HAL
open science

Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte

Frédéric Leone

To cite this version:

Frédéric Leone (Dir.). Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte. 2014. hal-03137297

HAL Id: hal-03137297

https://hal.science/hal-03137297

Submitted on 26 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cet atlas universitaire répond à un besoin de compréhension, de spatialisation et de contextualisation des risques naturels à Mayotte. Il introduit un éventail d'approches et de cartographies pour expliquer les risques perçus et vécus, leurs conséquences et leurs déterminants physiques, socio-culturels, historiques ou géographiques. Plusieurs niveaux de lecture, richement illustrés et problématisés, sont proposés à un large public. Ce travail collectif nous éclaire sur les composantes du risque et sa gestion, à travers une approche intégrée prenant en compte aussi bien les aléas naturels que les enjeux exposés, leurs vulnérabilités spécifiques mais aussi les capacités locales pour y faire face. Il valorise de multiples sources d'informations géographiques, géomorphologiques, climatiques et historiques collectées sur le terrain, auprès des institutions et des populations. Il constitue un tout premier socle synthétique de connaissances au service de la prévention des risques. Cette prévention doit reposer en amont sur l'éducation et faire partie intégrante de la gestion durable de ce territoire insulaire enclin à de profondes mutations socio-économiques et environnementales.

«Géorisques»

Presses universitaires de la Méditerranée
www.PULM.fr

58 €

ISSN 1956-4252

Géorisques

ATLAS DES RISQUES NATURELS ET DES VULNÉRABILITÉS TERRITORIALES DE MAYOTTE

Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte

Sous la direction de
Frédéric Leone

Géorisques

Presses universitaires de la Méditerranée

Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte

Collection « Géorisques »

Directeurs de collection :
Frédéric Leone, Freddy Vinet

Comité scientifique :
Albert Colas, Monique Gherardi, Frédéric Leone,
Nancy Meschinet de Richemond, Tony Rey, Freddy Vinet

La collection « Géorisques » est une publication annuelle consacrée à la géographie des risques naturels. Les numéros thématiques privilégient les approches méthodologiques, ce qui n'exclut pas de publier des numéros consacrés à des terrains spécifiques : littoraux, montagneux ou îliens. Les ouvrages de la collection regroupent des articles sélectionnés suite aux rencontres « Géorisques » organisées dans le cadre du master « Gestion des catastrophes et des risques naturels » (G.C.R.N.) de l'université Paul-Valéry Montpellier. La publication bénéficie également du soutien de l'U.M.R. « Gouvernance, risque, environnement, développement » (GRED). L'objectif de la collection est de confronter les approches des chercheurs et des praticiens sur des problématiques récentes.

Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte

Sous la direction de Frédéric Leone
(université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED)

Collection « Géorisques »
Hors-série

Presses universitaires de la Méditerranée

Illustrations
Première de couverture : Vue sur Petite-Terre (© J. Mouassil, 2012).
Quatrième de couverture : Îlots Choisil (BD Ortho/IGN 2009) et vol de roussette devant le mont Choungui (© F. Leone, 2011).
Photomontage réalisé par les PULM.

Mots-clés : Mayotte, risques naturels, vulnérabilités, atlas, cartographie

Tous droits réservés, PULM, 2014.
ISBN 978-2-36781-107-9

Remerciements

Cet atlas a été réalisé dans le cadre de la convention relative à la réduction des risques naturels établie entre le Conseil général de Mayotte et l'université Paul-Valéry Montpellier (U.M.R. GRED). Il a été co-financé par ces deux partenaires, ainsi que par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et la fondation MAIF dans le cadre du projet de recherche PREPARTOI (Prévention et recherche pour l'atténuation du risque de tsunami dans l'océan Indien).

Les auteurs tiennent à remercier en particulier, pour leur aimable collaboration et leur soutien :

Au Conseil général de Mayotte
M. Zaïdani, Président
Mme Abdourroihmane, Directrice générale adjointe chargée de la formation, de l'enseignement et de la recherche
M. Andjilani, Directeur de la recherche et de l'enseignement supérieur
et l'ensemble du personnel

À la Préfecture de Mayotte
M. Boukoucha, Chef du service interministériel de défense et de protections civiles

À la DEAL de Mayotte
M. Lefèbvre, Chef de la cellule hydraulique, environnement et assainissement
M. Licoine

Au B.R.G.M. de Mayotte
M. Oppermann, Ingénieur risques naturels

Au SDIS de Mayotte
Le Colonel Sorribas, Directeur

Ainsi que la population mahoraise pour son accueil chaleureux, avec une pensée particulière pour Mme Anziza Hachim.

Préfaces

C'est pour moi une grande satisfaction de vous présenter cet atlas des risques naturels de Mayotte, qui constitue le premier document du genre en France. Il est le fruit d'une politique volontariste du Conseil général de Mayotte. L'île de Mayotte est particulièrement vulnérable aux risques naturels. Selon les experts, le réchauffement climatique va accroître la violence et la fréquence des phénomènes extrêmes comme les tempêtes et les inondations. Le passage récent du cyclone tropical Hellen sur le canal du Mozambique est venu nous rappeler avec brutalité la vulnérabilité de notre île aux risques naturels et la fragilité de notre espace insulaire face aux forces de la nature.

Certes l'avènement de tels phénomènes naturels extrêmes échappe pour une large part à l'action humaine. Ces phénomènes ne peuvent pas être empêchés, mais il est de notre responsabilité d'agir pour atténuer les conséquences de ces phénomènes. C'est pourquoi il paraît aujourd'hui très clair que la prise en compte des risques naturels dans les politiques publiques locales est un enjeu fondamental pour une île comme Mayotte.

C'est fort de cette conviction que le Conseil général de Mayotte a établi un partenariat avec l'université Paul-Valéry Montpellier pour éclairer la population et les pouvoirs publics sur les composantes du risque et les capacités locales pour y faire face.

Le présent atlas des risques naturels a vocation à constituer un premier socle de connaissances géo-référencées. Il est une base nécessaire à l'élaboration d'une véritable stratégie de prévention des risques à l'échelle du territoire, notamment au travers d'un aménagement soucieux de limiter voire de réduire les enjeux humains, économiques et environnementaux qui découlent de ces risques.

Cet atlas n'est pas un document figé, une photographie immuable destinée à décorer les étagères de nos bibliothèques. Il a pour ambition de devenir un indicateur permanent du développement futur de Mayotte, qui sera régulièrement actualisé et complété par des données socio-économiques.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce document et qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour la parution de cette première édition. Je forme le vœu que l'élan constitué autour de cet atlas se poursuive et que cette veille sur les risques naturels de Mayotte soit pérennisée pour rendre cet outil évolutif.

Et j'espère que ce guide sera à la hauteur de vos attentes pour vous accompagner dans la gestion et l'anticipation des risques naturels encourus sur l'île.

Daniel Zaïdani

Président du Conseil général de Mayotte

Cet atlas universitaire répond à un besoin de compréhension, de spatialisation et de contextualisation des risques naturels sur le territoire de Mayotte. Il a pour ambition de capitaliser des savoirs scientifiques et empiriques locaux sur ce tout nouveau département français de l'océan Indien. Plus qu'un simple catalogue ou inventaire, il présente tout un éventail d'approches et de cartographies pour expliquer les risques perçus et vécus, leurs conséquences et leurs déterminants physiques, socio-culturels, historiques ou géographiques. Plusieurs niveaux de lecture et d'information, richement illustrés et problématisés, sont proposés à un large public : population, élèves, enseignants, agents des services de l'État et des collectivités locales, bureaux d'étude, gestionnaires du risque en général.

Cet atlas nous éclaire sur les composantes du risque et sa gestion, aux échelles locales et régionales, à travers une approche intégrée prenant en compte aussi bien les aléas naturels que les enjeux exposés, leurs vulnérabilités spécifiques mais aussi les capacités locales pour y faire face. Il valorise de multiples sources d'informations géographiques, géomorphologiques, climatiques et historiques collectées aussi bien sur le terrain qu'auprès des institutions et des populations, via notamment des enquêtes et des relevés. Il a mobilisé durant trois années une équipe essentiellement composée de géographes, enseignants-chercheurs et étudiants de niveau master, et de praticiens reconnus pour leurs compétences sur Mayotte.

Indispensable pour entretenir la mémoire collective et la conscience des risques, cet atlas permet d'apprécier toute la richesse du contexte mahorais en matière de connaissances, de pratiques, d'enjeux environnementaux et de biodiversité. Il offre aussi un bel aperçu de ce que peut être une géographie des risques naturels, telle qu'enseignée et pratiquée au département de géographie de notre université, en maniant des concepts, des méthodes de terrain, des problématiques appliquées et des techniques cartographiques numériques.

Il constitue un tout premier socle d'information, de sensibilisation et de recommandations pour gérer et aménager durablement cet espace insulaire remarquable soumis aux effets du changement climatique et voué à de profondes mutations socio-économiques et environnementales. Cet atlas a pour objectif de devenir permanent et nous souhaitons qu'il devienne une plateforme d'échanges, d'animation et de vulgarisation scientifique en prolongeant ce premier état des lieux et en élargissant le réseau d'experts mobilisé.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cet ouvrage et, en particulier Émilie Lagahé pour le soin et l'originalité apportés à la conception graphique.

Frédéric Leone

Professeur de Géographie
Université Paul-Valéry Montpellier

Liste des contributeurs

Yohan Chabot, Master 1, université Paris I Panthéon-Sorbonne

Jean-Philippe Cherel, Ingénieur de recherches, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Marie Coquet, Master 1, université Paris I Panthéon-Sorbonne

Albert Colas, Professeur agrégé, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Christian Depraetere, Chargé de recherche, IRD Montpellier

Florent Drouet, Master 2, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Monique Gherardi, Ingénieur d'études, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Hugo Goett, Master 2, université de Strasbourg

Valérie Guiot, Chargée de mission, Conservatoire botanique national de Mascarin, Mayotte

Saïd Hachim, Doctorant, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED et Conseil général de Mayotte

Hélène Hébert, Chercheur au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Matthieu Jeanson, Ingénieur d'études, École pratique des hautes études

Émilie Lagahé, Chargée d'études, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Franck Lavigne, Professeur, université Paris I Panthéon-Sorbonne

Frédéric Leone, Professeur, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Jonathan Mouassil, Master 1, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Mathieu Péroche, Doctorant, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Tony Rey, Maître de conférences, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Jean Roger, Docteur, université Antilles-Guyane

Thomas Roussel, Garde technicien, Réserve naturelle nationale de l'îlot M'bouzi, Mayotte

Alexandre Sahal, Docteur, université Paris I Panthéon-Sorbonne

Laurent Tarnaud, Chercheur associé, Muséum national d'histoire naturelle

Freddy Vinet, Professeur, université Paul-Valéry Montpellier — U.M.R. GRED

Patrick Wassmer, Maître de conférences, université de Strasbourg

Cet atlas est dédié à l'ensemble de la population mahoraise.

Comment citer cet atlas :

Leone F. (dir.) *et al.* (2014), *Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte*, collection « Géorisques », hors-série, PULM, Montpellier, 176 pages, ISBN 978-2-36781-107-9.

Sommaire

Crédits photos : © M. Péroche, 2012

Mayotte : territoire remarquable

Contexte géographique

Situation de Mayotte à différentes échelles 20
Nissologie 22
Hydrogéomorphométrie 26
Mayotte dans l'outre-mer français 30

Climat et géomorphologie

Caractéristiques générales du climat mahorais 32
Formation de l'île de Mayotte 36
La géomorphologie de l'île de Mayotte 40
Géomorphologie structurale de Mayotte 42
Les padzas à Mayotte 44

Milieux physiques remarquables

Présentation du linéaire côtier de Mayotte 46
Les récifs coralliens de Mayotte 48
Le corail en danger 50
L'évolution récente des mangroves de Mayotte 54
Biodiversité terrestre 56
Le lémurien brun de Mayotte, espèce patrimoniale 58
Le lémurien brun face à la déforestation 60
Point méthodologique sur les référentiels cartographiques 62

Emprise des risques naturels

Mayotte : une île exposée aux risques naturels 64

Les aléas naturels en présence

Les cyclones

L'activité cyclonique à Mayotte 68
Magnitude et fréquence des cyclones à Mayotte 70

Les inondations

Le risque inondation à Mayotte 72

Les séismes

L'aléa sismique dans l'océan Indien 74
Sismicité à Mayotte et dans sa région 76

Les tsunamis

Mayotte, une île exposée aux tsunamis 78
Modélisation d'un tsunami à Mayotte 80
Recueil de témoignages sur les tsunamis à Mayotte 82

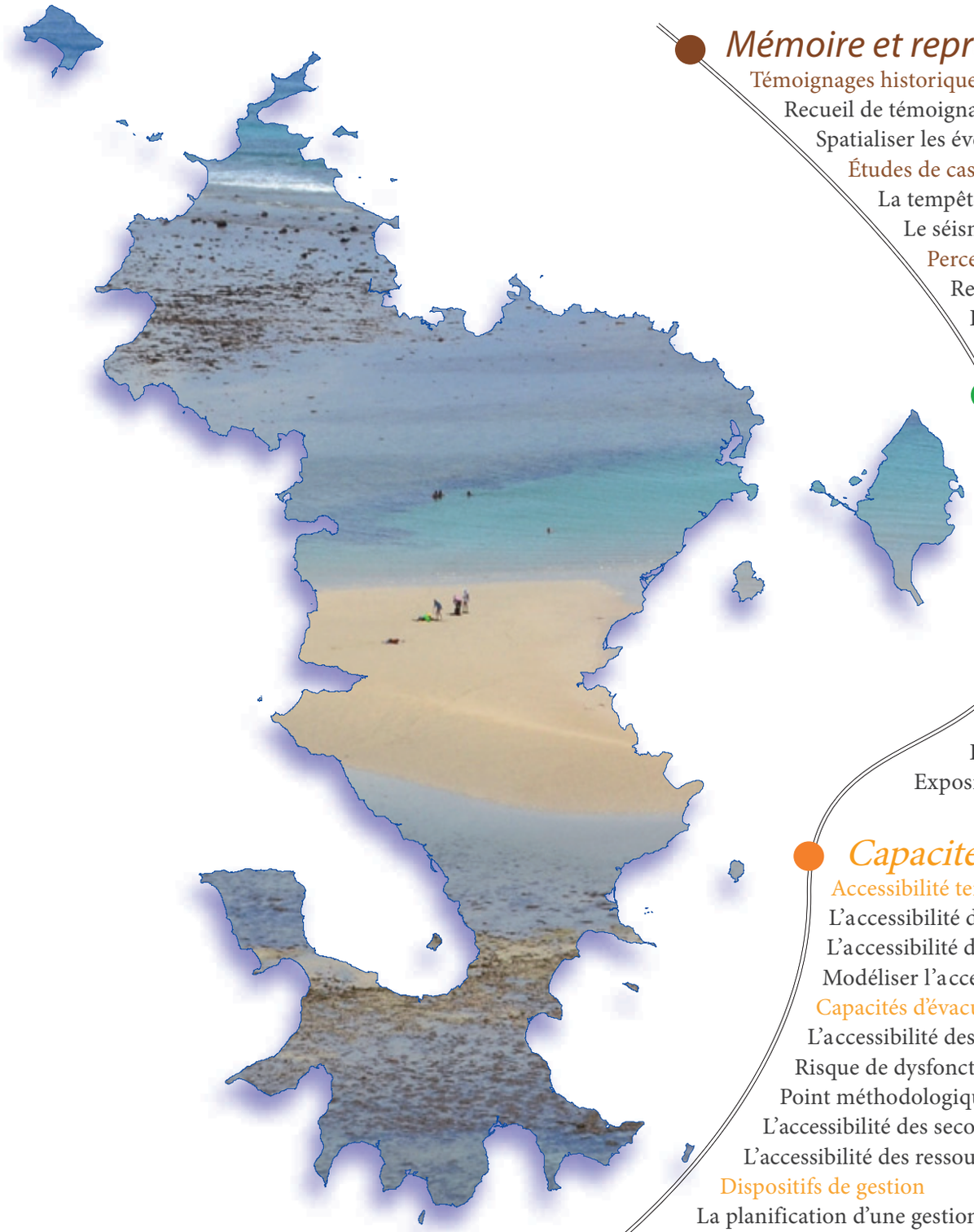
L'érosion littorale

L'érosion littorale 84

Les éruptions volcaniques

L'activité volcanique 90

Sommaire



Mémoire et représentations des risques naturels

Témoignages historiques

Recueil de témoignages sur les événements historiques 94

Spatialiser les événements passés 96

Études de cas

La tempête tropicale Fame de janvier 2008 98

Le séisme du 9 septembre 2011 102

Perception des risques

Reconstitution des évacuations en cas d'alerte tsunami 106

Représentations mentales du risque de submersion marine 108

Enjeux et vulnérabilités territoriales

Vulnérabilités territoriales

La vulnérabilité du réseau routier 114

La vulnérabilité et l'exposition du réseau d'eau 116

Parc immobilier de Mayotte : entre modernité et précarité 118

La vulnérabilité du bâti au risque de tsunami 120

L'exposition des enjeux

L'évolution de l'urbanisation de 1949 à 2008 122

Point méthodologique sur l'agrégation des données 126

Exposition des bâtiments aux aléas naturels 128

Point méthodologique sur la cartographie de l'exposition des villages aux tsunamis 132

Exposition de la population littorale 140

Exposition des ressources littorales 142

Capacités de réponse et gestion des risques

Accessibilité territoriale

L'accessibilité du territoire dépend du réseau routier 146

L'accessibilité du territoire en cas de tsunami 148

Modéliser l'accessibilité du territoire 150

Capacités d'évacuation

L'accessibilité des zones refuges 152

Risque de dysfonctionnement du réseau routier 154

Point méthodologique sur les temps d'évacuation modélisés 156

L'accessibilité des secours en phase d'urgence 158

L'accessibilité des ressources en phase de récupération 160

Dispositifs de gestion

La planification d'une gestion de crise tsunami 162

Bibliographie 167

Sommaire cartographique

Cartes de situation et de biodiversité

Carte 1. Mayotte dans son contexte régional 20
Carte 2. L'île de Mayotte et son lagon 21
Carte 3. Les Comores dans le contexte du canal du Mozambique et connections entre les deux rives 23
Carte 4. Les bassins versants de plus de 5 hectares sur les différentes îles de l'archipel Mahorais (établis à partir du MNT Litto3D) 26
Carte 5. Les trois principaux bassins versants de l'îlot de Bandrélé (établis à partir du MNT Litto3D) 27
Carte 6. La France d'outre-mer 30
Carte 13. Évolution de l'état de santé des récifs frangeants (entre 1989 et 2004) 51
Carte 14. L'évolution des mangroves de Mayotte (entre 1949 et 2008) 55
Carte 15. Taille des populations de lémuriens bruns des différents massifs forestiers (forêts préservées) à Mayotte (2012) 59
Carte 42. Village d'Hamjapo 126

Cartes de connaissance des phénomènes naturels

Carte 7. Pluviométrie annuelle (en mm) 33
Carte 8. Principales unités volcaniques à l'origine de Mayotte 37
Carte 9. Géomorphologie de Mayotte 42
Carte 10. Les padzas de Mayotte 45
Carte 11. Typologie des côtes de Mayotte 47
Carte 12. Géomorphologie des récifs de Mayotte 49
Carte 17. Les événements dépressionnaires significatifs en terme de pluie à Mayotte (1970 à 2008) 69
Carte 19. La sismicité dans le canal du Mozambique depuis 1970 (magnitude ≥ 3) 76
Carte 20. Modélisation des temps de propagation (en heures) des ondes du tsunami du 26 décembre 2004 80
Carte 21. Hauteurs maximales obtenues pour Mayotte avec le modèle de Sladen et Hébert (2008) pour l'événement du 26 décembre 2004 81
Carte 22. Hauteurs maximales obtenues sur Petite-Terre avec le même modèle 81
Carte 24. Évolution historique de la plage de Sada 84
Carte 25. Évolution historique des falaises de Pamandzi 85
Carte 26. Évolution historique des micro-falaises de Soulou 86
Carte 27. Évolution historique de la mangrove de Dapani 87
Carte 31. Trajectoire de la tempête tropicale Fame (2008) 99
Carte 32. Pluviométrie cumulée du mois de janvier 2008 99
Carte 52. Les principales sources tsunamigènes menaçant Mayotte 149

Cartes d'exposition aux aléas naturels

Carte 16. Exposition des communes aux aléas naturels forts 64
Carte 18. Population communale exposée aux inondations (en % du total communal) 73
Carte 37. Exposition du réseau d'adduction d'eau et des réservoirs aux aléas sismiques et mouvements de terrain 117

Sommaire cartographique

Carte 43. Exposition du bâti à l'aléa sismique fort....128
Carte 44. Exposition du bâti à l'aléa fort mouvements de terrain....129
Carte 45. Exposition du bâti à l'aléa fort inondation....130
Carte 46. Exposition du bâti à l'aléa fort submersion marine....131
Carte 47. Indice expérimental d'exposition des villages au risque de tsunami....138
Carte 48. Répartition de la population communale (en %) par tranche d'altitude (en m)....140
Carte 49. Exposition directe des ressources bâties et humaines situées à moins de 5 m d'altitude (en % du total communal)....142
Carte 50. Exposition directe des ressources territoriales situées à moins de 5 m d'altitude (en % du total communal)....143

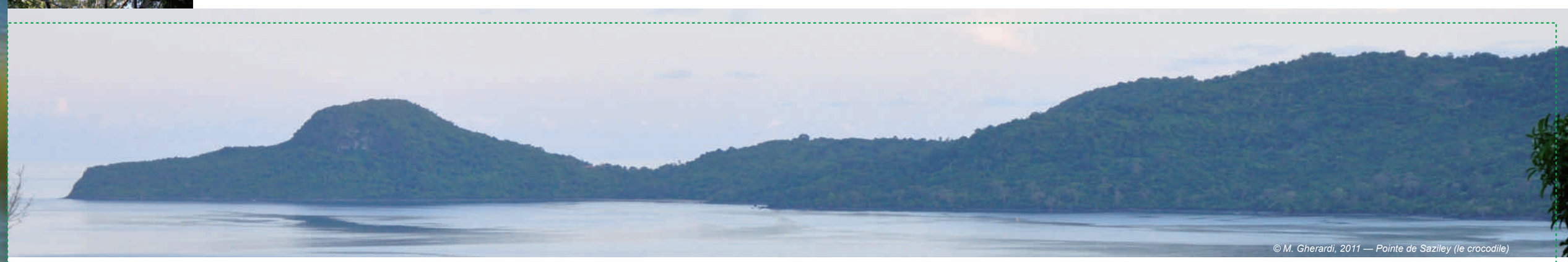
Cartes de vulnérabilités territoriales

Carte 23. Témoignages oraux de surcotes dues au tsunami du 26 décembre 2004 (en m)....83
Carte 28. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Kawéni et Kavani (Zoom 1)....96
Carte 29. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Passamainty (Zoom 2)....97
Carte 30. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Pamandzi (Zoom 3)....97
Carte 33. Évacuation des habitants lors de l'alerte au tsunami du 28 mars 2005....106
Carte 34. Intention d'évacuation des habitants depuis leur domicile en cas de nouvelle alerte au tsunami....107
Carte 35. Localisation des 12 sites repères....109
Carte 36. Le nombre d'événements mouvements de terrain par tronçon routier depuis 1990....115
Carte 38. La vulnérabilité du bâti aux tsunamis sur la commune de Dzaoudzi (Petite-Terre)....121
Carte 39. Évolution de l'urbanisation au sein du Grand Mamoudzou et sur Petite-Terre (1949 à 2008)....122
Carte 40. Représentation 3D de l'évolution de l'urbanisation autour de Mamoudzou....123
Carte 41. Représentation 3D de l'évolution de l'urbanisation sur Petite-Terre....123

Cartes pour la gestion de crise

Carte 51. Extrait des voies de communication à Mamoudzou....147
Carte 53. Modélisation des temps d'accès vers les zones refuges les plus proches....152
Carte 54. Courbes d'accessibilité des zones refuges de chaque commune à partir des secteurs exposés et habités....153
Carte 55. Tronçons routiers situés à moins de 5 m d'altitude et pouvant être coupés en cas de tsunami....154
Carte 56. Classification des tronçons exposés étudiés en fonction de leur distance de déviation par le plus court chemin....155
Carte 57. Accessibilité multipolaire de Mayotte au départ des 6 centres de secours existants en situation normale....158
Carte 58. Accessibilité multipolaire de la population au départ des 6 centres de secours existants en cas de coupure de routes par un tsunami majeur....159
Carte 59. L'accessibilité des six familles de ressources majeures à partir des centres fonctionnels après un tsunami majeur (en % de la ressource accessible en situation normale)....160
Carte 60. Pourcentages de ressources globales encore accessibles par centre fonctionnel (village) après un tsunami majeur....161
Carte 61. Les moyens d'alerte en cas de crise....162
Carte 62. Ressources et lieux de gestion de crise....163

© M. Gherardi, 2011 — Pirogue à balancier


© M. Gherardi, 2011 — Pointe de Saziley (le crocodile)

© M. Gherardi, 2011 — La lanterne japonaise

© F. Leone, 2011 — Baobab

© F. Lavigne, 2011 — Tortue de mer

© F. Drouet, 2011 — Roussette

Mayotte : territoire remarquable

Mayotte, l'île aux parfums

Contexte géographique

Climat et géomorphologie

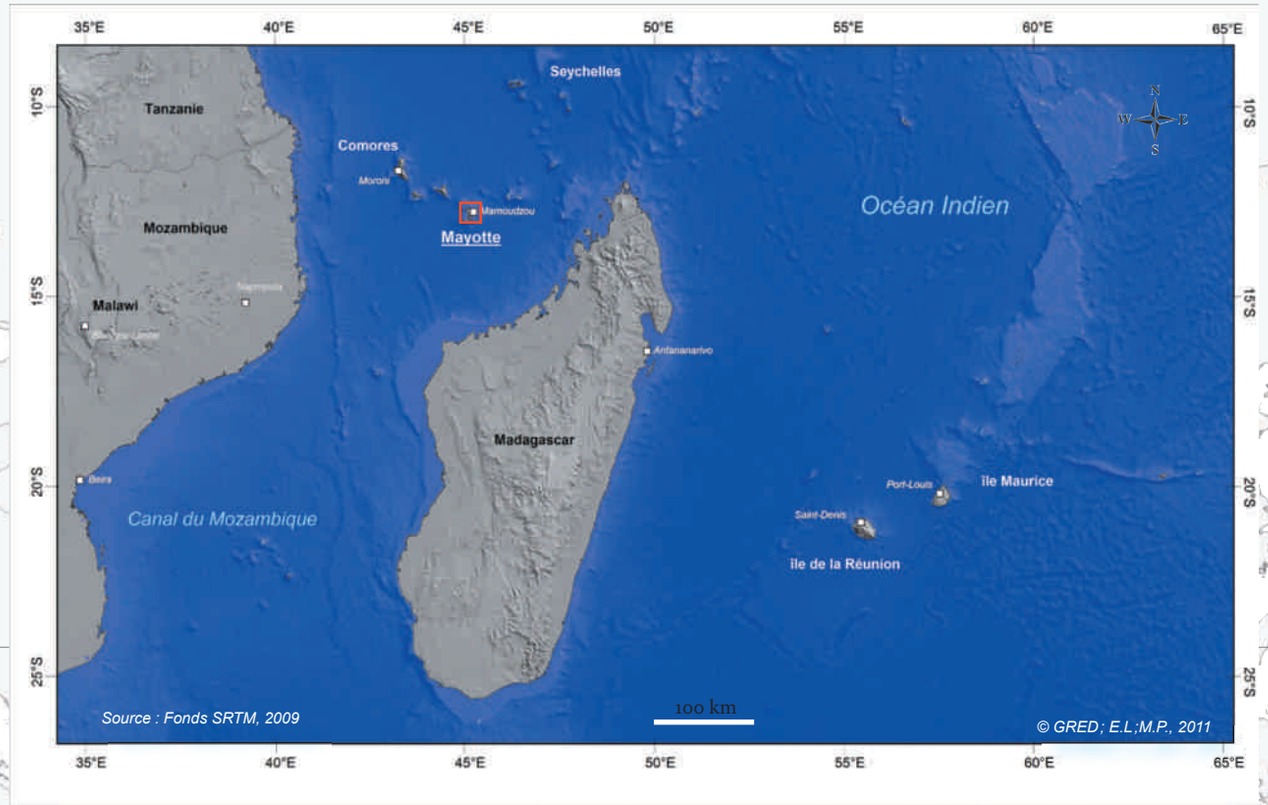
Milieux physiques remarquables

Emprise des risques naturels

Situation de Mayotte à différentes échelles

Contexte géographique

Carte 1. Mayotte dans son contexte régional



Paris

Le Caire

Dakar

Tropique du Cancer

8 000 km

5 000 km

Singapour

6 700 km

Equateur

7 500 km

Mayotte

2 300 km

Tropique du Capricorne

Johannesburg

10 700 km

13°

45°

Située dans l'hémisphère sud, entre l'équateur et le tropique du Capricorne, l'île de Mayotte fait partie de l'archipel des Comores. Distante de 1 600 km de la Réunion et de 8 000 km de la métropole, Mayotte est l'île la plus méridionale et la plus orientale (13° de latitude sud, 45° de longitude est) des quatre îles qui composent cet archipel. 400 km la séparent de la côte Est de l'Afrique et 300 km de la côte occidentale de Madagascar.

« Sa localisation dans la région, à l'entrée du canal du Mozambique et à mi-chemin entre l'Afrique et Madagascar, lui donne une position à fort potentiel stratégique. » (BRGM), 2010

Source : Fonds mondial GADM, 2009 © GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Mayotte est aujourd'hui officiellement le 101e département français. Cependant son pluralisme culturel et les origines diverses de son peuplement font d'elle une île de l'Afrique musulmane.

L'île de Mayotte

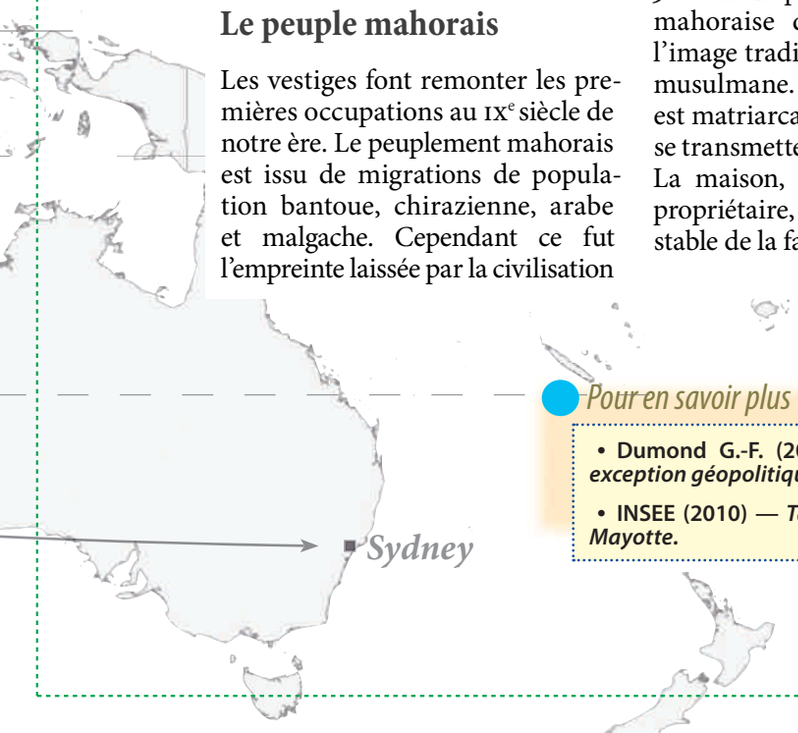
D'une superficie totale de 375,4 km², le territoire de Mayotte est composé de deux îles principales, Grande-Terre (365 km²) et Petite-Terre (10 km²), et d'une trentaine d'îlots escarpés, séparés de la haute mer par un récif corallien de 160 km de long, isolant un lagon de 1 100 km². Comme les autres îles des Comores, « l'hippocampe mahorais » est d'origine volcanique. Elle est la plus ancienne de l'archipel (environ 8 millions d'années). Le relief est dominé par des massifs basaltiques tels le mont Bénara dans la partie centrale (660 m) et le mont Choungui dans le sud (594 m). Au-delà du récif, les fonds océaniques s'enfoncent jusqu'à 3 000 m de profondeur, le plateau continental de Mayotte s'étant progressivement enfoncé.

Le peuple mahorais

Les vestiges font remonter les premières occupations au IXe siècle de notre ère. Le peuplement mahorais est issu de migrations de population bantoue, chirazienne, arabe et malgache. Cependant ce fut l'empreinte laissée par la civilisation swahilie qui fut déterminante. Plus tard, d'autres communautés se sont installées : les Créoles réunionais, les Indo-Pakistanais ou les métropolitains (appelés localement M'zungous).
Au dernier recensement de l'INSEE en 2007, la population de Mayotte était estimée à 186 452 habitants et sa densité à 511 habitants/km².
Mayotte est composée de dix-sept communes dont le chef-lieu est Mamoudzou.

Langues et culture

Les langues parlées à Mayotte témoignent de la diversité d'origine du peuplement. En effet, même si la langue officielle est le français chaque Mahorais a gardé la langue de ses ancêtres et notamment le shimaoré. Ce peuple diversifié est soudé par la religion musulmane qui est pratiquée par 98 % de la population. La femme mahoraise diffère cependant de l'image traditionnelle de la femme musulmane. La société mahoraise est matriarcale et les biens fonciers se transmettent de femme à femme. La maison, dont la femme reste propriétaire, constitue le pivot stable de la famille.



Pour en savoir plus

- **Dumond G.-F. (2005) — *Mayotte, une exception géopolitique mondiale.***
- **INSEE (2010) — *Tableau économique de Mayotte.***

Carte 2. L'île de Mayotte et son lagon

Contexte nissologique de l'île de Mayotte au sein de l'archipel-Monde

Nissologie et archipel-Monde : la nissologie a pour objet l'étude des processus de diffusion sur les espaces fragmentés, les îles en étant l'exemple paradigmatique.

L'archipel-Monde comporte 86 300 îles de plus de 0,1 km² (Depraetere et Dahl, 2008), la Grande-Terre et la Petite-Terre (île de Pamandzi) de l'archipel Mahorais occupant respectivement le rang 589 et 4823 en termes de superficie.

