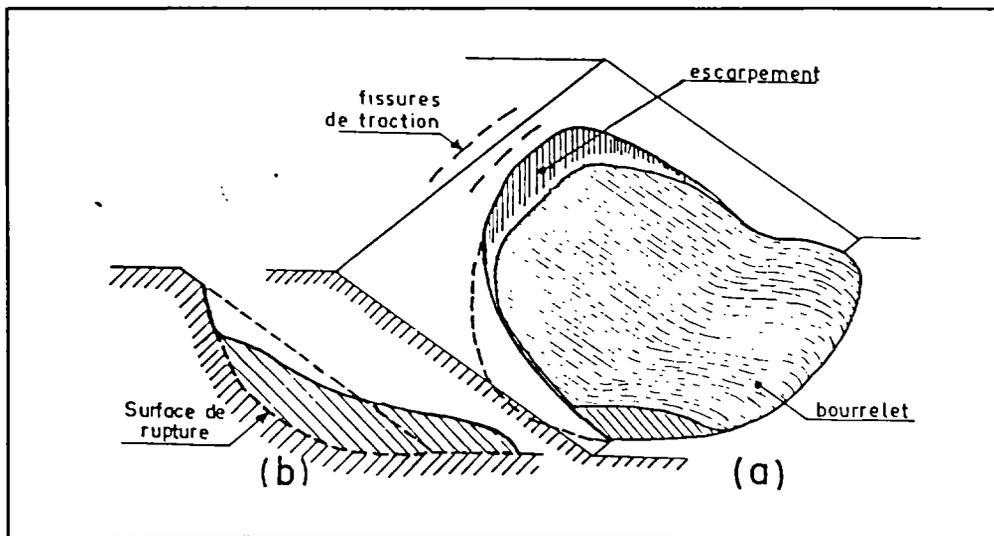


Fig. 9 : Schéma de base d'un glissement rotationnel (d'après PHILIPPONNAT 1987)

De nombreux glissements anciens de ce type ont laissé des traces dans la morphologie. Ils sont reconnaissables par la morphologie en courbes et replats des pentes affectées. Ils correspondent probablement à des décollements de l'altérite de base soit sur la roche saine, soit au contacts d'intrusions postérieures, dykes ou phonolites. Un exemple de ce type s'est produit dernièrement (1985, provoqué par les pluies du cyclone Feliksa), sur la commune de Bouéni, à proximité du village de Mouanatrindri. Un autre semble en cours, sur la même commune, entre les villages de Majiméouni et Hanyoundrou. On observe un soulèvement important, 1 mètre en 3 mois, de la route CCT6. Ce mouvement est probablement lié à la formation d'un bourrelet de base.

Dans le cas où un glissement de cette ampleur se déclenche en amont d'une pente, son évolution en coulée boueuse paraît probable, compte tenu de la nécessaire charge en eau.

2.2.2 Glissements superficiels (glissements plans)

Ils se développent dans les altérites, colluvions et sols ferrallitiques qui glissent, généralement sur le substratum (Fig. 10). La quantité de matériel déplacé est généralement plus faible que dans les glissements de versants. Ce type de glissement peut évoluer en coulées boueuses, si la charge en eau est suffisante et si la topographie s'y prête.

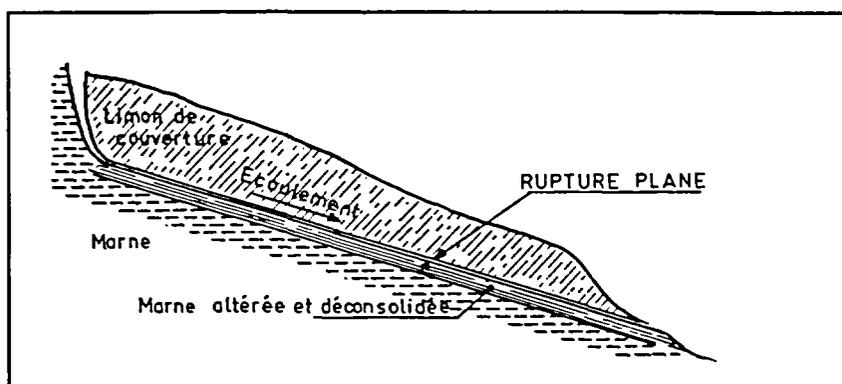


Fig. 10 : Schéma de base d'un glissement plan (d'après PHILIPPONNAT 1987)

Ces faciès (altérites, colluvions et sols ferrallitiques) présentent des caractéristiques de perméabilité très voisines. En plusieurs points, sur des talus où le contact entre ces formations a été observé, il a été noté que les suintements d'eau se produisaient à une profondeur variable, au sein de l'altérite. Le contact lui-même, entre sol et altérite, restait parfaitement sec.

A sec, les caractéristiques mécaniques de ces formations se traduisent par une bonne tenue générale. Toutefois, cette qualité se dégrade très rapidement avec la charge en eau. A la saison des pluies, la saturation en eau de ces formations, sur une épaisseur variable mais qui doit pouvoir dépasser le mètre, conduit à la déstabilisation de la tranche superficielle. Elles peuvent alors glisser soit en glissement rotationnel classique, soit en glissement plan sur le faciès non saturé. Dans tous les cas il peut y avoir évolution en coulées boueuses, si la pente s'y prête.

Des phénomènes de ce type sont susceptibles d'occasionner de nombreux dégâts, dans des villages comme Sada, construits dans ces faciès et sur de fortes pentes.

Pour ce type de glissement, le couvert végétal peut constituer un stabilisateur efficace.

2.2.3 Glissements pelliculaires

Tous les termes de passage existent avec les glissements superficiels décrits ci dessus, la principale différence tenant à la faible épaisseur des sols mis en mouvements (quelques décimètres dans ce cas). Les glissements pelliculaires se produisent à partir des sols bruns humifères et sont généralement liés à l'action anthropique. Les pratiques agricoles, en particulier la déforestation, conduisent à déstabiliser ces sols bruns humifères, qui glissent sur le substratum. Ce phénomène, sur les altérites et les sols ferrallitiques conduit à la formation de "Padza".

Les quantités de matériaux mises en jeux sont peu importantes, compte tenu de la faible épaisseur de ces sols et de l'extension limitée de chaque phénomène (Pl. 5 photo 1). Toutefois, l'impact sur les ressources agricoles reste très important. Cette érosion est ensuite amplifiée par la concentration du ruissellement.

On peut également observer ce phénomène sur Petite Terre, en particulier à l'intérieur du cratère du Dziani Dzaha, ou la pente naturelle d'équilibre semble atteinte.

2.2.4 Coulées boueuses et coulées d'éboulis

Il n'a pas été observé de traces distinctes de coulées boueuses. Cependant des phénomènes de ce type paraissent inévitables, compte tenu de l'intensité des précipitations et du caractère argileux des faciès. A cette faible représentation, deux explications au moins peuvent être proposées :

- disparition rapide du matériel accumulé, désorganisé et non consolidé, par le simple jeu de l'entraînement par les eaux de pluies postérieures.
- camouflage par une revégétalisation rapide.

Dans le cas de fortes pentes, et à partir d'un matériel riches en blocs, éboulis des falaises phonolitiques par exemple, la possibilité de formation de coulées d'éboulis doit être envisagée. Les restes d'un phénomène de ce type sont visibles, à proximité de Sada, dans un ancien talweg comblé, recoupé par le talus routier de la nouvelle route.



Photo N° 1 : Glissements pelliculaires (Bouéni)



Photo N° 2 : Padzas (Passi-Kéli). Noter la présence de "boules" en équilibre instable dans la pente.

PLANCHE 5

2.3 Erosion

A Mayotte, les phénomènes d'érosion les plus spectaculaires se traduisent par la formation de "bad lands", "PADZAS" dans leur terminologie mahoraise (Pl. 5 photo 2). Leurs conséquences sont très importantes tant en termes de diminution du potentiel agricole, qu'en termes d'envasement du lagon. Leurs mécanismes ont été étudiés en détail par RAUNET (1992), qui a réalisé une carte très détaillée de leur répartition.

Le phénomène s'enclenche par le décollement des sols, ferrallitiques ou colluvions, qui glisse sur un substratum d'altérites en places (Fig. 11). Ce décapage dénude les altérites sous-jacentes. Par des glissements successifs emboîtés, le phénomène "remonte" la pente jusqu'à atteindre les crêtes.

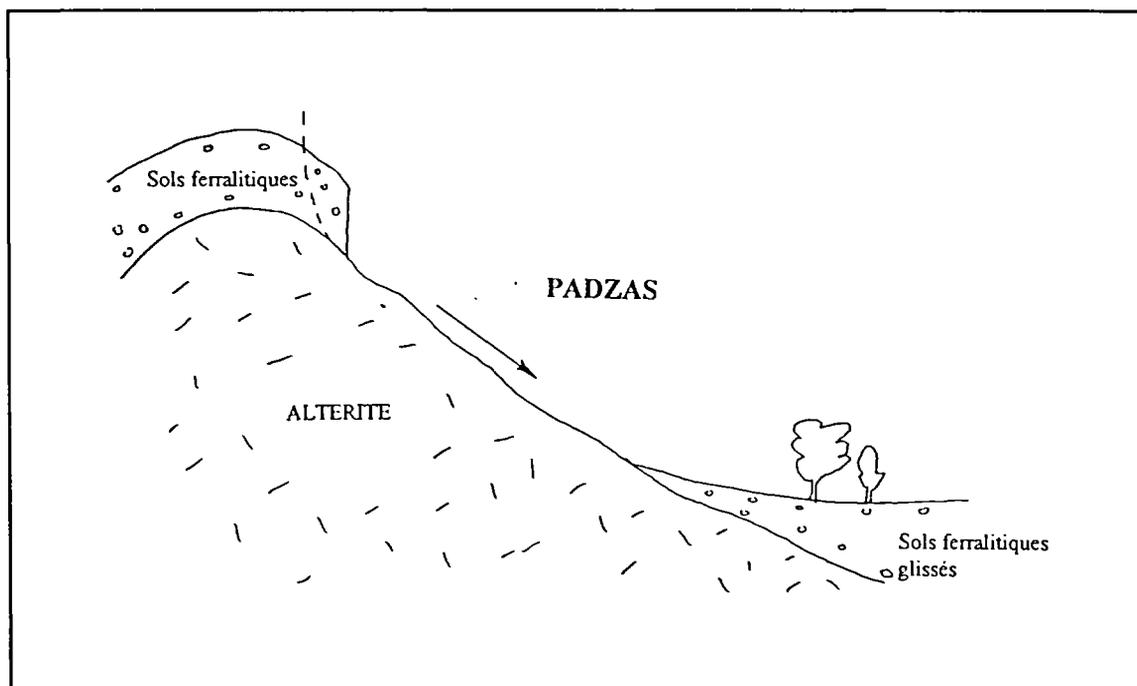


Fig. 11 : Croquis schématique de formation des padzas

De par leur caractère imperméable, ces plages décapées subissent une érosion en nappes et ravines, qui leur donne leur aspect caractéristique.

Le phénomène est susceptible d'être stabilisé ⁽⁵⁾. Ces padzas peuvent être recolonisés par une végétation herbacée à fougères ou graminées.

⁵ Par les actions des services de la Direction de l'Agriculture

2.4 Phénomènes divers

D'autres phénomènes, liés aux mouvements des sols, ont été observés ou peuvent être supposés sur l'île de Mayotte. Ils n'entrent pas dans le cadre de cette étude et nous ne les mentionneront que pour mémoire :

Retrait gonflement : La présence de certaines argiles (smectites ou montmorillonites), notées par les différents auteurs, rend probable la présence de phénomènes de retrait-gonflements des sols. Dans une alternance de périodes de sécheresse et de fortes pluviométrie, des modifications dans la structure de ces argiles peut, en effet, conduire à des modifications importantes de volumes des sols. Ces variations sont susceptibles de générer des désordres dans le bâti. Cependant, compte tenu de la structure générale des constructions de l'île, ce problème devrait rester très marginal.

Erosion marine : Ce phénomène est mis en évidence, en particulier, dans la baie à l'Est de Mtsangamouji où on observe, depuis cinq ans, un net recul de la côte (200 m environ) avec création d'un ressaut d'environ un mètre de hauteur. Plusieurs phénomènes peuvent être mis en cause : subsidence (enfouissement lent et régulier) de l'appareil volcanique qui constitue l'île, diminution de l'alluvionnement, modification des courants marins,... Il n'est donc pas possible de proposer une explication, sans une étude préalable complète.

3. Méthodologie de cartographie

L'étude cartographique menée avec une précision compatible avec le 1/ 50 000 doit permettre d'identifier et de délimiter les zones sensibles aux phénomènes d'instabilité de pentes, ainsi que les zones de fragilité vis à vis des phénomènes d'érosion. Dans le cadre de cette étude, les données sur les principaux enjeux de l'île ont, également, été rassemblées, numérisées et géoréférencées.

Ce sont donc trois cartes à 1 / 50 000, couvrant l'ensemble de l'île, qui sont présentées :

- carte de susceptibilité aux mouvements de terrain,
- carte de susceptibilité aux phénomènes d'érosion,
- carte des principaux enjeux de l'île de Mayotte.

Pour élaborer ces cartes, les surfaces de pentes égales ont été identifiées et calculées à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) à pas de 50 mètres fourni par la Direction de l'Equipement de Mayotte (Fig. 9). Elles ont été regroupées en 8 grandes classes.

CLASSE	%	degrés
1	0 à 10	0 à 5.71
2	10 à 15	5.71 à 8.53
3	15 à 20	8.53 à 11.31
4	20 à 30	11.31 à 16.70
5	30 à 35	16.70 à 19.29
6	35 à 50	19.29 à 26.56
7	50 à 100	26.56 à 45
8	> 100	> 45

Tableau 3 : Classes de pentes

Il est important de noter les limitations de cette cartographie des pentes :

- la maille initiale est de 50 mètres;
- l'algorithme de calcul est basé sur une méthode de détermination du meilleur plan, dans une maille de 3*3. C'est à dire que la pente d'une maille de 50 mètres de coté est calculée par interpolation sur un carré de 100 m de coté.

Pour pallier à cette difficulté, nous avons ramené la maille à une dimension de 20 m, par un calcul de krigeage linéaire, sans dérive associée. Si cette opération permet d'affiner les variations de pentes, elle n'élimine pas les limitations dues aux dimensions de la maille initiale.

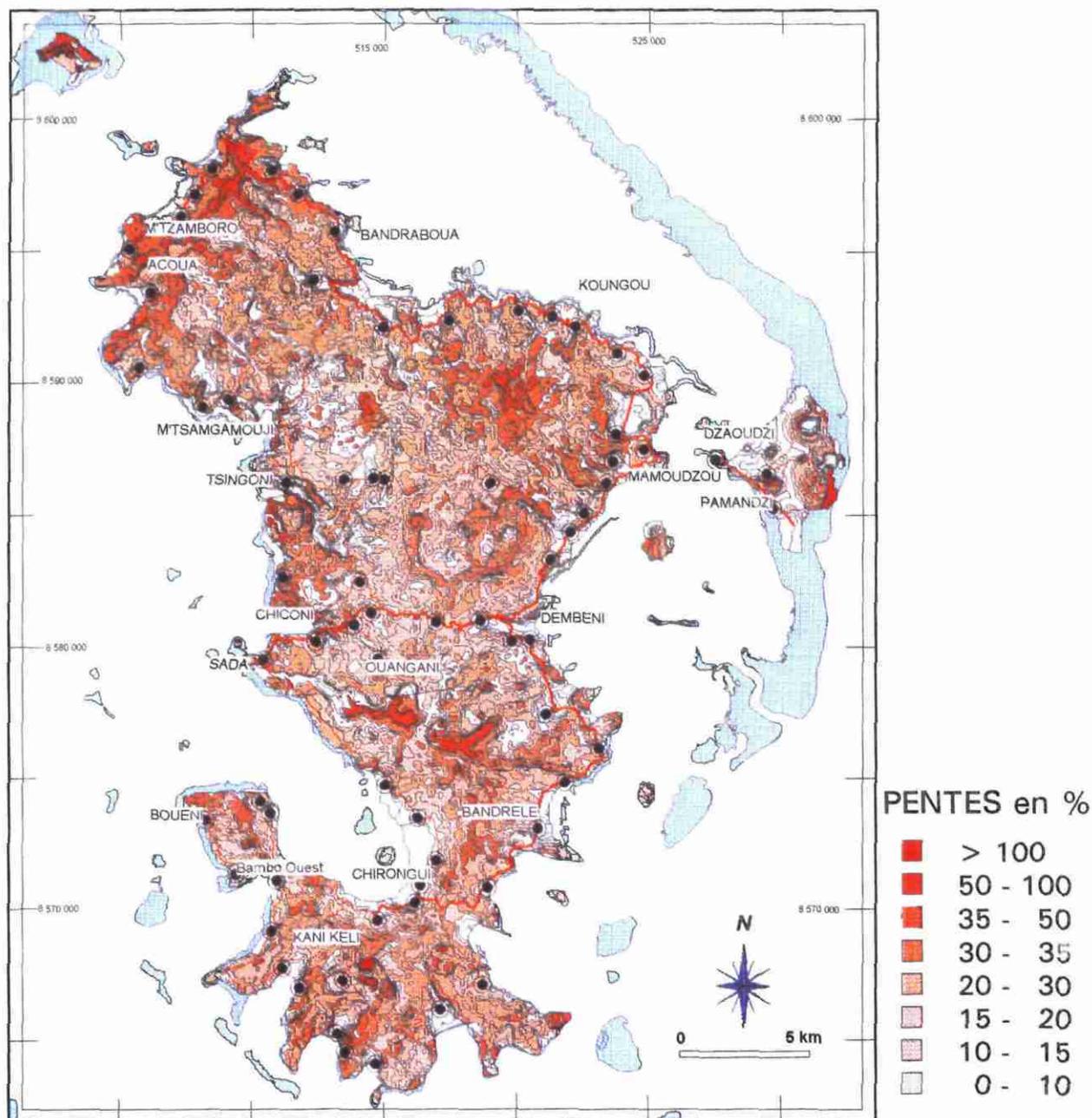


Fig. 12 : Carte des pentes (calculées à partir du MNT à pas de 50 m).

Dans tous les cas où l'on rencontre une rupture de pente nette, en particulier sur les crêtes ou à la limite de lits vifs de rivières, ces limitations conduisent à des lissages importants, qui peuvent provoquer l'apparition de débordements dans la délimitation des pentes. **Ces artefacts peuvent contribuer, dans la cartographie de l'aléa, à l'apparition d'incohérences locales.**

Il est illusoire d'espérer, dans la phase de cartographie automatique une précision équivalente à celle réalisée par le traitement manuel d'une carte topographique à 1 / 25 000.

3.1 Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain

3.1.1 Principes

Dans une première phase, le but principal était d'identifier les zones sensibles pour focaliser les études ultérieures et apporter un premier niveau d'information pour les actions d'aménagement. Il a été recherché une méthodologie permettant de couvrir l'ensemble de l'île, dans les délais et le budget impartis. Nous nous sommes donc basés sur des techniques de cartographie automatique. Bien conscients de leurs limites, nous avons calé et validé cette cartographie par des études de terrain.

Cette première approche s'est déroulée en plusieurs étapes. Elles peuvent se résumer ainsi :

1. - par des observations de terrain, détermination des phénomènes actuels (observés) ou potentiels sur le bassin de risque, pour aboutir à une typologie. Quatre types de phénomènes principaux ont été identifiés : glissements (profonds et superficiels), glissements pelliculaires, libération de "boules", chutes de blocs et éboulements. Pour les glissements, la distinction entre profonds et superficiels n'a pas été précisée, dans la mesure où ces deux types de phénomènes peuvent se produire dans les mêmes conditions.
2. - recherche des facteurs permanents favorables à l'apparition de ces phénomènes. Ont été pris en compte, dans cette phase de cartographie :
 - la lithologie;
 - les pentes.

La couverture végétale, qui joue un rôle important dans la susceptibilité des terrains aux glissements superficiels, n'a pas été prise en compte dans la mesure où elle est, le plus souvent, modifiée par les opérations d'aménagement et ne constitue donc pas un facteur permanent. Ceci ne sera plus le cas, pour les bassins de risque où la probabilité de déclenchement naturel de mouvements est estimée.

Il faut noter que d'autres facteurs, dont certains, comme l'eau (avec les épisodes cycloniques), sont déterminants dans le déclenchement des mouvements, ne sont pas pris en compte. **Cette approche ne permet donc pas d'estimer l'intensité ou la fréquence des phénomènes (aléa au sens strict), mais simplement d'établir une présomption spatiale sur leur apparition.** Dans la suite du texte et par soucis de simplification, le terme aléa pourra néanmoins être utilisé avec ce sens de présomption d'apparition d'un phénomène.

3. - classification et cartographie de ces facteurs permanents pour définir des "unités géographiques ou géomorphologiques homogènes", avec détermination des valeurs limites de probabilité d'apparition des phénomènes.
4. - combinaison, par intersection topologique, des différentes "unités géographiques homogènes" où la valeur limite est atteinte.

En ce qui concerne les phénomènes de mouvements rapides, en particulier les chutes de blocs, se pose de manière forte le problème de l'identification des zones de départ, mais également de celui des surfaces de réception. Si la cartographie des zones de départ a été réalisée suivant le schéma défini ci-dessus, pour les zones de réception, des méthodes plus "manuelles" ont été utilisées, basées sur l'étude de photographies aériennes, et le "calage" des cartes de pentes, sur les cartes à 1 / 25 000 de l'IGN. Cette méthode a également été utilisée pour intégrer certains facteurs locaux, non traitables globalement (falaises littorales par exemple).

La figure 13 schématise l'ensemble de la démarche.

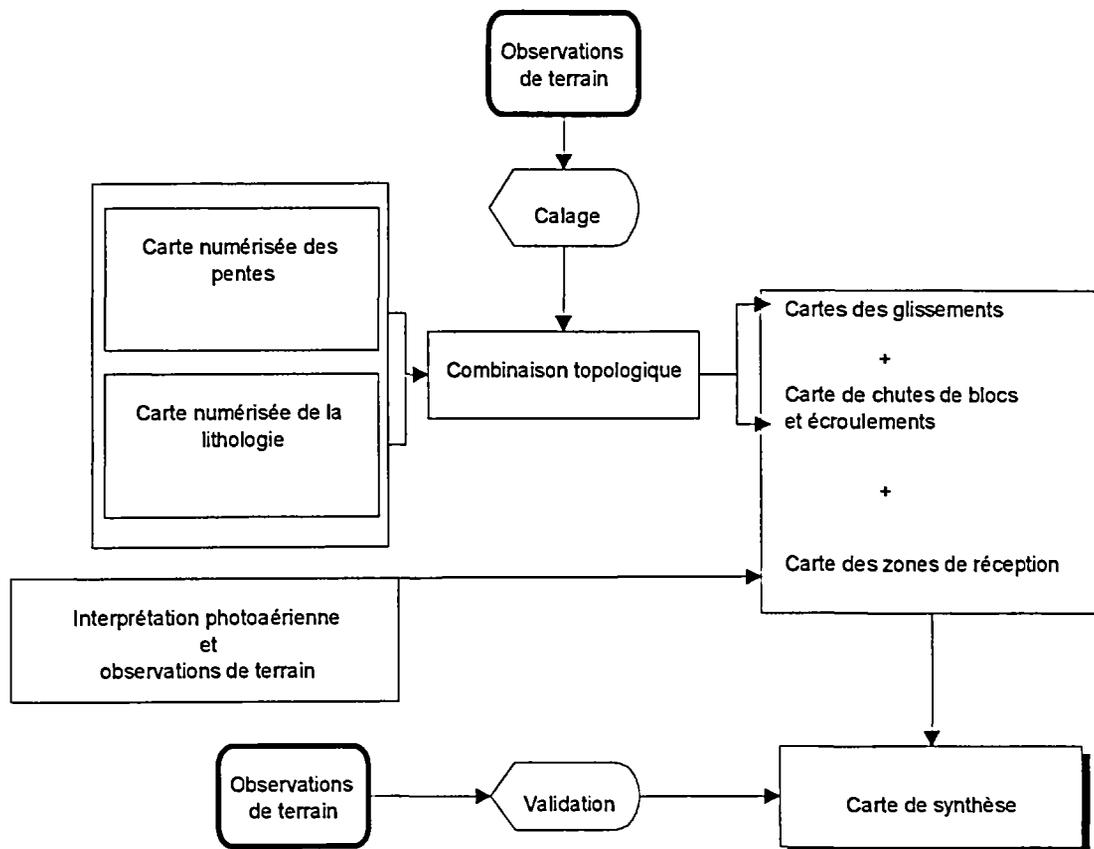


Fig. 13 : Schéma de la démarche suivie pour la cartographie automatique

Dans un souci de simplification, seuls deux niveaux d'intensité de l'aléa (au sens large) ont été retenus:

Aléa nul ou négligeable : secteur sans risque prévisible.

Zone de susceptibilité : secteur exposé à l'apparition de phénomènes naturels dangereux.

Avec facteurs aggravants : la susceptibilité est du même ordre de grandeur que dans la classe précédente, mais on note la présence d'un ou plusieurs facteurs aggravants.

La présence de facteurs aggravants ne signifie pas qu'il existe une plus grande présomption d'apparition du phénomène sur le secteur identifié, mais indique une meilleure qualité de l'appréciation sur le secteur.

5. - Réalisation d'une carte de synthèse regroupant les différents aléas. Cette carte présente le niveau de susceptibilité du secteur aux différents types de mouvements de terrain. Une couleur ou une surcharge spécifique indique le ou les types de phénomènes susceptibles de se produire.
6. - Validation, par des observations de terrain, des résultats obtenus.

Il est important de noter qu'il n'y a pas eu de cartographie systématique, pour l'ensemble de l'île, des mouvements actuels ou anciens. Les observations de terrain ont toutefois permis de :

- définir la typologie des mouvements,
- caler le modèle de cartographie automatique,
- valider les résultats obtenus.

Note : L'intersection topologique de données maillées à un pas de 20 m (MNT) ou de données digitalisées (carte géologique à 1 / 50 000) conduit à un mode de représentation hétérogène. Un lissage des mailles n'aurait apporté qu'une fausse précision. Il était donc préférable de conserver ces résultats sous leur aspect "brut".