La distribution statistique des tailles d'îles suit une loi de distribution statistique liant fréquences et superficies, ce qui l'assimile à des espaces fractals que ce soit à l'échelle globale ou sur le sous-ensemble constitué par les îles françaises. L'île de Mayotte a une taille du même ordre que les deux îles volcaniques de Grenade et de la Barbade qui constituent deux micro-États insulaires de la Caraïbe. Au sein des terres françaises, sa superficie est proche de celle de Nulu Hiva aux Marquises. De même, Pamandzi est comparable en surface à celles de l'île du Levant et de Groix. L'archipel Mahorais comporte 14 îles (> 0,1 km²) ainsi qu'une dizaine d'îlots de l'ordre de quelques hectares. L'ensemble totalise 375,4 km² de terres émergées, sur un plateau volcanique et corallien de 1 830 km², formant un lagon de 1 400 km² comparable à ceux des plus grands atolls des Touamotou tels Fangiroa ou Fakarava.

Localisation et graphes insulaires

À l'échelle régionale, cet archipel fait parti du glacis insulaire qui flanque l'Afrique australe par l'Est en incluant l'île continentale de Madagascar et des ensembles archipélagiques comme les Mascareignes et les Seychelles. Cet ensemble régional s'inscrit dans un cercle de 2 000 km autour de l'île. Au sein de l'archipel des Comores, Mayotte est l'élément à la fois le plus oriental et le plus dissocié géographiquement. Toutefois, l'île se situe plus près de Madagascar que de la côte africaine.

À l'évidence, le chapelet comorien forme un « pont insulaire » entre les deux rives du canal du Mozambique encore faut-il nuancer cette analogie. En effet, l'archipel comorien reste totalement invisible aussi bien du côté africain que du côté malgache. À l'inverse, les îles qui composent cet ensemble sont visibles de proche en proche bien qu'il faille gravir sur les plus hauts sommets de Mayotte pour deviner à une centaine de kilomètres par temps clair ceux d'Anjouan. Il faut noter que la distance entre la Grande Comore et l'Afrique est du même ordre que celle entre Mayotte et Madagascar soit 290 km. De même, la distance de navigation en pleine mer sans aucune terre visible est de l'ordre de 100 km aussi bien depuis l'Afrique vers la Grande Comore que de Mayotte vers Madagascar. Ce pont insulaire s'avère plus pratique et probable que la liaison directe la plus courte entre les deux rives qui est de 413 kilomètres dont 350 km en pleine mer. De ce constat, il est possible de conclure sur trois points :

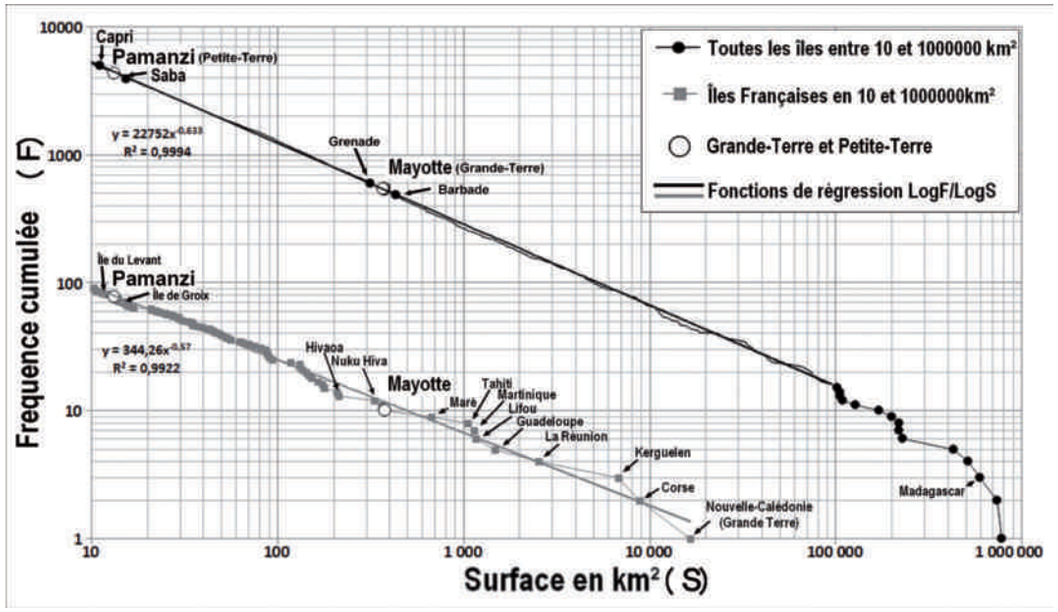
1) les Comores ont effectivement dû être un point de transit privilégié de part et d'autre du Canal ;

2) Mayotte se trouvant sur le versant malgache du Canal, il est probable que les influences venant de l'Île Rouge y soient plus importantes et déterminantes ;

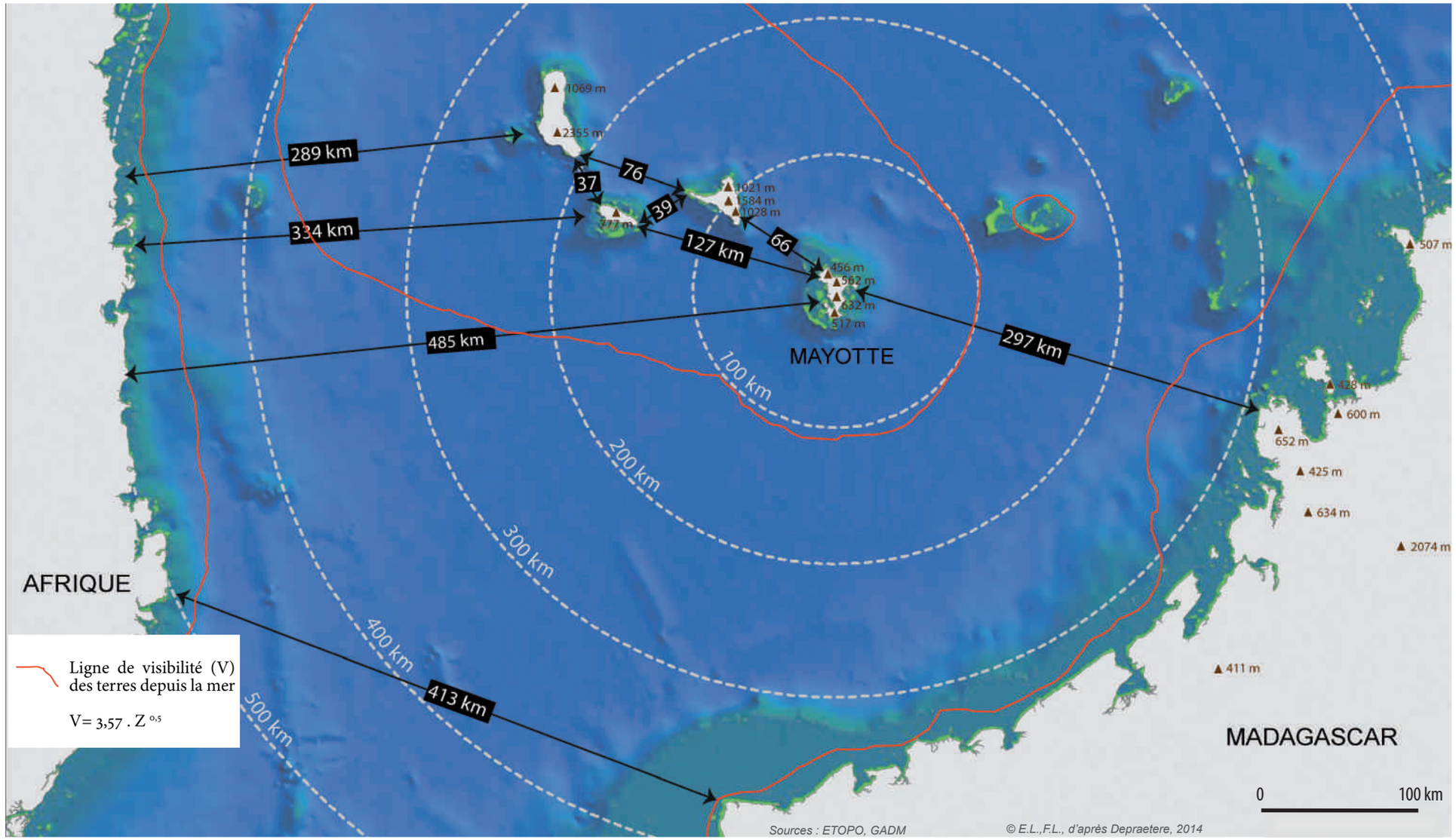
3) l'ensemble comorien constitue bel et bien une unité archipélagique invisible d'autres lieux tout en assurant une continuité visuelle en son sein. En ce sens, l'archipel comorien constitue une entité géographique du même type que les îles du Cap Vert dans l'Atlantique, les Galapagos dans le Pacifique ou les Shetlands du sud au large de l'Antarctique, ces trois archipels étant également d'origine volcanique.

Il faut noter que la baisse du niveau général des mers qui a pu atteindre -110 à -135 mètres lors du dernier max G (LGM) (environ 26 000 BP) a peu modifié les données actuelles de visibilité entre les côtes et les îles. L'extension de la côte à cette époque ne devait pas dépasser 10 km sachant qu'à cela il faut ajouter 110 mètres aux altitudes actuelles si tant est qu'elles fussent identiques à celle du dernier maximum.

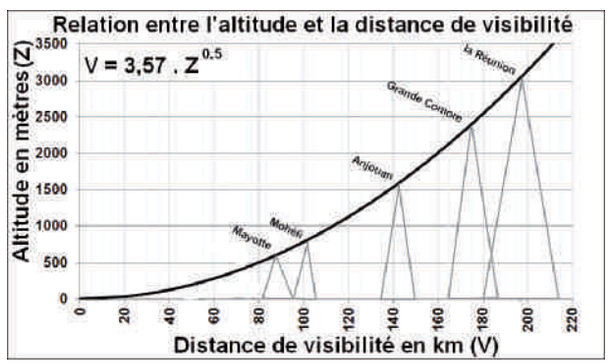
Fonction de distribution de la taille des îles sur l'ensemble de l'archipel-Monde et le sous-ensemble constitué par les îles françaises.
La méthode est celle du « comptage de boîtes » utilisée pour déterminer la dimension fractale de structure spatiale



Carte 3. Les Comores dans le contexte du canal du Mozambique et connections entre ses deux rives



Calcul de la distance de visibilité théorique sur la sphère terrestre



Échelles, archipels et hiérarchies insulaires

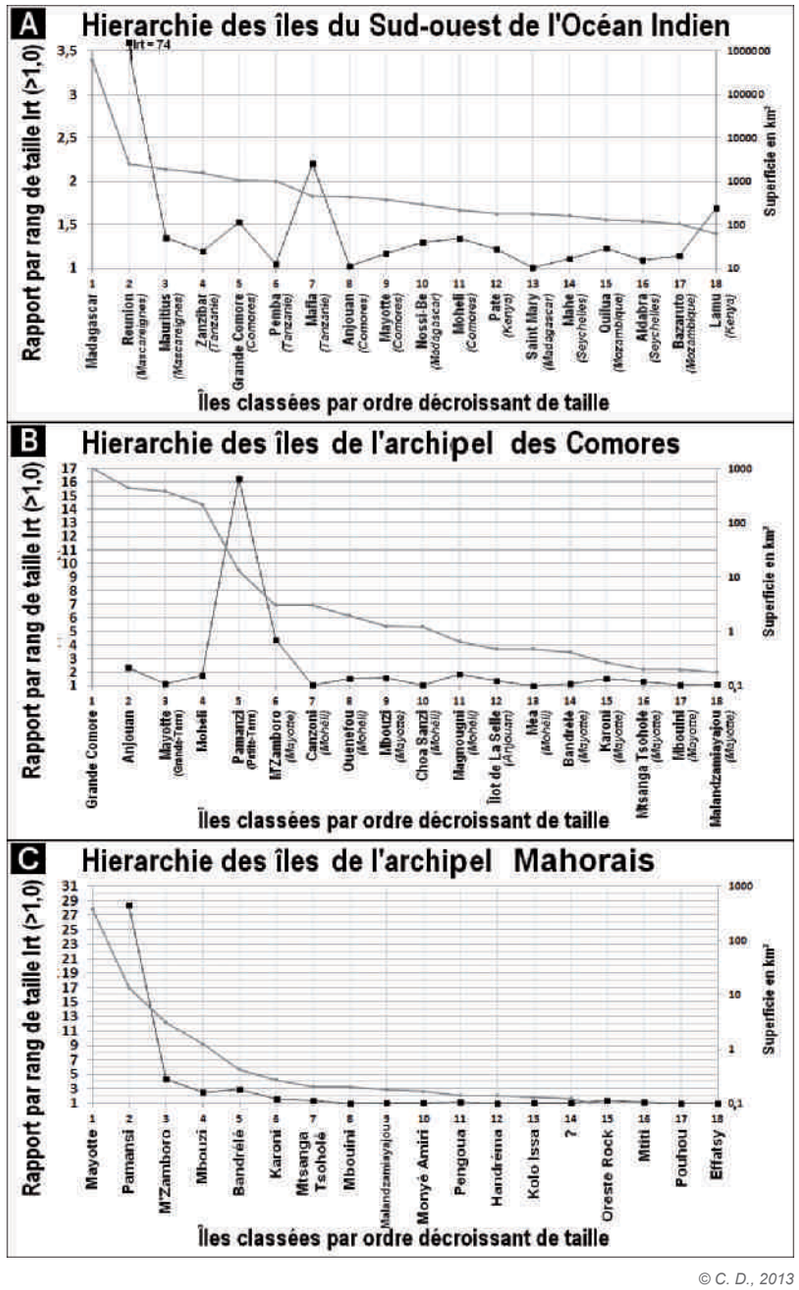
L'archipel-Monde est en fait un archipel d'archipels, des agrégats géographiques s'observant à différentes échelles emboîtées. En fonction de contraintes tectoniques, géologiques et morphostructurales, elles tendent à se regrouper.

Chaque archipel peut être analysé hiérarchiquement en faisant un rapport par rang de taille (Irt) entre une île et la suivante (Depraetere, 1991). Cette méthode sera successivement appliquée depuis l'échelle régionale jusqu'à l'échelle locale. En considérant toutes les terres du glacis insulaire du sud-ouest de l'océan Indien situées à moins de 2 000 km de Mayotte, Madagascar est 74 fois (Irt(2) = 74) plus grande que la seconde île de la Réunion. Le cortège insulaire est ensuite régulier avec seulement un seuil de Irt(7) = 2,2 entre la 7e île de Pemba et la 8e île Mafia et un second seuil moins marqué Irt(18) = 1,7. Les terres considérées peuvent être rattachées à plusieurs types : élément de plaque continentale pour Madagascar ou Mahé, volcans pour la Réunion et la Grande Comore, îles coraliennes pour Aldabra et les Glorieuses, îles côtières issues du découpage de la côte comme les îles kenyanes ou mozambicaines…

La même méthode appliquée à l'archipel des Comores démontre que cet archipel est quadricéphale avec un seuil Irt(5)=16 entre Mohéli et Pamandzi. Celle-ci également appelée Petite-Terre au sein de l'ensemble Mahorais appartient au cortège d'îlots coralliens entourant les quatre grandes îles volcaniques. Avec l'autre îlot mahorais de Mtsamboro, ils constituent les éléments les plus grands de ces terres posées à la périphérie du lagon avec des irt(5) = 16 et Irt(6) = 4. En ne considérant que l'archipel Mahorais, la Grande-Terre est 28 fois (Irt(2) = 28) plus grande que la Petite-Terre, tandis que les îlots de Mtsamboro, Mbouzi et Bandrélé (Irt(3) (4) et (5) > 2) dominent une kyrielle de terres plus menues. Alors que la Grande Comore et Anjouan ne comportent que peu d'îlots périphériques (île aux Tortues 0,01 km² et îlot de la Selle 0,47 km²), Mohéli et plus encore Mayotte s'entourent d'un ensemble d'îlots dont les surfaces relatives comparées à l'île principale sont respectivement de 3,5 et 5 %.

Hiérarchie par rang de superficie des îles avec indice de rang de taille Irt

soit le rapport de surface entre l'île de rang n et de rang n+1, soit Irt(n+1)=S(n)/S(n+1) avec Irt>=1,0.



© C. D., 2013

De cette analyse, il ressort que Mayotte occupe une position centrale au sein de l'ensemble insulaire régional alors qu'elle est la plus marginale dans l'ensemble comorien. Elle forme l'ensemble insulaire le plus complexe avec de nombreux îlots périphériques de superficies assez étendues comparé aux autres îles des Comores.

Îlot Chissioua Mtiti

Îlot Mtsanga Mtiti

Les « quatre frères »

Crédits photos : © M. Gherardi, 2011

Forme des îles

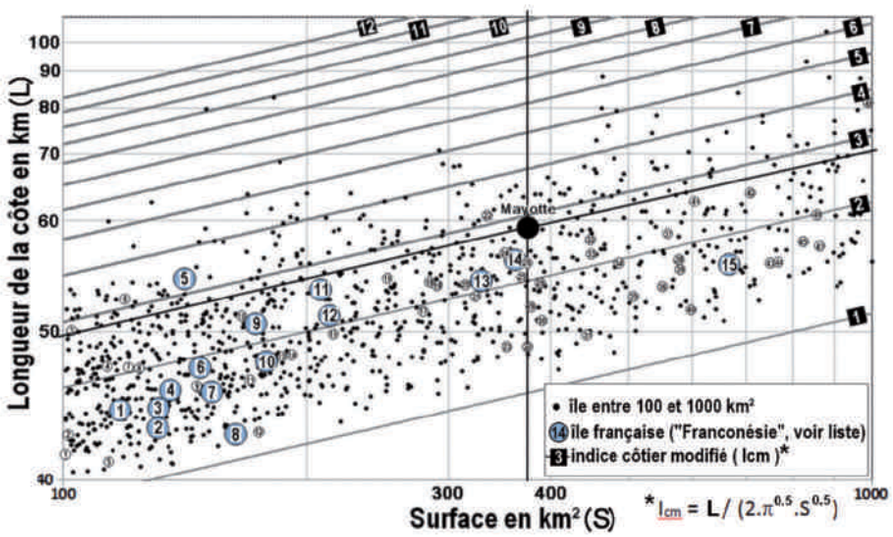
L'île est avant tout une côte enserrant une étendue de terre réduite, d'où le besoin de définir un indice faisant le rapport entre ces deux valeurs. Partant de l'***indice côtier*** (Ic = L/S) défini par François Doumenge, une variante Icm peut être établie de façon à ce qu'il prenne la valeur 1 pour une île parfaitement circulaire. Plus l'île sera allongée, présentant une côte découpée, plus l'indice prendra une valeur élevée.
La Grande-Terre de Mayotte possède l'indice Icm le plus élevé de l'ensemble de l'archipel des Comores soit une valeur de 2,78 alors que Mohéli, Anjouan et Pamandzi ont un ordre de 1,9 et seulement 1,66 pour la Grande Comore.

Comparée à d'autres îles françaises de taille semblable, seule Ouvea avec sa forme allongée a un indice plus élevé de 3,29 alors que Marie-Galante, à la morphologie quasi-circulaire, présente une côte peu festonnée avec un indice Icm de 1,18.
Du fait du découpage par les glaciers, Terre-Neuve et Falkland Est, par exemple, ont des indices Icm supérieurs à 8. À l'inverse, il existe des îles dont l'indice est inférieur à 1,3 comme la Réunion, Ternate ou Fogo. L'indice de la Grande-Terre de Mayotte se rapproche de ceux de la Martinique (2,69) et de Hokkaïdo (2,99).

Définition

Indice côtier modifié :
Icm = L / (2.p.S) avec L la longueur de la côte en km et S la surface en km².
Cet indice rend compte de l'allongement de la côte relativement à ce qu'elle serait si l'île était un cercle parfait (en ce cas L = 2). L'indice est donc supérieur ou égal à 1 avec des valeurs maximales observées de l'ordre de 12 pour les littoraux très découpés avec des côtes sculptées par les glaciers (Kerguelen) ou des karsts ennoyés (Îles de la Baie d'Along). Cet indice ne peut être utilisé que si le tracé des côtes a été obtenu à partir de cartes de même échelle ce qui est en l'occurrence le cas (données GSHHS). Noter que cet indice reflète à la fois l'allongement de l'île et le degré de découpage des détails de la côte.

Rapport entre la longueur de la côte (L) et la surface de l'île (S) en fonction de l'indice côtier modifié (Icm).
Icm = L/ (2.p.S) avec Icm>=1.0

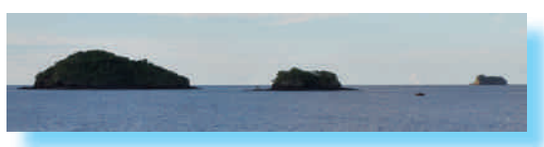


© C. D., 2013

Liste des îles françaises

n°	Nom de l'île	Surface en km²	Côte en km	Icm
1	Hua Pou	117,4	62,0	1,61
2	East island	130,8	55,3	1,36
3	Sandy island	131,2	62,5	1,54
4	Moorea	135,6	70,0	1,70
5	Uvéa	141,1	138,7	3,29
6	Île des Pins	147,4	80,4	1,87
7	Prise de Possession	152,4	69,2	1,58
8	Marie-Galante	163,2	53,3	1,58
9	Raiatea	172,7	105,2	2,26
10	Oléron	178,4	83,6	1,77
11	Miquelon	208,1	130,0	2,54
12	Prinz Adalbert	213,3	110,8	2,14
13	Hiwaoa	328,3	137,7	2,14
14	Nuku Hiva	362,3	156,5	2,32
	Mayotte	**375,4**	**190,9**	**2,78**
15	Maré	665,8	152,3	1,66

Îles Choazil et îlot Choizil



Îlot Mtsanga, île Kakazou et île Vatou

Îlot de sable blanc

Îlot Mtsamboro

Crédits photos : © M. Gherardi, 2011

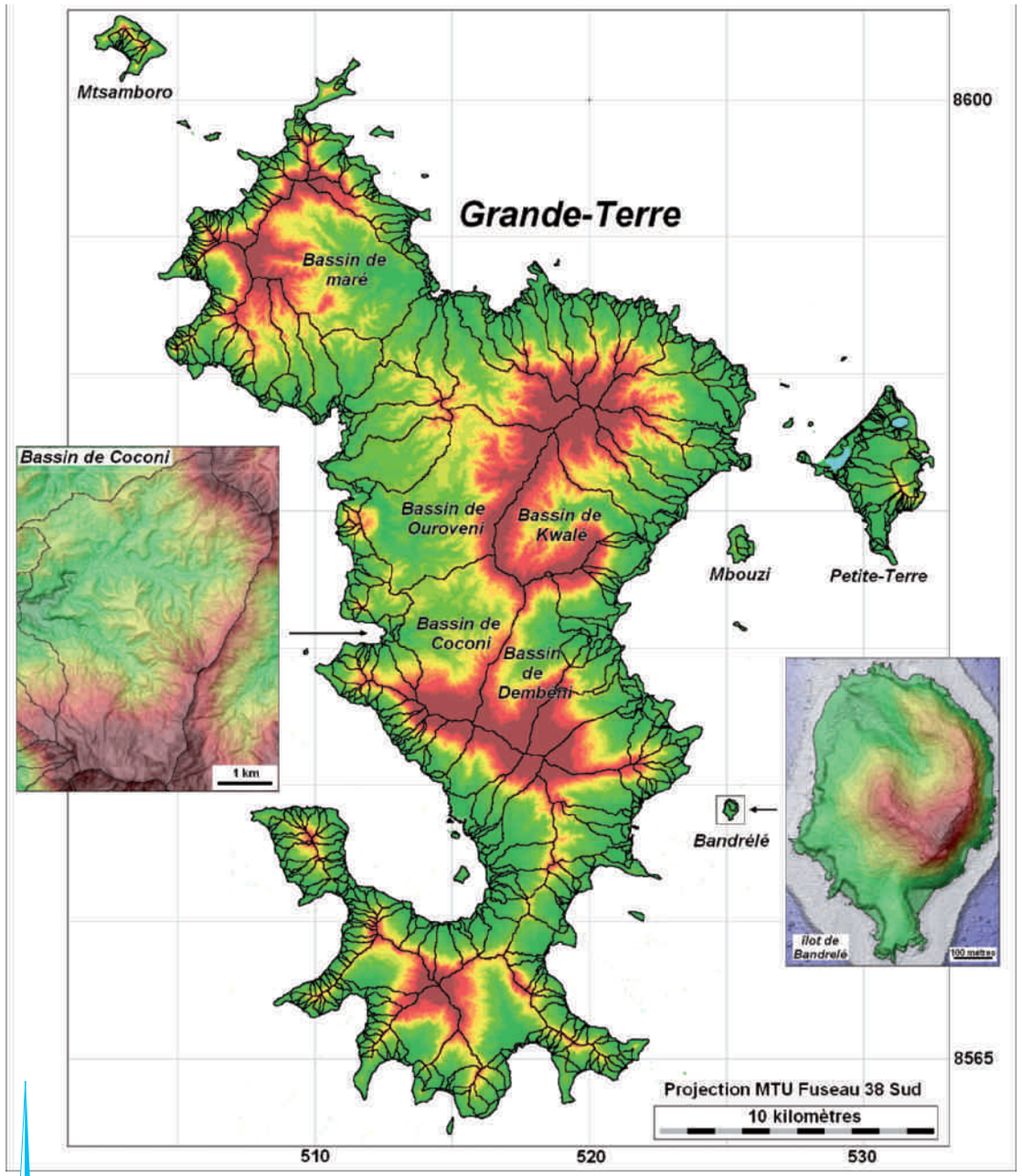
Pour en savoir plus

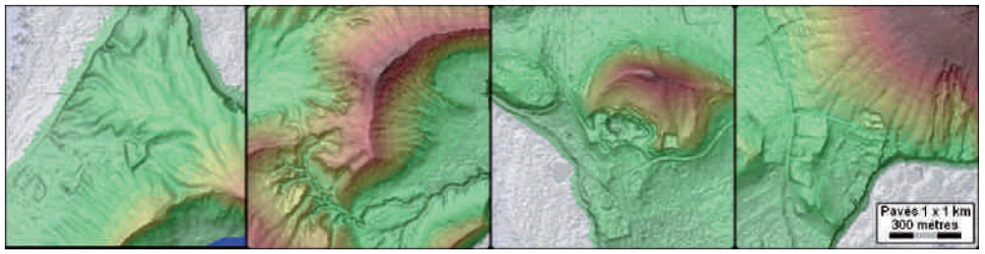
- Depraetere C. (1991) — *Le phénomène insulaire à l'échelle du Globe : tailles, hiérarchies et formes des îles océanes.*
- Depraetere C. (2008) — *The Challenge of Nissology: A Global Outlook on the World Archipelago.*
- McCall G. (1994) — *Nissology: The Study of Islands.*
- McCall G. (1996) — *Clear Confusion in a Disembedded World: The Case for Nissology.*
- http://gid.unep-wcmc.org/
- www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html

Aperçu hydrogéomorphométrique de l'archipel Mahorais à partir du MNT Litto3D

L'hydrogéomorphométrie étudie les relations entre les formes du relief et les processus hydrologiques. À ce titre, elle nécessite en préalable la définition d'objets hydrographiques dont les bassins versants en tant qu'unité hydrologique fonctionnelle et les talwegs sont la conséquence autant que la cause de l'écoulement concentré formant les rivières.

Carte 4. Les bassins versants de plus de 5 hectares sur les différentes îles de l'archipel Mahorais (établis à partir du MNT Litto3D)





Le MNT Litto3D Lidar a une résolution métrique avec une précision en altitude du sursol de l'ordre du centimètre. Il permet d'analyser des formes métriques de façon bien plus détaillée que ne le permettaient les MNT hectométriques précédents. Il existe cependant des artefacts liés au sursol bruitant ainsi l'altimétrie du sol auxquels sont liés directement les processus hydrologiques. Les parcelles de 1 km² avec et sans artefacts de la carte 4 en donnent un aperçu.

Chaque île présente une « empreinte hydrologique » qui lui est propre. Une des caractéristiques de cette empreinte tient à la distribution de la taille relative des bassins sur les quatre principales îles. Chacune d'entre elles se conforme à une loi de distribution logarithmique $S\% = a\ .\mathrm{Ln}(R) + b$, avec S% surface relative en % et R le rang par surface décroissante. La loi moyenne pour ces quatre îles est $S\% = 13{,}5\ \mathrm{Ln}(R) + 18{,}2$, soit 18,2 % pour le plus grand bassin, 4 % pour le second bassin, les 10 principaux bassins couvrant environ un tiers de l'île. On notera que le bassin principal moyen est, selon cette loi, quatre fois plus grand que le second. Toutefois, Grande-Terre, Basse-Terre et surtout l'îlot de Mtsamboro ont un bassin versant principal de taille relative sensiblement plus petite (paramètre $b \ll 18{,}2$) et une distribution uniforme des rapports de taille des bassins versants (paramètre $a \gg 13{,}5$).

À l'inverse, l'îlot de Bandrélé se singularise par une signature hydrographique dominée par un grand bassin ($b = 29{,}2$) et une décroissance rapide des bassins plus petits ($a \ll 13{,}5$). En conclusion, les deux paramètres de distribution des tailles relatives des bassins par île sont des indicateurs d'une des caractéristiques majeures de l'empreinte hydrographique reflétant l'architecture d'ensemble du relief et donc des contraintes morpho-structurales.

Ce raisonnement sur des surfaces relatives ne doit cependant pas laisser ignorer que les processus hydrologiques sont contraints par l'échelle absolue des bassins versants. Grande-Terre dispose de deux bassins de plus de 20 km² — bassins de Ouroveni et Maré, qui représentent 21 % de la surface de l'île à eux deux — qui leur permet de maintenir un débit de base significatif entre les événements pluvieux en début de saison sèche (Eberschweiler 1986). Sur les bassins plus petits et notamment sur les îlots, les crues se limitent à des *flash-flood* de faible durée et sans écoulement d'étiage comme c'est le cas pour le bassin versant principal de 7,5 hectares de l'îlot de

© C. D., 2013

Bandrélé. Sur la base de ces deux éléments, il est possible de conclure que les îles d'une superficie inférieure à 200 km² dans des contextes morpho-climatiques proches de celui de Mayotte ont une faible probabilité de former des rivières pérennes.

L'îlot de Bandrélé qui ne couvre que 25 ha est un volcan adventif dont la caldeira partiellement effondrée a été progressivement affouillée au point de former une vallée de morphologie fort différente des autres versants drainant les flancs de l'édifice. L'étude comparative de ses trois bassins principaux permet de différencier leurs propriétés hydrogéomorphométriques.

Par analogie avec la télédétection, un certain nombre de plans d'information dérivés du ***MNT*** constituent un ensemble de canaux combinés entre eux sous la forme d'histogrammes bidimensionnels. Les figures A, B et C illustrent la combinaison de la distance hydrographique à l'exutoire en abscisse et l'altitude en ordonnées soit un profil en long généralisé de tous les points du bassin. Le contraste est saisissant entre le bassin 1 qui s'encaisse largement entre ses interfluves et les deux autres bassins dont les vallées ne sont que peu marquées avec une pente rectiligne alors que la vallée du premier est typiquement concave. Un indice d'encaissement Ie spécifique basé sur les courbes enveloppes de ces nuages de points permet de quantifier cette différence : d'une part 23,4 % pour le bassin 1, d'autre part 9,7 % et 9,1 % pour les deux autres.

Une autre combinaison de deux canaux morphologiques rend compte de la relation entre la ***longueur des drains (Ld)*** et une mesure locale de l'encaissement ***(COH)*** sous la forme d'une courbe hydrogéomorphométrique. Le principe est que plus un drain est long, plus la probabilité qu'il soit associé à une forme encaissée ou à un talweg est forte. Comme précédemment, le bassin 1 se distingue par un seuil bien marqué pour une longueur de drainage de 180 mètres. En deçà de cette valeur, l'encaissement augmente progressivement selon la loi d'ajustement COH = -2,75 Ln(Ld) -5,26. Au-dessus de ce seuil, l'encaissement devient significativement plus marqué bien que présentant des valeurs erratiques. Sur les deux autres bassins (2 et 3), une loi de même nature peut être observée sans qu'un seuil aussi net ne permette de différencier les versants d'une part, des talwegs d'autre part. Il faut cependant remarquer que le sursol lié à la végétation bruite fortement la modélisation des écoulements dans les zones de faibles pentes comme cela est le cas sur la partie aval du bassin 1.

Ces deux développements démontrent la pertinence de la méthode hydrogéomorphométrique appliquée notamment à des MNT haute résolution en matière d'hydrographie générale et de différentiation des modelés fluviatiles sur des petits bassins.

Définitions

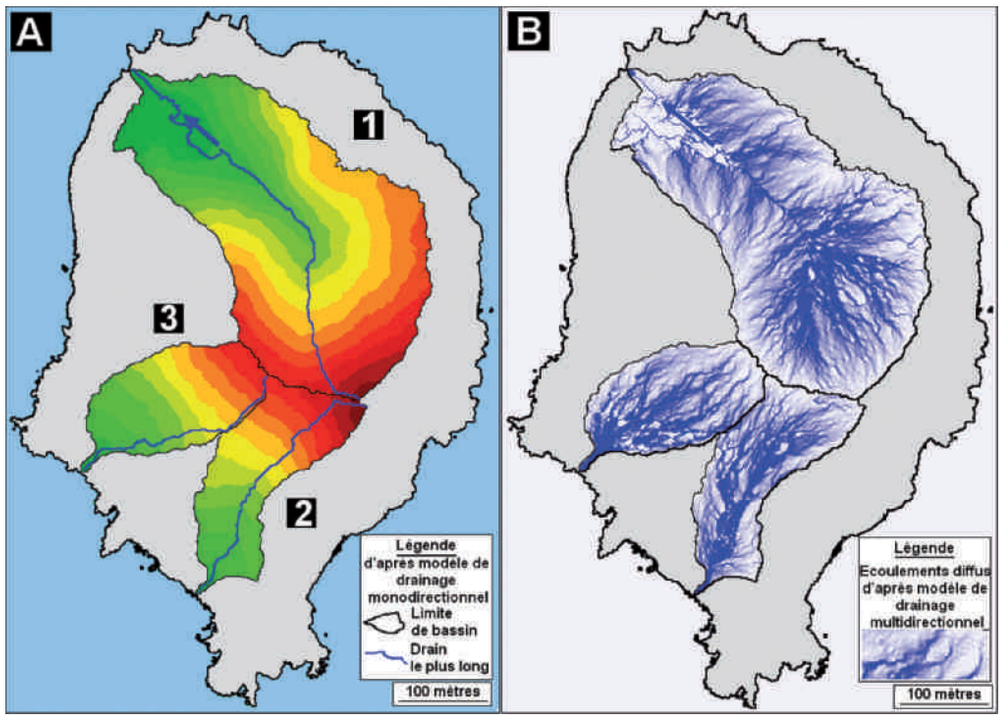
Un MNT, Modèle numérique de terrain, représente l'altitude au sol.

Le drainage monodirectionnel D8 est l'intégralité des écoulements qui s'effectue vers une et une seule des 8 mailles voisines.

La convexité horizontale (COH) est cette mesure de courbure locale 3 × 3 mailles qui revient à estimer l'angle local formé par la courbe de niveau de la maille centrale. Par convention, la valeur est supérieure à 0° lorsque le secteur amont est supérieur à 180° et inférieure à 0° lorsqu'il est inférieur à 180°.

La longueur de drainage (Ld) est le drain le plus long passant par la maille.

Carte 5. Cartographie des trois principaux bassins de l'îlot de Bandrélé (établis à partir du MNT Litto3D)

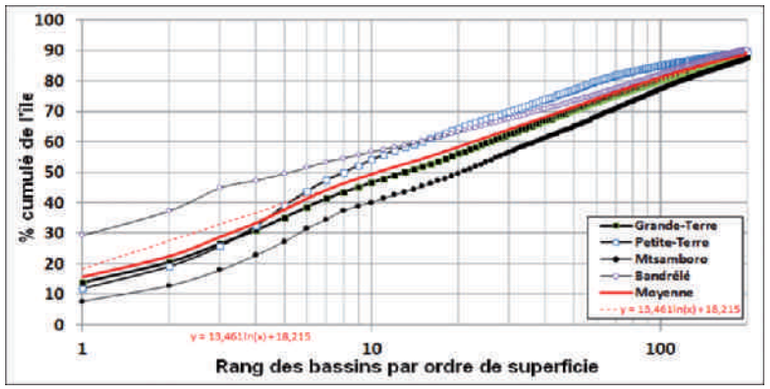


A. Topographie et tracé du drain le plus long dérivé du modèle de drainage monodirectionnel D8.

B. Simulation des écoulements subsuperficiels à partir d'un modèle de drainage multidirectionnel.

© C. D., 2013

Distribution statistique des tailles relatives de bassins versants sur quatre îles de l'archipel Mahorais



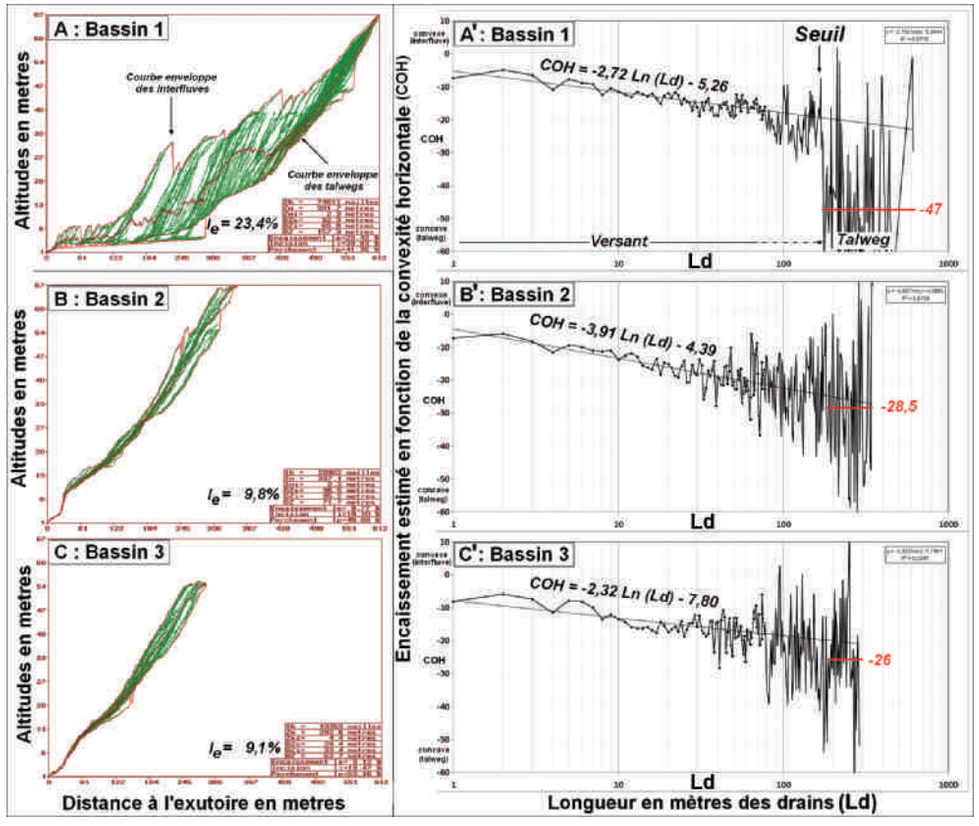
© C. D., 2013

Pour en savoir plus

- Depraetere C. & Moniod F. (1991) — *Contributions des Modèles numériques de terrain à la simulation des écoulements dans un réseau hydrographique.*
- Eberschweiler C. (1986) — *Étude hydrologique, hydrochimique et géochimique isotopique d'une île volcanique sous climat tropical : Mayotte.*

Contexte géographique

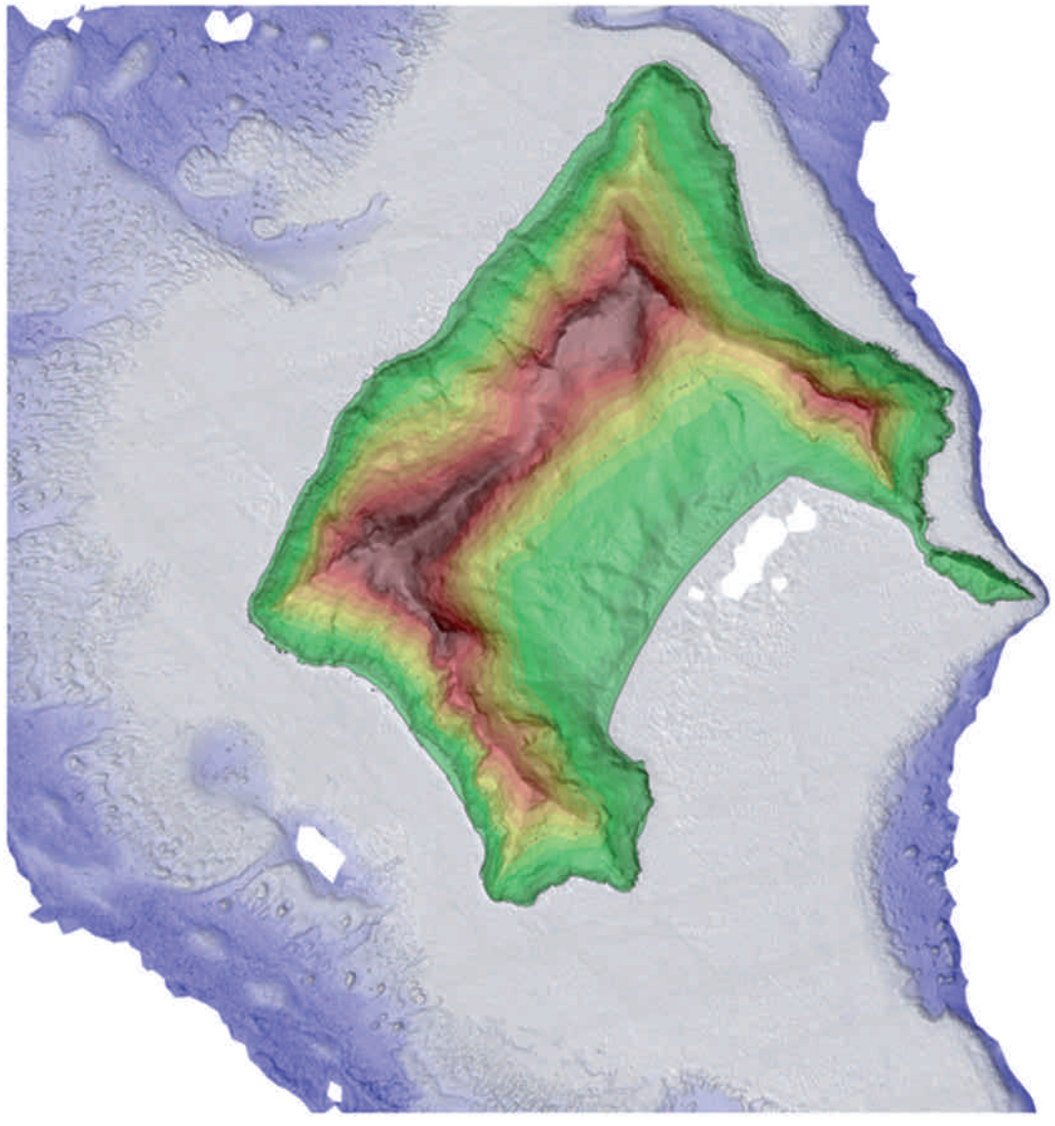
Histogrammes bidimentionnels et courbes hydrogéomorphométriques dérivés du MNT Litto3D en fonction d'un drainage monodirectionnel sur les trois principaux bassins versants de l'îlot de Bandrélé



A. Histogrammes bidimensionnels combinant la distance à l'exutoire (DBV) et l'altitude (MNT). Les nuages de point représentent les profils en long généralisés de tous les drains des bassins.

B. Courbes hydrogéomorphométriques représentant la valeur moyenne de l'encaissement des drains en fonction de la longueur du drainage. Cette courbe est dérivée de l'histogramme bidmensionnel combinant les longueurs de drainage (Ld) et les convexités horizontales (COH).

Modelé des formes de terrain et artefacts sur des secteurs de 1 km² à partir du MNT Litto3D de Mayotte



Exemple de l'Îlot de Mtsamboro

© M. Gherardi, 2011 — Chissioua Chongochamaji

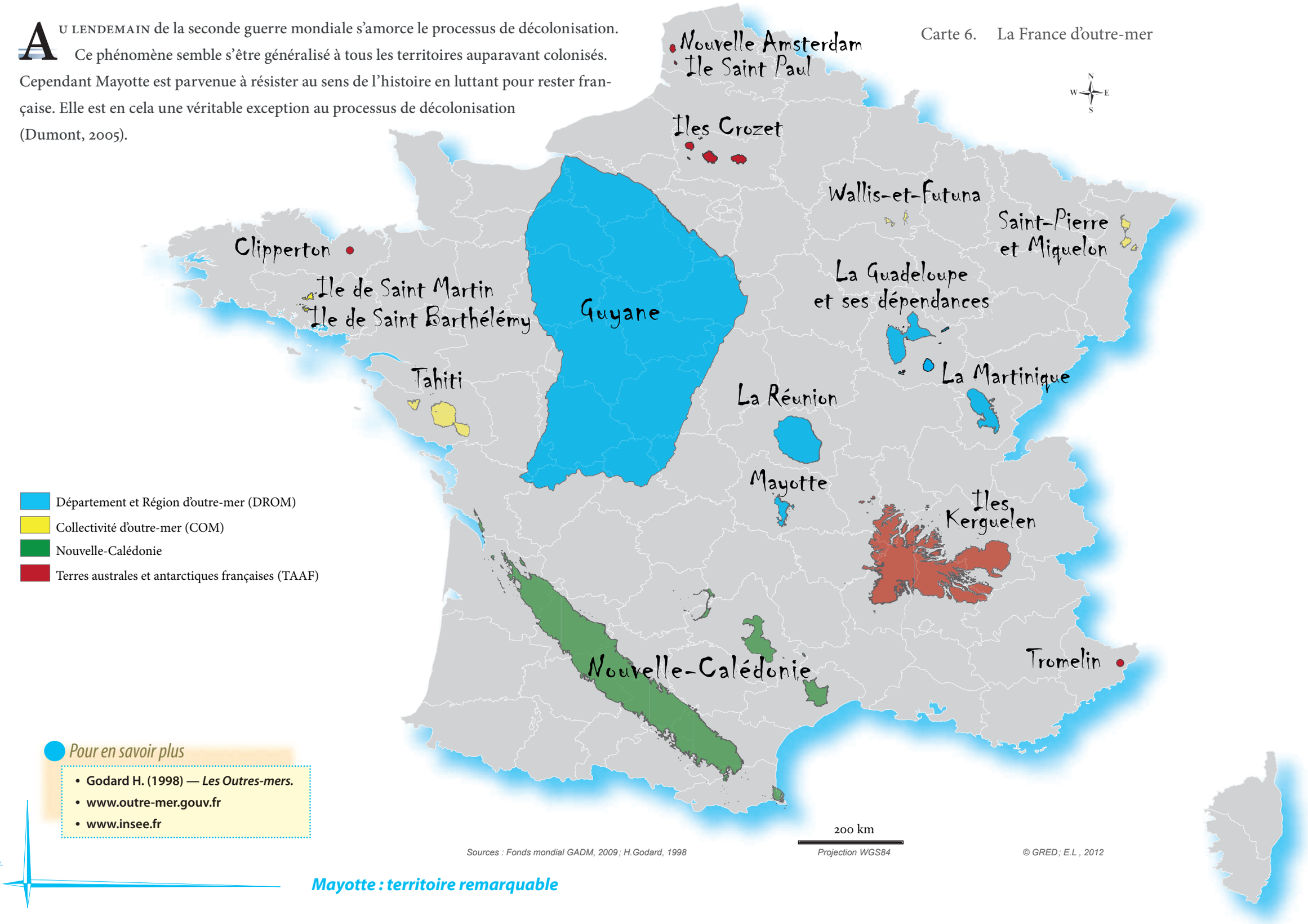
Mayotte dans l'outre-mer français

Contexte géographique

Depuis 2011, Mayotte est le 5e département d'outre-mer et le 101e département français

Au lendemain de la seconde guerre mondiale s'amorce le processus de décolonisation. Ce phénomène semble s'être généralisé à tous les territoires auparavant colonisés. Cependant Mayotte est parvenue à résister au sens de l'histoire en luttant pour rester française. Elle est en cela une véritable exception au processus de décolonisation (Dumont, 2005).

Carte 6. La France d'outre-mer



Pour en savoir plus

- Godard H. (1998) — *Les Outres-mers.*
- www.outre-mer.gouv.fr
- www.insee.fr

L'outre-mer français en chiffre

Nom du territoire	Population (nb hab.)	Superficie (en km²)	Date d'obtention du statut
Nouvelle-Calédonie	230 789	18 575	1998
La Réunion	817 000	2 512	1946
La Guadeloupe	407 205	1 628	1946
La Martinique	402 000	1 128	1946
Guyane	206 000	84 000	1946
Mayotte	186 452	374	2011
Tahiti	178 173	1 042	1996
Île de Saint Martin	37 163	53	2007
Wallis-et-Futuna	13 445	75 et 46	1961
Île de Saint Barthélémy	8 450	21	2007
Saint-Pierre et Miquelon	5 707 et 638	26 et 110	1985
Île Kerguelen	0	7 215	1955
Île Crozet	0	66	1955
Nouvelle Amsterdam	0	58	1955
Île Saint Paul	0	7	1955
Tromelin	4	1	2005
Clipperton	0	9	1936

Sources : outre-mer.gouv.fr, 2012 ; INSEE.fr, 2012

© GRED ; E.L., 2012

© J. Poquet, 2011

Des femmes mahoraises en tenues traditionnelles marchandent, à Mamoudzou

Vagues de peuplement

Dès le XIe siècle, l'émergence de la culture swahilie et la pratique de l'islam se répandent dans tout l'archipel comorien. Au XVe siècle, par vagues successives, des peuples arabo-shiraziens débarquent sur Mayotte, suivis au XVIIe siècle par des peuplades malgaches. Durant cette même période les premiers Européens, à la recherche de nouvelles voies navigables vers l'Inde, découvrent Mayotte. En 1841, le sultan Andriantsouli qui règne alors sur Mayotte, lutte contre ces adversaires régionaux. Refusant de capituler, il préfère céder Mayotte aux Français dirigés par le Commandant Passot. Mayotte devient une colonie française le 25 avril 1841.

L'abolition de l'esclavage aura lieu sept ans plus tard, alors que Mayotte s'établit comme colonie sucrière jusqu'en 1886 (Dumont, 2005). Le peuple mahorais n'aura de cesse de revendiquer sa volonté de rester français, durant les décennies à venir.

« À contre-courant du mouvement de décolonisation et de l'évolution des institutions dans les outre-mer français, la population de l'archipel Mahorais exprime, lors de chacune des consultations électorales, le désir de s'arrimer plus étroitement à la France. »

(Benjamin et Godard, 2001)

Mayotte et sa volonté de « rester française »

En 1912, l'ensemble comorien, dont Mayotte, devient une province de la colonie de « Madagascar et Dépendances ». L'archipel conserve ce statut jusqu'en 1946 où il obtiendra celui de TOM. En 1956-1957, des décrets lui donnent plus d'autonomie en vue d'accéder progressivement à l'indépendance.

Le 22 décembre 1974, Mayotte refuse l'indépendance à 63,8 %. Deux ans plus tard, Mayotte réaffirme son choix de demeurer au sein de la République française à 99,4 %. Elle devient une collectivité territoriale sur la base de l'article 72 de la constitution. En 2001, elle prend le statut de collectivité départementale et s'ancre encore d'avantage dans la République française.

La consultation des électeurs de Mayotte le 29 mars 2009 se traduit par un résultat de 95,2 % pour la création d'une collectivité unique, exerçant les compétences d'un département et d'une région (***DROM***). C'est donc le 31 mars 2011, que Mayotte devient le 101e département français et le 5e d'outre-mer est créé, après l'élection du Président du Conseil général.

Définitions

Les Départements et Régions d'outre-mer (DROM) sont des collectivités territoriales intégrées à la République française au même titre que les départements ou régions de la France métropolitaine. Chacun de ces départements constitue une région mono-départementale, dite « région d'outre-mer » depuis la révision constitutionnelle de 2003.

Depuis la révision constitutionnelle du 28 mars 2003, **les Collectivités d'outre-mer** (COM) désignent le statut juridique de certains territoires de la République française, statut régi par l'article 74 de la Constitution. Elles regroupent des anciens Territoires d'outre-mer (TOM) ainsi que d'autres collectivités territoriales à statut particulier. L'administration des fonctions régaliennes (défense, police, justice, trésor) est assurée par l'État français.

Les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) disposent d'une administration propre, basée dans la commune de Saint-Pierre, département de la Réunion (arrêté du 20 mars 2000). Juridiquement, c'est un territoire d'outre-mer à statut particulier depuis le 6 août 1995.

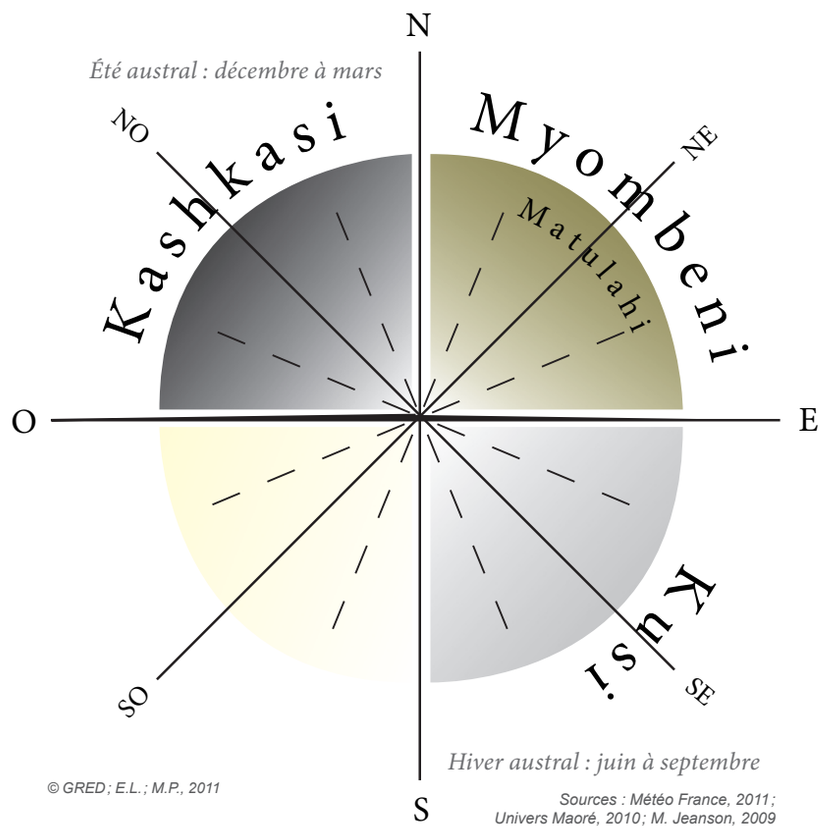
La Nouvelle-Calédonie est une collectivité dite *sui generis* (« de son propre genre »), à savoir une collectivité territoriale de la République française et non pas une Collectivité d'outre-mer (COM).

Caractéristiques générales du climat mahorais

Un climat tropical humide à deux saisons contrastées

Située à 12° de latitude sud, entre l'équateur et le tropique du Capricorne, Mayotte connaît un climat insulaire tropical humide. Ce climat se caractérise par deux saisons pluviométriques bien marquées, entrecoupées par deux intersaisons beaucoup plus brèves.

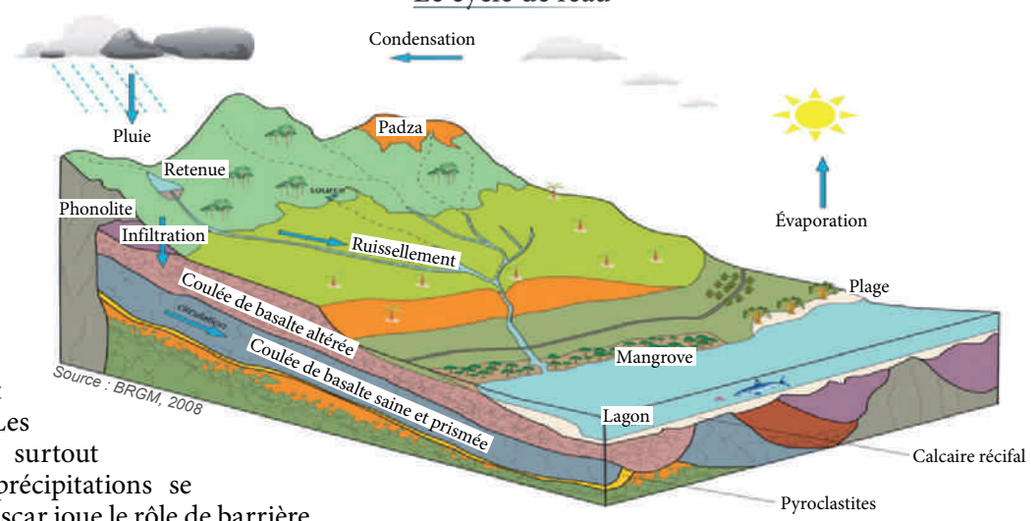
Rose des vents



La saison sèche

L'hiver austral s'étend de juin à septembre. L'île de Mayotte est sous l'influence des alizés. Ce vent, appelé localement Kusi, est orienté sud-est. Les températures diminuent surtout la nuit tandis que les précipitations se raréfient. En effet Madagascar joue le rôle de barrière pluviométrique et permet d'avoir un temps relativement frais et sec sur l'île. Pour l'année 2010, on note que les mois les plus secs ont été juillet et septembre. Durant les mois d'octobre à novembre, les vents (Myombeni) prennent la direction nord-est. Cette phase de transition amène des masses d'air d'origine tropicale. Le temps devient plus chaud et le taux d'humidité augmente progressivement jusqu'à une nouvelle saison des pluies.

Le cycle de l'eau



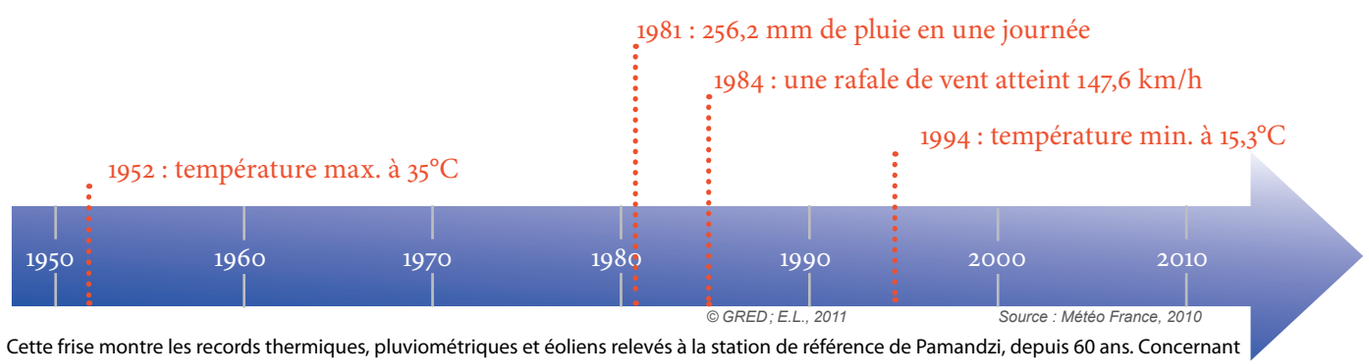
Lorsque les rayons solaires touchent le sol, la température de la surface augmente. L'air qui est au contact du sol chauffe. Sa température augmente et sa pression diminue. Il s'élève et se condense provoquant des pluies orographiques à proximité des reliefs.

Cette dualité saisonnière s'explique par le positionnement des grandes masses d'air formées de vents dominants de directions opposées. Ce cycle climatique est donc fonction de la circulation atmosphérique générale et dépend de la ***Zone de convergence intertropicale (ZCIT)***.

La saison des pluies

L'été austral s'étend des mois de décembre à mars et correspond à la saison des pluies appelée aussi saison chaude. Les températures y sont particulièrement élevées (cf. diagrammes ombrothermiques) et le taux d'humidité est très élevé. Le maximum d'intensité des précipitations est généralement observé durant les mois de janvier-février. Le vent appelé Kashkasi, d'orientation nord-ouest, peut engendrer de violentes rafales accompagnées le plus souvent de forts orages. Progressivement les vents appelés Matulahi, d'orientation sud-est, se mettent en place et les précipitations deviennent de moins en moins fréquentes.

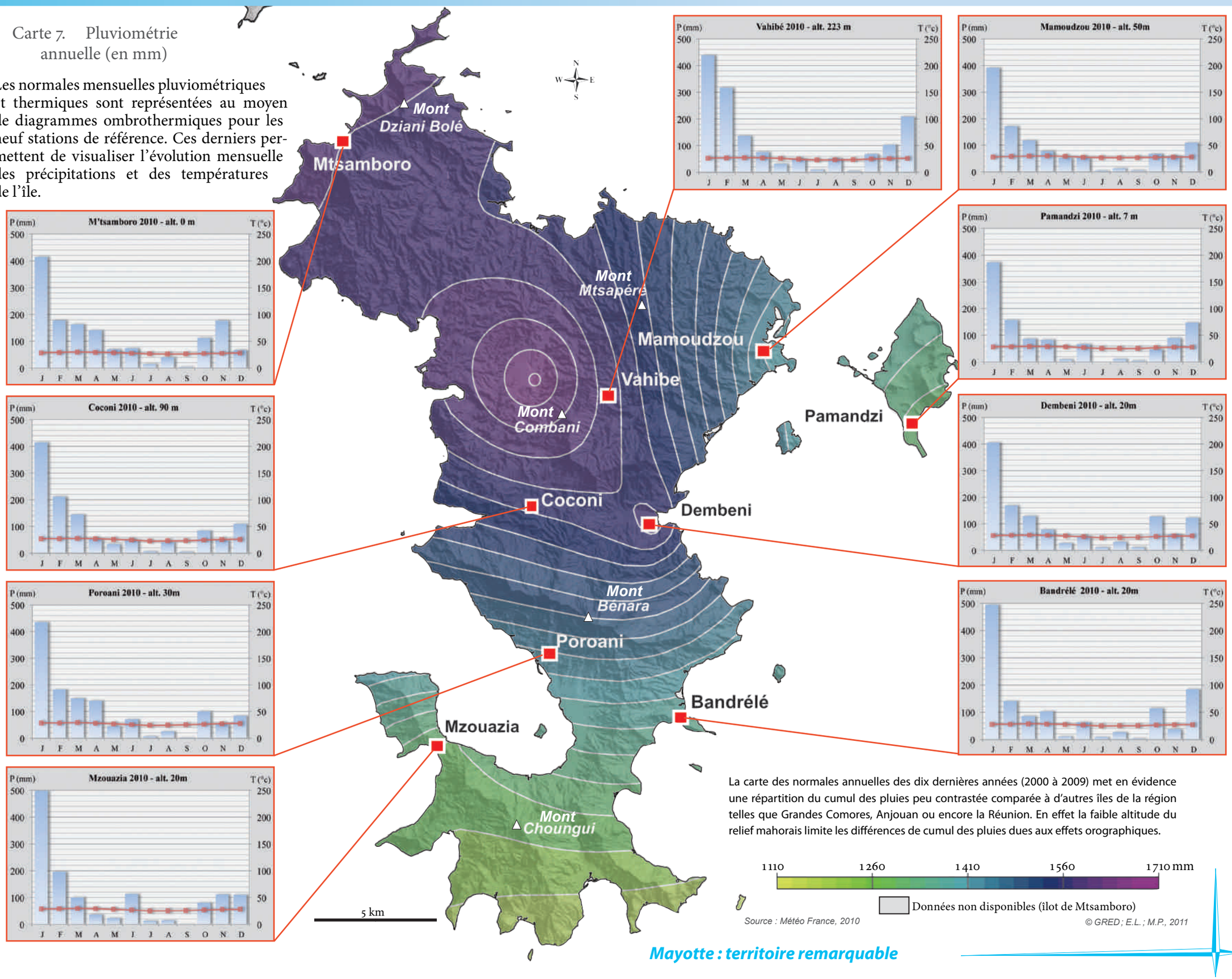
Records climatologiques relevés à la station de Pamandzi, sur la période du 31/12/1950 au 31/03/2010



Cette frise montre les records thermiques, pluviométriques et éoliens relevés à la station de référence de Pamandzi, depuis 60 ans. Concernant les données thermiques, Mayotte possède un ***climat chaud***. En effet, en 60 ans, les températures ne descendirent sous la barre des 18°C que six fois seulement.

Carte 7. Pluviométrie annuelle (en mm)

Les normales mensuelles pluviométriques et thermiques sont représentées au moyen de diagrammes ombrothermiques pour les neuf stations de référence. Ces derniers permettent de visualiser l'évolution mensuelle des précipitations et des températures de l'île.



La carte des normales annuelles des dix dernières années (2000 à 2009) met en évidence une répartition du cumul des pluies peu contrastée comparée à d'autres îles de la région telles que Grandes Comores, Anjouan ou encore la Réunion. En effet la faible altitude du relief mahorais limite les différences de cumul des pluies dues aux effets orographiques.

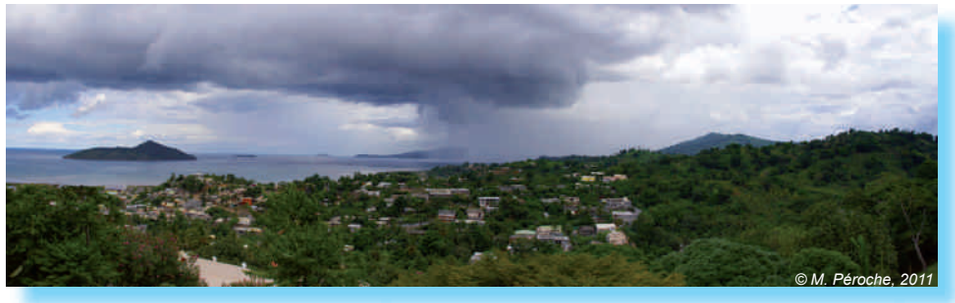
Caractéristiques générales du climat mahorais

Deux saisons pluviométriques opposées

De part sa situation, l'île de Mayotte est sous l'influence de deux masses d'air qui évoluent au cours de l'année. Sur les tropiques, il existe des zones de hautes pressions (anticyclone) où l'air est stable durant l'hiver austral. À l'équateur, il existe une zone de basse pression (dépression) où l'air est instable en été. Cette situation explique l'inégalité pluviométrique entre l'hiver et l'été austral.

L'été austral

Durant l'été austral (ou saison des pluies) Mayotte est sous l'influence de la dépression équatoriale. Cette zone dépressionnaire est favorable aux cyclones, aux dépressions et tempêtes tropicales. Le fort taux d'ensoleillement charge l'air d'humidité et la présence du relief permet à l'air de s'élever plus rapidement et de déclencher le processus de condensation. On observe d'ailleurs un noyau de plus forte pluviométrie dans la partie nord-ouest de l'île sur les flancs du mont Mtsapéré et du mont Combani qui viennent bloquer les alizés venant du nord-ouest. Les fortes pluies sont aussi le résultat de phénomènes périodiques exceptionnels. La dernière dépression tropicale (Fame) date de janvier 2008. Cet épisode pluvieux exceptionnel a provoqué de nombreux mouvements de terrain ainsi que des inondations qui ont durement touché l'activité générale de l'île.