3.1.2 Critères retenus pour la cartographie

Dans cette phase préliminaire de l'étude, l'objectif est d'identifier les zones susceptibles de présenter une sensibilité marquée aux phénomènes. Il s'agit, en quelque sorte, d'une "cartographie d'alerte" qui doit permettre de cerner, de façon prospective, ces zones. Les coupures choisies pour les pentes sont donc, volontairement, pondérées par rapport aux valeurs correspondant aux comportements réels des terrains.

Glissements (glissements en masse et superficiels)

Pour ce type de phénomène ne sont cartographiées que les zones de départs. Sont concernées les roches volcaniques argilisées en profondeur : les altérites de base.

La définition des pentes limites de susceptibilité au déclenchement des glissements a été basée sur la localisation des phénomènes connus, sur l'estimation des caractéristiques mécaniques de ces types de faciès et sur l'expérience régionale.

Deux coupures ont été retenues :

Pentes > 20 % susceptibilité aux glissements pour les faciès concernés

Pentes > 35 % facteurs aggravants

Il est important de noter que les phénomènes d'altération fumerollienne (hydrothermale) qui constituent un paramètre très important dans la susceptibilité aux glissements ne sont pas pris en compte dans cette carte. Très discontinus et souvent localisés, ils ne peuvent être traités que dans le cadre d'études plus détaillées, pour les bassins de risque.

Glissements pelliculaires

Ce phénomène est à l'origine de la formation des "padzas". Pour déterminer les faciès géologiques les plus favorables et fixer la pente limite de susceptibilité au phénomène, nous avons donc repris les résultats de l'étude menée pour la localisation des zones d'érosion (cf. infra). Compte tenu de leur relative homogénéité, la plupart des faciès volcaniques présents sur l'île sont concernés.

Une seule coupure de pente a été retenue :

Pentes > 15 % : susceptibilité aux glissements pour les faciès concernés

Ce type de phénomènes peut, bien entendu, se produire dans les secteurs également favorables aux glissements profonds ou superficiels.

Chutes de blocs

Ce type de phénomène est associé aux faciès d'altérations réduites et de dureté de roche suffisante pour produire des blocs ; volcanisme intermédiaire et extrusions phonolitiques.

Une première coupure de pente a été fixée :

Pentes > 30% : Possibilité de libération spontanée de blocs, pour les faciès concernés

Pentes > 50% : Facteurs aggravants

Pour des pentes inférieures à 50%, le phénomène doit être pris en compte principalement dans le cas de la réalisation d'aménagements (route, bâti,...) nécessitant le creusement d'un talus.

Dans les pentes supérieures à 50%, la probabilité de libération spontanée des blocs devient plus importante. Dans ces cas, une première cartographie des zones potentielles de réception a été réalisée.

Déchaussement de "boules", résidus d'altération

Les zones de libération des "boules" sont associées, aux faciès des altérites à boules, identifiés en tant que tels sur la carte. Les coupures de pentes identiques à celles définies pour les blocs, ont été retenues en ce qui concerne les chutes de ces résidus d'altération. Les deux phénomènes ont donc été cartographiés de la même manière.

Les zones de réception éventuelles, concernées par les phénomènes de glissements à "boules", ont été cartographiées par délimitation manuelle, à partir des cartes de pentes supérieures à 20 %, en aval des zones de départ.

Il est également possible de retrouver des "boules" sur des pentes plus faibles, mais une accélération importante devient plus difficile en envisager. On envisagera alors souvent le résultat du démantèlement d'un dyke.

Il est important de noter que dans ces cartographies, les problèmes associés à la présence de dykes ne sont pas pris en compte.

Ecrolements de falaises

La cartographie, qui concerne essentiellement les falaises de Petite Terre, a été effectuée manuellement, à partir d'études photo aériennes.

3.2 Padzas

Pour chercher à définir la sensibilité des sols à l'érosion en "bad lands", il était nécessaire :

1. d'évaluer l'évolution du phénomène, en comparant l'état actuel à la situation cartographiée avec précision par RAUNET en 1991.
2. d'identifier les paramètres contrôlant l'apparition du phénomène (géologie, morphologie,...).

3.2.1 Evolution de la situation

Une cartographie complète et exhaustive des padzas a été réalisée en 1991 par RAUNET (rapport de 1992). Ce travail a été basé sur des observations de terrain et une étude photo-aérienne. Dans la présente étude, nous nous sommes orientés vers des techniques satellitaires.

Classification du sol

La classification de l'occupation du sol a été faite par traitement d'une image SPOT XS (scènes KJ 161-375/376 du 30 septembre 1995). Cette scène (Fig. 3) a été sélectionnée, car elle est celle, obtenue dans la période de survol, qui a la meilleure représentation du bassin de risque (Sada -Chirongui), associée à un couvert nuageux total limité (15% de la surface).

Le traitement a été réalisé en deux phases :

- Redressement et projection de l'image dans le système UTM38 (WGS84) ;
- Classement des pixels entre différentes classes de réflectance, à partir de zones d'apprentissages connues (secteurs repérés sur le terrain).

Il a permis de distinguer 10 classes. La différenciation a été réalisée dans une optique d'identification des facteurs influents sur les mouvements de terrain et l'érosion.

Les classes suivantes ont été différenciées (Fig. 14):

1. les cultures peu couvrantes
2. les forêts arbustives
3. les forêts denses et zones de mangrove
4. les sols nus (sables, rochers ou cailloutis)
5. les récifs
6. l'océan
7. les zones turbides
8. les padzas "actifs" (altérites dénudées)
9. les padzas en voie de revégétalisation
10. les zones urbaines

Deux classes supplémentaires ont été introduites, par correction manuelle, dans la carte d'occupation des sols :

11. les nuages (au dessus de la terre)
12. les nuages (au dessus de l'océan)

La réflectance rend compte de l'intensité de l'activité chlorophyllienne. Il n'y a pas eu de tentative de détermination des différents types de cultures, mais, simplement estimation de l'intensité du couvert végétal (entre autres mangroves et forêt dense n'ont pas été différenciées).

Limites de la classification et corrections apportées

Des occupations du sol différentes ont des réponses radiométriques proches (forte réflectance), en particulier les padzas, certains effets de houle ⁽⁶⁾ et les zones urbanisées. La délimitation de ces différentes zones, classées automatiquement avec l'algorithme du maximum de vraisemblance, a donné lieu à des incohérences.

Les nuages, ainsi que leur ombre portée, ont été traités "manuellement" pour la réalisation de la classification. Ils apparaissent comme tels dans l'image initiale, mais d'autres corrections ont été apportées dans les documents plus élaborés.

⁶ Ce qui explique la présence de pixels classés comme padzas dans le lagon et sur le récif.

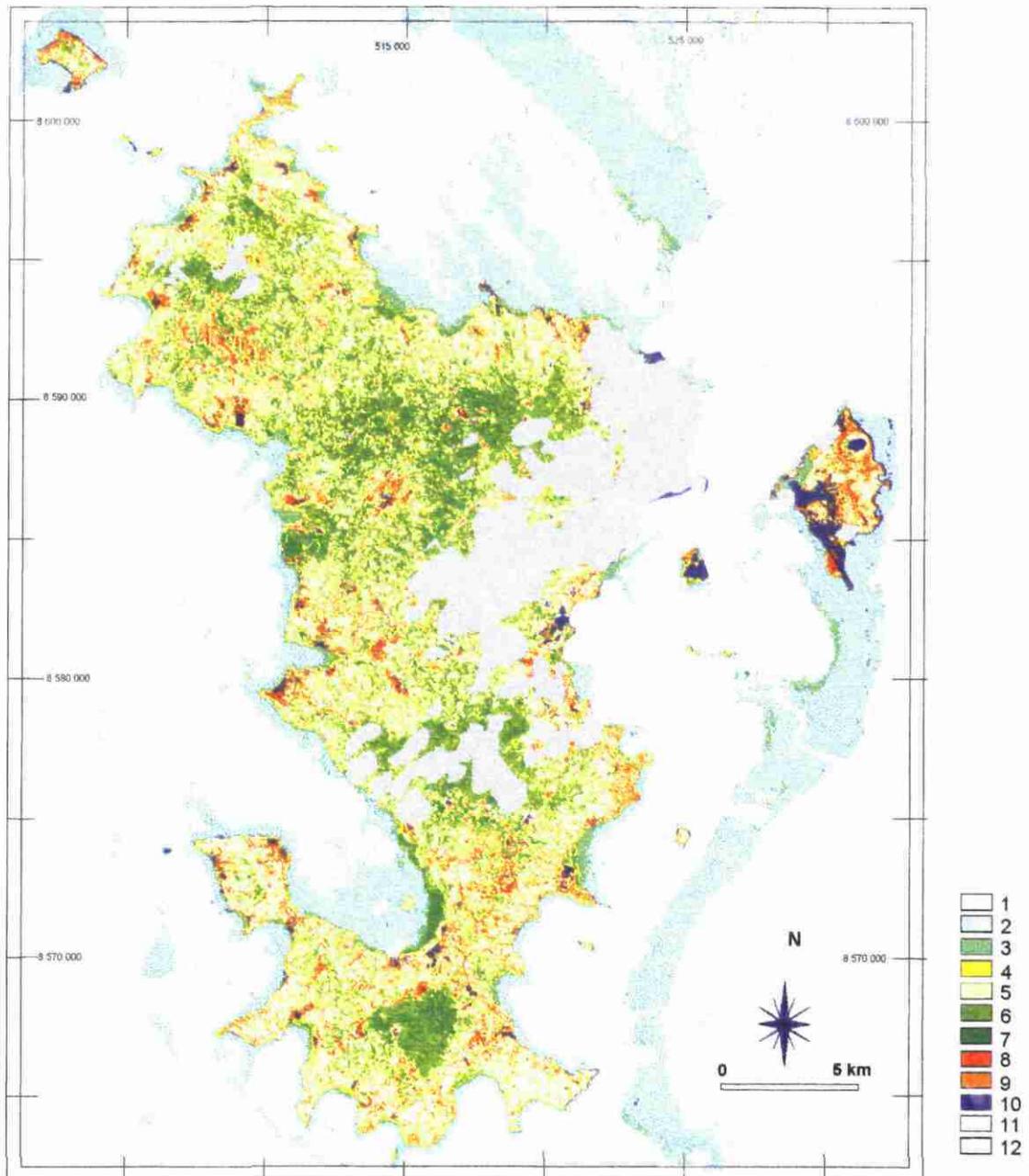


Fig. 14 : Classification de l'occupation des sols, à partir de la scène SPOT

1. Océan ; 2. Récifs ; 3. Zones turbides ; 4. Sols nus (sables, rochers ou cailloutis) ; 5. Cultures peu couvrantes ; 6. Forêts arbustives ; 7. Forêts denses et zones de mangrove ; 8. Padzas "actifs" (altérites dénudées) ; 9. Padzas en voie de revégétalisation ; 10. Zones urbaines ; 11. Nuages (au dessus de la terre) ; 12. Nuages (au dessus de l'océan)

Pour obtenir une délimitation fiable des zones urbaines, il a été procédé à leur digitalisation à partir des cartes à 1 / 25 000 de l'IGN. Dans une deuxième étape, les pixels initialement classés en zone urbaine, dans l'image, ont été reclassés comme padzas actifs et le résultat de la digitalisation des zones urbaines intégré dans l'image. De la même manière, le lac Dziani Dzaha de Petite Terre, ainsi que le terrain d'aviation,

qui étaient initialement classés en padzas actifs, ont été corrigés "manuellement" dans la carte finale.

Il reste qu'un certain nombre "d'effets parasites" subsistent, en particulier sur les falaises et en mer. Ils ont été limités par l'application d'un "filtre" associé aux limites des communes.

Exploitation des résultats

Parallèlement, nous avons procédé à la digitalisation des limites de padzas telles que cartographiées par RAUNET en 1991. Il est important de noter que RAUNET, dans sa cartographie, ne semble pas avoir différencié les padzas "actifs" des padzas végétalisés.

Les deux images ont ensuite été superposées pour vérifier automatiquement les différences dans le développement du phénomène. Il n'a pas été tenu compte des "padzas 1991" situés sous des nuages dans l'image SPOT.

L'évolution de la géométrie et de la localisation des phénomènes a également été faite, par l'étude statistique du nombre et de la surface des parcelles dénudées (padzas de 1991 et de 1995). Toutefois, cette étude, basée sur le contourage des images, ne peut avoir qu'un caractère indicatif, hors de toute valeur absolue. Le déplacement des zones d'érosion active, par rapport aux secteurs d'emprises humaines, a été mis en évidence. A chaque zone urbanisée (numérisée à partir de la carte IGN à 1 / 25 000), nous avons affecté deux zones d'influence de 1 et 2 km (Fig. 13 infra). Nous avons ensuite calculé la fréquence de localisation des padzas (1991 et 1995), en fonction de ces zones d'influence.

3.2.2 Recherche de paramètres contrôlant le phénomène

Le but de cette cartographie est la fourniture d'un document permettant de localiser les zones les plus fragiles aux phénomènes d'érosion. Pour cela, il est important de rechercher quels paramètres contrôlent le plus directement la formation des padzas.