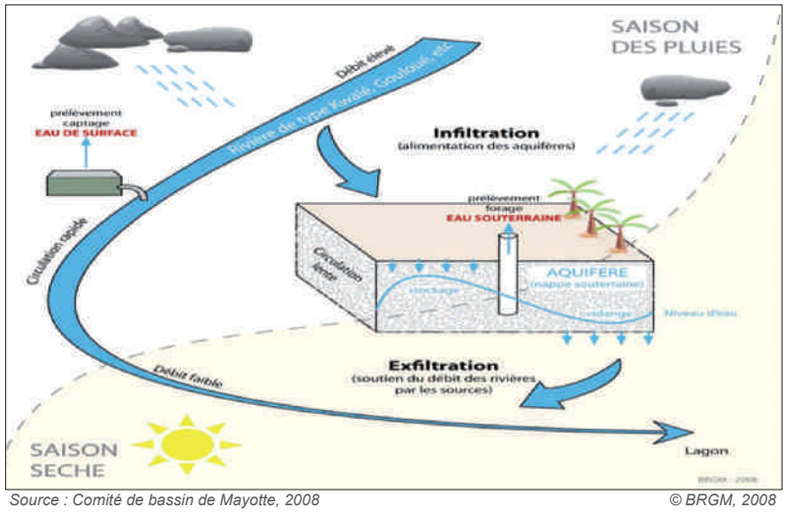


Un grain orageux au-dessus du village de Passamainty durant l'été austral 2011

La saison sèche

La sécheresse est un phénomène récurrent sur l'île d'autant plus que les ressources en eau sont peu abondantes. L'approvisionnement provient principalement des eaux de surface (prises d'eau en rivières et retenues collinaires). Les captages d'eau souterraine ainsi que l'usine de dessalement de Pamandzi permettent un approvisionnement d'appoint.

Relations entre les différents « compartiments » eau à Mayotte

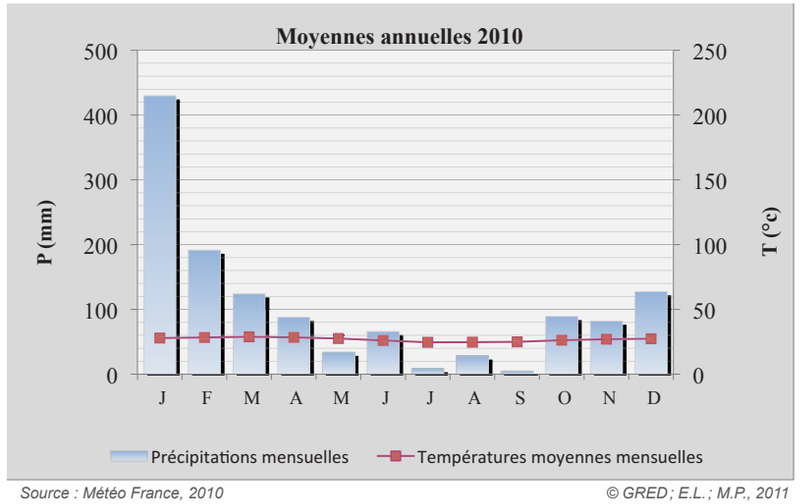


Source : Comité de bassin de Mayotte, 2008 © BRGM, 2008

Les ressources en eau à Mayotte

L'île de Mayotte présente un réseau hydrographique très ramifié, constitué de cours d'eau et de ravines. Cependant, les ravines sont très nombreuses et l'écoulement y est souvent limité aux épisodes pluvieux. On dénombre une vingtaine de rivières pérennes (présentant un écoulement permanent) ainsi que deux lacs naturels situés dans la région de Tsingoni et sur Petite-Terre. Il existe également deux retenues collinaires créées pour les besoins en eau potable afin de pallier le manque d'eau dans les rivières lors de la saison sèche.

Diagramme ombrothermique



Source : Météo France, 2010 © GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Les températures restent chaudes toute l'année avec une moyenne de 26,8 °C en 2010. Le diagramme ombrothermique montre des différences annuelles faibles de l'ordre de 4,3 °C pour la même année.

Définitions

La Zone de convergence intertropicale (ZCIT) est le lieu de convergence des alizés issus des deux hémisphères. Sa position fluctue entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne.

Un climat chaud est un climat qui ne connaît pas d'hiver. C'est-à-dire qu'aucun mois n'a une température moyenne inférieure à 18 °C.

Pour en savoir plus

- **Eglin F. & Ravail D. (2010) — *Les mécanismes climatiques de la zone intertropicale.***
- **Plan d'aménagement et de développement durable (PADD) de Mayotte (2008).**

© F. Drouet, 2011 — Lac Dziani Dzaha

Formation de l'île de Mayotte

Genèse volcanique de l'archipel Comorien et naissance de l'île de Mayotte il y a près de 8 Ma

Situées dans le canal du Mozambique, les quatre îles de l'archipel des Comores (Grande Comore, Mohéli, Anjouan et Mayotte) résultent d'une activité volcanique orientée selon un axe sud-est nord-ouest, mis en place au sein de l'océan Indien. La dérive de Madagascar vers le sud du continent africain aurait débuté il y a 165 Ma, le long de la faille transformante que constitue la ride de Davie.

La théorie du point chaud

Aujourd'hui la genèse de l'archipel Comorien est encore débattue au sein de la communauté scientifique. Néanmoins la plupart des auteurs s'accordent sur l'existence de ***points chauds*** intraplaques (Graviou *et al.*, 2006). C'est précisément le cas pour la formation de l'archipel comorien provoquée par la dérive de la plaque somalienne au dessus d'un point chaud. Cette théorie explique une activité volcanique de plus en plus récente vers le nord-ouest de Mayotte et vers la Grande Comore.

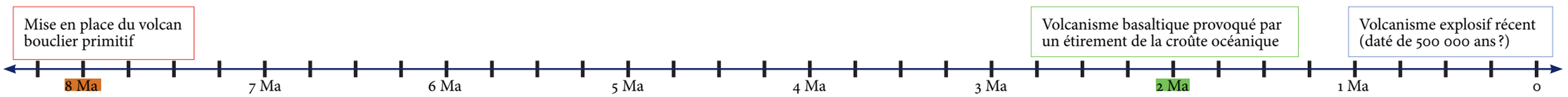
L'île de Mayotte, la plus ancienne de l'archipel

L'île de Mayotte est la plus orientale et donc la plus ancienne des îles de l'archipel des Comores. La structure générale de l'île est constituée d'un bouclier volcanique primitif formé par deux massifs volcaniques. L'activité volcanique initiale de l'île à 15 Ma (en domaine sous-marin) et à 10 Ma environ pour le volcan sud et 4 Ma pour le volcan nord (en domaine aérien) (Graviou *et al.*, 2006). Cependant des discussions persistent au sujet des principaux travaux sur l'histoire géologique de Mayotte. La communauté scientifique est divisée au sujet de deux interprétations majeures pour expliquer la formation de l'île. La première considère que Mayotte serait issue d'un vaste volcan bouclier alors que la seconde se base sur l'existence d'une chaîne de petits massifs volcaniques coalescents. En tout état de cause, Mayotte résulterait d'une évolution volcanique structurée selon trois étapes principales décrites par trois ensembles majeurs :

— le bouclier primitif, principale partie constituant le volcan ;

— les unités supérieures comprenant le centre basaltique du nord-ouest et le massif volcanique de Mtsapéré ;

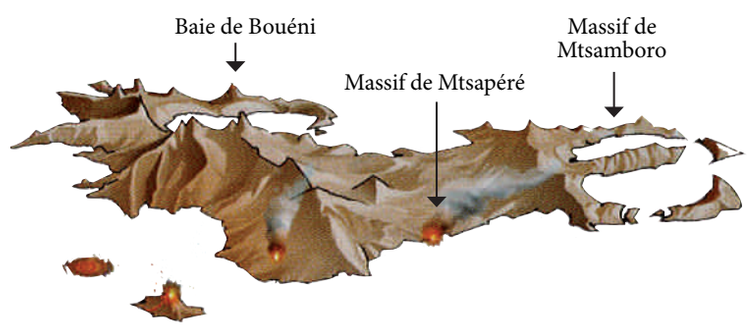
— ***les maars*** et cônes situés sur Petite-Terre et Mamoudzou et qui représenteraient les produits les plus récents de l'île (Nouguier *et al.*, 1979 in Debeuf, 2004).



Deux massifs volcaniques primitifs à l'origine de Grande-Terre

1 — Émergence d'un bouclier volcanique primitif généralisé à l'ensemble de l'île de Grande-Terre à partir de deux ensembles volcaniques dont les coulées de bases sont datées de 8 Ma environ (Jourdain, 2002). Ces deux massifs volcaniques sont appelés « volcans boucliers » de part leur morphologie générale marquée par des pentes douces. L'un se trouve actuellement dans la partie septentrionale de l'île, dont le centre d'émission serait localisé en mer. L'autre se situe dans la zone centrale et méridionale de l'île.

Phénomène d'érosion et intrusion de lave basaltique



2 — On assiste à deux phénomènes distincts. D'une part le phénomène d'érosion agit sur les deux massifs volcaniques provoquant leur effondrement progressif au cours du temps. Au sud, une large zone s'effondre formant une caldeira qui correspond à l'actuelle baie de Bouéni. Au nord le massif de Mtsamboro et la barrière de corail s'enfoncent dans l'océan ne laissant apparaître aujourd'hui que des bribes de territoire comme l'îlot Mtsamboro.
D'autre part on assiste à la mise en place d'un volcanisme basaltique au nord-ouest, provoqué par un étirement de la croûte océanique. Ce phénomène provoque de nombreuses fissures sur le territoire en suivant la seule zone de ***rift*** de type hawaiien datée aux alentours de 2 Ma. À la suite de ce phénomène s'érige le massif de Mtsapéré (1,8 à 1,4 Ma) qui traverse et occupe la partie méridionale de l'île.

Reprise de l'activité volcanique essentiellement explosive

Source : BRGM, 2006

3 — L'activité volcanique reprend brutalement au nord-est de l'île. La rencontre entre un magma plus riche en silice et l'eau provoque de violentes explosions. Cette phase explosive n'est pas clairement datée. Cependant des carottages effectués sur des cendres dans les profondeurs du lagon permettent d'évaluer l'âge des dernières manifestations volcaniques à 7 000 ans BP. Les formations édifiées lors de ces épisodes explosifs sont encore bien visibles dans le paysage actuel. On peut notamment observer les maars de Moya et le cratère Dziani sur Petite-Terre ainsi que les cratères tardifs de Kawéni et Kavani sur Grande-Terre.

Description des trois principaux complexes volcaniques

— Le complexe sud a été identifié comme résultant de l'activité du massif volcanique le plus ancien. Le strato volcan de Bouéni présenterait dans sa morphologie actuelle deux ensembles structuraux : une dépression interne (caldeira) et des flancs externes.
— Le complexe nord est marqué par des reliefs escarpés. Il résulte lui aussi de l'activité volcanique de l'un des massifs, bien qu'un peu plus récent. Sa partie immergée et l'un de ses flancs externes arment les reliefs.
— Le complexe nord-est est marqué par des reliefs jeunes. Ce massif a été édifié par des effusions successives de laves entre 1,8 et 1,4 Ma. Enfin, ce volcanisme se termine par une série de manifestations magmatiques explosives mal datée, qui a donné lieu à la construction des cratères tardifs sur Mamoudzou et Petite-Terre.

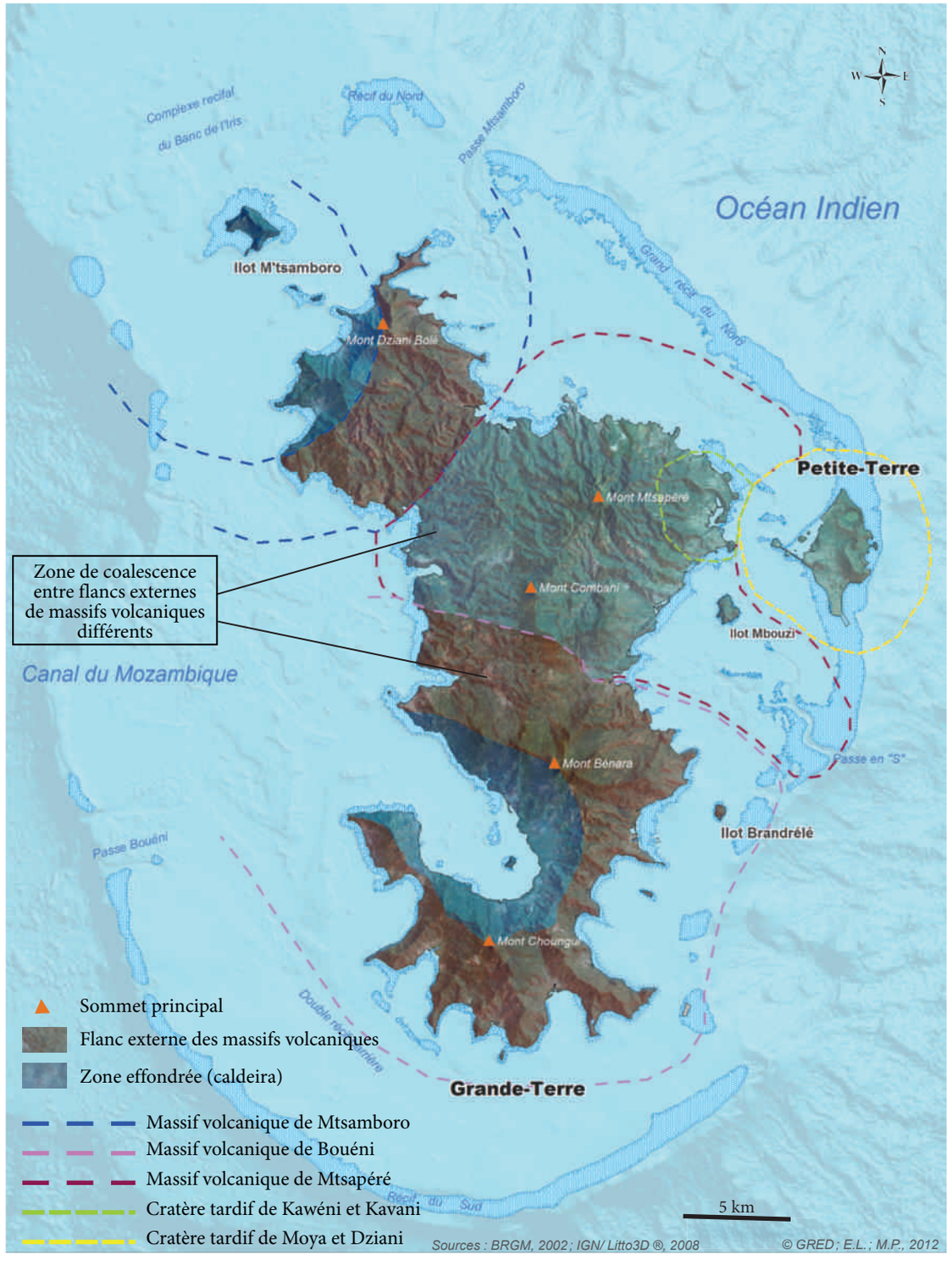
Une menace volcanique indirecte

Cette ancienne activité volcanique témoigne d'une zone de points chauds évidente. La mise en évidence en 1998 de la présence de bulles de gaz carbonique acide s'échappant d'un petit cratère sous-marin laisse penser qu'il pourrait encore exister une manifestation volcanique à Mayotte. Même si l'île de Mayotte n'est pas directement exposée au risque volcanique, la zone de points chauds dans laquelle elle se situe n'en reste pas moins dangereuse. De plus le volcan Karthala sur l'île de Grande Comore atteste d'une activité volcanique encore bien présente. Si ce volcan venait à rentrer en éruption les nuages de cendres engendrés pourraient avoir un impact sur l'île de Mayotte qui subirait une paralysie due à l'inactivité de l'aéroport, seul lien avec l'extérieur.

Pour en savoir plus

- **Jourdain T. *et al.* (2002) — *Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre.***
- **Graviou P. *et al.* (2006) — *Curiosités géologiques de Mayotte.***
- **Debeuf D. (2004) — *Étude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte.***

Carte 8. Principales unités volcaniques à l'origine de Mayotte



Définitions

Un point chaud est considéré comme un panache de magma fixe qui résulte de la fusion des roches du manteau inférieur. Il perfore la plaque tectonique qui se déplace en surface.

La coalescence est un phénomène par lequel deux substances identiques mais dispersées ont tendance à se réunir.

Un maar est un cratère volcanique détruit par un volcanisme explosif. Il peut parfois se remplir d'eau et former un lac de cratère.

Un rift est une région où la croûte terrestre s'amincit. En surface un rift forme un fossé d'effondrement allongé limité par des failles. C'est souvent une zone de volcanisme soutenu.

Une caldeira est un cratère d'effondrement ou un cratère d'explosion.

Et le lagon dans tout ça ?

Au large des reliefs, la formation du récif barrière débute il y a environ 1,5 Ma. Son édification s'accélère lors de l'avant-dernier interglaciaire daté à 125 000 ans BP. Lors du dernier maximum glaciaire (26 000 ans BP), le récif et le lagon sont exondés. Ensuite l'ennoiement progressif du lagon reprend par les passes à 11 600 ans BP.

Les maars tardifs

© BD Ortho/IGN, 2008

de Moya, Petite-Terre

© M. Péroche, 2011 — Maars de Moya

La géomorphologie de l'île de Mayotte

Évolution géomorphologique et armature contemporaine de l'île

L'île de Mayotte, en tant que doyenne de l'archipel Comorien, présente une forme caractéristique qui lui prévaut de ce fait le surnom de « l'île hippocampe ». L'évolution géomorphologique contemporaine de l'île est dictée principalement par une activité érosive donnant lieu à des modelés tropicaux exceptionnels et finement sculptés dans la roche.

Deux grands types de processus géomorphologiques

L'évolution géomorphologique de Mayotte répond à deux grands types de processus qui modèlent l'île :

— Les processus liés à la dynamique interne, à l'origine des grandes formes morpho-structurales liées au volcanisme (cratère volcanique bien conservé du Dziani Dzaha) à la tectonique (subsidence), ou à la combinaison des deux, comme les effondrements volcano-tectoniques de type caldeira ou les effondrements sectoriels caractéristiques des volcans-boucliers dont on retrouve les dépôts d'avalanches de débris au fond de l'océan.

— Les processus externes (agents atmosphériques) sont responsables d'une érosion intense. Cette dernière peut se manifester par différents processus plus ou moins actifs : ***altération*** des roches par érosion chimique, érosion hydrique des versants par le ruissellement, responsable des padzas, mouvements de masse (glissements) et processus liés à la dynamique littorale responsable de la mise en place des plages et des lagunes à mangroves discontinues entourant l'île, ou de la mise à jour des récifs coralliens frangeants et barrières.
Ces processus participent à différents degrés et différentes échelles spatiales et temporelles aux façonnements des modelés de « l'hippocampe », et ce depuis plusieurs millions d'années.

Mayotte : une île aux reliefs peu élevés

La ***géomorphologie*** contemporaine de l'île résulte d'une double évolution :

— D'une part, les formes extrusives multiples (dôme, neck, lame, piton phonolitique) ont été progressivement mises en relief par ***érosion différentielle*** du fait de la « dureté » de la roche et des flancs très raides des reliefs, qui sont lentement et faiblement altérés.
L'île se caractérise ainsi aujourd'hui par des reliefs relativement peu élevés, culminant à 660 m au mont Bénara, mais aux flancs raides à l'image du mont Choungui (594 m) ou du dôme-coulée de Saziley. Ces extrusions phonolitiques constituent les « points d'ancrages internes » (Raunet, 1992) de l'île qui forment aujourd'hui les grands traits morphologiques du paysage mahorais.

— D'autre part, les terrains encaissants périphériques s'altèrent très vite et sont par conséquent évacués rapidement par ravinements et glissements de terrain. L'***érosion régressive*** engendre ainsi la mise en évidence de nombreux modelés caractéristiques de Mayotte, tels que les amphithéâtres évidés dans les bassins versants ou les profils d'altération d'une dizaine à une trentaine de mètres d'épaisseur en périphérie des extrusions phonolitiques. Les ***padzas*** de Dapani viennent chahuter l'ensemble de manière discontinue, par de nombreuses lignes de crêtes étroites et arrondies (croupes) venant délimiter chacun de ces modelés.

Définitions

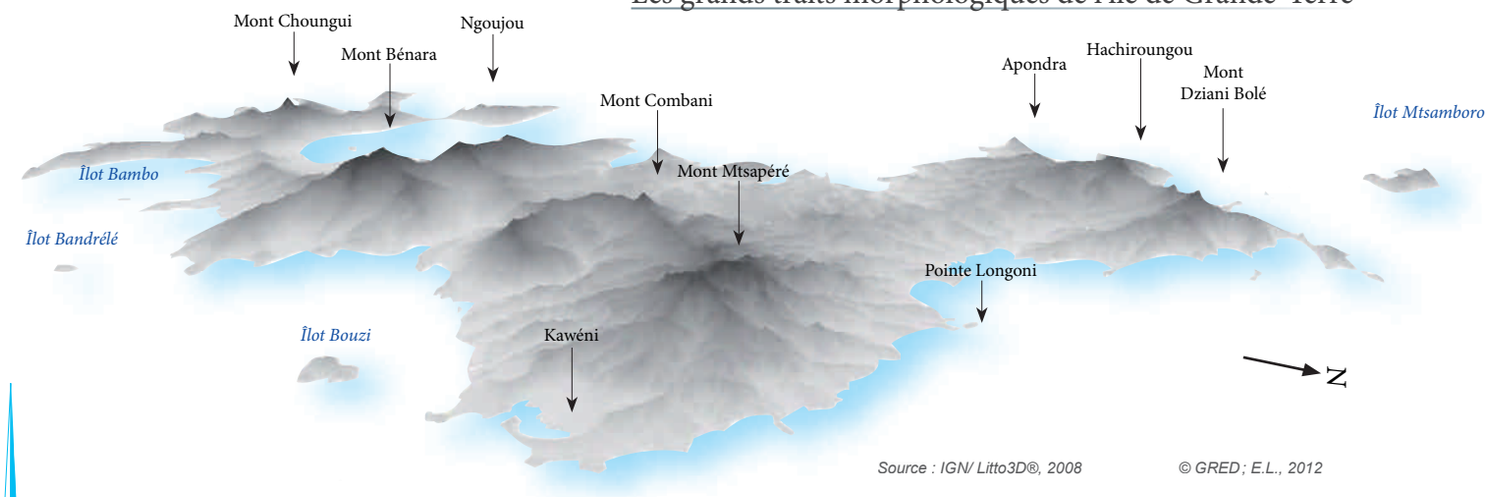
Géomorphologie : science qui a pour objet la description et l'explication du relief terrestre, continental et sous-marin.

Érosion différentielle : érosion où l'ablation est conditionnée par les contrastes de résistance de la roche attaquée.

Érosion régressive : érosion concentrée débutant son incision par l'aval à partir d'un point de rupture topographique et se propageant vers l'amont.

Padza ou badland : forme d'érosion généralisée par ruissellement très active donnant un paysage nu et inculte, au modelé accidenté.

Les grands traits morphologiques de l'île de Grande-Terre



L'évolution géomorphologique contemporaine de l'île se caractérise aussi par le comblement des caldeiras volcaniques des anciens volcans boucliers du Plio-Miocène et le démantèlement par l'océan Indien des cratères d'explosion de Petite-Terre (système de maars de Moya), de Kavani ou de Kawéni. Cette évolution géomorphologique naturelle est exacerbée par la pression anthropique récente qui contribue à l'accélération de l'érosion et de l'envasement du lagon.

Barrière récifale presque continue d'une circonférence de 197 km, dont 157 émergés et 40 immergés au nord. La double barrière de récifs coralliens (Guilcher A., 1965) écharonnée d'une dizaine de passes permet de délimiter entre terre et plein océan un des lagons les plus vastes (environ 1 100 km²) et des plus riches au monde.

Cratère de maar « Dziani-Dzaha » de Petite-Terre, édifice des dernières grandes manifestations du volcanisme explosif à Mayotte, il y a 7 000 ans environ (Holocène). Ce cratère volcanique est aujourd'hui rempli d'eau stagnante de couleur vert émeraude et forme un lac de cratère.

Lagune à mangrove de Chiconi jouant comme sur la quasi-totalité des littoraux à Mayotte, le rôle de piège à apports terrigènes avant que ces derniers n'atteignent le lagon et ne l'envasent.

Le mont Choungui, haut de 594 m est une « cheminée » volcanique obstruée (neck). Il doit sa forme caractéristique à l'érosion des formations géologiques les plus tendres, découvrant l'essentiel de l'édifice volcanique initial.

Demi-cratères de maars de Moya, résultant du volcanisme explosif récent de Petite-Terre. Des cratères s'édifiaient ici à l'origine mais l'action du temps et de l'océan est parvenue à démanteler ce système finalement encore bien conservé aujourd'hui.

Padza de Dapani. Ce modelé d'érosion par ravinement généralisé des matériaux tendres est le fruit d'une morpho-dynamique exacerbée sur l'île. Ces terres incultes laissent entrevoir un panorama minéral présentant une large palette de couleurs (rouge, ocre, beige et gris) contrastant avec le fond vert de la forêt et le bleu turquoise du lagon.

Le dôme-coulée de Saziley, appelé « tête de crocodile » par les Mahorais du fait de sa forme très caractéristique, n'est autre que le résultat de l'épanchement de coulées de laves successives, lourdes et épaisses de part et d'autre du point de sortie. Ces caractéristiques ont limité son extension, d'où sa forme emblématique de dôme étalé.

Pour en savoir plus

- **Graviou P. *et al.* (2006) — *Curiosités géologiques de Mayotte.***
- **Raunet M. (1992) — *Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon.***

Crédits photos : © Y. Chabot, 2012

Cartographie et coupes géologiques

Carte 9. Géomorphologie de Mayotte

Topographie

- Courbes de niveaux, équidistance 50 m
- Ligne de crête indifférenciée
- Plaine
- Plateau
- Vallée à profil en « V »

Hydrographie

- Écoulement pérenne principal
- Lac naturel

Lithofaciès

- Basalte
- Cinérite
- Lave indifférenciée
- Phonolite/Téphrite
- Système pyroclastique (Cendre, Scorie)

Formations superficielles

- Altérite
- Alluvion/Colluvion

Éléments anthropiques

- Ville
- Retenue d'eau

Modelés volcaniques

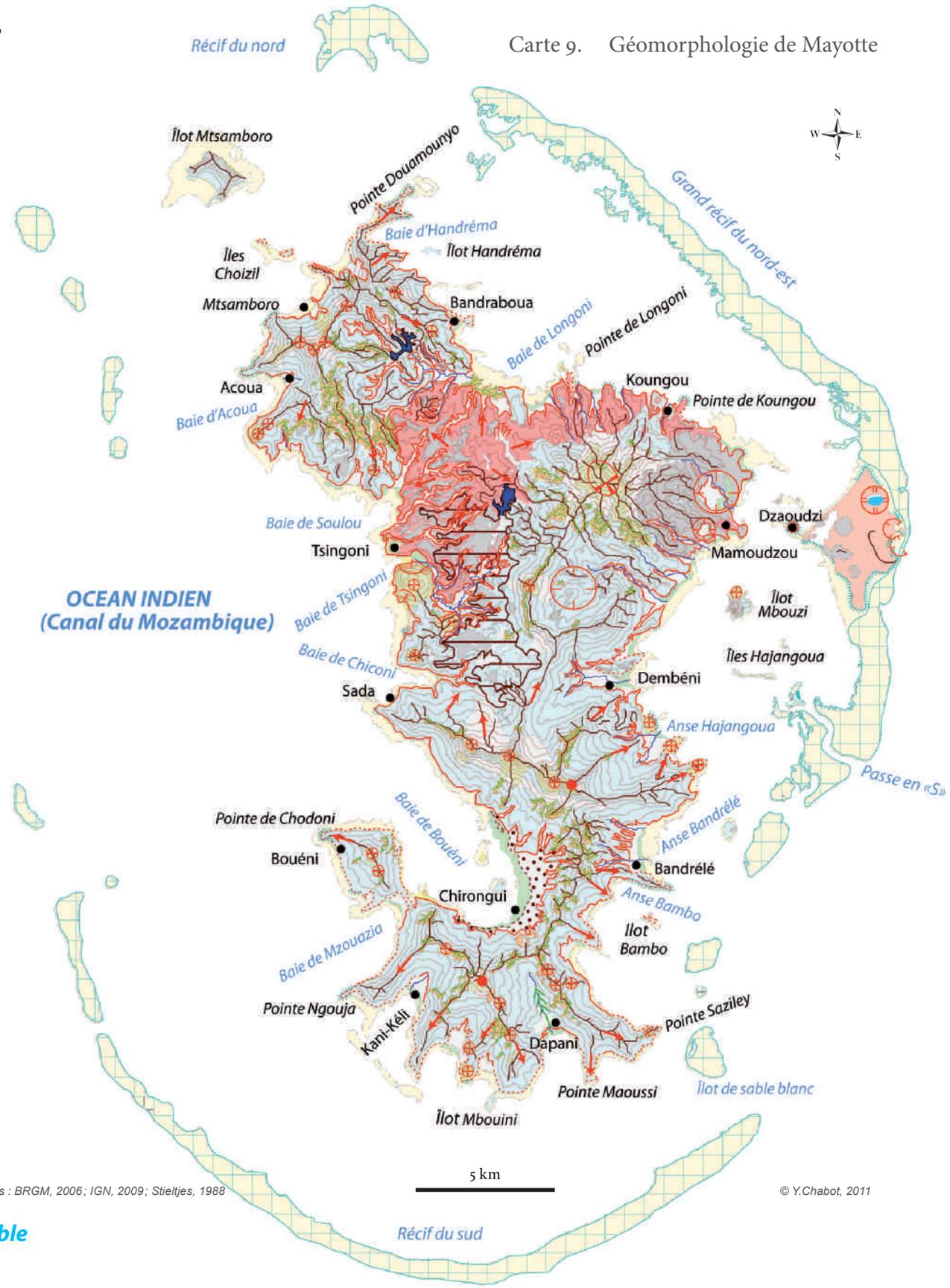
- Coulée de lave
- Coulée en inversion de relief
- Orgue basaltique
- Cône volcanique
- Cratère non différencié
- Cratère égueulé
- Cratère de Maar
- Dôme
- Dôme-coulée
- Dyke
- Glissement
- Neck (Culot)

Modelé tropical

- Padza (Badland)

Modelés littoraux

- Côte à falaise
- Marais (Mangrove)
- Plage
- Récif corallien frangeant
- Récif corallien barrière

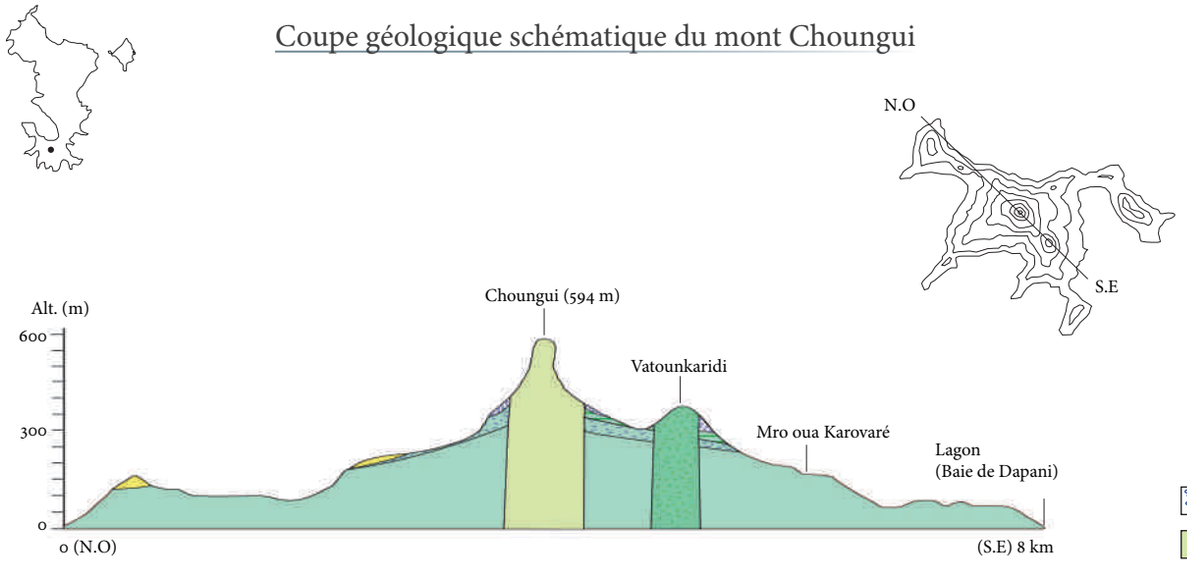


Sources : BRGM, 2006 ; IGN, 2009 ; Stieltjes, 1988

© Y.Chabot, 2011

Le mont Choungui

Coupe géologique schématique du mont Choungui



Prenant l'allure d'une aiguille, le mont Choungui constitue le relief le plus emblématique de l'île. Bien plus important à l'origine, cette extrusion phonolitique subit les aléas du climat tropical humide ce qui lui vaut une intense désagrégation et la mise en place de cônes d'éboulis à sa base. Ces points d'ancrage dominent les paysages du sud de l'île avec leurs dissections en amphithéâtre séparées par des lignes de crêtes.

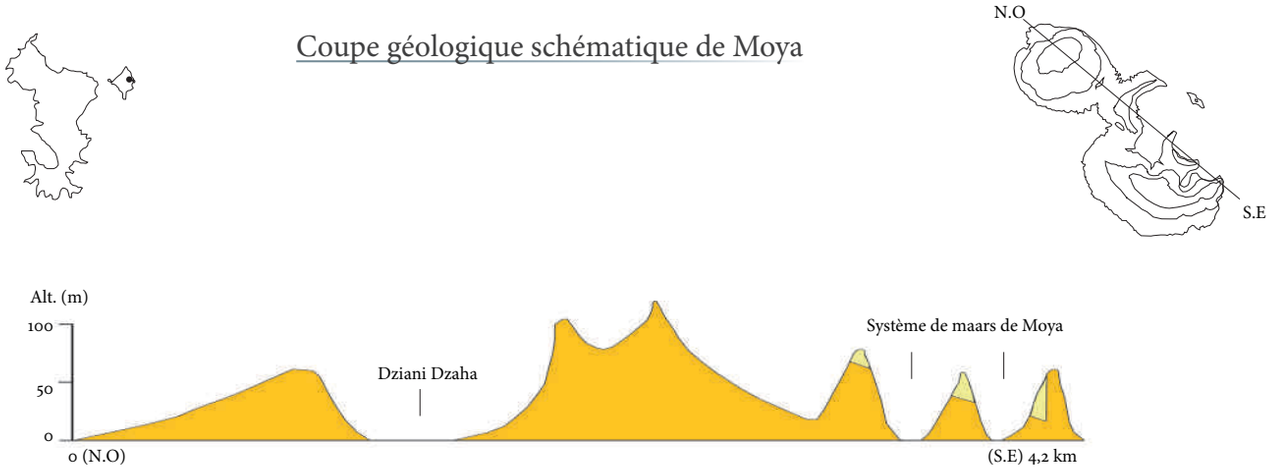
Définitions

Dyke : filon de roche magmatique intrusif dans les terrains préexistants où il représente un conduit d'alimentation du magma vers la surface.