Comme l'image satellitaire présentait une surface cachée par les nuages non négligeable, nous avons repris la cartographie des padzas élaborée par RAUNET, qui couvre l'ensemble de l'île, pour tenter de trouver des corrélations avec différents paramètres :

- lithologie
- pente
- puissance érosive (calculée avec les algorithmes de John Fairfield, qui prennent en compte la pente, l'accélération des écoulements et la quantité d'eau drainée en chaque point)
- occupation humaine (proximité des zones urbanisées).

Pour la lithologie, l'étude a porté sur la comparaison entre la carte géologique (STIELTJES 1988) et les surfaces de padzas cartographiées en 1991 (RAUNET 1992). Nous avons établi l'histogramme de répartition des différents faciès géologiques pour les seules surfaces de padzas, ainsi que le pourcentage de chaque faciès érodé en padza.

Pour les pentes, l'histogramme de répartition a également été réalisé, et comparé à la distribution générale des pentes. Pour la puissance érosive, nous nous sommes contentés d'une évaluation visuelle, en surimposant, par transparence, la carte obtenue et les surfaces de RAUNET.

Pour l'occupation humaine, nous avons interprété la fréquence de localisation des padzas, entre les différentes zones d'influence de l'urbanisation.

4. Résultats et recommandations générales

On aura recours à la lecture des cartes à 1 / 50 000 (planches hors texte), pour mieux appréhender les commentaires qui suivent.

4.1 Instabilités (planche 1)

En termes d'instabilités quatre grandes zones (Fig. 15) ont été identifiées, qui présentent des caractéristiques homogènes par rapport aux phénomènes d'instabilité de pentes.

4.1.1 Nord de l'île

Ce secteur concerne les communes d'Acoua, M'Tzamboro, ainsi que les moitiés nord-ouest des communes de Bandraboua et M'Tsangamouji. Il se caractérise par l'association des roches argileuses, favorables aux glissements, et de falaises rocheuses, dans un contexte de fortes pentes. L'ensemble présente un caractère souvent préoccupant, en particulier sur les pentes ouest du Madjabalini et de l'Hachiroungou, qui dominent les villages de M'Tsangadoua et d'Acoua.

Points particuliers :

- Le village de M'Tsangadoua lui-même est construit sur un chaos de blocs, de dimensions souvent plurimétriques. On note la présence de blocs éboulés isolés, dans les pentes qui le dominent. Selon certains témoignages, des chutes se produisent encore occasionnellement.
- En amont du village d'Acoua, la piste de desserte du relais TDF du Madjabalini traverse plusieurs glissements superficiels, dans les colluvions à blocs.

4.1.2 Centre-Nord

Ce secteur concerne le Sud-Est des communes de Bandraboua et M'Tsangamouji, ainsi que les communes de Tsingoni et Koungou et l'Ouest de la commune de Mamoudzou. Les principaux problèmes sont liés aux glissements pelliculaires et aux chutes de blocs. Un secteur à glissements, profonds ou superficiels, potentiels est individualisé au Sud de Koungou. L'ensemble du massif du M'Sapéré présente un contexte proche de celui du secteur nord. Cependant le faible taux de d'occupation de cette zone diminue considérablement les conséquences potentielles des phénomènes dangereux.

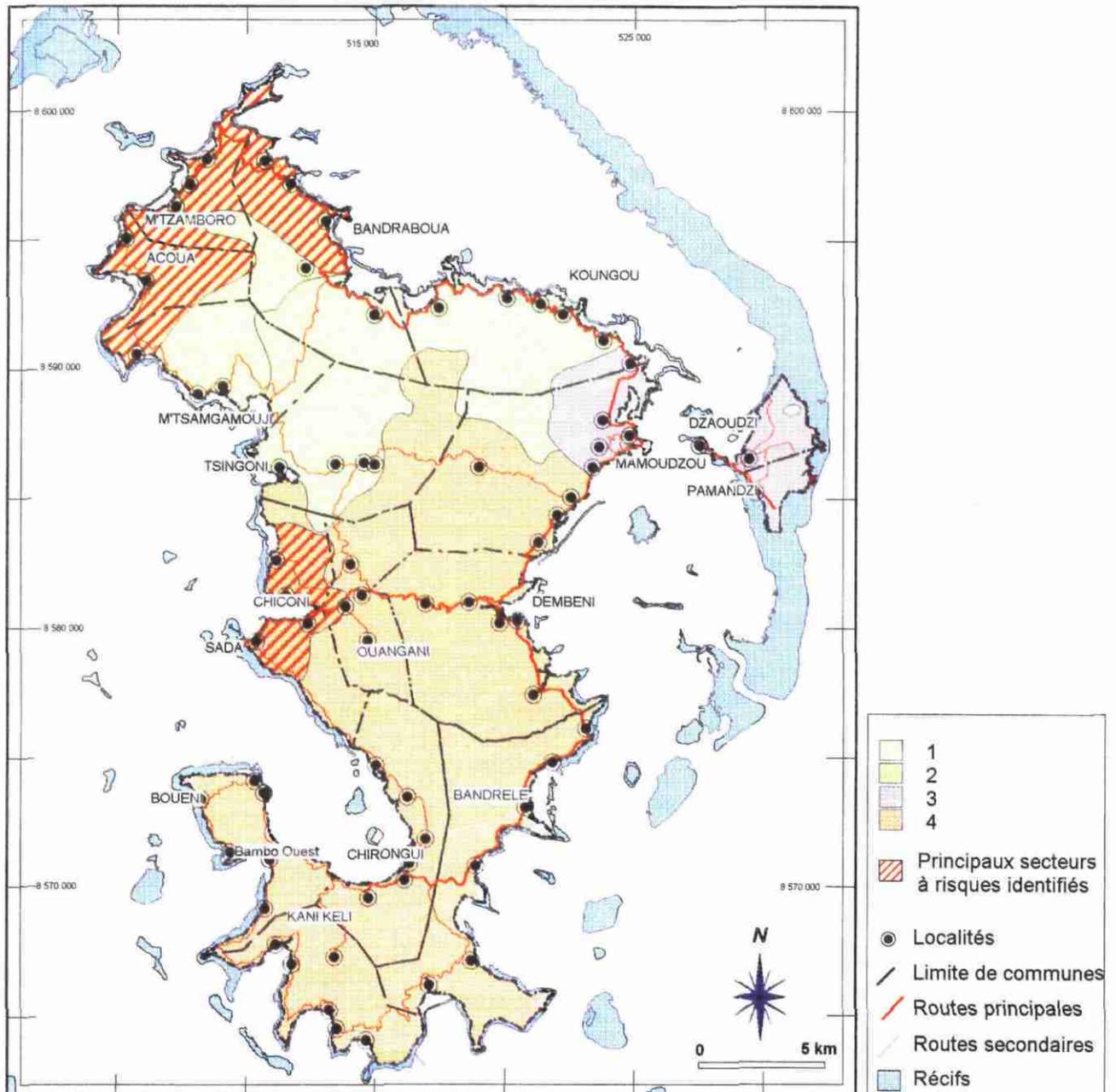


Fig 15 : Zones de problématique homogène vis à vis des mouvements de terrain et secteurs à risques identifiés

1 : Secteur nord ; 2 : Secteur centre ; 3 : Secteur est ; 4 : Secteur sud

4.1.3 Est de l'île

Pour les communes de Mamoudzou (moitié Est), Pamandzi et Dzaoudzi, les principaux problèmes sont posés par des glissements pelliculaires et des chutes de blocs. Ceux ci se produisent essentiellement au niveau des talus routiers ou d'origine naturelle des buttes de scories basaltiques (Petite Terre et Pointe Mahabo). De manière plus grave, les

falaises littorales sont le siège d'éboulements importants, pouvant mettre en jeu plusieurs mètres cubes de matériel. Elles présentent donc un réel danger.

Des glissements superficiels localisés, associés à des niveaux de cendres ferralitisées, sont également possibles. Ce peut être le cas sur le versant nord de la colline de la Préfecture à Mamoudzou.

4.1.4 Moitié sud de l'île

Dans toute la moitié sud de l'île, communes de Sada, Chiconi, Ouangani, Dembéli, Bandréle, Chirongui, Bouéni et Kani-Kéli, le principal problème est associé aux glissements de terrain, glissements profonds pouvant mettre en jeu des quantités importantes de matériels ou glissements superficiels avec "boules". En ce qui concerne les zones de chutes de blocs potentielles, elles se situent pour la plupart dans des secteurs inhabités.

Points particuliers

- Poroani : Au sud du village, le long de la route, un important glissement, lié à la dépression Feliksa (1985), a été observé (Pl. 4, photo 1). La réactivation de ce mouvement provoquerait des dégâts importants sur les constructions situées en contrebas.

- Glissements sur la commune de Bouéni : Un glissement important (200 000 m³), également provoqué par la dépression Feliksa, a menacé le hameau de Mouanatrindri. Il paraît aujourd'hui à peu près stabilisé. Par ailleurs, on observe sur la route CCT6 (côte est de la presqu'île) un soulèvement important (de un à trois mètres) probablement lié à la formation d'un bourrelet de base, au pied d'un grand glissement de versant. A noter que la méthode de cartographie automatique utilisée, si elle permet bien d'identifier la zone initiale de décollement, ne permet pas de définir l'extension globale du glissement.

- Village de Sada : La situation du village de Sada est préoccupante à plusieurs points de vue. Un ancien glissement en masse a été clairement identifié, en bordure est de l'agglomération. Il affecte tout le versant droit du Mro Oua Anyakaoué. Juxtaposé à ce glissement, des déblais de la nouvelle route montrent de nombreuses fissures. L'ensemble nécessite une observation, suivie à intervalles réguliers. Par ailleurs, le versant nord du cap Mtsanga Miti, au débouché de la route CCT5, présente des risques certains de glissements superficiels à blocs.

4.2 Erosion (planche 2)

4.2.1 Evolution du phénomène

Les méthodologies de cartographie diffèrent entre les deux études, 1992 et 1996. En particulier il est difficile de déterminer dans quelle mesure, les padzas recolonisés par la végétation ont été pris en compte en 1992. Les résultats de la comparaison entre les deux situations ne peuvent donc donner que les tendances, sans possibilité de quantification précise.

Cependant, plusieurs points ressortent lorsque l'on compare les surfaces affectées par les phénomènes d'érosion (padzas), entre 1991 et 1995.

- La surface totale, affectée par le phénomène, semble rester, globalement, du même ordre de grandeur (cf. tableau 4).
- La surface moyenne des parcelles affectées en 1995 est très nettement inférieure à celle calculée pour 1991 (cf. tableau 5). Ces parcelles sont, par contre, plus nombreuses;
- Il y a un déplacement des surfaces affectées, par "cicatrisation" partielle des grands padzas de 1991 et ouverture de nombreuses petites parcelles. De plus, cette évolution s'est traduite par un déplacement des zones d'érosion vers les emprises villageoises et périurbaines.

Conservation globale des surfaces affectées

La comparaison directe entre les résultats des deux études n'est pas significative, pour plusieurs raisons :

- la cartographie de RAUNET ne différencie pas les padzas "en herbe" des padzas dénudés, contrairement à la notre;
- la surface couverte par les nuages sur la scène SPOT est trop importante pour pouvoir être négligée;
- la classification SPOT ne permet pas de différencier les pâturages herbacés des zones d'érosion.

Pour élaborer le tableau 4, seules ont été totalisées, pour 1991, les surfaces affectées situées en dehors des zones nuageuses de la scène SPOT 1995, ceci pour rester avec des valeurs comparables.

Padza actif 1995	1209 hectares
Padza végétalisé 1995	3104 hectares
Padza cartographié en 1991 (hors couvert nuageux 1995)	3511 hectares (⁷)

Tableau 4 : Comparaison des surfaces globales occupées par des padzas (1991 et 1995)

Pour interpréter ces valeurs, il faut tenir compte des confusions existantes, dans l'exploitation de la scène SPOT, entre artefacts (routes et talus routiers, terrains de football,...) ou phénomènes naturels (nuages, effets de houle,...) et padzas actifs. Ces confusions, dues à des réflectances très proches, ont conduit à surestimer dans notre classification les surfaces de padzas actifs, dans une mesure difficile à estimer, mais certainement importante.

Autre point important, dans notre étude, les pentes herbacées, en particulier sur les collines de Petite Terre, n'ont pas été différenciées des padzas végétalisés, au contraire de l'étude de 1992. Là encore, cela conduit à une surestimation pour les surfaces de 1995.

Il n'est donc pas possible de tirer une conclusion définitive sur l'extension ou la résorption du phénomène. Une étude complémentaire, menée dans quelques années et utilisant les mêmes techniques de traitements satellitaires, devrait permettre de suivre de manière efficace l'évolution de ce phénomène.

Géométrie des parcelles

Le tableau 5 a été obtenu, pour les valeurs de 1995, en rassemblant les surfaces de padzas actifs et végétalisés, pour être cohérent avec la nature des parcelles cartographiées par RAUNET. Les différentes zones de même classe ont été ensuite "contourées" de manière automatique. Le calcul des valeurs statistiques (moyenne, maximum, minimum, et écart type) a été réalisé sur les surfaces des polygones ainsi obtenus. Cette méthode est source de nombreuses approximations, les valeurs données ne doivent donc être considérées que comme indicatives.

Il ressort toutefois que la surface moyenne d'un padza actif en 1995 est environ de trois fois inférieure à celle d'un padza de 1991, alors que les deux surfaces maximales observées sont dans un rapport de un à deux. La valeur minimale en 1995 correspond à la surface d'un pixel de 20 m par 20 m.

⁷ Dans son rapport Raunet chiffre à 2600 hectares la surface des padzas pour toute l'île. Une différence aussi grande est difficile à expliquer, dans la mesure où nous avons repris ses propres données.

	Padzas 1991	Padzas 1995
surface moyenne	1,9	0,54
surface maximale	200	132,7
surface minimale	0.09	0,04
écart type	8,5	3,3

Tableau 5 : Statistiques sur les surfaces des parcelles érodées, exprimées en hectares (ordres de grandeur)

Déplacement des zones actives

On note également un déplacement du phénomène.

D'abord par "cicatrisation" des anciens padzas : Seuls 22% des padzas actifs de 1995, ainsi que 26% des padzas végétalisés, étaient déjà cartographiés en padzas par RAUNET. Le tableau 6 donne la répartition de la classification de l'occupation des sols 1995, pour les surfaces cartographiées en padzas en 1991.

1	Padza active	10.07 %
2	Forêt dense ou mangrove	3.41 %
3	Forêt arbustive	13.48 %
4	Padzas revégétalisées	20.74 %
5	Zones urbaines	1.68 %
10	Sols nus	0.32 %
12	Culture peu couvrante	50.28 %

Tableau 6 : Classification des sols (1995), distribution des classes actuelles sur les surfaces de padzas 1991.

Il apparaît, en tenant compte des inévitables imprécisions, qu'environ 15 % des padzas de 1991 ont été recolonisés par une végétation "dense" et 50 % repris par des cultures peu couvrantes. Seuls 30% resteraient actifs ou très fragiles.

	Padzas 1995		Padzas 1991	
	(hectares)	(%)	(hectares)	(%)
Zone urbanisée (IGN)	5	0,1	0,1	0
distance < 1 km	2970	69,7	1555	44,3
distance < 2 km	1108	26	1562	44,5
distance > 2 km	177	4	395	11,2

Tableau 7 : localisation des zones d'érosion active par rapport aux emprises villageoises et urbaines (comparaison entre 1991 et 1995).

Le tableau 7, qui prend en compte, pour 1995, padzas actifs et végétalisés, montre un net déplacement des zones fragiles, à proximité des secteurs d'activité humaines. En 1991, plus de 50% des padzas étaient situés à plus d'un kilomètre des zones bâties, ils ne sont plus que 30% en 1995. Les surfaces situées à plus de deux kilomètres montrent la même tendance, avec une diminution de 11% à 4%.

4.2.2 Contrôles du phénomène

Lithologie :

L'étude a porté sur la comparaison entre la carte géologique (STIELTJES 1988) et les surfaces de padzas cartographiées en 1991 (RAUNET 1992).

Le tableau 5 présente la distribution des faciès géologiques sur les surfaces cartographiées en padzas par RAUNET en 1991, ainsi que le pourcentage érodé en padza de chaque faciès.

Pour le premier type de distribution, deux faciès sont largement prédominants : les basaltes altérés du Sud et les altérites ferralitiques correspondent à eux deux à pratiquement 60% des padzas de 1991. Si on ajoute les basaltes altérés du Nord, les altérites fumerolliennes et les "faciès à boules", ce sont plus de 80% des padzas qui sont représentés.

% de surface des padzas		Pourcentage du faciès, érodé en padza
0.05	Récifs	0.02
0.00	Mangrove	0.00
0.02	Formations de plages	0.25
2.16	Formations de rivières	4.02
0.29	Formations alluviales	0.71
3.80	Colluvions de versants	8.19
0.00	Cinérites de Pamandzi	0.00
0.00	Scories basaltiques	0.05
2.57	Trachites de Kawéni	7.78
3.26	Laves différenciées du M'Sapéré	4.73
1.51	Phonolites du M'Sapéré	11.25
0.09	Basanites à Olivines	0.61
0.00	Basaltes à Hornblende	0.00
0.20	Phonolites alcalines	2.73
1.11	Phonolites alcalines du sud	5.95
0.46	Néphélinites	8.89
7.06	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Nord)	20.75
5.65	Basaltes altérés (Nord)	8.79
7.81	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Sud)	11.27
29.51	Basaltes altérés (Sud)	10.45
1.57	Cendres	4.50
27.65	Altérites ferralitiques	56.50
2.81	Altérations fumerolliennes	36.67
1.52	Basaltes altérés (Sud) ; appareil volc.	15.23
0.90	Laves différenciées du M'Sapéré ; appareil volc.	9.24

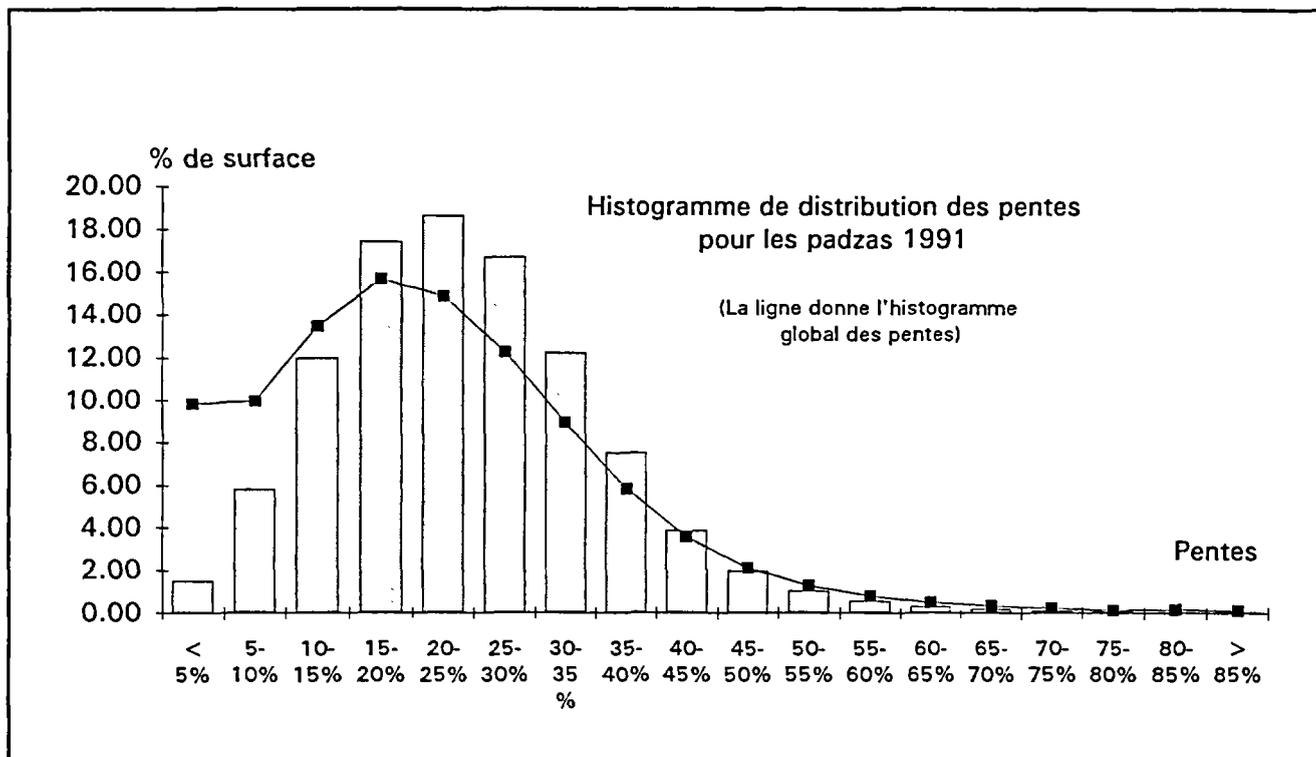
Tableau 8 : Corrélations entre faciès géologiques et padzas cartographiés par RAUNET en 1991

Il existe donc un bon contrôle lithologique sur la formation des padzas. Ce contrôle se retrouve dans le pourcentage de chaque faciès affecté par le phénomène. En effet, un certain nombre de faciès sont érodés à plus de 10% de leur surface en padzas : Phonolites du M'Sapéré (11,5%), basaltes altérés en boules du Nord (20,75%) et du sud (11,27%), les basaltes altérés du Sud (10,45%), en appareils volcaniques (15,23%), ainsi que les faciès cartographiés en altération ferralitique (56,5%) et fumerollienne (36,67%).

Ces faciès peuvent donc être cartographiés comme favorables à l'apparition de padzas.

Pente et puissance érosive

La distribution des pentes sur les padzas (cf. graphique 2) montre, par rapport à l'histogramme global des pentes établi pour l'ensemble de l'île, un déficit très net de la représentation des pentes inférieures à 15%. Il y a donc là aussi un bon contrôle et les pentes favorables à la formation de padzas se situent au delà des 15%.



Graphique 2 : Histogramme de distribution des pentes pour les padzas 1991

Aucune corrélation nette n'est apparue entre la carte de puissance érosive et la répartition des padzas de 1991. Ce résultat est quelque peu étonnant.

Une explication peut toutefois être avancée. Notre cartographie de la puissance érosive est basée, initialement sur un MNT à maille de 50 mètres. Et le calcul de pentes, pour lesquelles la maille est de 100 m, ne permet pas d'isoler les ravines propices au développement des padzas.

Contrôle anthropique

Le contrôle de l'apparition des padzas par l'activité humaine a été mis en évidence par le rapprochement observé des zones actives, à proximité des zones d'habitation. Comme le montre le tableau 9, le phénomène est le plus net pour les padzas végétalisés. Il est

possible qu'il corresponde donc également à une confusion qui peut exister entre pâturages et padzas en voie de consolidation. Cependant, il reste que l'on trouve environ deux fois plus de padzas actifs (avec un risque de confusion moindre) dans la bande inférieure au kilomètre, qu'à l'extérieur de cette bande.

	Padzas 1995	Padzas actifs	padzas végétalisés
Zone urbanisée (IGN)	5	3	2
distance < 1 km	2968	786	2182
distance < 2 km	1108	350	758
distance > 2 km	177	62	115

Tableau 9 : localisation des zones actives par rapport aux emprises villageoises et urbaines, répartition entre padzas actifs et végétalisés.

4.2.3 Carte des zones d'érosion

La carte à 1 / 50 000 (Planche 2) fournie en annexe de notre rapport présente donc :

- Les zones cartographiées en 1991, en identifiant les secteurs toujours fragiles (padzas actifs ou végétalisés de 1995)
- Les nouvelles parcelles identifiées au travers de la classification SPOT 1995

4.3 Enjeux (planche 3)

Pour analyser les conséquences possibles des phénomènes naturels, il est indispensable de les reporter en regard des biens exposés (population, infrastructure,...). Pour ces enjeux, les informations disponibles, fournies par la Direction de l'Équipement de Mayotte, ont été numérisées et géoréférencées, dans une base de données graphique (SIG). Elles concernent essentiellement :

- la population
- le bâti (zones urbanisées, zones d'activité)
- les installations classées et les sites stratégiques (port, aéroport,...)
- l'énergie (réseau électrique, stations d'essence,..)
- l'alimentation en eau
- les voies de communication

L'échelle commune aux données numérisées est, dans la mesure du possible, le 1 / 25 000 ème. Le système de coordonnées retenu est celui des cartes à 1 / 25 000 de l'IGN (UTM 38 - WGS84).

L'annexe 1 présente la structure de la base de données ainsi réalisée.

Les enjeux, et cela n'est pas étonnant, se répartissent essentiellement le long des côtes, avec la plupart des zones planes, et où se rencontrent les principales concentrations de population. On note deux axes de traversée de l'île dans la partie nord (Vahibéni-Combani et Dembéni-Coconi-Barakani). Dans le Sud, le seul axe de traversée se situe à l'Est de Chirongui.

A l'exception des axes de traversée, et des villages de Ouangani et Choungui, les principaux enjeux, à l'intérieur des terres, sont associés aux infrastructures d'alimentation en eau (stations de pompage et prises d'eau), sans oublier le relais TDF du Madjabalini.

4.4. Zones les plus exposées et recommandations générales pour la prévention des risques

La fig. 15 présente les secteurs qui apparaissent comme étant les plus préoccupants, du point de vue des instabilités de pente. Du croisement géographique des zones ainsi distinguées et des enjeux, trois secteurs ressortent clairement comme nécessitant une étude plus détaillée :

- Le secteur de Sada-Chiconi : où se concentre un fort potentiel de population avec une susceptibilité clairement identifiée aux glissements de terrain. Ce secteur fait l'objet de la deuxième partie de ce programme, avec une étude cartographique à l'échelle du 1 / 10 000.
- Le secteur d'Acoua-M'Tzamboro, avec les risques associés aux chutes de blocs dans les falaises et aux glissements de terrain sur les fortes pentes du Madjabalini et de l'Hachiroungou.
- Le secteur de Mamoudzou-Petite Terre, où la susceptibilité aux phénomènes naturels est moindre mais où la concentration de population, et l'évolution du type de bâti, demande qu'on y porte une attention détaillée. En particulier, le comportement des niveaux de cendres, dans le cas d'une saturation importante en eau, devrait être étudié.