Altération : processus de modification des propriétés physiques et chimiques des roches par les agents atmosphériques.

- Colluvions
- Phonolites alcalines
- Basaltes ankaramitiques (formant le sommet des reliefs)
- Basaltes ankaramitiques (formant l'ossature des reliefs
- Basaltes
- Altérites ferralitiques
- Altérations fumeroliennes

Coupe géologique schématique de Moya



Le système de cratères d'explosions (maars) de Pamandzi, du fait de sa relative « jeunesse » (Pléistocène à Holocène), ne se trouve pas en situation d'intense altération et d'érosion contrairement au reste de l'île. Cela lui confère la conservation de ses grands traits morphologiques originels : un ensemble successif de petits cratères d'explosions. De faible altitude, l'ensemble devrait pourtant être la cible d'un démantèlement progressif, à l'image de Grande-Terre.

- Formations de plage (sables)
- Cinérites et ponces trachytiques de Pamandzi

Demi-cratère de Moya

Pour en savoir plus

- **Joly F. (1997) — *Glossaire de géomorphologie : Base de données sémiologiques pour la cartographie.***
- **Stieltjes L. (1988) — *Notice explicative de la carte géomorphologique de Mayotte.***

Source : Stieltjes, 1988

© Y.Chabot, 2012

Les padzas à Mayotte

Formation, structure et répartition spatiale des padzas de Mayotte

L'érosion des sols, qu'elle soit naturelle ou anthropique, est un phénomène omniprésent sur l'île de Mayotte et peut prendre de multiples et diverses formes. La plus répandue et la plus caractéristique est le padza.

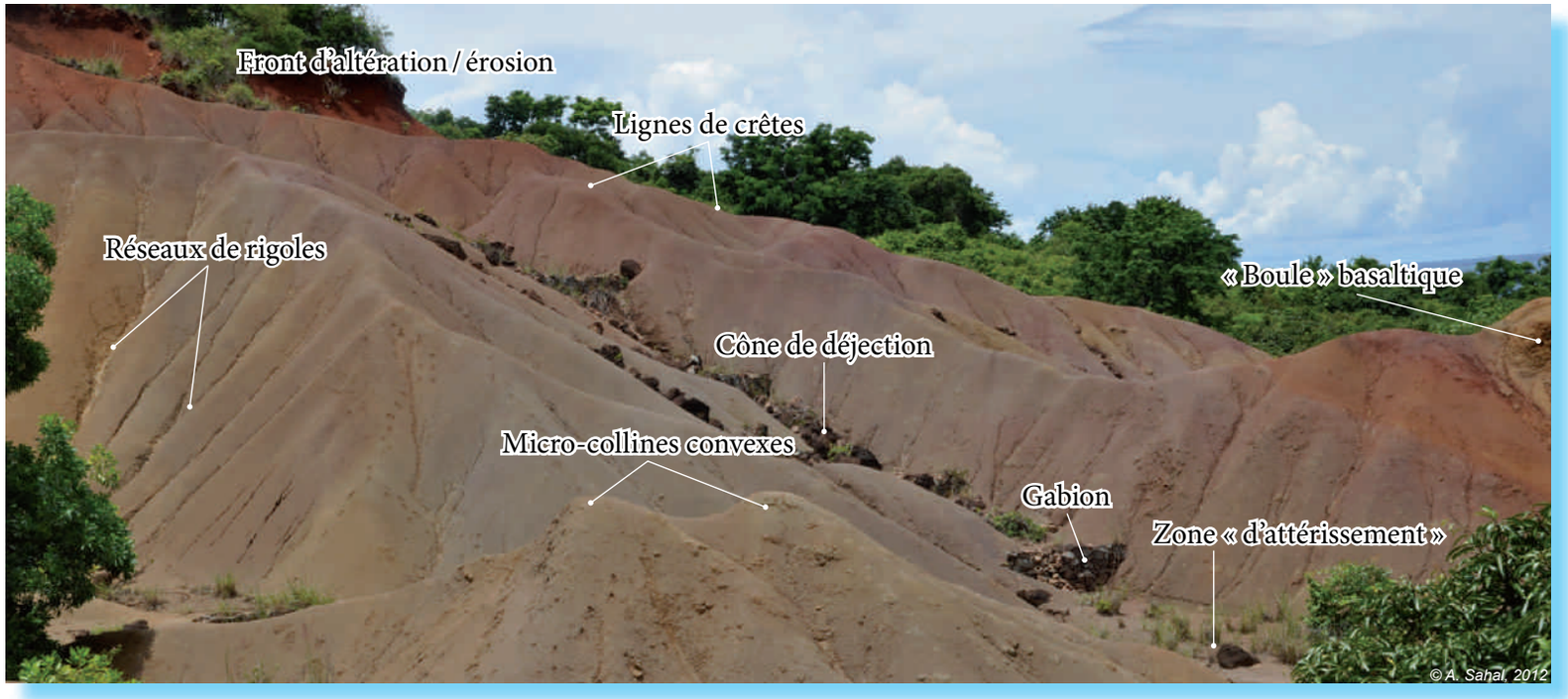
Qu'est-ce qu'un padza ?

« Terre inculte, nue » en mahorais, le terme local de padza (Badland) correspond à des zones d'érosion partiellement ou totalement dénudées, de décapage et d'incision intense qui façonnent les terrains meubles superficiels. La mise à nu du substratum rocheux s'effectue sous l'effet du ruissellement concentré sur d'anciennes coulées de lave. Ce modelé de dissection superficiel des altérites est favorisé par l'action ***anthropique*** : urbanisation croissante, déforestation, pratiques culturales inadaptées, etc.

Risques liés aux padzas

Les padzas peuvent engendrer un certain nombre d'aléas naturels (coulées de boue, chutes de blocs, érosion) aux conséquences environnementales (dégradation et perte de certains écosystèmes, etc.) et économiques (perte de l'attrait touristique due à l'envasement du lagon).

Structure d'un padza

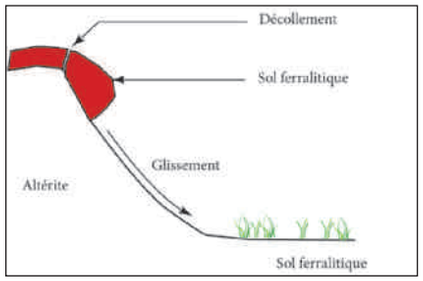


Le padza est un complexe érosif très accidenté présentant plusieurs formes imbriquées d'érosion : lignes de crêtes étroites, champs de micro-collines convexes, réseaux de ***rigoles*** et de ravines (a), « boules » de basalte (b), ***cônes de déjection***, ***gabions***, zone d'atterrissement, buttes témoins (c), front d'altération/érosion (d)... Ces manifestations ont lieu en fonction de la présence ou non du ***sol ferralitique*** supérieur.

Envasement du lagon entre Passamainty et Mtsapéré

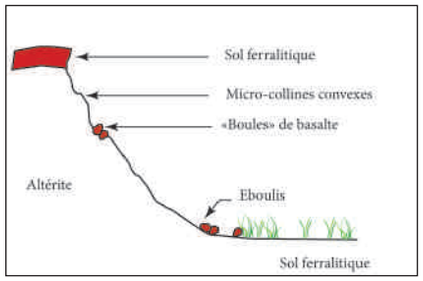
Crédits photos : © Y. Chabot, 2012

Formation et mise en place d'un padza



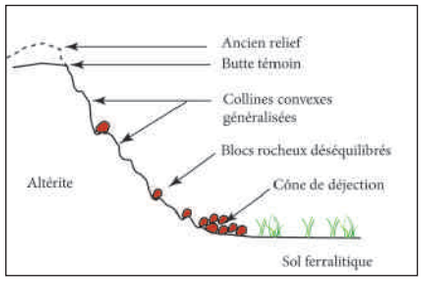
1. La genèse du complexe morphogénétique.

Le déclenchement du complexe érosif d'un padza se fait par décapage, décollement puis glissement de la couche argileuse rougeâtre supérieure (sol ferralitique) d'épaisseur métrique à pluri-métrique.



2. Mise en place du processus d'érosion par ravinement.

Le substratum ***altéritique*** qui n'est plus protégé est soumis au ruissellement qui incise et ravine profondément le sol. Le complexe érosif se développe et laisse apparaître des réseaux de rigoles, puis de ravines. Le dégagement de la roche originelle sous forme de blocs/boules témoigne du caractère intense de l'érosion.

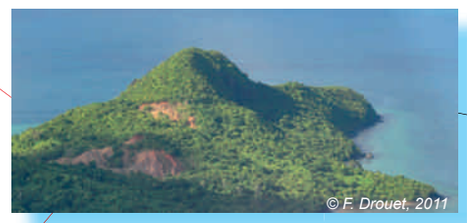


3. Exacerbation du phénomène par « auto-catalyse »

L'exacerbation du phénomène *via* la composante hydrique induit un développement morphologique et spatial accru du padza. Les cônes de déjection et les buttes témoins illustrent l'intensité de l'activité érosive.

© Y.C, 2012

© M. Gherardi, 2011

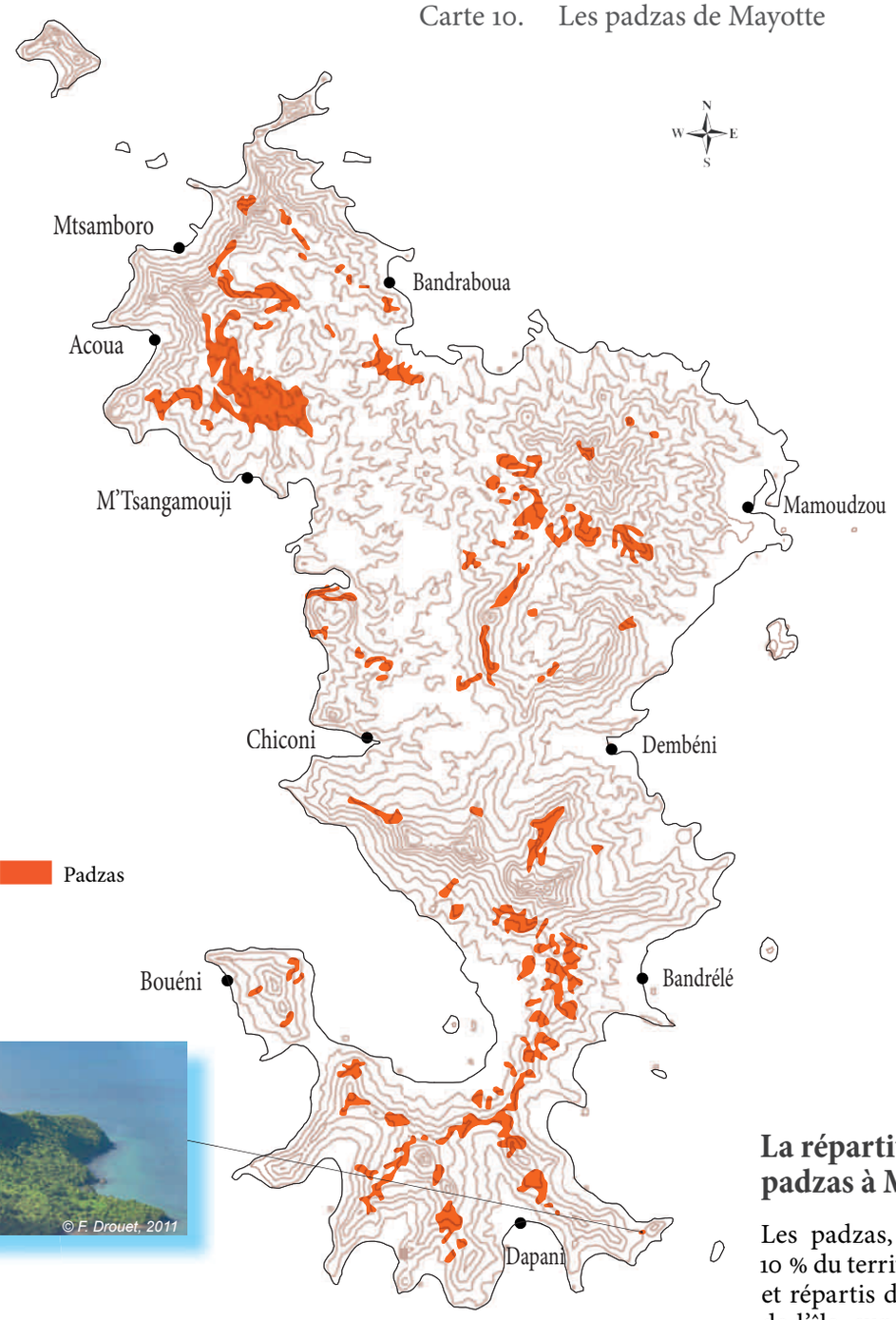

© F. Drouet, 2011

Exemple des padzas de Dapani à différentes échelles

Pour en savoir plus

- **Chabot Y. (2012) — *L'étude de la dynamique géomorphologique des badlands de Mayotte : impacts et enjeux.***

Carte 10. Les padzas de Mayotte



Sources : BRGM, 2006 ; IGN, 2009

© Y.C, 2012

Définitions

Anthropique : se dit d'un paysage, d'un sol, d'un relief dont la formation résulte essentiellement de l'intervention de l'homme.

Sol ferrallitique : sol de zone tropicale et équatoriale mis en place par altération des minéraux originels. De couleur brun rouge à rouge sombre et très argileux, ce sol est très riche en oxyde de fer et en oxyde d'alumine.

Altérite : formation superficielle résultant de l'altération et de la fragmentation sur place de roches antérieures sans transformation pédologique notable.

Cône de déjection : zone d'accumulation de débris provenant de l'amont et transportés par l'eau.

Gabion : petit muret de pierres sèches servant à maintenir les sols et à retenir les particules de terre.

Rigole : petit sillon de quelques centimètres de profondeur et de largeur, creusé par l'action du ruissellement concentré.

La répartition spatiale des padzas à Mayotte

Les padzas, qui occupent actuellement 10 % du territoire sont surtout développés et répartis dans les parties sud et centre de l'île, sur les points hauts en position de lignes de crêtes, mais aussi de plus en plus en périphérie des centres urbains qu'ils soient de grande ou de petite taille.

Une riche diversité de littoraux

Compte tenu du fort développement économique et démographique de l'île, l'ensemble des côtes de Mayotte est sujet à une pression anthropique grandissante et à des enjeux importants en termes d'aménagement et de développement.

Les falaises

Les falaises sont les plus représentées sur les côtes mahoraises avec 115 km de linéaire côtier soit 42 % du littoral mahorais. De manière générale, à Mayotte, on retrouve les falaises vives au niveau des caps et sur les secteurs de côtes au droit des passes. ***Les falaises molles*** se situent généralement à l'intérieur des baies et sur des portions côtières protégées par le récif barrière. Les falaises mahoraises sont pour l'essentiel des falaises basaltiques au versant végétalisé. Leur évolution est lente. Seules les falaises les plus exposées au niveau des caps, des passes et de la barrière de corail pour Petite-Terre, reculent.

Le recul des falaises est assez modéré et se fait par le biais de deux processus :

— L'action directe de la mer avec un recul par à-coup du pied de falaise sapé par les vagues.

— Les influences continentales avec un recul par glissements ou éboulements successifs des falaises du fait de leur nature rocheuse.

Les côtes à mangrove

Les mangroves occupent 30 % du littoral, soit 80 km de côtes. On observe deux types de mangroves : les mangroves d'estuaire ou de fond de baie installées dans les anses où débouchent plusieurs cours d'eau (Dembéni, Chiconi) et les mangroves littorales ou de front de mer qui forment une ceinture parallèle au rivage.

L'évolution des mangroves est soumise, de manière générale, à une forte pression anthropique. Traditionnellement défrichée pour extraire du bois combustible, la mangrove est aujourd'hui victime de l'urbanisation et des travaux de remblaiement.

Cependant les causes de recul peuvent être aussi d'origine naturelle comme dans le cas d'un fort ensablement (Mzouazia).

La dynamique de la mangrove dépend donc du contexte local et du rapport qui s'y opère entre défrichement et envasement.

Part du linéaire côtier suivant la typologie des côtes

Type de côte	Description	Linéaire côtier (en km)	Part du linéaire côtier (en %)
Côte rocheuse	Falaise vive	44	16
	Falaise molle	71	26
Côte à mangrove	Mangrove importante	77	29
	Mangrove éparse	3	1
Côte sableuse	Plage de sable noir	11	4
	Plage de sable mixte	19	7
	Plage de sable blanc	6	2
	Complexe sablo-vaseux	14	5
Côte urbanisée et artificialisée	Côte artificialisée	20	8
	Côte partiellement artificialisée	4	2
	Total	269	100

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Typologie des côtes de Mayotte

Côte rocheuse	Côte à mangrove	Côte sableuse	Côte artificialisée
Falaise de Pamandzi, constituée de matériaux pyroclastiques ponceux (Petite-Terre)	Mangrove de fond de baie à Chiconi	Plage de sable blanc à N'gounja	Plage artificialisée du village de Koungou

Crédits photos : © M. Péroche, 2011

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

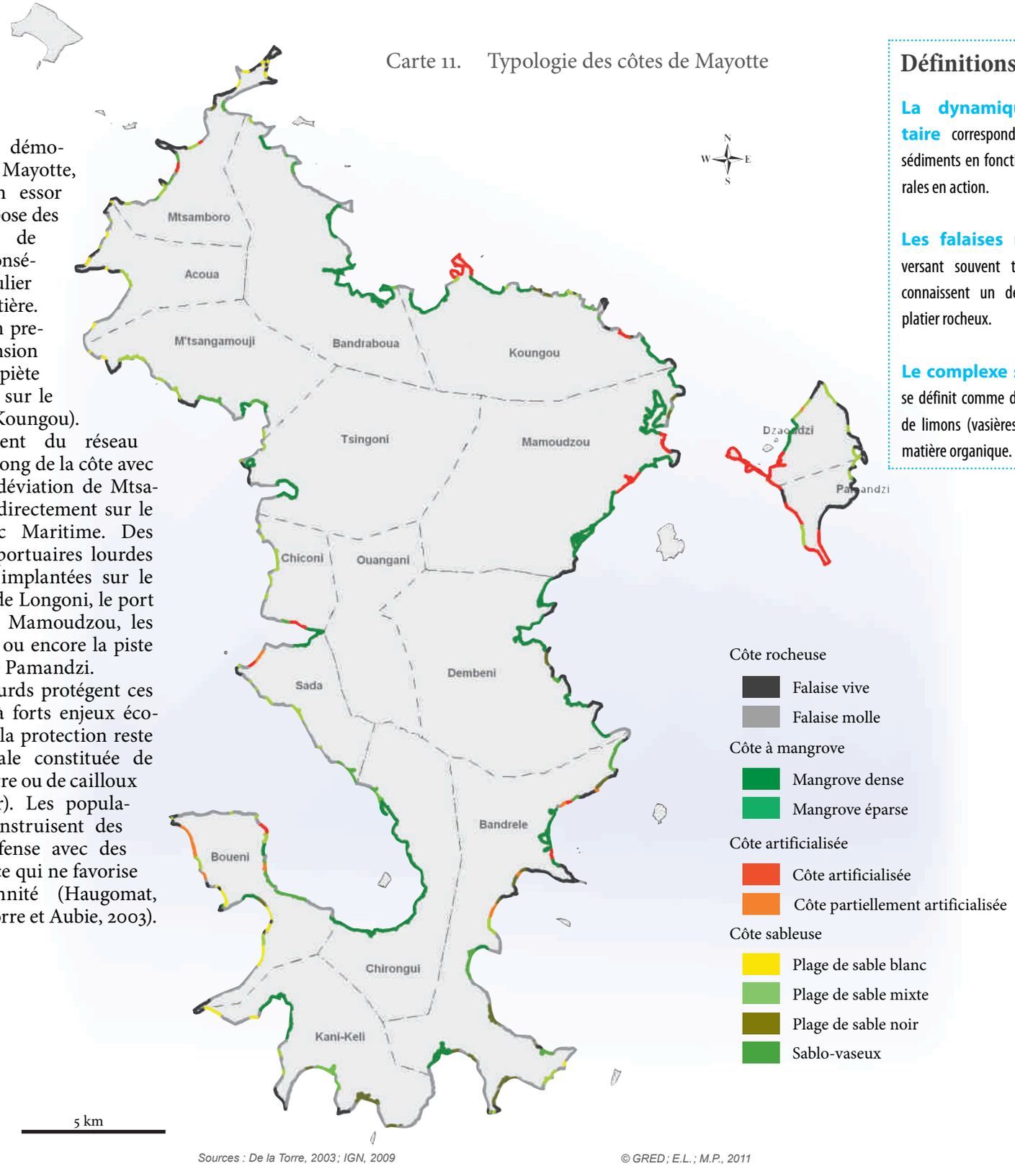
Les côtes sableuses

Le système plage représente 50 km du linéaire côtier soit 18 % du littoral mahorais. On trouve trois grands types de plages : des plages ouvertes présentant des accumulations sableuses longilignes (Sakouli, N'gouja), des plages de « poche » encaissées dans les anses et les criques (Acoua) et des plages adossées représentant de faibles accumulations au pied d'une falaise (Mtsanga Bamana). On trouve à Mayotte des plages de sable noir basaltique (Trévani), de sable blond (N'gouja) et de sable ocre à marron (Longoni, Musical plage). ***La dynamique sédimentaire*** des plages mahoraises se caractérise par une alternance de grandes périodes calmes favorables à la sédimentation et d'épisodes extrêmes ponctuels où les houles de tempêtes et cycloniques entaillent les plages. Le développement urbain à l'arrière des plages a également contribué plus ou moins directement à leur évolution (exemple de Sada), notamment sous l'effet des prélèvements artificiels.

Les côtes artificialisées

La croissance démographique de Mayotte, combinée à son essor économique, impose des aménagements de plus en plus conséquents en particulier sur la frange côtière. Ils concernent en premier lieu, l'expansion du bâti qui empiète progressivement sur le bord de mer (Koungou). Le développement du réseau routier se fait le long de la côte avec par exemple la déviation de Mtsapéré construite directement sur le Domaine Public Maritime. Des infrastructures portuaires lourdes sont également implantées sur le littoral : le port de Longoni, le port de plaisance de Mamoudzou, les gares maritimes ou encore la piste aéroportuaire de Pamandzi.
Des ouvrages lourds protégent ces infrastructures à forts enjeux économiques, mais la protection reste souvent artisanale constituée de petits talus de terre ou de cailloux (majicavo Lamir). Les populations locales construisent des ouvrages de défense avec des moyens réduits ce qui ne favorise pas leur pérennité (Haugomat, 2000 in De La Torre et Aubie, 2003).

Carte 11. Typologie des côtes de Mayotte



Sources : De la Torre, 2003 ; IGN, 2009

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Définitions

La dynamique sédimentaire correspond au transport de sédiments en fonction des forces littorales en action.

Les falaises molles ont un versant souvent très végétalisé et connaissent un démantèlement du platier rocheux.

Le complexe sablo-vaseux se définit comme des plages formées de limons (vasières) associés à de la matière organique.

Pour en savoir plus

- **De La Torre Y. & Aubie S. (2003) — *Étude de la morphodynamique des littoraux de Mayotte, Phase 1 : typologie et tendance d'évolution.***

Les récifs coralliens de Mayotte

Une extraordinaire diversité biologique et géomorphologique

Avec une superficie de près de 1 400 km² et environ 270 km² de structures récifales, le lagon et le réseau de récifs de Mayotte représentent les formations récifales les plus vastes et les plus variées de l'océan Indien. Ils constituent un intérêt patrimonial majeur avec des singularités géomorphologiques et des paysages marins et côtiers variés.

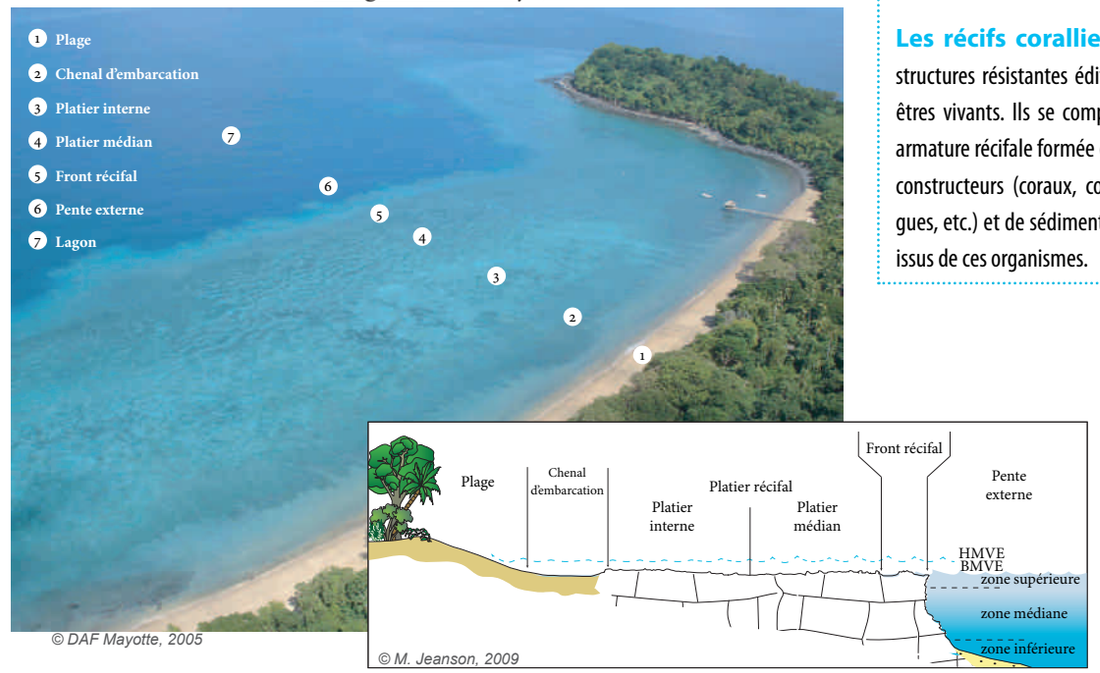
Un écosystème très riche

Les ***récifs coralliens*** constituent les écosystèmes marins les plus complexes, les plus variés et les plus productifs. L'environnement récifal et lagonaire de Mayotte abrite environ 600 espèces de poissons, 254 espèces de coraux durs, plus de 530 espèces de mollusques, 270 espèces d'algues, 5 des 7 espèces mondiales de tortues marines, et 22 espèces de mammifères marins (30 % des espèces mondiales). Au total, ce sont plus de 2 300 espèces qui peuplent les côtes et le lagon mahorais, et ce nombre ne cesse de croître avec la poursuite du recensement de la biodiversité lagonaire qui demeure mal connue.

Les récifs frangeants

Les récifs frangeants sont directement accolés aux terres émergées non récifales. À Mayotte, ils sont larges de 50 à 800 m selon les sites, ceinturent l'ensemble de l'île et les différents îlots sur un linéaire de 160 km. Ils sont parfois interrompus à l'embouchure des rivières les plus importantes, en fond de baies, laissant alors place à un milieu essentiellement sablo-vaseux. D'un point de vue géomorphologique, les récifs frangeants peuvent être décomposés, du trait de côte vers le large, en trois entités principales : la plage, le front récifal et la pente externe qui assure la transition avec le lagon.

Photographie et coupe transversale d'un récif frangeant (Plage de N'Gouja)



© DAF Mayotte, 2005

© M. Jeanson, 2009

Définition

Les récifs coralliens sont des structures résistantes édifiées par des êtres vivants. Ils se composent d'une armature récifale formée d'organismes constructeurs (coraux, coquillages, algues, etc.) et de sédiments détritiques issus de ces organismes.

© M. Jeanson, 2010

Un récif de Mayotte avec ses nombreuses espèces de coraux et de poissons

Le récif barrière

Le récif barrière de Mayotte s'étend sur 157 km (197 km en comptant le banc de l'Iris) et ceinture la totalité de l'île. Il n'est pas homogène sur l'ensemble de sa longueur. Il comprend deux secteurs où il est continu, le premier dans le sud et le second dans l'est et le nord-est. Le reste de la barrière est composé d'alignements de récifs plus petits qui présentent des morphologies plus diversifiées selon leur stade de structuration. Entre ces éléments, existent des portions de barrière submergées en phase de croissance verticale active. Ces secteurs moins continus sont localisés dans le sud-est, où le récif barrière est modérément morcelé, dans l'ouest où il est très morcelé et parfois assez fortement immergé et dans le nord et le nord-ouest où il est faiblement caractérisé. Le récif barrière de Mayotte est entrecoupé de plusieurs passes, remarquables dans leur diversité. On peut compter onze passes auxquelles s'ajoutent quatre fausses passes à travers le Récif du sud et le Grand Récif du nord-est et deux passages larges et mal délimités (Grande Passe de l'ouest, et entre l'îlot Mtsamboro et le récif nord).

Pour en savoir plus

- **Porcher M. *et al.* (2002) — *Plan de gestion du lagon de Mayotte (PGLM). Volet 2 : État des lieux des milieux côtiers et récifo-lagonaires.***
- **Rolland R. *et al.* (2005) — *Mayotte, biodiversité et évaluation patrimoniale. Contribution à la mise en œuvre de l'inventaire ZNIEFF.***
- **Jeanson M. (2009) — *Morphodynamique du littoral de Mayotte, des processus au réseau de surveillance.***

Le lagon et les récifs internes

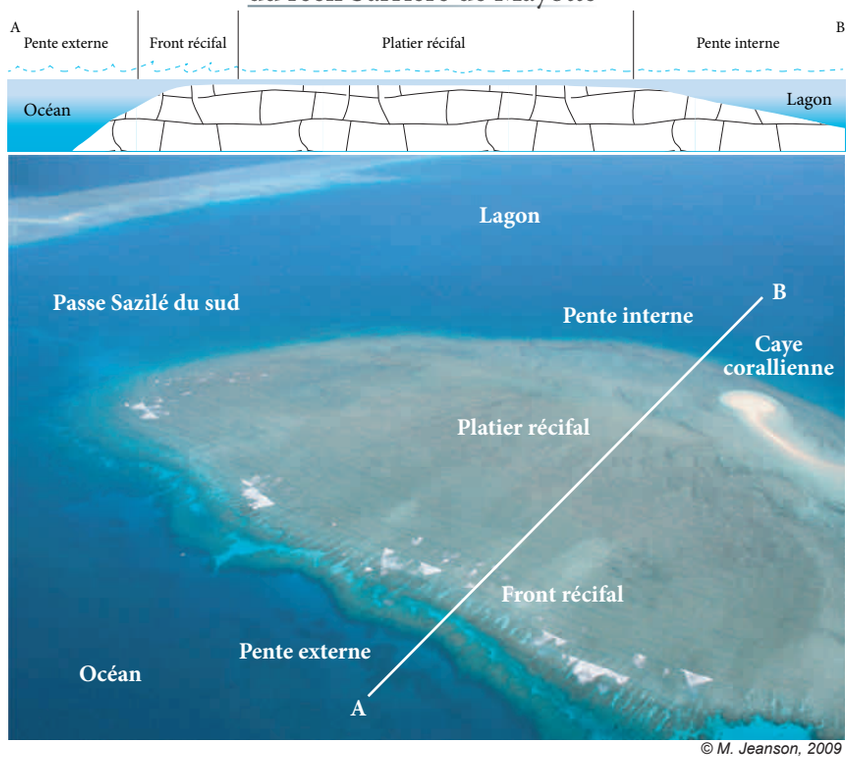
Les caractéristiques et la morphologie du lagon de Mayotte varient d'un secteur à l'autre. Il est plus profond et plus large à l'ouest (60 m de profondeur moyenne, 80 m au plus profond, jusqu'à 15 km de large) qu'à l'est (30 m de profondeur moyenne, 60 m au plus profond, 3 à 9 km de large). Le fond du lagon présente une pente générale vers Mayotte, de sorte que les plus grandes profondeurs se rencontrent aux abords de l'île. Par conséquent, le long du littoral, les fonds descendent rapidement jusqu'à 40 et 50 m. La pente est particulièrement abrupte au niveau des caps et de certaines portions de la côte, alors qu'elle s'adoucit au niveau des grandes baies et/ou des embouchures des rivières importantes. Localement de véritables récifs lagonaires, bien structurés, sont présents.

Ils peuvent être isolés comme le récif de la Prévoyance, ou former une double barrière récifale comme au sud-ouest. Cette double barrière est une formation rare, seulement une dizaine de doubles barrières est recensée à travers le monde.

Protection pour le littoral

Les récifs jouent un rôle important dans la protection des zones côtières contre l'action des vagues lors des conditions normales et lors des tempêtes tropicales ou des cyclones.
En fonction de la largeur, de la profondeur des récifs et de l'état de santé des écosystèmes coralliens, entre 65 et 95 % de l'énergie des vagues sont absorbées, protégeant ainsi le littoral et les infrastructures de l'érosion et de dégâts importants.