Toutefois, ces secteurs ne sont pas les seuls menacés. D'autres secteurs peuvent être cités, en particulier Poroani, Bouéni, Kani-Kéli.

En ce qui concerne les phénomènes d'érosion, l'analyse des facteurs contrôlant l'apparition des padzas permet de distinguer un certain nombre de secteurs plus menacés (Fig. 16). Ces secteurs, qui devront faire l'objet d'une attention plus spéciale de la part des services de la Direction de l'Agriculture se situent majoritairement dans la partie sud de l'île, à l'exception notable du secteur de Vahibéni.

Pour évaluer l'évolution générale de ce phénomène, il serait intéressant de reproduire, avec la même méthodologie, notre analyse sur de futures images satellitaires, à un rythme pluriannuel.

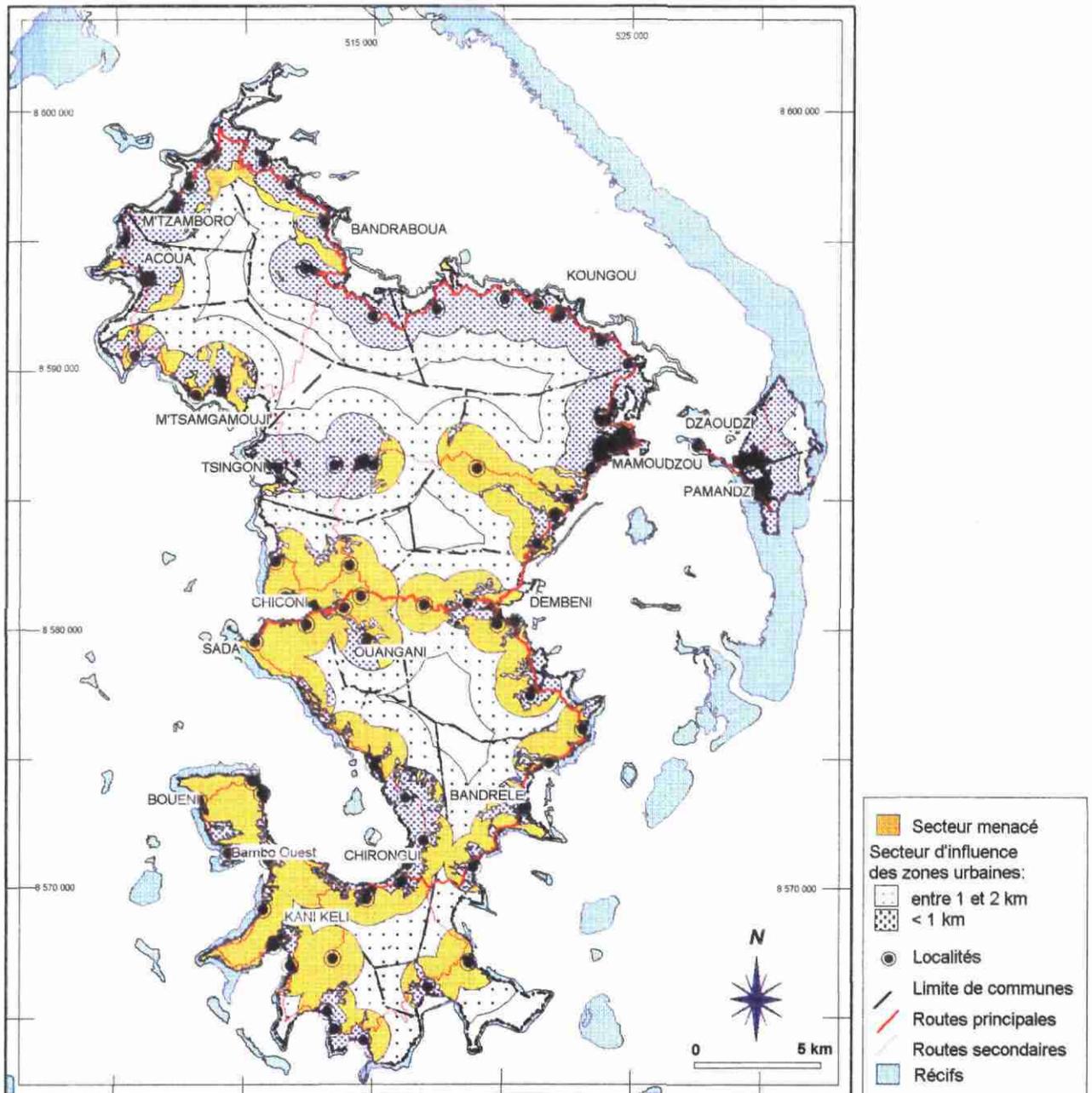


Fig. 16 : Zones d'influence des secteurs habités et secteurs fragiles à l'érosion

Conclusions

L'île de Mayotte est soumise à un certain nombre de phénomènes naturels dangereux, qu'ils soient catastrophiques (glissements de terrain), ou sur le long terme (phénomènes d'érosion). Pour prendre en compte ces menaces dans la politique d'aménagement, il était nécessaire d'obtenir une première vision globale, à l'échelle de l'île.

C'est l'objet de ce travail, qui établit un bilan de la situation actuelle, pour les mouvements de terrain et les phénomènes d'érosion.

Trois cartes de synthèse ont été réalisées à l'échelle du 1 / 50 000 :

- Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain
- Carte des zones d'érosion
- Carte des principaux enjeux

Les informations recueillies, en particulier sur les enjeux, ont été numérisées et structurées en une base de données géographique (SIG). Cette base de données pourra être complétée et enrichie par l'apport de nouvelles informations.

En ce qui concerne les mouvements de terrain, ce travail ne constitue qu'un préalable à des études plus détaillées, qui pourront porter sur les secteurs identifiés comme étant les plus sensibles :

- bassin de Sada, Chiconi
- secteur d'Acoua, M'Tzamboro
- agglomérations de Mamoudzou - Petite Terre

D'autres phénomènes naturels dangereux (séismes, inondations, cyclones) n'ont pas été pris en compte dans ce travail. Pour définir la politique d'aménagement, il serait pourtant nécessaire de disposer d'une connaissance précise de leurs effets potentiels.

Bibliographie

Billard G. (1977) Inventaire des ressources hydrauliques de Mayotte. Rapport BRGM N° 77-REU-04, Service Géologique Régional de la Réunion (Direction de l'Équipement de Mayotte).

Cruchet M., Salvetti E. (1995) Instabilités des terrains de couverture à l'île de la Réunion. Analyse des phénomènes et conséquences sur l'aménagement. Rapport BRGM R38550

CPGF HORIZON (1990) Etude hydraulique, géologique et géotechnique sur trois sites de retenues collinaires à Mayotte.

Direction de l'Équipement de Mayotte, Cellule Etudes et Programmatons (1994) : Atlas de Mayotte.

Eberschweiler C. (1986) Etude hydrologique, hydrochimie et géochimie isotopique d'une île volcanique sous climat tropical humide : Mayotte. Thèse de troisième cycle Université de Paris Sud Centre d'Orsay.

Géotechnique et Contrôles (1995) Etude géologique et géotechnique : Opération "collège de Sada". Rapport MY 95266/3 pour la Cellule Urbanisme de la Direction de l'Équipement de Mayotte.

Latrille E. (1981) Carte morpho-pédologique de Mayotte. Rapport IRAT

Raunet M. (1992) Ile de Mayotte : Les acteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Rapport CIRAD.

Philipponnat G. (1987) Fondations et ouvrages en terre. Editions EYROLLES

Stieltjès L. (1988) Mayotte : Notice explicative de la carte géologique à 1 / 50 000. Editions du BRGM.

Liste des figures

Fig.		Page
1	Localisation de l'archipel des Comores et de l'île de Mayotte (d'après STIELTJES 1988)	10
2	Limites des communes, principales localités et voies de communication	12
3	Image satellitaire de Mayotte (rééchantillonnage à 25%). Scènes SPOT XS, KJ 161-375/376 du 30 septembre 1995	13
4	Relief (obtenu par ombrage du MNT à pas de 50 m)	16
5	Réseau hydrographique (d'après cartes IGN à 1 / 25 000), bassins versants et inventaire des sources (BILLARD 1977)	17
6	Pluviométrie moyenne annuelle (d'après RAUNET 1992)	19
7	Carte géologique de Mayotte. Synthèse d'après BRGM (1988)	21
8	Regroupement des faciès géologiques en unités homogènes	26
9	Schéma de base d'un glissement rotationnel (d'après PHILLIPONNAT 1987)	36
10	Schéma de base d'un glissement plan (d'après PHILLIPONNAT 1987)	37
11	Croquis schématique de formation des padzas	40
12	Carte des pentes (calculées à partir du MNT à pas de 50 m).	43
13	Schéma de la démarche suivie pour la cartographie automatique	45
14	Classification de l'occupation des sols, à partir de la scène SPOT	51
15	Zones de problématique homogène vis à vis des mouvements de terrain et secteurs à risques identifiés	55
16	Zones d'influence des secteurs habités et secteurs fragiles à l'érosion	66

Liste des tableaux

Tab.		Page
1	Communes de Mayotte (estimation INSEE de la population en 1995 et superficie)	11
2	Regroupements des faciès géologiques	27
3	Classes de pentes	42
4	Comparaison des surfaces globales occupées par des padzas (1991 et 1995)	58
5	Statistiques sur les surfaces des parcelles érodées, exprimées en hectares (ordres de grandeur)	59
6	Classification des sols (1995), distribution des classes actuelles sur les surfaces de padzas 1991.	59
7	localisation des zones d'érosion active par rapport aux emprises villageoises et urbaines (comparaison entre 1991 et 1995).	60
8	corrélations entre faciès géologiques et padzas cartographiés par RAUNET en 1991	61
9	localisation des zones actives par rapport aux emprises villageoises et urbaines, répartition entre padzas actifs et végétalisés.	63

Liste des graphiques

Graph.		Page
1	Histogramme de distribution des pente sur l'île de Mayotte	15
2	Histogramme de distribution des pentes pour les padzas 1991	62

Liste des planches

- Planche 1 : Cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain à 1 / 50 000
Planche 1 : Cartographie des zones d'érosion à 1 / 50 000
Planche 1 : Cartographie des enjeux à 1 / 50 000

Liste des planches photographiques

Planche 1 (p. 29):

photo 1 : Altérite ancienne avec dykes (terrain de football de M'Tasangamboi)

photo 2 : Ponces de Pamandzi

Planche 2 (p; 32):

photo 1 : Falaise phonolitique du Madjabalini, au dessus du village de Mtsangadoua. Noter la présence du bloc éboulé en bordure de route.

photo 2 : Dyke non altéré dans une altérite.

Planche 3 (p. 34):

photo 1 : Falaise de Pamandzi (noter les écailles désolidarisées)

photo 2 : Colluvions à boules (village de Sada)

Planche 4 (p. 35):

photo 1 : Glissement en masse le long de la route CCT5 (Poroani)

photo 2 : Mécanisme de glissement en masse dans les altérites (route de Choungui). Noter la présence de plusieurs surfaces de décollements dans la pente.

Planche 5 (p. 39):

photo 1 : Glissements pelliculaires (Bouéni)

photo 2 : Padzas (Passi-Kéli) Noter la présence de "boules" en équilibre instable dans la pente.

ANNEXE 1

MAYOTTE : Notice descriptive de la base de données géoréférencée

SOMMAIRE

1. GENERALITES	2
2. LISTE DES TABLES	3
2.1 DONNEES SUR L'ALIMENTATION EN EAU.....	3
Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\EAU.....	3
2.2 DONNEES SUR LES INFRASTRUCTURES ET SITES SENSIBLES	3
Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\INSCCLASS.....	3
2.3 DONNEES SUR LES RESEAUX (EAU ET ENERGIE).....	3
Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\RESEAUX	3
2.4 DONNEES SUR LES VOIES DE COMMUNICATION	3
Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\ROUTES	3
2.5 DONNEES SUR LE BATI ET LA POPULATION	3
Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\URBAINS	3
2.6 DONNEES GEOGRAPHIQUES.....	4
Répertoire : \MAYOTTE\GEOGRPH	4
2.7 DONNEES SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN	4
Répertoire : \MAYOTTE\MVT.....	4
2.8 DONNEES SUR LES ZONES D'EROSION	4
Répertoire : \MAYOTTE\PADZA.....	4
2.8 DONNEES UTILISEES POUR LES TRAITEMENTS	4
Répertoire : \MAYOTTE\TRAITMNT.....	4
2.9 LOGOS ET HABILLAGE.....	5
Répertoire : \MAYOTTE\LOGOS.....	5
2.10 HABILLAGES POUR LES CARTES EXPLICATIVES DU RAPPORT	5
Répertoire : \MAYOTTE\RAPPORT	5
3. DESCRIPTION DES TABLES	6
3.1 \MAYOTTE\ENJEUX\EAU.....	6
3.2 \MAYOTTE\ENJEUX\INSCCLASS	7
3.3 \MAYOTTE\ENJEUX\RESEAUX.....	7
3.4 \MAYOTTE\ENJEUX\ROUTES.....	8
3.5 \MAYOTTE\ENJEUX\URBAINS.....	9
3.6 \MAYOTTE\GEOGRPH.....	10
3.7 \MAYOTTE\MVT	12
3.8 \MAYOTTE\PADZA	15
3.9 \MAYOTTE\TRAITMNT	15
3.10 \MAYOTTE\LOGOS	17
3.12 \MAYOTTE\RAPPORT.....	17

1. GENERALITES

Les données contenue dans le "SIG Mayotte" ont été numérisées, autant que possible, avec une précision correspondant à l'échelle du 1 / 25 000. Les coordonnées sont exprimées en mètres, dans le système de projection UTM38 (WGS84) .

Les données sont au format **MapInfo (R)**.

Les données sont structurées suivant 5 types de table (Points, Arcs, Polygones, Images, Texte). Pour chaque table, un certain nombre d'attributs sont renseignés.

Il existe 47 tables différentes, correspondant chacune à plusieurs fichiers. Ces fichiers sont répartis dans une arborescence de répertoires, classés suivant la nature de données.

Le premier chapitre donne la liste des différentes tables. Le deuxième chapitre en donne la description (attributs, valeurs des codifications éventuelles utilisées et source des données).

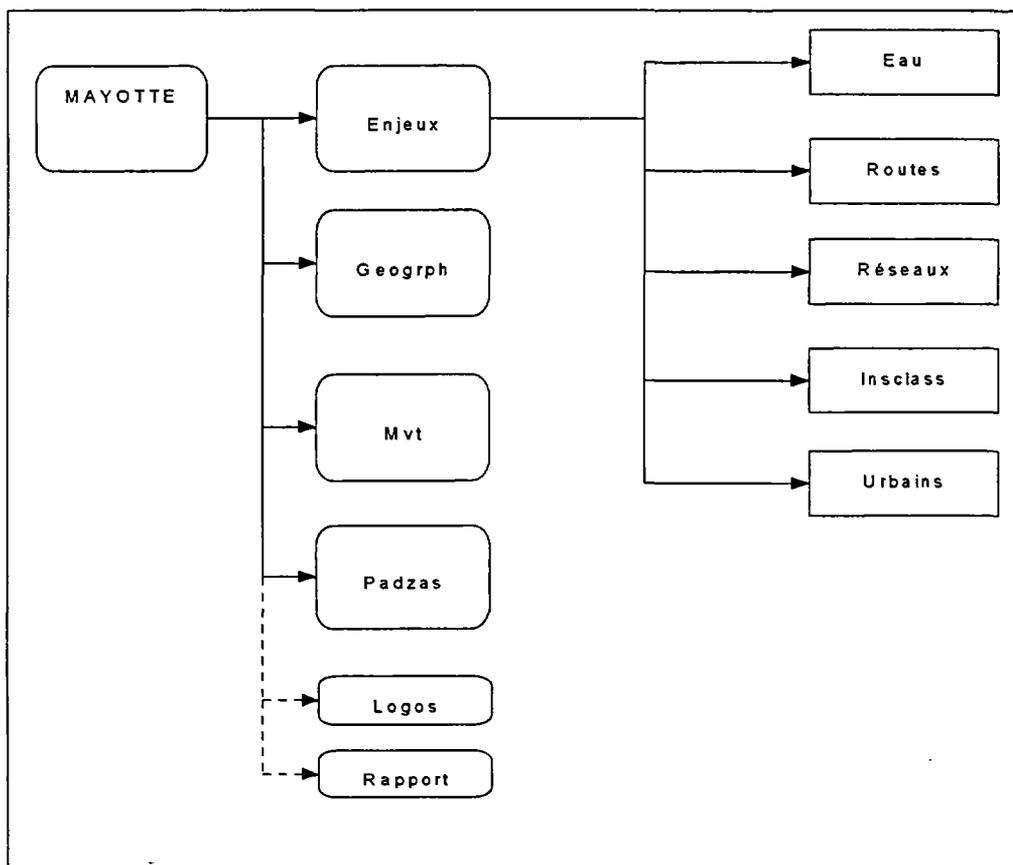


Fig. 1 : Arborescence des répertoires

Les deux derniers répertoires contiennent des données nécessaires à l'habillage des cartes.

2. LISTE DES TABLES

2.1 DONNEES SUR L'ALIMENTATION EN EAU

Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\EAU

Fichiers	Type	Description
PRIS_AEP	Points	Prises d'alimentation en eau potable
RESERVOI	Points	Réservoirs
PTSEAU	Points	Sources

2.2 DONNEES SUR LES INFRASTRUCTURES ET SITES SENSIBLES

Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\INSCCLASS

Fichiers	Type	Description
INSCCLASS	Points	Installations classées et sites stratégiques

2.3 DONNEES SUR LES RESEAUX (EAU ET ENERGIE)

Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\RESEAUX

Fichiers	Type	Description
RES_AEP	Arcs	Réseau d'eau potable
ELECTRIC	Arcs	Réseau électrique HTA 62 kv

2.4 DONNEES SUR LES VOIES DE COMMUNICATION

Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\ROUTES

Fichiers	Type	Description
PRINCIP	Arcs	Routes principales
SECOND	Arcs	Routes secondaires
CHEMINS	Arcs	Chemins
SENTIERS	Arcs	Sentiers

2.5 DONNEES SUR LE BATI ET LA POPULATION

Répertoire : \MAYOTTE\ENJEUX\URBAINS

Fichiers	Type	Description
ZONEURBA	Poly.	Zones urbanisées et zones d'activité
VILLAGE	Points	Centroïdes des zones urbanisées
BUFFURB	Poly.	Zone d'influence des secteurs urbanisés
BATPUBLI	Points	Bâtiments publics (secteur de SADA)

2.6 DONNEES GEOGRAPHIQUES

Répertoire : \MAYOTTE\GEOGRPH

Fichiers	Type	Description
BAVERSAN	Poly.	Limites des bassins versants
COTEIGN	Arcs	Limites des côtes
COMMUNE	Poly.	Communes
ILOTS	Poly.	Petits îlots inhabités du lagon
MAYOTTE	Image	Relief par ombrage du MNT
PENTES	Poly.	Pentes
RAVINES	Arcs	Réseau hydrographique
RECIFS	Poly.	Récifs
TOPO	Arcs	Courbes de niveau

2.7 DONNEES SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Répertoire : \MAYOTTE\MVT

Fichiers	Type	Description
ALEAGLIS	Image	Aléas glissements
ALEABLOC	Poly.	Aléas chutes de blocs
BPENTE	Poly.	Zones de départ et de réception des "boules"
DESORDRE	Points	Désordres observés
FALAISES	Poly.	Aléas écroulements de falaises
RECEPT	Poly.	Zones de réception des chutes de blocs
LEGLIS	Image	Légende de l'aléa glissement

2.8 DONNEES SUR LES ZONES D'EROSION

Répertoire : \MAYOTTE\PADZA

Fichiers	Type	Description
ALEAPDZ	Poly.	Zones fragiles à l'érosion
PADZACOM	Image	Aléas padzas
LEGPADZ	Image	Légende de l'aléa padza
ZRISQ	Poly.	Zone à risques identifiés
ZSIM	Poly.	Zone de comportements homogènes

2.8 DONNEES UTILISEES POUR LES TRAITEMENTS

Répertoire : \MAYOTTE\TRAITMNT

Fichiers	Type	Description
SPOT	Sans	Scène SPOT XS (image non géoréférencée)
CLASSIF	Image	Classification d'occupation des sols
LEGCLASS	Image	Légende de la classification
GEOLOGIE	Poly.	Carte géologique à 1/50 000
MNT	Sans	MNT à pas de 50 m (fichier ASCII).

2.9 LOGOS ET HABILLAGE

Répertoire : \MAYOTTE\LOGOS

Fichiers	Type	Description
BRGMCLR	Image	Logo BRGM
MAYOT_CG	Image	Logo Conseil Général de Mayotte
MAYOT_DE	Image	Logo Direction de l'Équipement de Mayotte
MININD	Image	Logo Ministère de l'Industrie
MINISENV	Image	Logo Ministère de l'Environnement
CADRE	Poly.	Cadre de la carte, coordonnées UTM38 (Cartes à 1 / 50 000)
CACHE	Poly.	Masque autour du cadre (Cartes à 1 / 50 000)
NORD	Image	Nord graphique

2.10 HABILLAGES POUR LES CARTES EXPLICATIVES DU RAPPORT

Répertoire : \MAYOTTE\RAPPORT

Fichiers	Type	Description
CADRE	Poly.	Cadre de la carte pour édition à 1 / 250 000
COORD	Texte	Coordonnées UTM38 WGS84 pour édition à 1 / 250 000
NORBLEU	Image	Nord graphique (fond bleu)

3. DESCRIPTION DES TABLES

3.1 \MAYOTTE\ENJEUX\EAU

- Table : **PRIS_AEP**

Attributs	Type	Description
PRIS_AEP_ID	Num.	Identifiant
X_COORD	Num.	Localisation
Y_COORD	Num.	Localisation
TYPE	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé du code

Codification :

Type	Désignation
1	Prise d'eau
2	Station de pompage

Sources : DE Mayotte

- Table : **RESERVOI**

Attributs	Type	Description
RESERVOI_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification
X_COORD	Num.	Localisation
Y_COORD	Num.	Localisation

Codification non renseignée

Sources : DE Mayotte

- Table : **PTSEAU**

Attributs	Type	Description
Num_BSS	Num.	Codification Banque de Données du Sous-Sol
X_COORD	Num.	Localisation
Y_COORD	Num.	Localisation
COMMUNE	Char.	Nom de la commune
Code_ouvra	Num.	Codification
Nature_ouv	Char.	Libellé du code

Codification

Code_ouvra	Nature_ouv
1	Ruissellements non captés
2	Ruissellements captés
3	Sources non captés
4	Sources captés
5	Puits

Sources : BRGM

3.2 \MAYOTTE\ENJEUX\INSCCLASS

- Table : INSCCLASS

Attributs	Type	Description
INSCCLASS_ID	Num.	Codification
ID	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé du code

Codification

ID	Désignation
1	Dépot hydrocarbure
2	Centrale thermique
3	Décharges
4	Aéroport
6	Stations services
5	Port
7	Dépot de munition

Sources : DE Mayotte

3.3 \MAYOTTE\ENJEUX\RESEAUX

- Table : RES_AEP

Attributs	Type	Description
RES_AEP_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification
RESEAU	Char.	Libellé du code

Codification

ID	Désignation
1	Distribution principale
2	Adduction

Sources : DE Mayotte

- Table : ELECTRIC

Attributs	Type	Description
ELECTRIC_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : DE Mayotte

3.4 \MAYOTTE\ENJEUX\ROUTES

- **Table : PRINCIP**

Attributs	Type	Description
PRINCIP_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : DE Mayotte

- **Table : SECOND**

Attributs	Type	Description
SECOND_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : DE Mayotte

- **Table : CHEMINS**

Attributs	Type	Description
CHEMINS_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé du code

Codification

ID	Désignation
2	Chemin de praticabilité saisonnière
1	Chemins entretenus

Sources : DE Mayotte

- **Table : SENTIERS**

Attributs	Type	Description
SENTIERS_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé du code

Codification

ID	Désignation
1	Sentiers GR
2	Sentiers

Sources : DE Mayotte

3.5 \MAYOTTE\ENJEUX\URBAINS

- **Table : ZONEURBA**

Attributs	Type	Description
ZONEURBA_ID	Num.	Identifiant
TYPE	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé du code

Codification

ID	Désignation
1	Zones urbanisées
2	Zones d'activités

Sources : DE Mayotte

- **Table : VILLAGE**

Attributs	Type	Description
VILLAGE_ID	Num.	Identifiant
NOM_VILLAGE	Char.	Nom de l'agglomération
POPULATION_1991	Num.	Nombre d'habitants en 1991

Sources : DE Mayotte et INSEE

- **Table : BUFFURB**

Attributs	Type	Description
BUFF_URB_ID	Num.	Identifiant
BUFF	Num.	Codification

Codification

BUFF	
0	Distance > 2 km
1	Zone urbaine
100	Distance < 1 km
200	Distance comprise entre 1 et 2 km

Sources : BRGM

• **Table : BATPUBLI**

Attributs	Type	Description
BATPUBLI_ID	Num.	Identifiant
TYPE	Num.	Codification
DESIGNATION	Char.	Libellé
X_COORD	Num.	Coordonnées X
Y_COORD	Num.	Coordonnées Y

Codification

TYPE	DESIGNATION
1	Banque
2	Collège
3	Dispensaire
4	Ecole
5	Gendarmerie
6	
7	Mosquée
8	Mairie
9	Maison des jeunes
10	Stade
11	Annexe LEP Kahani
12	Poste
13	Projet Lycée court terme
14	Lycée agricole
15	Bâtiment administratif
16	AFPA

Sources : DE Mayotte

3.6 \MAYOTTE\GEOGRPH

• **Table : BAVERSAN**

Attributs	Type	Description
BAVERSAN#	Num.	Identifiant
BAVERSAN_ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : BRGM

• **Table : COTEIGN**

Attributs	Type	Description
COTE_IGN_ID	Num.	Identifiant

Sources : IGN (cartes à 1 / 25 000)

• **Table : COMMUNE**

Attributs	Type	Description
COMMUNE_ID	Num.	Identifiant
NOM	Char.	Nom de la commune
POPULATION_1991	Num.	Nombre d'habitants en 1991
DENSITE_POP	Num.	Densité de population en 1991
SUPERFICIE	Num.	Superficie de la commune