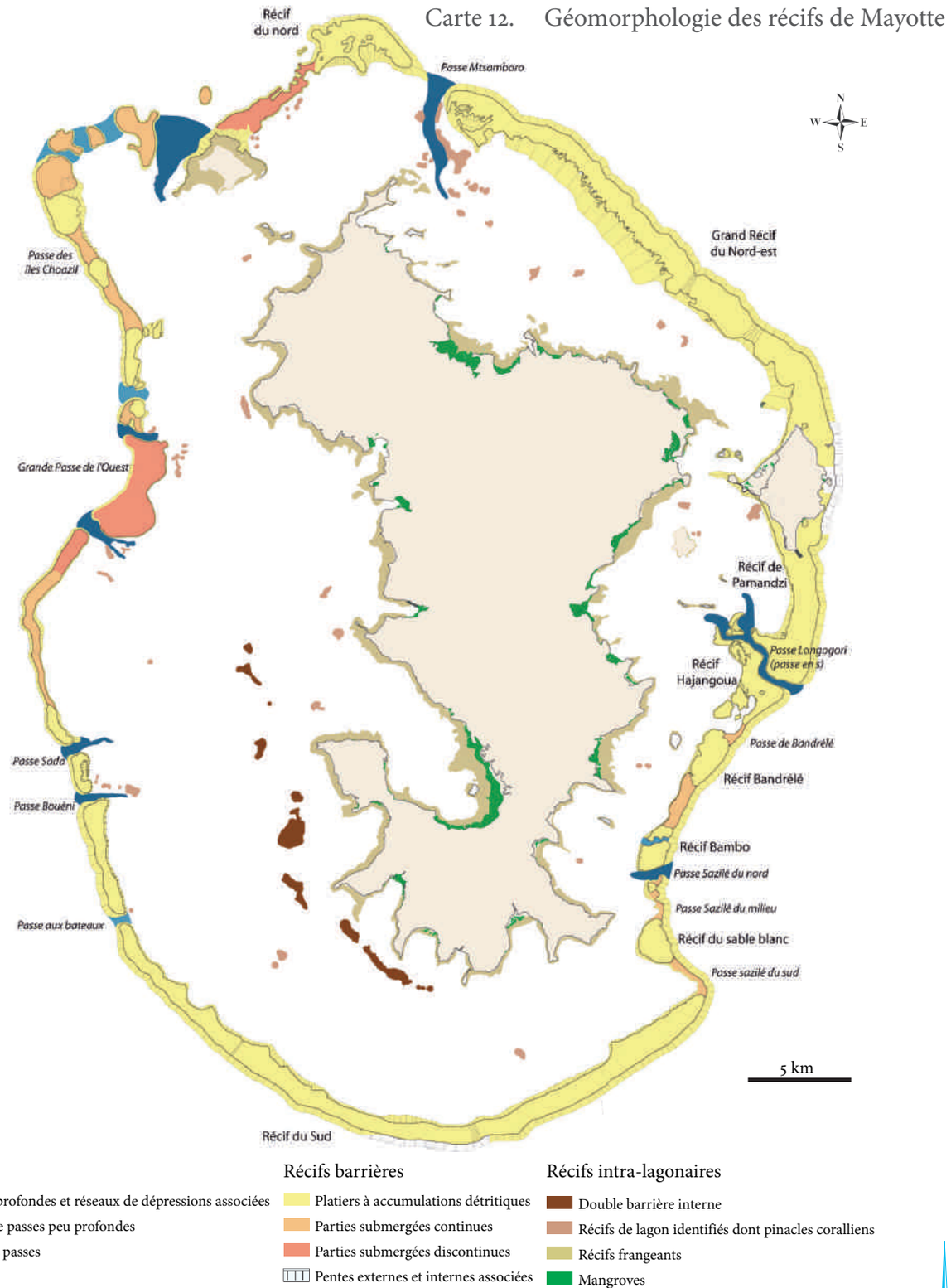
Photographie et coupe transversale d'une portion du récif barrière de Mayotte



© M. Jeanson, 2009

Récif du sable blanc et en arrière plan Récif du sud (sud-est de Mayotte)

Carte 12. Géomorphologie des récifs de Mayotte



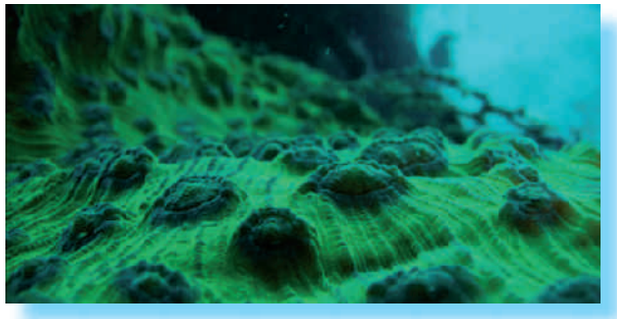
© M. J., 2012

Source : M. Jeanson, 2009 modifié de PGLM, 2002

Le corail en danger

Un patrimoine naturel fragile

Mayotte possède le 2e plus grand lagon fermé du monde mais sa biodiversité est de plus en plus dégradée. De nombreuses agressions sont d'origine anthropique locale ou dues au changement global du climat. Les coraux qui composent les récifs sont des animaux très sensibles aux variations environnementales.



Éruption corallienne

Un organisme mal connu

Le corail est un animal de l'embranchement des cnidaires, comme les méduses. Les colonies de coraux sont constituées de polypes. Il existe différents types de coraux : les coraux mous et les coraux durs (Madréporaires). Ces derniers sont dits bioconstructeurs car ils secrètent leurs propres exosquelettes et forment lentement les récifs. Ce squelette est fabriqué en carbonate de calcium.
Pour se nourrir, le polype déploie ses tentacules urticants pour attraper ses proies apportées par le courant, les zooplanctons. Généralement, le polype vit en ***symbiose*** avec une algue unicellulaire, qui lui fournit de l'oxygène et des nutriments en échange d'un abri et d'un apport en dioxyde de carbone.
Les récifs coralliens forment ainsi un écosystème riche en habitat et en nourriture. Ils abritent de nombreux poissons, mollusques, crustacés… pour un total de 25 % de la biodiversité marine mondiale.

Menacé par la sédimentation ...

Les apports sédimentaires dégradent la santé du corail par deux mécanismes. Le premier est l'action érosive des particules sur la structure externe des coraux. Le second est l'augmentation de la turbidité de l'eau qui diminue la quantité d'énergie solaire nécessaire à la bonne santé de l'algue symbiotique. Ainsi, on trouve peu de coraux à la sortie des embouchures. À Mayotte, l'urbanisation croissante et le défrichement pour l'agriculture augmentent la quantité de sédiments déversés dans le lagon et a pour effet le recul des récifs frangeants. Enfin, l'apport excessif de sédiment recouvre les formations coralliennes qui finissent par s'envaser.

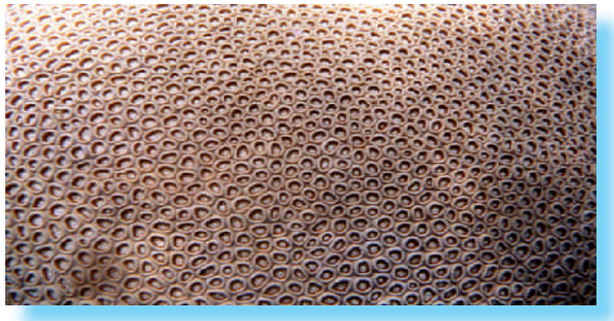
... par l'Acanthaster planci ...

Les Acanthasters sont des étoiles de mer qui se nourrissent de coraux. Elles sont facilement reconnaissables à leurs nombreux bras et à leurs longues épines. Leur taille peut aller jusqu'à 40 cm de diamètre pour un poids de 3 kilos. Elles apparaissent en grand nombre de manière cyclique et consomment de grandes quantités de coraux. Leur prolifération peut poser un problème car elles n'ont pas beaucoup de prédateurs naturels dans le lagon. Les mollusques, triton conque (Charonia tritonis) et le fer à repasser (Cassis cornuta) qui s'en nourrissent sont des espèces rares et protégées. Le baliste titan (Balistoides viridescens) et le napoléon (Cheilinus undulatus) sont des poissons eux aussi trop peu nombreux pour réguler ces pullulations.
Des missions de collectes des Acanthasters sont donc organisées régulièrement pour limiter leurs impacts sur la santé corallienne.

Relief corallien

... et par les agressions mécaniques

Avec le tourisme grandissant et la démocratisation des activités de plage, le corail est de plus en plus en proie au piétinement, au ramassage, aux plongeurs peu attentifs ou aux ancres des navires. De même, la pêche à pied et au filet détruisent ces formations fragiles. Ces pressions ne sont pas négligeables car la croissance du corail est très lente, de 1 cm à 3 cm par an.



Paysage dunaire

Branche et nudibranche

Coraux

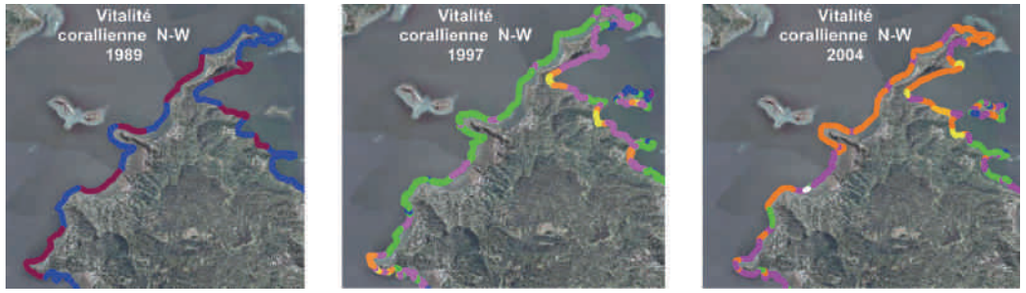
Crédits photos : © T. Roussel, 2012

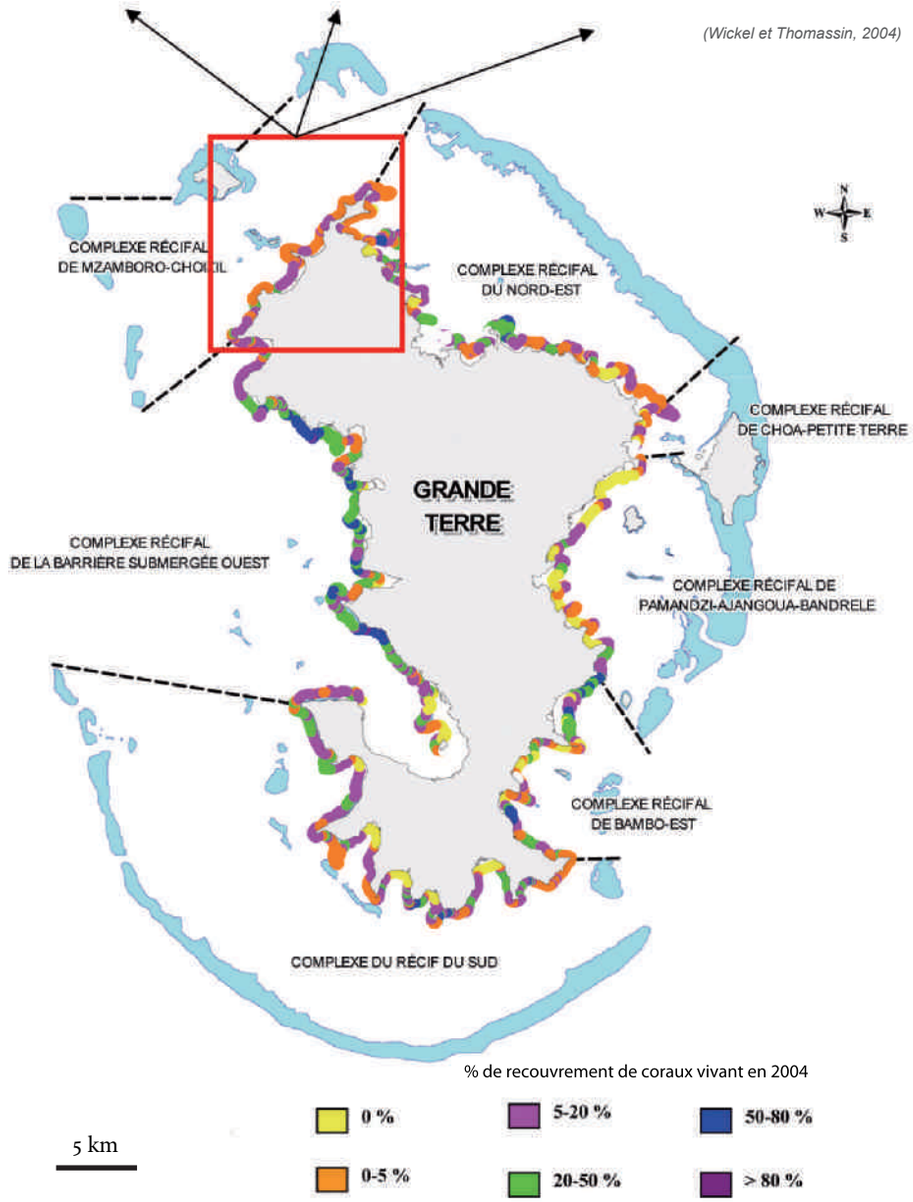
Réchauffement climatique

Les variations de températures de l'océan, liées au changement climatique mondial, perturbent l'environnement marin.
Or la plupart des coraux ne supporte pas de grandes variations de température ; ils sont dits thermosensibles. Un réchauffement trop important des eaux sur de longues périodes (plus de 3 semaines) provoque le blanchissement des coraux qui finissent par mourir. Les réchauffements sont souvent dus au phénomène d'El Niño dont la fréquence semble en augmentation. Les coraux n'ont alors plus le temps de se restaurer entre chaque épisode.
Le réchauffement provoque également l'acidification des océans. Or les coraux comme tous les organismes possédant un test calcaire, ne peuvent plus fabriquer leur squelette ou leur coquille dans un environnement acide.
Enfin, le réchauffement planétaire fait fondre les glaces des pôles et des glaciers. Ainsi le niveau des océans augmente actuellement de 3 mm par an. Une montée trop rapide des eaux par rapport à la croissance des coraux peut les immerger à de trop grandes profondeurs et donc dans une zone où la lumière est insuffisante pour assurer la survie de leurs algues symbiotiques.

Champ de coraux

Carte 13. Évolution de l'état de santé des récifs frangeants (entre 1989 et 2004)





Définitions

Symbiose : association obligatoire entre deux organismes d'espèces différentes, dont les deux tirent un profit nécessaire à leur survie.

Élément-trace métallique : éléments chimiques tels que le plomb, l'arsenic, le cadmium… qui ont tendance à s'accumuler dans la chaîne alimentaire et qui peuvent avoir des effets toxiques à court et long terme.

Eutrophisation : prolifération massive d'algues due à un enrichissement du milieu en éléments nutritifs (nitrates, phosphates).

Les rejets d'eaux usées

Les coraux sont sensibles aux polluants (pesticides, détergents…) et aux ***éléments-traces métalliques*** contenus dans les rejets d'eaux usées. À Mayotte, les infrastructures ne sont pas du tout suffisantes pour traiter la totalité des eaux usées et la plupart sont déversées directement dans le lagon. Ainsi, aux abords des villes principales (Mamoudzou, Sada, Dembéni), de grandes quantités d'eaux polluées nuisent à la santé des coraux. De même les eaux usées chargées en substances nutritives (azote, phosphore, nitrates, matières organiques…) provoquent un phénomène d'***eutrophisation***, qui favorise un développement rapide d'algues filamenteuses qui se fixent sur les coraux et les étouffent.

Pour en savoir plus

- **Nicet J.-B.** ***et al.*** **(2012) —** ***Suivi 2011 de l'état de santé des récifs coralliens de Mayotte.***
- **Thomassin B. A.** ***et al.*****, (1999) —** ***Observatoire des récifs coralliens de Mayotte.***
- **Wickel J., (2005) —** ***Observatoire des récifs coralliens de Mayotte.***

© T. Roussel, 2012 — Corail

© F. Leone, 2014 — Fond marin dans le lagon de Mayotte (Choisil)

L'évolution récente des mangroves de Mayotte

Une dynamique contrastée

Les mangroves de Mayotte se développent sur environ 700 hectares représentant 29 % du linéaire côtier. Sous l'action de différents paramètres naturels et humains, ces mangroves montrent des dynamiques variées suivant les différentes façades de l'île.

Présentation des mangroves

Les mangroves sont des ensembles de formations végétales qui colonisent les vasières ***intertidales*** des régions tropicales. Les espèces végétales qui composent les mangroves ont développé des systèmes adaptatifs qui leur permettent de coloniser ces milieux particuliers, aux sols instables, salés et soumis aux balancements des marées. Les espèces de palétuviers constitutives de la mangrove mahoraise, au nombre de 7, expriment les mêmes caractéristiques que celles que l'on rencontre à Madagascar et en Afrique de l'Est. Aucun endémisme végétal n'apparaît donc dans les mangroves mahoraises. Parmi les espèces présentes *Lumnitzera racemosa* et surtout *Xylocarpus granatum* sont les palétuviers les moins répandus, alors que *Sonneratia alba* en front de mer, les Rhizophoracées *Rhizophora mucronata, Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza* plutôt en position interne, et *Avicennia marina* en bord de tanne, caractérisent la plupart des mangroves mahoraises. Les surfaces occupées par les mangroves mahoraises sont très variables, de quelques dizaines de mètres carrés jusqu'à 200 hectares pour la mangrove la plus importante, celle qui occupe le fond de la baie de Bouéni et qui s'étend sur près de 8 km de côte. Les lieux de prédilection de développement des mangroves sont, en général, les zones vaseuses des fonds de baies, mais elles peuvent croître sur un substrat très sableux, voire dans les anfractuosités des platiers rocheux comme à Moya.

Des évolutions variées

Les mangroves sont des environnements qui évoluent au cours du temps en fonction de nombreux paramètres naturels et humains. Les différentes études sur l'évolution des mangroves de Mayotte révèlent des dynamiques variées entre les différentes façades de l'île. Au sud de Mayotte, les mangroves sont toutes en régression. Elles présentent de nombreux fronts d'érosion marqués par le déchaussement de ***palétuviers*** et la dispersion des sédiments. Les changements apparaissent assez prononcés pour conduire à la disparition de plus de 50 % de certaines mangroves depuis 1950 comme pour celles de Dapani et de Mrona-Béja. À l'inverse, les mangroves de la côte nord de Mayotte apparaissent stables (Dzoumogné, Longoni) ou en légère progression (Kangani, Majicavo). La mangrove des Badamiers sur Petite-Terre fait figure d'exception. Elle présente une extension considérable de sa surface passant de 0 ha en 1950 à plus de 30 ha actuellement. Son développement rapide semble témoigner d'un véritable changement de conditions de milieu au cours des dernières décennies malgré un environnement très urbanisé. Quelques mangroves du nord de Mayotte montrent cependant une réduction importante de leur surface. Ces mangroves se situent à proximité du port de Longoni et de l'agglomération de Mamoudzou.

Définitions

Intertidale : zones comprises entre les plus basses mers connues et les plus hautes mers connues.

Palétuvier : arbre capable de se développer dans la zone de balancement des marées, sur un sol mou et salé.

Pour en savoir plus

- **Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF) (2006) — *Atlas des mangroves de Mayotte.***
- **Jeanson M. (2009) — *Morphodynamique du littoral de Mayotte, des processus au réseau de surveillance.***
- **Jeanson M. (2014) — *Mangrove Evolution in Mayotte Island, Indian Ocean.***

Jeunes palétuviers colonisant la vasière des Badamiers sur Petite-Terre

Érosion et déchaussements de palétuviers dans la mangrove de Dapani

Augmentation des pressions

Les écosystèmes mangroves sont sujets à des perturbations naturelles. Insectes, maladies, tempêtes et cyclones tropicaux, changement du niveau marin et changements climatiques sont des facteurs naturels qui les perturbent à différentes échelles spatiales et temporelles. Cependant, la régression de la majorité des mangroves de Mayotte résulte d'une augmentation des pressions humaines. La croissance de la population transforme, pollue ou modifie les mangroves, souvent avec des impacts plus sévères à plus long terme que les perturbations naturelles. À proximité des agglomérations les plus importantes, la réalisation d'infrastructures lourdes, en liaison avec le développement économique de Mayotte, est la principale cause de la régression des mangroves. Par exemple, la création puis les extensions successives du port de Longoni dans les années 1990 et 2000 ont conduit à la disparition totale de la mangrove dite du Port.

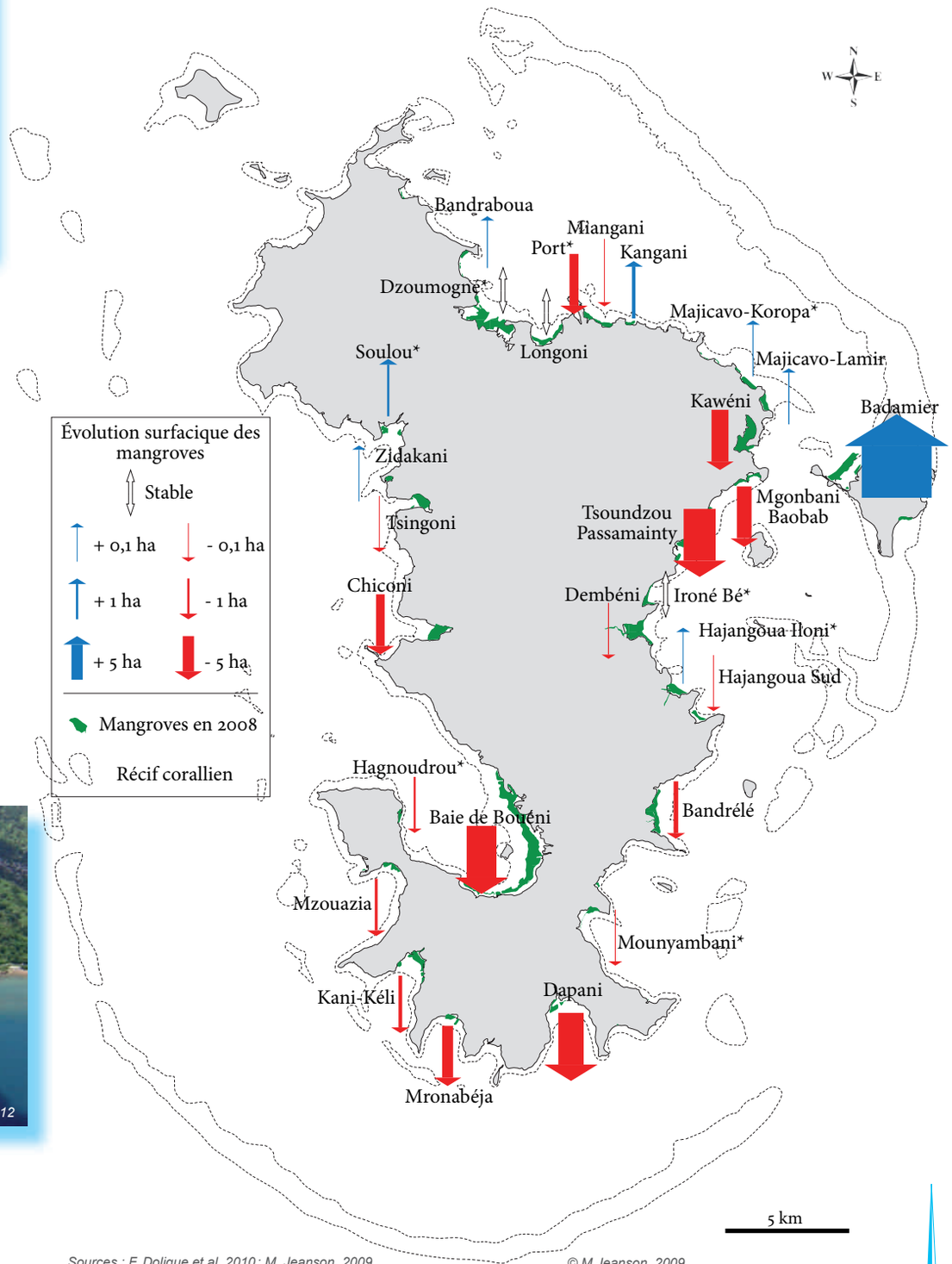
Vue aérienne de la mangrove de Dzoumogné. Avec plus de 100 hectares, il s'agit de la deuxième plus vaste mangrove de Mayotte. Elle montre une stabilité de sa surface depuis 50 ans

Les travaux routiers sont également une cause de la forte régression des mangroves du sud de l'agglomération de Mamoudzou durant les 20 dernières années. Les pressions humaines sont plus ponctuelles à proximité des villages. Il s'agit généralement d'actions de défrichements et de coupes localisées de palétuviers sur les tannes pour l'extension de l'habitat et/ou de l'agriculture.

La rocade sud de Mamoudzou. Cette route a été construite dans les formations internes de la mangrove de Passamaïnti

Le port de Longoni sur la côte nord de Mayotte. Une partie de la mangrove a été détruite pour l'extension des quais et des activités portuaires

Carte 14. L'évolution des mangroves de Mayotte (entre 1949 et 2008)



Sources : F. Dolique et al, 2010 ; M. Jeanson, 2009

© M.Jeanson, 2009

La flore de Mayotte

Malgré sa taille modeste, Mayotte n'a fait l'objet que de prospections floristiques ponctuelles jusqu'en 1995. Ce n'est qu'à partir de cette date, début de l'inventaire forestier, que l'on a commencé à mesurer la grande richesse floristique de cette île, sans cesse confirmée au gré de nouvelles découvertes.

De gauche à droite et de haut en bas:
Angraecum leonis (Rchb. f.) J.H. Veitch Orchidaceae
Psiadia pascalii Labat et Beentje Asteraceae
Chassalia comorensis Bremek. Rubiaceae
Danais humblotii Homolle Rubiaceae
Aloe mayottensis A. Berger Asphodelaceae
Deidamia bipinnata Tul. Passifloraceae

Crédits photos : © V.G., 2013

Inventaire floristique

Depuis 2000, l'inventaire floristique a été étendu à l'intégralité du territoire et à tous les groupes taxonomiques. L'intérêt développé par le Muséum national d'histoire naturelle s'est traduit entre 2000 et 2003 par plusieurs missions de prospection. Un index de la flore vasculaire (Boullet, 2005) a été publié. En 2007, l'installation à Mayotte d'une antenne du Conservatoire botanique national de Mascarin a permis de poursuivre les travaux de connaissance du patrimoine végétal de l'île.

En 2013, 1323 taxons concernant les plantes vasculaires (plantes à fleurs et fougères) sont recensés avec 47 % d'espèces ***indigènes***, soit 619 espèces et 53 % d'espèces ***exotiques***, soit 704 espèces. La diversité floristique se caractérise par un nombre de familles et d'espèces élevé et par un taux d'***endémisme*** faible, soit 6 %.

Origine des espèces

L'histoire géologique de l'île de Mayotte ainsi que les caractéristiques de la flore — (les espèces d'origine malgache sont trois fois plus nombreuses que celles d'origine africaine) — permettent d'avancer des hypothèses sur l'établissement de la flore de l'île (1) une première vague de migration d'origine essentiellement malgache à la fin du tertiaire (2) ce stock ancien d'espèces a dû considérablement se réduire lors du volcanisme explosif récent (500 000 ans) où il est probable qu'une grande partie de la flore en place ait disparu (3) cette période a été suivie par la grande régression marine (période glaciaire de -110 000 à -10 000 ans).

Conservation

Face à la perte importante de biodiversité et du nombre d'espèces menacées (35 en danger critique d'extinction), du fait de leur rareté et de la destruction de leur habitat, des « Plans Directeurs de Conservation » ont été mis en place pour établir un bilan des connaissances sur les espèces concernées et définir un plan d'actions favorables à leur conservation (*in-situ* et *ex-situ*).
Quatre plans ont été rédigés sur le territoire de Mayotte. Ils concernent :

— *Coffea humblotiana Baill. (Rubiaceae)* : arbuste de forêt humide connu sur trois localités (< 250 individus) ;

— *Cyathea boivinii Mett. ex Kuhn (Cyatheaceae)* : fougère terrestre arborescente de forêt humide d'altitude et de ***ripisylve*** connue sur quatre localités (> 250 individus) ;

— *Adansonia madagascariensis Baill. (Malvaceae)* : baobab représenté par sept individus sur deux localités littorales en forêt sèche ;

— *Lagrezia comorensis Cavac. (Amaranthaceae)* : espèce herbacée présente sur le littoral rocheux de la Réserve nationale de l'îlot Mbouzi (< 250 individus).

Depuis 2006, un arrêté préfectoral (AP n° 42/DAF/2006 du 3 mai 2006), fixe la liste de 111 espèces végétales protégées et règlemente leur utilisation dans le département.

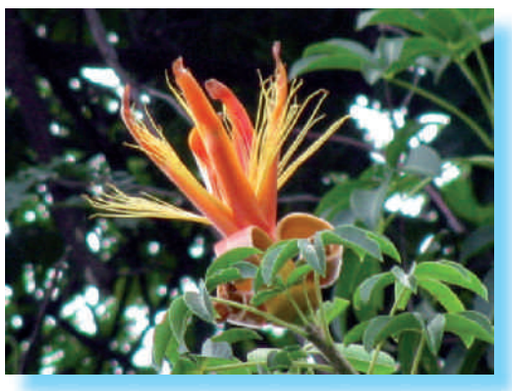
L'herbier de Mayotte

Il a été créé en 1992 par la direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte (DAF), géré depuis 2008 par le Conservatoire botanique national de Mascarin (CBNM) et installé depuis 2010 à Coconi.

Il s'étend sur 15 m² et regroupe 162 familles. Actuellement plus de 3 200 échantillons sont entreposés, représentant environ 1 000 espèces présentes à Mayotte. Des échantillons récoltés dans les autres îles des Comores y sont également déposés (Mission Grande Comore 2006 et Anjouan 2009) .

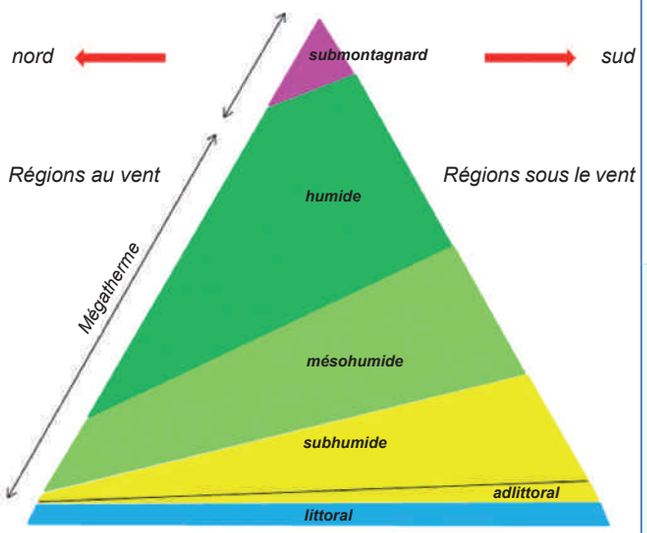
Enrichi au cours de son histoire par nombre de récolteurs de la DAF (Barthelat, Mchangama, Siffarii, Mas, Menager), du Muséum national d'histoire naturelle (Labat, Pascal, Pignal, Mouly, Rakotondranaibe, Rouhan), du Kew Garden (Hofmann) et aujourd'hui du CBNM (Viscardi, Guiot), l'herbier bénéficie de l'appui du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, auquel sont envoyés systématiquement des doubles des échantillons récoltés. Toutes les récoltes effectuées par O. Pascal et F. Barthelat sont dupliquées dans quatre herbiers mondiaux (P, K, MO, G).

Depuis 2009, il fait partie du réseau des herbiers de France, au sein duquel il est désigné par l'acronyme « MAO » en référence à Maoré — Mayotte en shimaoré — et en hommage également à Maoulida Mtchangama, l'encyclopédie vivante des usages médicinaux des plantes de Mayotte.
L'informatisation complète de l'herbier est également projetée à court terme.



Fleur rouge de baobab

Étagement de la végétation



Source : Conservatoire botanique national de Mascarin

Affinités géographiques

- Endémiques strictes (soit 36 espèces)
- Endémiques archipel des Comores (soit 56 espèces)
- Endémiques Madagascar et archipel des Comores (soit 129 espèces)
- Autres (taxons à large répartition) (soit 404 espèces)

Pour en savoir plus

- Boullet V. (2005) — *Aperçu péliminaire de la végétation et des habitats de Mayotte.*
- Fadul R. (2011) — *Typologie des habitats naturels de Mayotte.*
- Guiot V. (2011) — *Délimitation des zones humides de Mayotte.*
- http://floremaore.cbnm.org
- http://mascarine-mayotte.cbnm.org
- www.mnhn.fr/base/sonnerat.html

Étage sub-montagnard	**Pluviosité > 2 000 mm** Cette zone baignée par les nuages concerne les crêtes des monts Bénara et Mtsapéré au-dessus de 550 m. L'ambiance chaude et humide est propice aux plantes *épiphytes* (fougères, orchidées, lichens). Le piton rocheux du Choungui dont le sommet culmine à 584 m présente une végétation d'altitude plus sèche qualifiée de « xéro-submontagnarde » de par son exposition forte aux alizés.	 *Végétation épiphytique mont Bénara*
Étage humide	**Pluviosité > 1 600 mm** Il occupe les parties hautes de l'île comprises entre 300 et 550 m et présente les caractères des forêts ombrophiles tropicales : grande diversité d'espèces ligneuses sempervirentes, canopée entre 20 et 30 m, présence de lianes.	 *Forêt ombrophile au pied du mont Choungi*
Étage mésohumide	**Pluviosité 1 200-1 800 mm** Cette zone de transition associant des plantes de zone humide et subhumide concerne, entre autres, les forêts de Sohoa et Dapani et présente une forte originalité floristique.	 *Forêt de Sohoa*
Étage sub-humide	**Pluviosité < 1 300 mm** Étage marqué par une forêt caducifoliée associée à des fourrés secs. On retrouve ce type de végétation principalement sur le piémont des versants sous le vent et sur quelques franges côtières au vent (pointe d'Handréma, bordures basses de la forêt de Sohoa…) ainsi que sur Petite-Terre et les îlots.	 *Forêt caducifoliée de Mutsamudu*
Étage littoral	**Pluviosité 900 mm** Zone caractérisée par différents habitats dont les plages de sable et de galets, les falaises et côtes rocheuses (cinéritiques et basaltiques), les mangroves et forêts supra-littorales.	 *Plage de sable et falaises cinéritiques Petite-Terre*

Définitions

Exotique : désigne une espèce qui croît hors de sa région d'origine, introduite volontairement ou non par l'homme.

Indigène : désigne une espèce présente naturellement sur un territoire donné, sans l'intervention de l'homme.

Endémique : désigne une espèce qui n'existe que sur un territoire donné.

Épiphyte : qualifie une plante vivant sur une autre plante sans la parasiter.

Ripisylve : végétation forestière associée aux rivières.

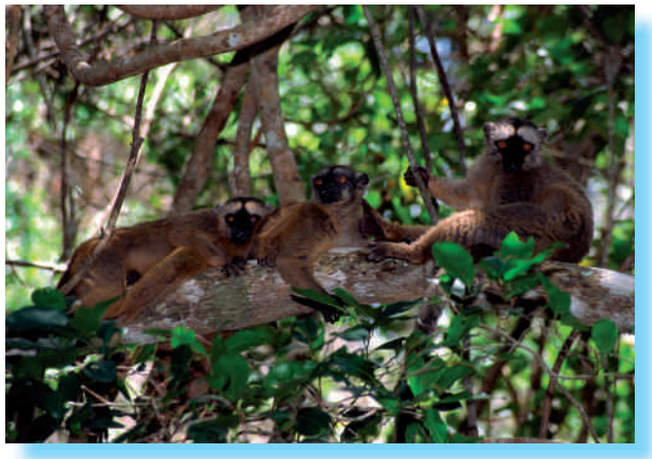
Il existe à Mayotte une région au vent (au N-O) et une région sous le vent (au S et à l'E) du Bénara.

En fonction de l'altitude, des régimes pluviométriques et des vents dominants, cinq étages de végétation sont déterminés.

Le lémurien brun de Mayotte, espèce patrimoniale

La conservation du lémurien brun, un enjeu forestier

Le lémurien brun (*Eulemur fulvus*) est, avec le lémur mongoz (*Eulemur mongoz*), l'une des 2 espèces de lémuriens vivant hors de Madagascar. Le premier a colonisé l'ensemble des faciès forestiers de l'île de Mayotte tandis que le second habite les dernières forêts d'altitude des îles d'Anjouan et de Mohéli.



Animaux forestiers et sociaux, les makis se reposent aux heures chaudes de la journée pour réduire leurs dépenses énergétiques

Les raisons de l'arrivée des lémuriens sur ces îles sont indéterminées. Les seuls éléments archéologiques existants concernent les lémurs bruns. Ce sont trois morceaux de mandibules voisins de poteries datant du IXe siècle de notre ère et découverts par l'archéologue Allibert en 1984 sur le site archéologique de Dembéni. Le lémurien brun serait ainsi contemporain des premiers peuplements humains de Mayotte et aurait été apporté par les malgaches lors de leurs déplacements vers l'archipel des Comores. Ces animaux sont communément appelés « maki » en français, « Komba » en shimahorais et « Ankomba » en shibushi à Mayotte.

Présentation de l'espèce

Le lémurien brun de Mayotte est un primate ***strepsirhinien*** de la famille des lémuriformes. Il appartient au genre *Eulemur* qui regroupe 12 espèces toutes classées en annexe I de la ***CITES*** et menacées, à divers degrés, d'extinction. Le lémurien brun n'est cependant pas considéré comme immédiatement menacé d'extinction même si la taille des populations de l'espèce décline à Mayotte comme à Madagascar.

Le lémurien brun de Mayotte est légèrement plus petit que son cousin malgache. Il pèse entre 1,7 et 2,7 kg à Mayotte et mesure entre 40 et 50 cm. Cette taille double si on y ajoute la queue. Le ***dimorphisme sexuel*** est peu marqué même s'il semble à l'avantage des femelles. Ces dernières se distinguent des mâles par un pelage plus sombre qui varie du brun-roux au marron foncé. Celui des mâles évolue du gris au brun. Les mâles présentent aussi une face aux sourcils épais et aux bajoues fournies. Les makis possèdent des glandes péri-annales, frontales et à la base des poignets dont les secrétions servent à la communication chimique entre individus et entre groupes.

Ils présentent aussi une adaptation physiologique rare chez les primates. Ils sont capables de réguler leur température corporelle lorsqu'il fait trop chaud ou trop froid pour limiter leur dépense énergétique en abaissant leur métabolisme.

Il a été mis en évidence chez le lémurien brun de Mayotte un rythme d'activité sur 24h en saison sèche. Ce rythme d'activité, ou ***cathéméralité***, s'explique principalement par la pauvreté du régime alimentaire des makis pendant l'hiver austral. Riche en fibres, éléments accélérateurs du transit intestinal, il impose aux animaux de s'alimenter régulièrement pour satisfaire leur besoins en nutriments et en énergie dont l'absorption est contrariée.

Le maki vit en groupe de 4 à 9 individus en général dont la structure est composée de 2 à 3 femelles accompagnées de leur jeune de l'année et d'un mâle, dit périphérique, soit au final autant de mâles que de femelles adultes dans un groupe (sexe-ratio équilibré). Ces dernières sont fortement suspectées d'être dominante sur les mâles même si aucun système de dominances n'a pu être mis en évidence chez l'espèce avec certitude. Il existerait aussi une hiérarchie entre les femelles d'un côté et entre les mâles de l'autre. L'espèce est considérée comme présentant une grande tolérance inter-individuelle.

Le maki est une espèce dont la reproduction est saisonnière. Les accouplements se déroulent d'avril à juin et les naissances, rarement gémellaires, de fin septembre à la mi-novembre avec un taux de fertilité moyen des femelles de 35 %. Les jeunes sont sevrés à l'âge de 5 mois révolus et seulement un sur deux survivra à sa première année. Les femelles se reproduiront à l'âge de 18 mois et les mâles à partir de 2 ans et demi.

Crédits photos : © L. Tarnaud, 2013

Territoire du lémurien

Définitions

Cathéméralité : les animaux cathéméraux ont des périodes d'activité aussi bien pendant le jour que la nuit. Ils ne sont donc pas, ou diurnes, ou nocturnes comme étaient classé tous les primates avant la mise en évidence de la cathéméralité chez les lémuriens bruns de Mayotte par l'anthropologue américain Ian Tattersall en 1974.

CITES : la CITES est la convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction. Elle est aussi désignée sous le terme Convention de Washington. Elle veille à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent.

Dimorphisme sexuel : ensemble des différences morphologiques entre les mâles et les femelles (taille, couleurs...).

Strepsirrhiniens : les strepsirrhiniens forment avec les happlorrhiniens l'ordre des primates. Les strepsirrhiniens regroupent les infra-ordres des lémuriformes (les lémuriens) et des lorisiformes (les loris). Les happlorrhiniens correspondent à tous les autres singes, dont l'homme.

Carte 15. Taille des populations de lémuriens bruns des différents massifs forestiers (forêts préservées) à Mayotte (2012)

Une espèce forestière

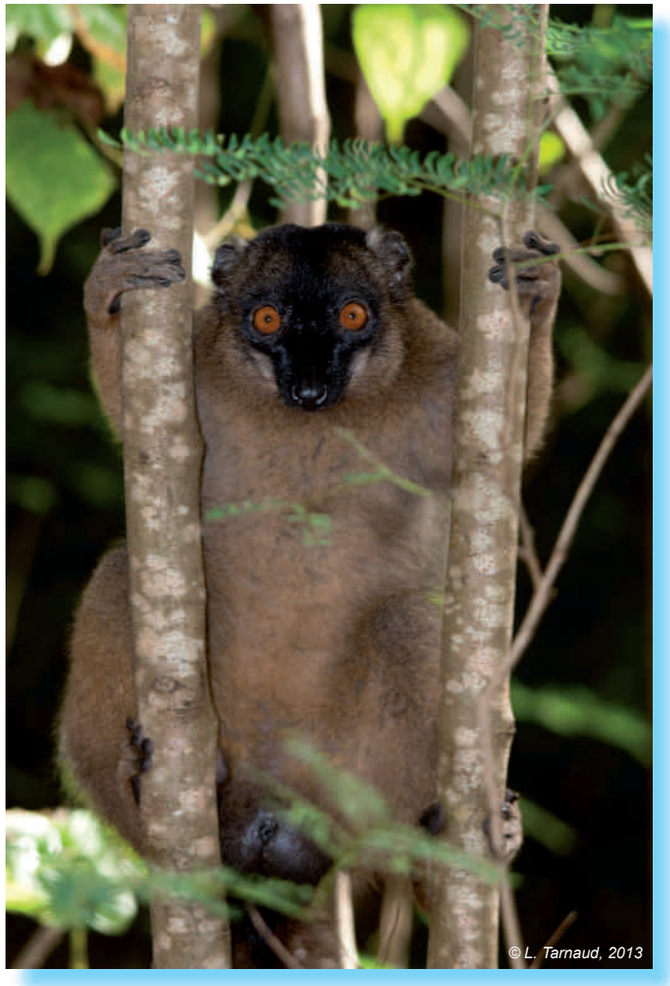
Le lémurien brun est une espèce arboricole qui passe 98 % de son temps dans les arbres. Il descend peu au sol où il est vulnérable même si à Mayotte il compte peu ou pas de prédateurs à l'exception des chiens errants et sans doute de la civette pour les plus jeunes. Il se rencontre dans tous les types forestiers de Mayotte (forêt humide, forêt de transition et forêt sèche) quels que soient leurs degrés de transformation par les activités humaines.

Cependant, c'est dans les forêt ayant une canopée peu ouverte (< 30 %) et d'altitude inférieure à 350 m que ses densités moyennes sont les plus importantes. Sa présence dépend aussi de grands arbres dont les branches et fourches horizontales servent aux déplacements et au repos.

Les groupes de makis occupent des domaines vitaux de très petite taille. Leur superficie moyenne varie de 1 (forêt humide) à 1,5 hectare (forêt sèche) contre 5 à 25 hectares dans la Grande Île. L'espèce, à Mayotte, ne serait territoriale qu'en forêt sèche alors qu'en forêt humide les individus passent régulièrement d'un groupe à l'autre.

Inféodés aux faciès forestiers, les lémuriens bruns ont un régime alimentaire frugivore-folivore opportuniste (sont ingérés en grande quantité les aliments les plus abondants du moment). Ils consomment principalement des fruits et des feuilles et ingèrent en complément des fleurs, des bourgeons et des invertébrés. Ils sont aussi capables de consommer de petits vertébrés (lézards, caméléons) et des œufs ainsi que de la terre, des écorces et des champignons (certainement pour les minéraux).

En tout, plus de 150 aliments ont été observés mangés par les lémuriens bruns à Mayotte. D'autres sont toujours à découvrir. Selon les mois et les saisons, les fruits représentent 50 % à 90 % de leur régime alimentaire et les feuilles 15 % à 45%.


© L. Tarnaud, 2013

Pour en savoir plus

- Tarnaud L. *et al.* (2012) — *Le maki de Mayotte.*
- Tonabel J. *et al.* (2011) — *Decline and structural changes in the population and groups of the Mayotte brown lemur (Eulemur fulvus).*
- Tarnaud L. (2006) — *Cathemerality in the Mayotte Brown Lemur (*Eulemur fulvus*) : Seasonality and Food Quality.*
- Tarnaud L. (2004) — *Ontogeny of Feeding Behaviour of* Eulemur fulvus *in the Dry Forest of Mayotte.*
- Tarnaud L. & Simmen B. (2002) — *A Major Increase of the Lemur Population of Mayotte since the Decline Reported in 1987.*
- Tattersal I. (1977) — *Ecology and Behavior of* Lemur fulvus mayottensis, *(Primates lémuriformes).*

Le lémurien brun face à la déforestation

La culture sur brûlis trop souvent répétée ne permet pas à la forêt de reprendre et oblige l'homme à toujours gagner sur la forêt, y compris en zone de fort relief comme ici dans le Mlima Mtsapéré

Risques et enjeux de la conservation du lémurien brun

Traditionnellement considéré comme cousin de l'homme à Mayotte (un conte rapporte que les makis sont issus de la transformation en lémurien d'un jeune enfant indiscipliné après que sa mère l'eut frappé avec une louche pour servir le riz), la perception des makis a changé ces trente dernières années au contact des métropolitains et du fait de la croissance démographique et des changements économiques induisant une exploitation plus importante des ressources et des espaces forestiers. Le maki est aussi devenu un réel emblème de l'île repris par les acteurs économiques pour le nom des boutiques et pour leur logo.

Dans les années 1980, les Mahorais ont arrêté de capturer de jeunes makis non encore sevrés pour s'en servir d'animal de compagnie. Ils ont partiellement adopté la démarche des métropolitains qui y voient « un ours en peluche » exotique. *A contrario*, les cultivateurs, développant une agriculture de moins en moins vivrière, se sont mis à percevoir les makis comme des nuisibles consommant les cultures fruitières de rente.

Par ailleurs, les gens ont tendance à croire que les lémuriens sont de plus en plus nombreux du fait des dégradations occasionnées. Mais de nombreux métropolitains ont pris l'habitude de les nourrir et se plaignent ensuite d'être envahis ou victimes de comportements agressifs. L'espèce n'est pourtant absolument pas agressive dans son milieu naturel.

De 1974 (premier recensement) à 2012, la population de lémuriens bruns de Mayotte a décru de 60 à 80 % du fait de la déforestation. Entre 1999 et 2008, il a été estimé que l'île avait perdu 40 % de sa surface forestière, soit un grignotage moyen annuel de 150 hectares. En 2012, les surfaces forestières (dont la canopée fermée à au moins 70 %) abritaient entre 5 700 et 10 000 makis.

La déforestation a un second effet sur les populations de primates. Appelé « ***effet lisière*** » par les écologues, il se traduit par une parcellisation et un mitage des espaces forestiers qui augmentent la frontière entre la forêt et les zones exploitées par l'homme, provoquant la diminution des densités animales et la réduction de la taille des groupes. Ces adaptations à la dégradation de leur environnement permettent aux makis de réduire la compétition alimentaire *intra* et inter-groupes. Ainsi, la taille des groupes de lémuriens bruns s'est contractée d'un quart entre 1999 et 2012, passant en moyenne de 8,7 (± 0,2) individus à 6,6 (± 0,5).

Le développement des activités humaines, qui s'effectue au détriment des forêts, renforce actuellement à Mayotte l'isolement des massifs forestiers de Dzoumogné (crêtes du Nord), de Dapani et de Sohoa des trois autres grands massifs forestiers du Mtsapéré, de Combani et du Bénara. Les dernières forêts mahoraises couvrent moins de 8 % de l'île aujourd'hui. Elles abritent en moyenne 3 (± 0,8) individus et 0,5 (± 0,1) groupe par km².

La conservation du lémurien brun de Mayotte est intimement liée à la qualité de vie des Mahorais et à l'exercice d'une activité agricole qui devrait respecter l'habitat forestier. La forêt offre de nombreux services à l'homme : attraction des pluies, ralentissement de l'écoulement des eaux pluviales, protection contre le lessivage des terres fertiles et l'envasement du lagon.

La survie des makis, patrimoine emblématique de l'île aux parfums, nécessite donc la mise en place d'une gestion des forêts efficace qui passe par une police de l'environnement pérenne, des actions de reboisement dans les réserves administratives et la mise en protection des derniers massifs forestiers. Cette politique doit s'accompagner d'une évolution des pratiques agricoles qui pourrait intégrer une réduction des surfaces des parcelles cultivées sur les terrains en pente et la réinstallation de haies autour des cultures. Ces haies permettraient de ralentir l'écoulement des eaux de pluies, apporteraient de la fraîcheur et serviraient de barrage « alimentaire » contre les intrusions de lémuriens dans les champs. Elle pourrait porter des lianes comme le « Houbouhoubou » (*Saba comorensis*) et dont l'ensemble des parties est mangé par les makis (les hommes en consomment les fruits avec délices).

Toutes ces actions doivent s'appuyer sur une sensibilisation des acteurs locaux et des usagers des espaces non urbains. La survie du maki passe par celle de la forêt dont la présence déterminera grandement le bien-être futur des habitants de Mayotte.

Définition

Effet lisière : l'effet lisière (ou effet de bordure) traduit l'influence de l'ouverture du milieu sur la répartition et l'abondance des espèces présentes à proximité de la lisière.

La déforestation est un enjeu global à Mayotte qui dépasse la survie des espèces forestières terrestres. En dénudant les sols, elle favorise l'envasement rapide du lagon dont les récifs frangeants servent de nurseries à de nombreuses espèces de poissons. Elle dégrade les ressources piscicoles exploitées par l'homme

Crédits photos : © L. Tarnaud, 2013

© L. Tarnaud, 2013 — Lémuriens bruns de Mayotte

Point méthodologique sur les référentiels cartographiques

Présentation et critique des référentiels

À Mayotte, les données cartographiques à grande échelle ne manquent pas mais demeurent très dispersées. Nous avons réuni une grande quantité de données numériques, aux formats ***raster***, ***grid*** et ***vecteur***. Ces données ont été harmonisées et structurées au sein d'un Système d'information géographique.

Actualisation permanente des données

Mayotte est un territoire en constante mutation. Les données cartographiques sont parfois vite dépassées et nécessitent une mise à jour quasi permanente. C'est pourquoi il est important de comparer les bases de données acquises avec des référentiels de sources connues. Certaines données vectorielles sont inexploitables à cause de leurs tables attributaires non renseignées. Nous nous sommes principalement basés sur l'orthophoto de 2008 pour vérifier nos tables de référence. À l'aide de cette image géoréférencée nous avons pu vérifier le calage des données représentées et ajuster nos objets.

Mise à jour du système de coordonnées de référence

Un nouveau ***système de coordonnées géodésiques*** de référence a été défini à Mayotte par le décret d'application du 3 mars 2006. Il s'agit du RGM04 (Réseau géodésique de Mayotte 2004). Ce nouveau référentiel a été conçu pour matérialiser sur les îles de Grande-Terre et Petite-Terre un système de coordonnées précis et adapté aux technologies modernes. Il est donc compatible avec ***les systèmes de coordonnées de références*** mondiales notamment le système international WGS84 (World Geodetic System 1984) utilisé par le positionnement GPS. Il a été réalisé par le département des réseaux géodésiques de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). La loi de 1999 oblige l'État et les collectivités locales à se rattacher au système national de référence de coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques. Il a donc fallu transposer les données de l'ancien système de référence de Mayotte, le Combani 1950, au nouveau, le RGM04. Actuellement, de nombreux documents cartographiques sont encore géoréférencés en Combani 1950.

Définitions

Un système de coordonnées géodésiques représente les coordonnées d'un objet en termes de latitude et de longitude.

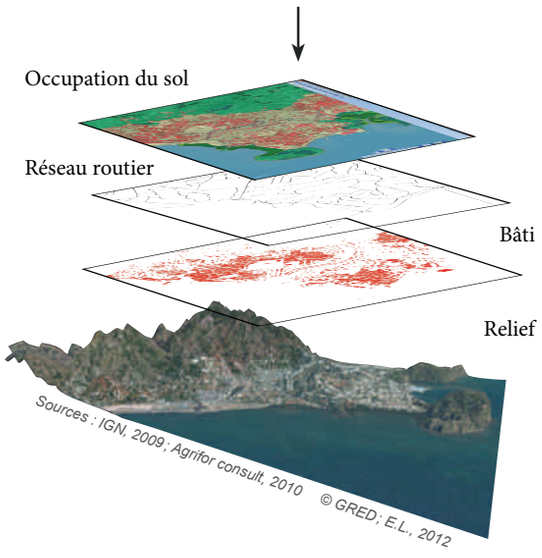
Un système de coordonnées de référence est défini par un ensemble de paramètres mathématiques et il est reconnu par tous au niveau national ou international.

Le format raster est celui d'une image numérique, composée d'une matrice de cellules de même taille appelées pixel. La variation de la taille du pixel change la résolution de l'image. Chaque pixel porte une valeur numérique qui permet de représenter différents attributs tels qu'un code couleur par exemple.

Le format vecteur permet de représenter des données spatialisées sous la forme de points, de lignes ou de polygones. Les attributs associés aux entités spatiales sont stockés dans des tables de données descriptives.

Le format grid est utilisé par certains logiciels. Il désigne des données dérivées souvent utilisées pour l'analyse spatiale ou la modélisation. Les Modèles numériques de terrain (MNT) sont ainsi considérés comme des grilles car ils représentent un semis régulier de points côtés.

Principe d'un Système d'information géographique (SIG)



Pour parvenir à des croisements d'informations significatives, les différentes couches thématiques doivent être très précisément recalées entre elles. Dans le cadre d'un SIG, le principe du géoréférencement revient à lier la position d'objets à des localisations réelles sur la surface terrestre.

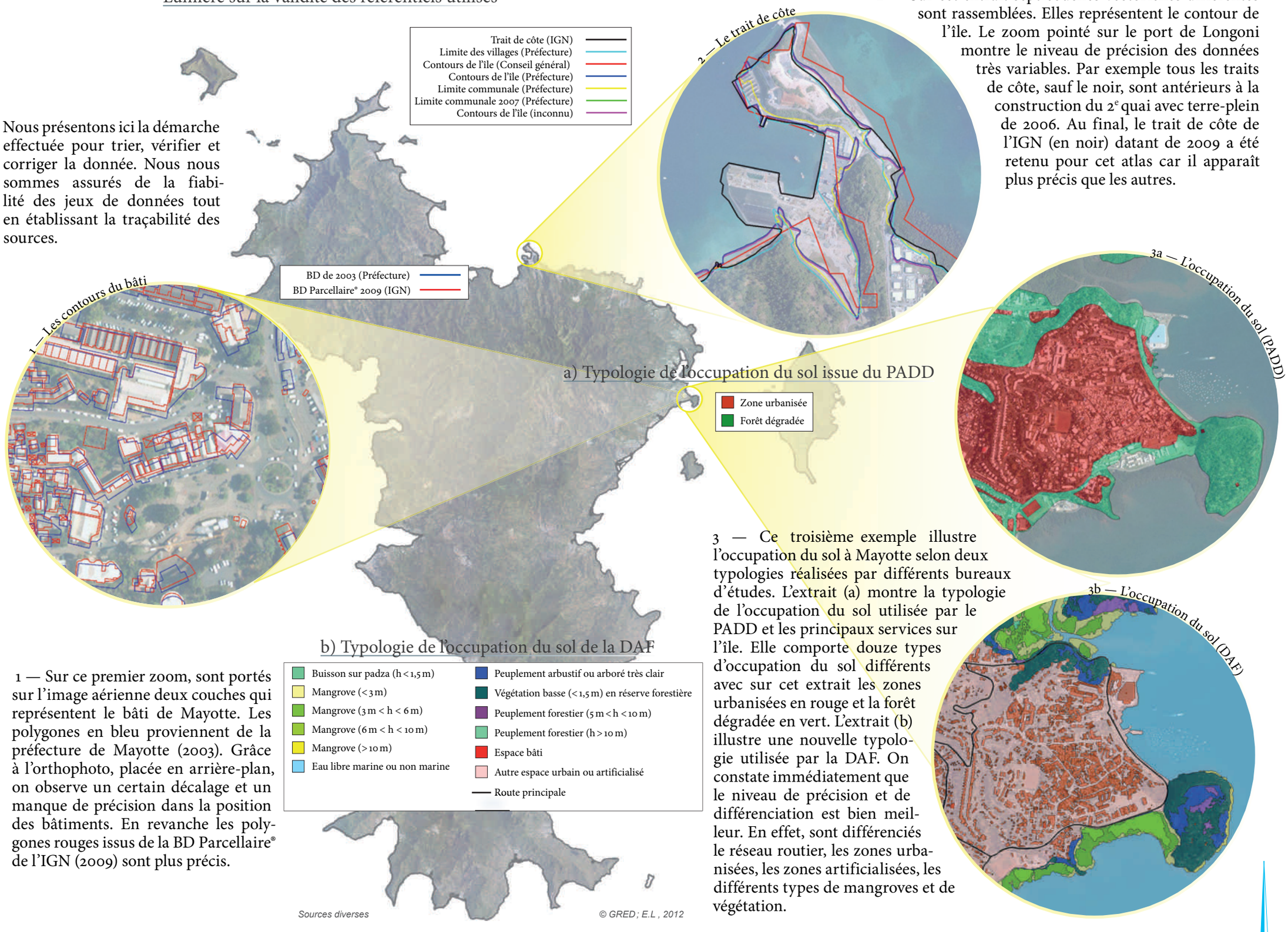
Les 10 référentiels cartographiques les plus utilisés dans l'atlas

Type de données	Référentiels	Source	Organisme producteur	Date
Enjeux et vulnérabilités	Réseau routier et pédestre	BD Topo	IGN	2009
	Population	Recensement général de la population (RGP)	INSEE	2007
	Bâtiments	Cadastre	IGN	2009
	Occupation du sol	DAF	DEAL	2008
Phénomènes naturels	Zonage des aléas	Atlas	BRGM/DEAL	2005 à 2008
Fond de carte	Orthophotos	BD Ortho	IGN	2008
	Limites communales	BD Topo	IGN	2009
	Trait de côte	BD Topo	IGN	2009
	Relief mondial	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	NASA/NGA	2000
Données altimétriques	Relief local	BD Litto3D	IGN/SHOM	2008

© GRED ; E.L , 2012

Lumière sur la validité des référentiels utilisés

Nous présentons ici la démarche effectuée pour trier, vérifier et corriger la donnée. Nous nous sommes assurés de la fiabilité des jeux de données tout en établissant la traçabilité des sources.



1 — Sur ce premier zoom, sont portés sur l'image aérienne deux couches qui représentent le bâti de Mayotte. Les polygones en bleu proviennent de la préfecture de Mayotte (2003). Grâce à l'orthophoto, placée en arrière-plan, on observe un certain décalage et un manque de précision dans la position des bâtiments. En revanche les polygones rouges issus de la BD Parcellaire® de l'IGN (2009) sont plus précis.

2 — Sur cet extrait sept couches vectorielles différentes sont rassemblées. Elles représentent le contour de l'île. Le zoom pointé sur le port de Longoni montre le niveau de précision des données très variables. Par exemple tous les traits de côte, sauf le noir, sont antérieurs à la construction du 2e quai avec terre-plein de 2006. Au final, le trait de côte de l'IGN (en noir) datant de 2009 a été retenu pour cet atlas car il apparaît plus précis que les autres.

3 — Ce troisième exemple illustre l'occupation du sol à Mayotte selon deux typologies réalisées par différents bureaux d'études. L'extrait (a) montre la typologie de l'occupation du sol utilisée par le PADD et les principaux services sur l'île. Elle comporte douze types d'occupation du sol différents avec sur cet extrait les zones urbanisées en rouge et la forêt dégradée en vert. L'extrait (b) illustre une nouvelle typologie utilisée par la DAF. On constate immédiatement que le niveau de précision et de différenciation est bien meilleur. En effet, sont différenciés le réseau routier, les zones urbanisées, les zones artificialisées, les différents types de mangroves et de végétation.

Les grandes composantes du risque naturel à Mayotte

Bien que relativement épargnée jusqu'à présent par des phénomènes de grande ampleur, l'île de Mayotte concentre des enjeux particulièrement vulnérables aux risques naturels.

Une île largement exposée aux phénomènes naturels

Cette carte met en exergue l'exposition importante du territoire mahorais face aux ***aléas naturels*** de niveau fort que sont les séismes, les inondations, les submersions marines et les glissements de terrain. En effet, l'exposition aux aléas naturels de niveau élevé issus des atlas du BRGM (Audru *et al.*, 2010) concerne près de 56 % du territoire (îlots non compris) et 50 % du bâti.

Les communes de Petite-Terre sont les moins touchées même si leur part de surface communale exposée reste supérieure à 15 %.

L'emprise des aléas est donc bien présente sur l'île et notamment sur les secteurs à forts ***enjeux***. En effet, les principaux pôles urbains tel que Mamoudzou et Sada possèdent une part de surface communale exposée supérieure à 60 %. Avec plus de 50 000 habitants en 2007, Mamoudzou est devenue un véritable « pôle de commandement » (Ninon, 2007) qui représente ainsi un important foyer de dommages potentiels.

Le niveau de ***risque*** se définit aussi par l'importance des enjeux humains exposés aux aléas naturels. À ce titre, Mayotte représente un important foyer de population particulièrement ***vulnérable***.

Surface communale exposée à au moins un aléa naturel

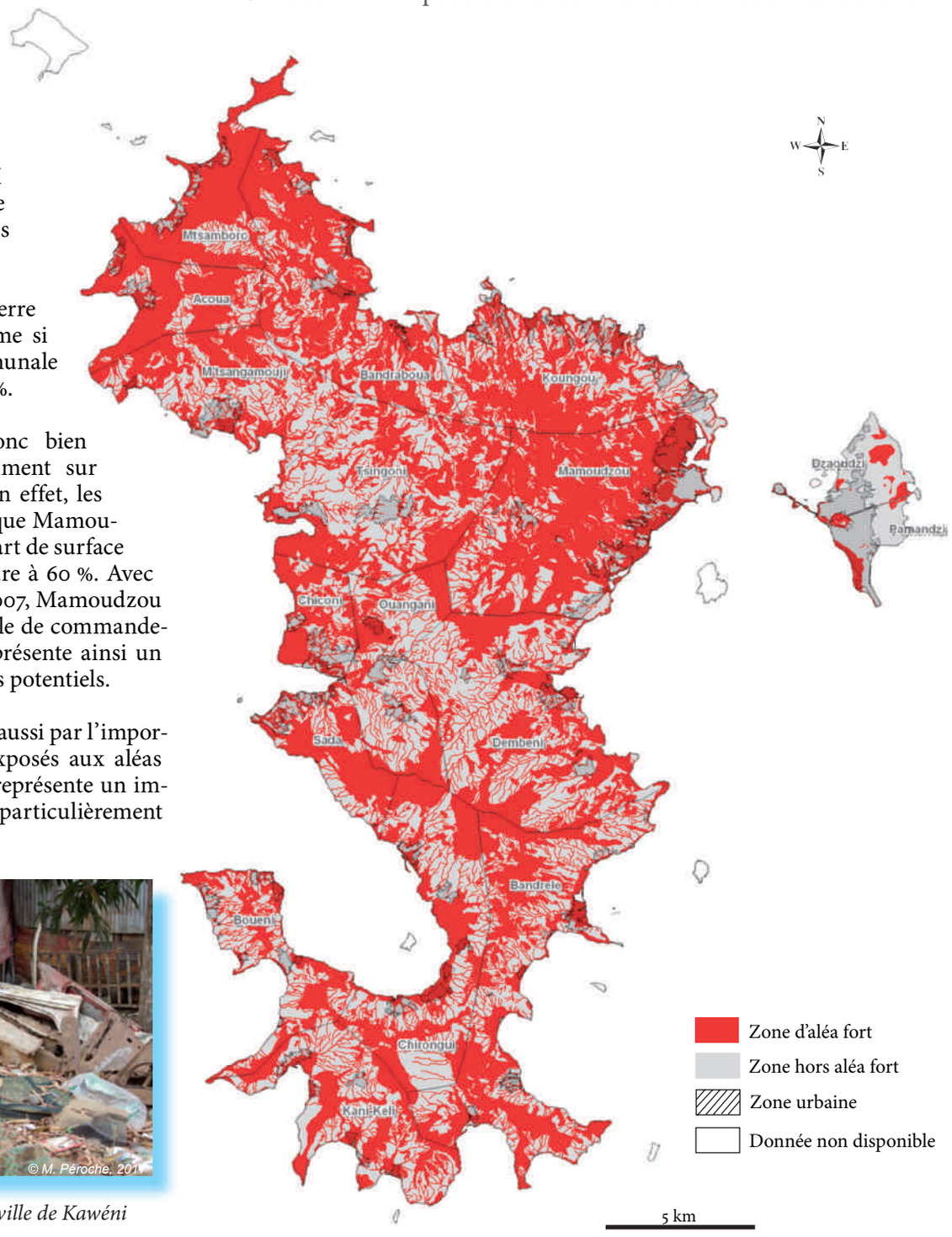
Commune	Part de surface communale exposée (en %)
Acoua	76,8
Bandraboua	68,9
Mamoudzou	68,6
Mtsamboro	67,8
Sada	64,6
Chiconi	62,8
Koungou	57,5
Bandrélé	56,2
Chirongui	51,7
M'Tsanga-mouji	51,1
Bouéni	48,7
Tsingoni	48,5
Kani-Kéli	47,5
Dembéni	46,8
Ouangani	43,2
Dzaoudzi	17,4
Pamandzi	16,9
Total	**55,6**

Les 6 communes surlignées en rouge ont une part de surface communale exposée supérieure à 60 %.

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Une fillette dans le bidonville de Kawéni

Carte 16. Exposition des communes aux aléas naturels forts



Source : BRGM, 2007 mise à jour 2010

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Une île densément peuplée...

Près de 186 452 habitants ont été recensés à Mayotte au 31 juillet 2007, soit 26 000 personnes de plus que lors du recensement de 2002. La population a augmenté en moyenne de 3,1 % chaque année sur cette période. L'étalement urbain dû à cette augmentation croissante de la population provoque une concentration des enjeux humains, économiques et sociaux particulièrement sur les zones côtières. Les axes de communication sont principalement affectés par cette arrivée de population. En effet, de nombreux ralentissements sont visibles aux abords de Mamoudzou et le parc automobile ne cesse d'augmenter. Les habitations sont également touchées, l'INSEE parle de logements surpeuplés, avec en moyenne 1,8 pièce par famille, ce qui augmente considérablement la vulnérabilité des personnes et les difficultés quotidiennes.

...par une population jeune...

En 2007, l'âge moyen des Mahorais était de 22 ans, contre 32 ans à la Réunion et 39 ans en France métropolitaine. 54 % des Mahorais ont moins de 20 ans. À l'autre extrémité de la pyramide, les personnes âgées de 60 ans et plus ne représentent qu'un peu moins de 4 % de la population. Sa base est très large et continue de s'élargir en raison d'une natalité forte. Son sommet se resserre rapidement, effet d'une croissance très rapide de la population associée à une espérance de vie plus faible que dans le passé.

La faible capacité d'accueil dans l'enseignement supérieur conduit les étudiants à émigrer, ce qui explique le creux de la pyramide entre 20 et 30 ans. On retrouve couramment ce creux pour les générations étudiantes dans les pyramides des âges des départements d'outre-mer.

... et aux fractures sociales importantes

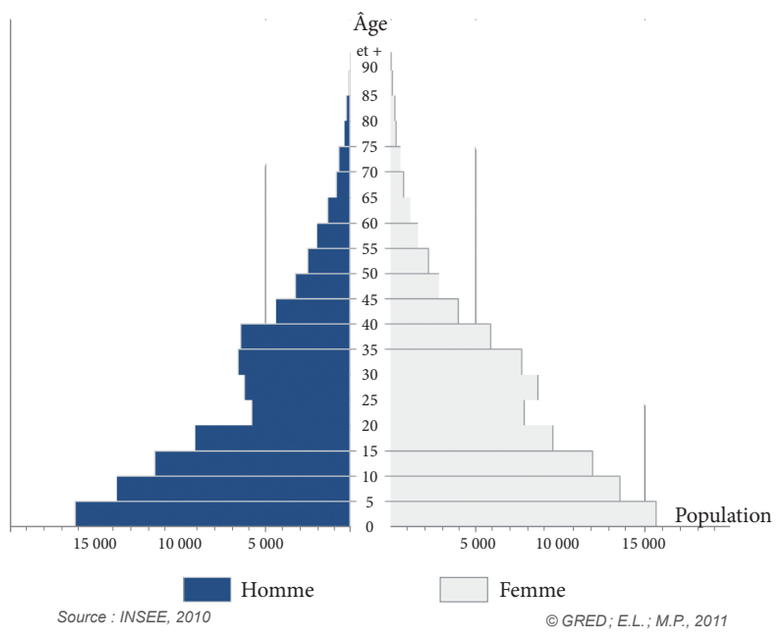
En ce qui concerne l'accès à l'emploi, 41,5 % des jeunes de 15 à 25 ans et 33,9 % des étrangers sont touchés par le chômage. En 2007, l'INSEE estimait que plus d'un quart de la population de Mayotte vivait sous le ***seuil relatif de pauvreté*** avec des disparités importantes selon la nationalité ou l'origine des personnes.