Sources : DE Mayotte, INSEE

• **Table : ILOTS**

Attributs	Type	Description
ILOTS#	Num.	Identifiant

Codification non renseignée

Sources : IGN à 1 / 25 000

• **Table : MAYOTTE**

Image géoréférencée : MAYOTTE . TIF (445510 Ko)

Sources : DE Mayotte pour le MNT, Traitement BRGM

• **Table : RAVINES**

Attributs	Type	Description
RAVINES_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification

ID	
2	Deuxième ordre
1	Premier ordre

Sources : IGN (cartes à 1 / 25 000)

• **Table : RECIFS**

Attributs	Type	Description
RECIFS#	Num.	Identifiant
RECIFS_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : BRGM

- **Table : TOPO**

Attributs	Type	Description
TOPO_ID	Num.	Identifiant
MAYOTTEMNT	Num.	Valeurs des courbes de niveau

Sources : DE Mayotte pour le MNT, Traitements BRGM

- **Table : PENTES**

Attributs	Type	Description
PENTES_ID	Num.	Identifiant
PENTES	Num.	Valeurs des pentes
GROUPE	Num.	Codification

Codification

GROUPE	
0	Pentes < 20%
1	Pentes > ou = 20%

Sources : DE Mayotte pour le MNT, Traitements BRGM

3.7 \MAYOTTE\MVT

- **Table : ALEAGLIS**

Image géoréférencée : ALEAGLIS . TIF (3967944 Ko)

Sources : BRGM

- **Table : LEGGLIS**

Image : LEGGLIS . TIF (82134 Ko)

Sources : BRGM

• **Table : ALEABLOC**

Attributs	Type	Description
ALEABLOC_ID	Num.	Identifiant
PENTE	Num.	Codification

Codification

PENTE	
0	Pentes < 30%
3	Pentes entre 30 et 50%
5	Pentes > 50%

Sources : BRGM

• **Table : BPENTE**

Attributs	Type	Description
BPENTE_ID	Num.	Identifiant
GROUPE	Num.	Codification

GROUPE	
0	
3	Zone de réception potentielle
5	Zone de départ potentiel

Sources : BRGM

• **Table : DESORDRE**

Attributs	Type	Description
DESORDRE_ID	Num.	Identifiant
TYPE	Num.	Codification

Codification

TYPE	
1	Glissement
2	Glissement
3	Glissement avec boules
4	Chutes de blocs
5	Ecroulements de falaises
6	Erosion maritime

Sources : BRGM

• **Table : FALAISES**

Attributs	Type	Description
FALAISES_ID	Num.	Identifiant

Sources : BRGM

• **Table : RECEPT**

Attributs	Type	Description
RECEPT_BLOC_ID	Num.	Identifiant

Sources : BRGM

• **Table : ZRISQ**

Attributs	Type	Description
ZRISQ_M_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification

ID	
0	
1	
2	Zone à risques identifiés

Sources : BRGM

• **Table : ZSIM**

Attributs	Type	Description
ZSIM_M_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification

ID	
0	
1	Ilots
2	Secteur nord-ouest
3	Secteur centre
4	Secteur est
5	secteur sud

Sources : BRGM

3.8 \MAYOTTE\PADZA

- Table : PADZACOM

Image : PADZACOM . TIF (967944 Ko)

Sources : SPOT Image, CIRAD, Traitements BRGM

- Table : LEGPDZ

Image : LEGPADZ . TIF (82134 Ko)

Sources : BRGM

- Table : ALEAPADZ

Attributs	Type	Description
ALEAPADZA_ID	Num.	Identifiant
ID	Num.	Codification

Codification non renseignée

Sources : BRGM

3.9 \MAYOTTE\TRAITMNT

- Table : SPOT (sans)

Image : SPOT.TIF (815434 Ko)

Sources : SPOT Image

- Table : CLASSIF

Image géoréférencée : CLASSIF . TIF (3967944 Ko)

Sources : SPOT Image, Traitements BRGM

• **Table : LEGCLASS**

Image : LEGLASS . TIF (132534 Ko)

Sources : BRGM

• **Table : GEOLOGIE**

Attributs	Type	Description
GEOL-ID	Num.	Identifiant
CODE	Num.	Codification du faciès
DESIGNATION	Char.	Libellé
NOM	Char.	Nom de la formation
GROUPE	Char.	Codification de regroupement

Codification

CODE	
1	Récifs
2	Mangrove
3	Formations de plages
4	Formations de rivières
5	Formations alluviales
6	Colluvions de versants
7	Cinérites de Pamandzi
8	Scories basaltiques
9	Trachites de Kawéni
10	Laves différenciées du M'Sapéré
11	Phonolites du M'Sapéré
12	Basanites à Olivines
13	Basaltes à Hornblende
14	Phonolites alcalines
15	Phonolites alcalines du sud
16	Néphélinites
17	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Nord)
18	Basaltes altérés (Nord)
19	Basaltes ankaramitiques altérés en boules (Sud)
20	Basaltes altérés (Sud)
21	Cendres
22	Altérites ferralitiques
23	Altérations fumerolliennes
24	Basaltes altérés (Sud) ; appareil volc.
25	Laves différenciées du M'Sapéré ; appareil volc.

GROUPE	
1	Form. de fonds de vallées
2	Eboulis et colluvions
3	Volcanisme peu altéré
4	Volcanisme intermédiaire
5	Extrusion phonolitique
6	Altérite en boules
7	Altérite de base

Sources : BRGM

- **Table : MNT (sans)**
Fichier ASCII : MNT.DAT (2957190 Ko)

Sources : DE Mayotte

3.10 \MAYOTTE\LOGOS

- **Table : BRGMCLR**
Image : BRGM . BMP (221086 Ko)
- **Table : MAYOT_CG**
Image : MAYOT-CG . TIF (394849 Ko)
- **Table : MAYOT_DE**
Image : MAYOT-DE. TIF (85501 Ko)
- **Table : MININD**
Image : MININD . BMP (327038 Ko)
- **Table : MINISENV**
Image : MINISENV . BMP (528430 Ko)
- **Table : NORD**
Image : NORD . BMP (130998 Ko)
- **Table : CADRE** (cadre de la carte pour édition à 1 / 50 000)
- **Table : CACHE** (masque autour de cadre)

3.12 \MAYOTTE\RAPPORT

- **Table : CADRE** (cadre de la carte pour édition à 1 / 250 000)
- **Table : COORD** (texte des coordonnées pour édition à 1 / 250 000)
- **Table : NORDBLEU**
Image : NORDBLEU . BMP (132118 Ko)

ANNEXE 2

MAYOTTE : Synthèse de quelques caractéristiques géotechniques recueillies

Commune		Prof.	W	Gs	Gd	limites d'Atterberg			φ	Cu				
						%	kN/m3	kN/m3				WI	Wp	Ip
Sada	collège	1 m	37	25.9					18.6	117.3	sol ferralitique rouge (altérite ?)			
Sada	collège	1 m	33	26.2					22.8	90.3	sol ferralitique rouge (altérite ?)			
Combani	lac collin.	2.5 m	41.8		11.1	55.2	39.6	15.6			Argiles brun rouge sombre			
Combani	lac collin.	2.5 m	32.9		13.7	59	36.2	22.8			Basalte gris ocre			
Combani	lac collin.	1.5 m	46.3		9.3	64.3	30.7	33.6	29.4	26	brun rouge sombre / basalte gris			
Combani	lac collin.	1.5 m	36.8		9.6	45.7	32.6	13.1	37.0	7	brun rouge / basalte gris			
Combani	lac collin.	1.5 m	38.5		1.22	52.9	34.8	18.1	31.6	33	gris ocre			
Combani	lac collin.	2.5 m	45.7		1.22	54.9	38.6	16.3	38.9	10	gris ocre			
Doujani / R27	lac collin.	2 m	45.3	27.2	12.7	63	29	34	14.9	119	argile marron			
Doujani / R27	lac collin.	2 m	41	26.19	11.9	62	28	34	11.5	29.7	argile marron			
Doujani / R27	lac collin.	2 m	39.8	27.76	12.9	68	32	36	8.7	134.7	argile marron			
Kani-Keli	collège	1 m				68.5	48.3	20.2			argile			
Kani-Keli	collège	2 m				76	50	26			argile			
Kani-Keli	collège	1 m				75.6	50.6	25			argile			
Kani-Keli	collège													
M'Tsangamouji	collège		21.6			37.9	24.8	13.1			argile (cinérites ?)			
M'Tsangamouji	collège		27.6			42.9	36.1	6.8			argile (cinérites ?)			
M'Tsangamouji	collège		28.7			45.3	33.2	12.1			argile (cinérites ?)			
M'Tsangamouji	collège		30.4			48.3	33.3	15			argile (cinérites ?)			

BRGM REUNION
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

46 bis rue de Nice - B.P. 906 97478 Saint Denis cedex Tél. : 0.262.21.22.14 Télécopieur : 0.262.21.86.96

Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain

ILE DE MAYOTTE
 Programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux
 Cartographie d'orientation à 1/50 000 ème

septembre 96 - R 39078 planche 1

BRGM - Service Géologique Régional Réunion - 46 Bis rue de Nico - BP 906 - 94478 Saint Denis cedex

Ile de Mayotte
Carte de susceptibilité
aux mouvements de terrain



0 4 km

8 600 000

8 590 000

8 580 000

8 570 000

8 570 000

8 560 000

520 000

520 000

LEGENDE

Zones susceptibles de :

- Glissements pelliculaires
- Glissements profonds et superficiels (+) avec facteurs aggravants
- Chutes de blocs (+) avec facteurs aggravants
- Principales zones de réception éventuelle de blocs
- Ecoulements de falaise
- Glissements avec "boules" (résidus d'altération) ou zones de réception éventuelle de blocs
- Zones de libération de "boules" (résidus d'altération)

Désordres observés

- Glissements
- Glissements avec boules
- Chutes de blocs
- Ecoulements de falaise
- Erosion maritime

- Zones urbanisées (+) Zones d'activités

- Récifs

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limite de communes

- Coordonnées dans le système de projection UTM38 (WGS84)
 - AVERTISSEMENT : cette carte à 1/50 000 présente les grandes tendances de susceptibilité aux mouvements de terrain, sur l'île de Mayotte.
 Elle ne peut tenir compte de conditions spécifiques localisées, susceptibles de générer des désordres, qui devront être étudiées à une échelle plus précise.

Cartographie des zones d'érosion

ILE DE MAYOTTE
Programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux
Cartographie d'orientation à 1/50 000 ème

septembre 96 - R 39078

planche 2



BRGM - Service Géologique Régional Réunion - 46 Bis rue de Nice - BP 906 - 94478 Saint Denis cedex

520 000

Ile de Mayotte Cartographie des zones d'érosion



0 4 km

8 600 000

8 590 000

8 580 000

8 570 000

8 570 000

8 560 000

520 000

LEGENDE

- Zones d'érosion active "Padza" (SPOT 95)
- (*) Zones déjà actives en 1991
- Zones d'érosion à végétation herbacée (SPOT 95)
- (*) Zones déjà actives en 1991
- Padza actif en 1991, actuellement fermé (SPOT 95)
- Zones urbanisées
- (*) Zones d'activités
- Zones cachées par les nuages et ombres portées
- Récifs
- Réseau hydrographique
- Routes principales
- Routes secondaires
- Limite de communes

- Base : Scène SPOT XS KJ : 161-375/376 du 30.09.95 - traitement BRGM.
- Informations sur les voies de communications et les zones urbanisées fournies par la DE de Mayotte.
- Informations sur les "padzas" de 1991 tirées d'un rapport CIRAD (Raunet 1992).
- Réseau hydrographique des cartes 1/25 000 IGN.
- Coordonnées dans le système de projection UTM38 (WGS84).
- AVERTISSEMENT - La délimitation des zones d'érosion active est issue du traitement par le BRGM d'une scène SPOT.
Des objets de natures différentes pouvant avoir une réponse similaire, des contrôles de terrain sont indispensables pour toute utilisation à une échelle plus précise.

Cartographie des enjeux

ILE DE MAYOTTE
Programme d'inventaire des phénomènes naturels dangereux
Cartographie d'orientation à 1/50 000 ème

septembre 96 - R 39078



planche 3

BRGM - Service Géologique Régional Réunion - 46 Bis rue de Nice - BP 906 - 94478 Saint Denis cedex

Ile de Mayotte Cartographie des enjeux



0 4 km

8 600 000

8 590 000

8 580 000

8 570 000

8 570 000

520 000

520 000

8 560 000

LEGENDE

- Zones d'activités
- Zones urbanisées (population 1991 source INSEE)
- Réseaux eau potable**
- Adduction
- Distribution principale
- Prise d'eau
- Station de pompage
- Réservoir
- Réseau électrique**
- Ligne électrique HTA 62 KV
- Sites sensibles**
- Aéroport
- Relais TDF
- Centrale thermique
- Décharges
- Dépôt de munitions
- Dépôt hydrocarbure
- Port
- Stations services
- Récifs
- Réseau hydrographique
- Routes principales
- Routes secondaires
- Chemins
- Sentiers
- Limite de communes

- Informations sur les enjeux fournies par la DE de Mayotte
- Réseau hydrographique des cartes 1/25 000 IGN
- Coordonnées dans le système de projection UTM38 (WGS84)