Pourtant, en 2007 Mayotte comptait près de 73 000 étrangers dont 56 000 immigrés. Ce chiffre se recoupe avec celui des autorités qui de manière générale évaluent à 1/3 de la population totale le nombre de personnes en situation irrégulière.
Ces fortes disparités de niveau de vie au sein de la société mahoraise, concernent un grand nombre de personnes et sont un facteur de vulnérabilité indéniable.

La clandestinité, sujet délicat qui reste très actuel

Les récentes améliorations des conditions de vie à Mayotte ont créé des inégalités au sein de l'archipel Comorien. Aujourd'hui l'île française fait office « d'El Dorado » et connaît un phénomène massif d'immigration en provenance des Comores (Burnod et Sourisseau, 2007). La population clandestine s'intègre totalement à la population mahoraise et ne peut être dénombrée avec précision. Il n'existe donc aucun chiffre officiel sur le nombre de clandestins à Mayotte et on parle d'ailleurs de « personnes en situation irrégulière ». Le sujet reste très tabou sur l'île. « Le nombre de clandestins est estimé par les autorités entre 50 000 et 55 000 » (Frétigné, 2008). En 2005 François Baroin, alors ministre de l'outre-mer, indiquait à la Commission d'enquête du Sénat sur l'immigration clandestine que « près de 40 % des 160 000 habitants de Mayotte, soit environ 60 000 personnes, des étrangers, dont trois quarts étaient en situation irrégulière » (soit environ 48 000 personnes) (Collectif Migrants de Mayotte, 2008). Le recensement de l'INSEE de 2007, inclut la population en situation irrégulière, qui serait estimée à un peu plus d'un tiers aujourd'hui, alors que cette proportion s'établissait à 14 % en 1991. Si cette tendance devait se prolonger, la population clandestine pourrait représenter 60 % de la population totale en 2012 (Dosière et Quentin, 2006 *in* Bensoussan 2009).

Pyramide des âges de Mayotte



La pyramide des âges représente la répartition par sexe et âge de la population à un instant donné. Celle de Mayotte est caractéristique des territoires à forte natalité dont l'entrée dans la phase de transition démographique est récente (INSEE, 2010).

Définitions

Aléa naturel : tout phénomène naturel potentiellement destructeur qui peut se caractériser par une intensité et une probabilité d'occurrence.

Enjeux : ensemble des biens, personnes, activités et fonctions exposés aux aléas naturels.

Vulnérabilité : propension au dommage ou au dysfonctionnement des différentes familles d'enjeux.

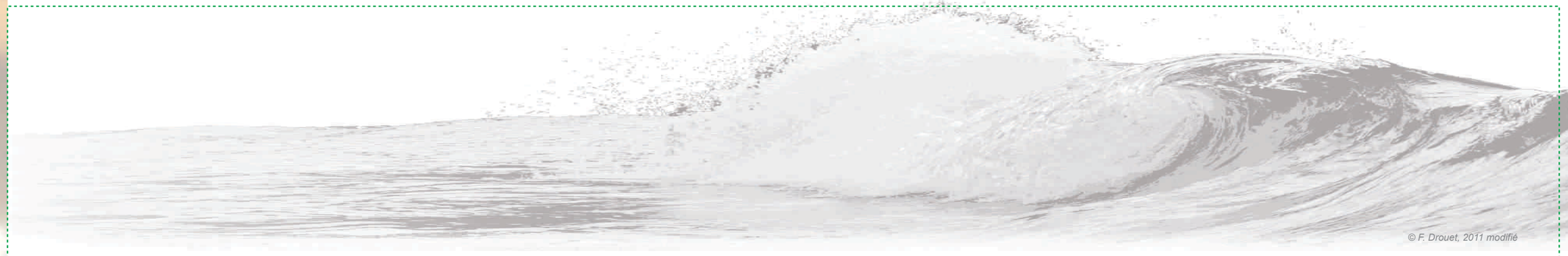
Risque : pertes potentielles issues de la conjonction spatiale et temporelle d'un aléa naturel et d'un enjeu. Le risque peut se mesurer au moyen de l'équation : aléa x enjeu x vulnérabilité.

Seuil relatif de pauvreté : Calculé en 2005 par l'INSEE il est défini à 60 % de la valeur du niveau de vie médian soit 1450 euros par an. Le seuil métropolitain quant à lui était de 7 884 euros en 2004. Avec cette valeur, neuf personnes sur dix vivant à Mayotte seraient sous le seuil de pauvreté.
Ceci montre que les distributions des revenus à Mayotte et en métropole se situent sur des échelles qui ne sont pas comparables.

Pour en savoir plus

- **Leone F. *et al.* (2010) — *Aléas naturels et gestion des risques.***
- **INSEE (2010) — *Tableau économique de Mayotte.***

© F. Leone, 2011 — Vol d'une roussette autour du mont Choungui

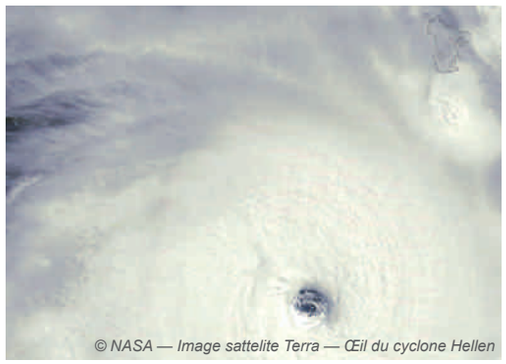


© F. Drouet, 2011 modifié

© F. Leone, 2011 — Glissement de terrain

© M. Gherardi — Bloc sur la plage de Sazilen

© F. Leone, 2011 — Rivière de Mtsapéré



© NASA — Image sattelite Terra — Œil du cyclone Hellen

Les aléas naturels en présence

Territoire menacé et nature menaçante

Les cyclones

Les inondations

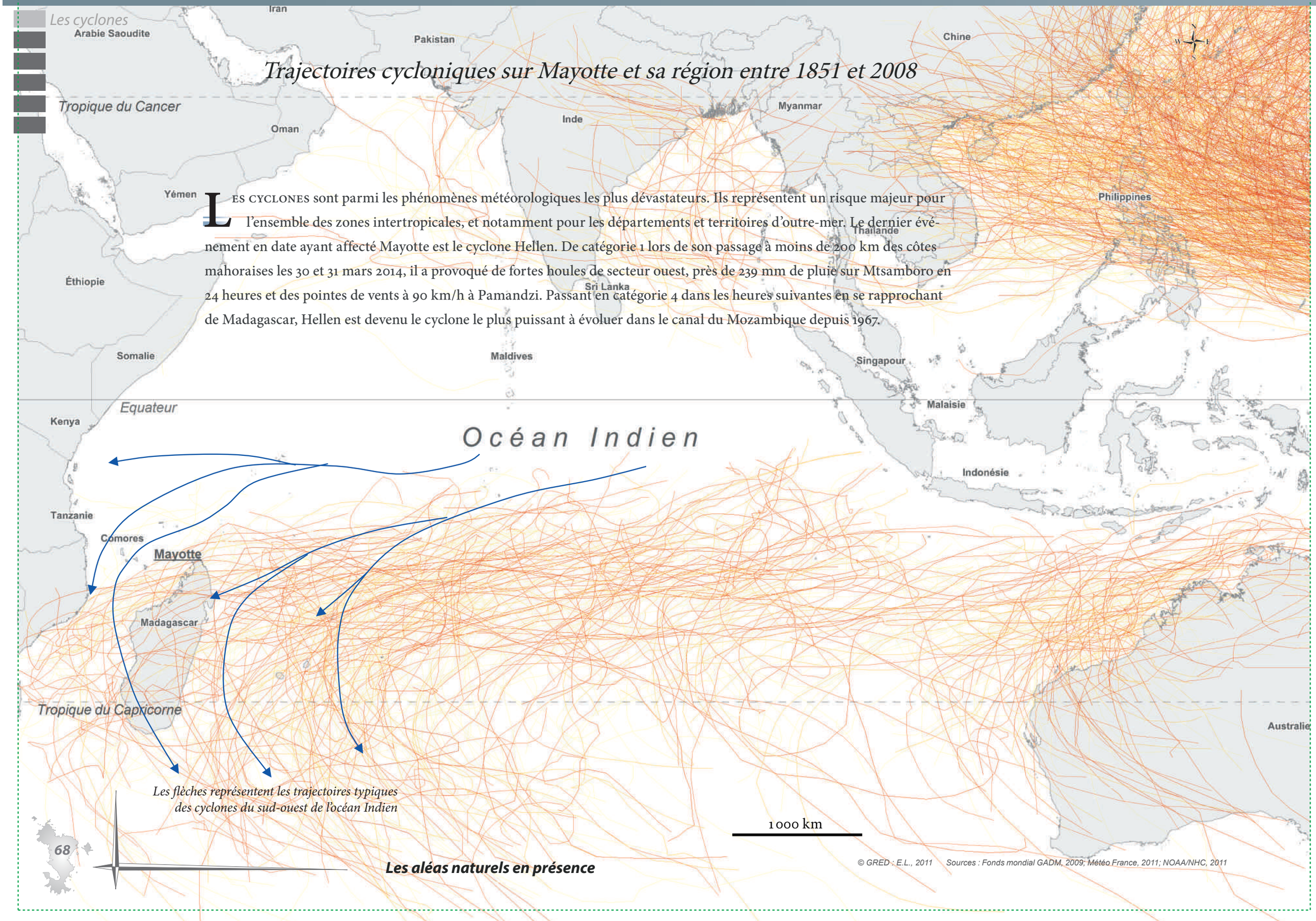
Les séismes

Les tsunamis

L'érosion littorale

Les éruptions volcaniques

L'activité cyclonique à Mayotte



Trajectoires cycloniques sur Mayotte et sa région entre 1851 et 2008

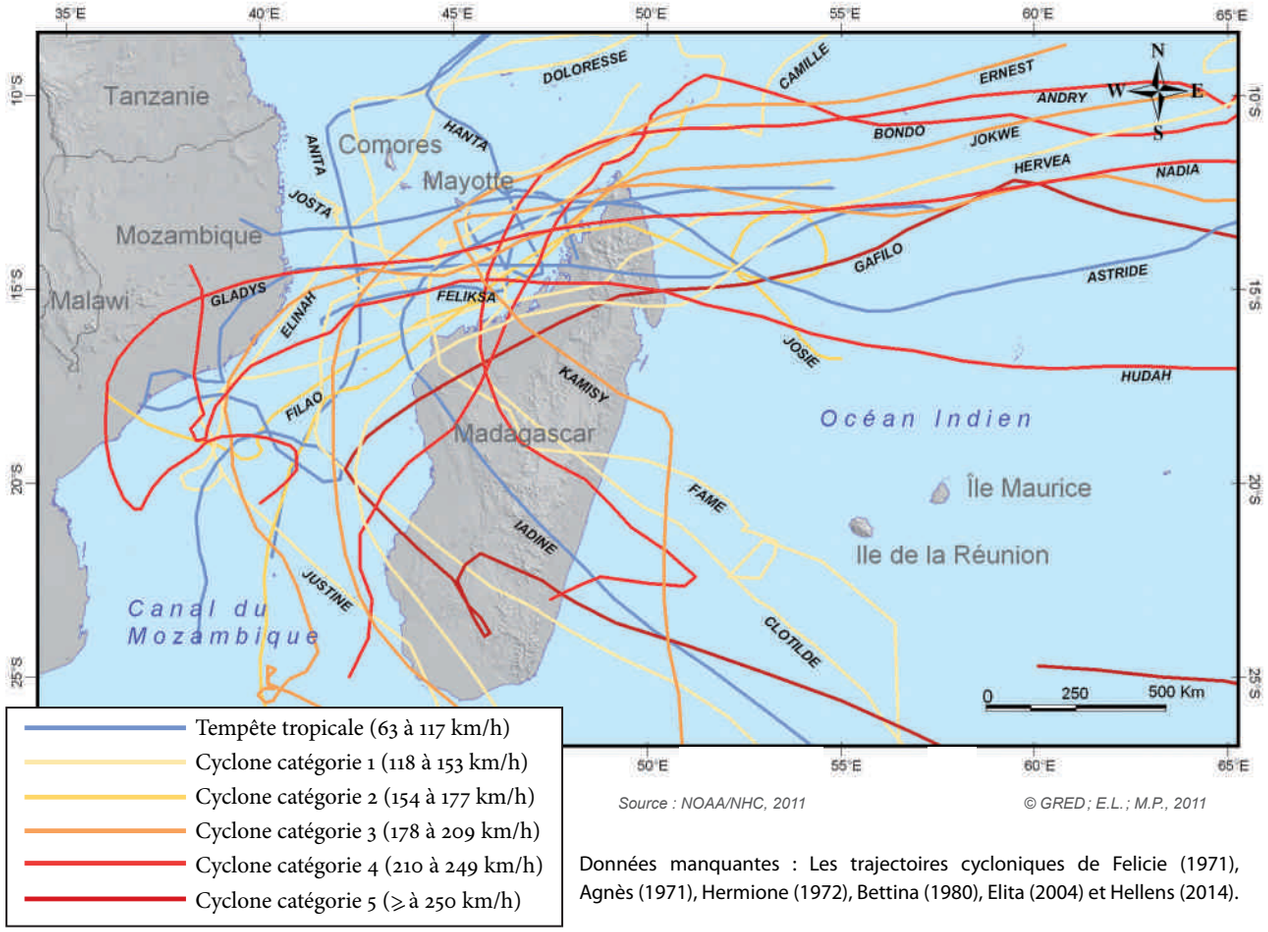
Les cyclones sont parmi les phénomènes météorologiques les plus dévastateurs. Ils représentent un risque majeur pour l'ensemble des zones intertropicales, et notamment pour les départements et territoires d'outre-mer. Le dernier événement en date ayant affecté Mayotte est le cyclone Hellen. De catégorie 1 lors de son passage à moins de 200 km des côtes mahoraises les 30 et 31 mars 2014, il a provoqué de fortes houles de secteur ouest, près de 239 mm de pluie sur Mtsamboro en 24 heures et des pointes de vents à 90 km/h à Pamandzi. Passant en catégorie 4 dans les heures suivantes en se rapprochant de Madagascar, Hellen est devenu le cyclone le plus puissant à évoluer dans le canal du Mozambique depuis 1967.

Trajectoires cycloniques

Les trajectoires de 29 *cyclones* significatifs en terme de précipitations ont été retenues sur la période 1970-2008. La puissance de ces cyclones est établie selon *l'échelle de Saffir -Simpson*. Les trajectoires sélectionnées sont pour la plupart conformes aux trajectoires typiques de l'océan Indien. Néanmoins, on remarque certaines directions inhabituelles comme pour la tempête tropicale Feliksa qui s'est déplacée du sud vers le nord. Cette orientation est très rare mais n'est pas exclue comme en témoigne cet exemple.

Depuis les années 1970, cinq cyclones (Clotilde, Kamisy, Feliksa, Astride et Ernest) sont passés à moins de 50 km des côtes de l'île de Mayotte. Le cyclone Kamisy de 1984 a été le plus fort et le plus récent qui ait fait l'objet d'enregistrements à la station météorologique de Pamandzi ; c'est la référence actuelle pour les cyclones à Mayotte. On compte 11 phénomènes cycloniques qui sont passés à moins de 150 km de l'île, depuis 1970.

Carte 17. Les événements dépressionnaires significatifs en terme de pluie à Mayotte (1970 à 2008)



Données manquantes : Les trajectoires cycloniques de Felicie (1971), Agnès (1971), Hermione (1972), Bettina (1980), Elita (2004) et Hellens (2014).

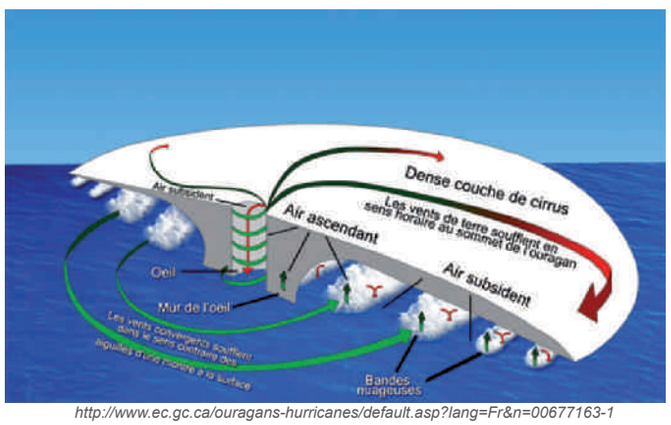
Définitions

Le terme **cyclone** désigne un objet météorologique dans lequel les vents sont en rotation autour d'un centre de basse pression.

Échelle de Saffir-Simpson : est l'échelle de magnitude des cyclones tropicaux. Les cyclones y sont classés selon la vitesse moyenne des vents mesurée sur une minute, à une hauteur de 10 mètres.

On parle de **cisaillement** en cas de variations sensibles de la vitesse ou de la direction des vents.

Structure d'un cyclone (hémisphère Sud)



http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=00677163-1

Partant du centre vers l'extérieur du phénomène on rencontre successivement :

— L'œil, de quelques dizaines de kilomètres de diamètre, qui est une zone relativement calme de basses pressions au centre du cyclone.

— En périphérie immédiate de cet œil, le mur constitue le cœur du phénomène dangereux avec de fortes précipitations et des vents les plus forts.

— Les masses nuageuses se répartissent en spirale autour de l'œil.

Conditions de formation d'un cyclone

Les cyclones requièrent 3 conditions propices à leur formation :

— une température de surface océanique supérieure à 26 °C sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur ;

— une couche d'air chaud et humide de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur sans *cisaillement de vent* ;

— une distante minimale par rapport à l'équateur d'au moins 5° de façon à ce que la force de Coriolis soit suffisante pour susciter la rotation des vents.

Genèse d'un cyclone

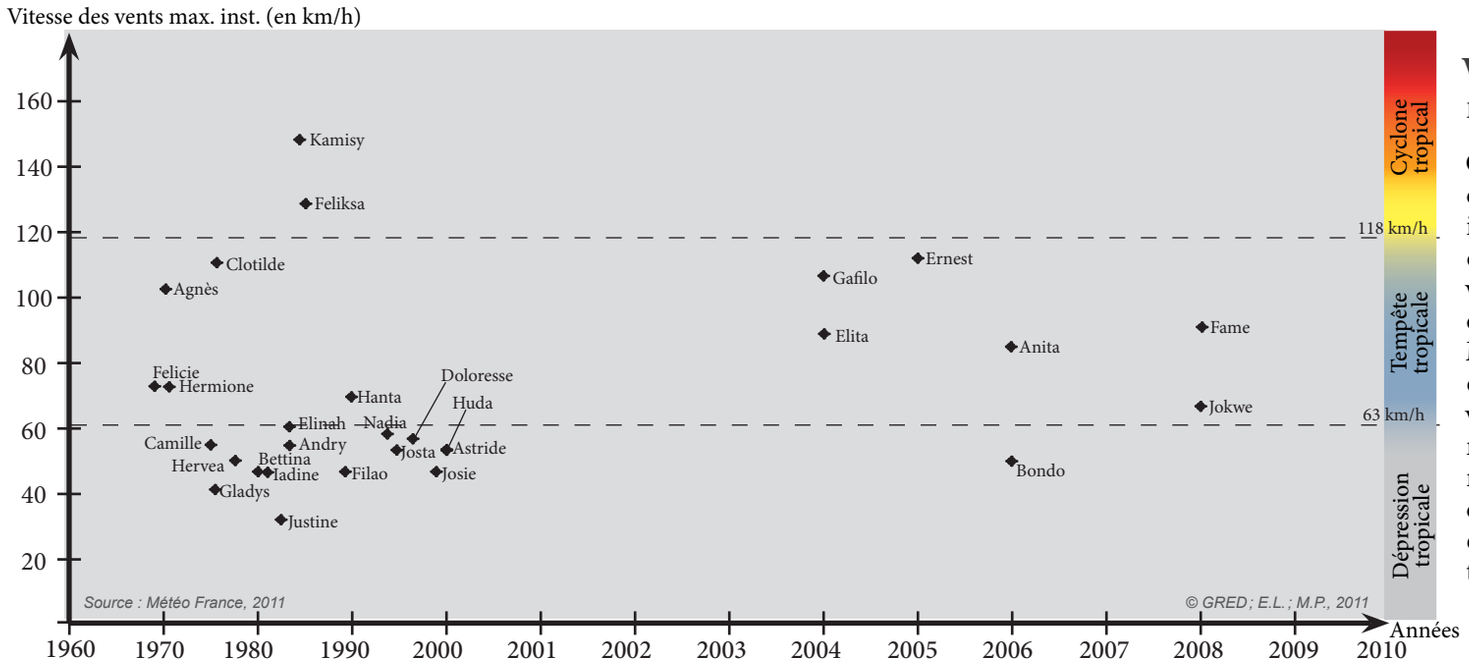
Lorsque ces conditions de formation sont réunies, les eaux de la surface des océans s'évaporent et l'air se refroidit en s'élevant. La vapeur d'eau se condense, libérant ainsi de la chaleur latente qui auto-entretient le phénomène convectif. La forte ascendance de l'air alimente ainsi la formation de nuages à fort développement vertical.

La vie d'un cyclone

Les cyclones tropicaux naissent à l'est ou au centre des océans et se déplacent ensuite vers l'ouest. Ils meurent lorsqu'ils pénètrent sur un continent ou sur des eaux plus froides. En moyenne, un cyclone a une durée de vie de huit à dix jours.

Magnitude et fréquence des cyclones à Mayotte

Stade* atteint par l'événement dépressionnaire au plus proche de Mayotte (environ 600 km) à un instant t



* Il est évalué en fonction de la vitesse des vents maximale instantanée (en km/h), relevée à la station météorologique de Pamandzi.

Vitesse de vent maximale instantanée

Ce graphique met en évidence la vitesse maximale instantanée de chacun des cyclones sélectionnés, relevée à la station de Pamandzi. Lors de leur passage sur Mayotte, certains cyclones ont donné des rafales de vent jusqu'à 148 km/h (Kamisy). Cette vitesse de vent relevée à un instant t permet de classer ces différents événements en dépression, tempête ou cyclone tropical.

Cependant cette classification est une donnée valable uniquement pour cet instant t. En effet, au cours de sa vie, un cyclone est amené à évoluer. Ainsi il peut passer du stade de dépression tropicale à celui de cyclone. Sa magnitude diffère donc au cours de sa vie et de ce fait au cours de sa trajectoire. Par exemple la tempête tropicale Feliksa de 1985 a atteint le stade de cyclone au moment précis où elle arrivait aux abords de Mayotte.

Durée d'action des cyclones

À Mayotte, la saison cyclonique s'étend de décembre à avril. Ce diagramme montre la fréquence mensuelle des cyclones significatifs en terme de pluies sur presque 40 ans. Les mois de janvier, février et mars concentrent près de 73 % de l'activité cyclonique sur cette période.

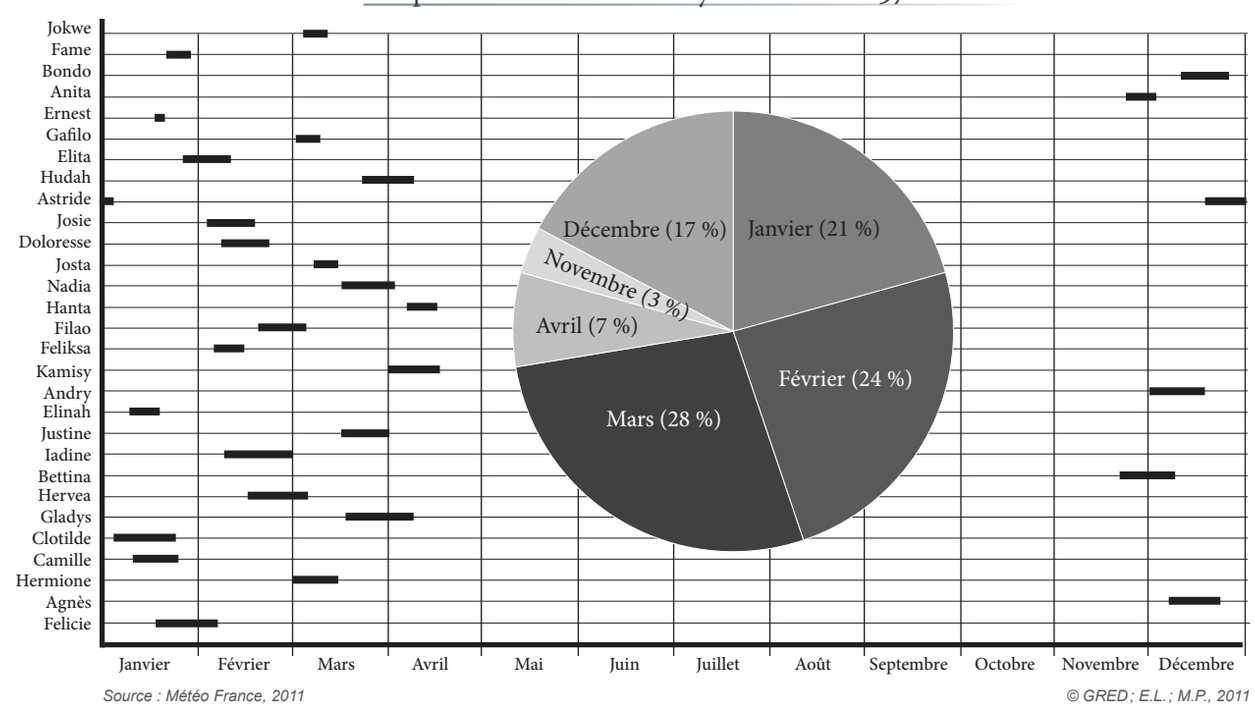
Classification spatio-temporelle

Sur les 30 cyclones sélectionnés, 28 % sont survenus durant le mois de mars. Selon la classification des aléas naturels de Leone *et al.* (2010), cette dimension temporelle peut être couplée à une dimension spatiale afin de distinguer les phénomènes instantanés des phénomènes cumulatifs. Les cyclones sont des phénomènes prévisibles, cependant ils restent, avec les séismes, les phénomènes les plus destructeurs compte tenu des énergies mises en œuvre. Un cyclone développe une énergie de 1 à 3 milliards de milliards de joules à l'heure, soit cinq bombes d'Hiroshima à la seconde.

Pour en savoir plus

- **Leone F. *et al.* (2010) — *Aléas naturels et gestions des risques.***
- **www.cyclonextreme.com**
- **Météo France (2011)**
- **www.nhc.noaa.gov**

Fréquence mensuelle des cyclones entre 1970 et 2008

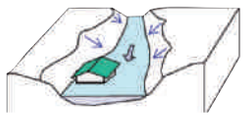


© M. Péroche, 2011 — Une « anguille » (tornade) dans le lagon

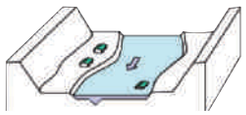
Le risque inondation à Mayotte

DIFFÉRENTS types d'inondations peuvent se produire à Mayotte, le plus souvent pendant la saison cyclonique.

1 La partie amont du cours d'eau est caractérisée par des pentes relativement fortes qui engendrent une puissante capacité de drainage du cours d'eau. Lors d'épisodes pluvieux importants la concentration rapide des eaux de ruissellement gonfle les cours d'eau et provoque des *crues* dites torrentielles. Elles entraînent souvent des phénomènes d'érosion et se chargent rapidement en matériaux solides (BRGM, 2010).



2 La partie aval se définit par des pentes plus faibles. La diminution de la pente s'accompagne d'une décroissance de la taille des alluvions transportés. L'augmentation du débit vers l'aval accroît la dimension du chenal, ce qui permet un accroissement corrélatif de la vitesse d'écoulement. Des inondations par débordement du *lit mineur* peuvent survenir.



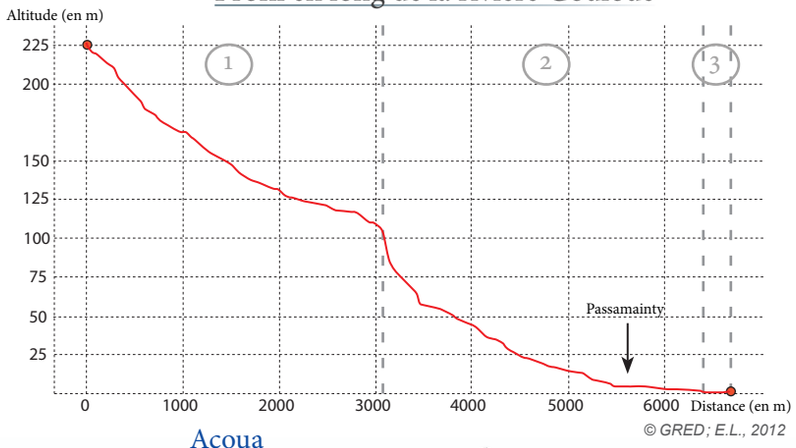
3 L'embouchure est le lieu où un cours d'eau se jette dans la mer. C'est une zone de sédimentation importante. Des inondations par stagnation des eaux fluviales dues à une capacité insuffisante d'infiltration des sols peuvent avoir lieu. Les zones naturelles avec une morphologie en creux ou les zones urbaines sont les plus touchées par ce type d'inondation.

À Mayotte, la morphologie des cours d'eau est quasiment identique, seule la partie amont peut varier.

Inondations brutales et de courte durée

Les inondations sont très souvent concomitantes d'un phénomène dépressionnaire intense de type tempête ou dépression tropicale. Lors d'épisodes cycloniques, des inondations par submersion marine peuvent également toucher les zones littorales. L'épisode dépressionnaire Fame illustre parfaitement cette situation avec des records pluviométriques jamais atteints depuis 1985.
Les inondations sont donc souvent brutales et de courtes durées à Mayotte. Elles sont générées par des débordements de cours d'eau, du ruissellement urbain, de la stagnation des eaux pluviales ou la submersion marine. Les dépressions topographiques, les agglomérations et les plaines littorales sont les secteurs fréquemment touchés par le phénomène d'inondation affectant parfois certaines habitations construites directement dans le lit du cours d'eau.
Les inondations par débordement sont les plus fréquentes sur l'île. Elles résultent de la concentration rapide des eaux de ruissellement dans un cours d'eau permanent ou temporaire.

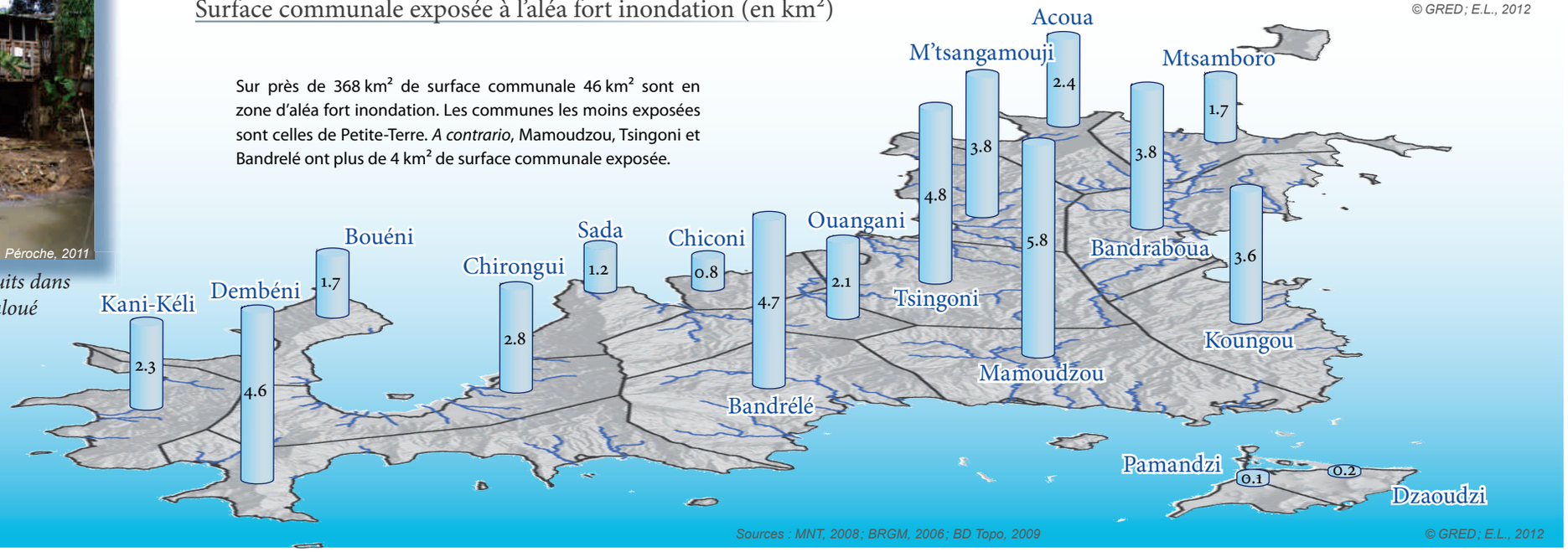
Profil en long de la rivière Gouloué



Habitats précaires construits dans le lit de la rivière Gouloué

Surface communale exposée à l'aléa fort inondation (en km²)

Sur près de 368 km² de surface communale 46 km² sont en zone d'aléa fort inondation. Les communes les moins exposées sont celles de Petite-Terre. *A contrario*, Mamoudzou, Tsingoni et Bandrelé ont plus de 4 km² de surface communale exposée.



Le nord-ouest plus exposé aux inondations par débordement des cours d'eau

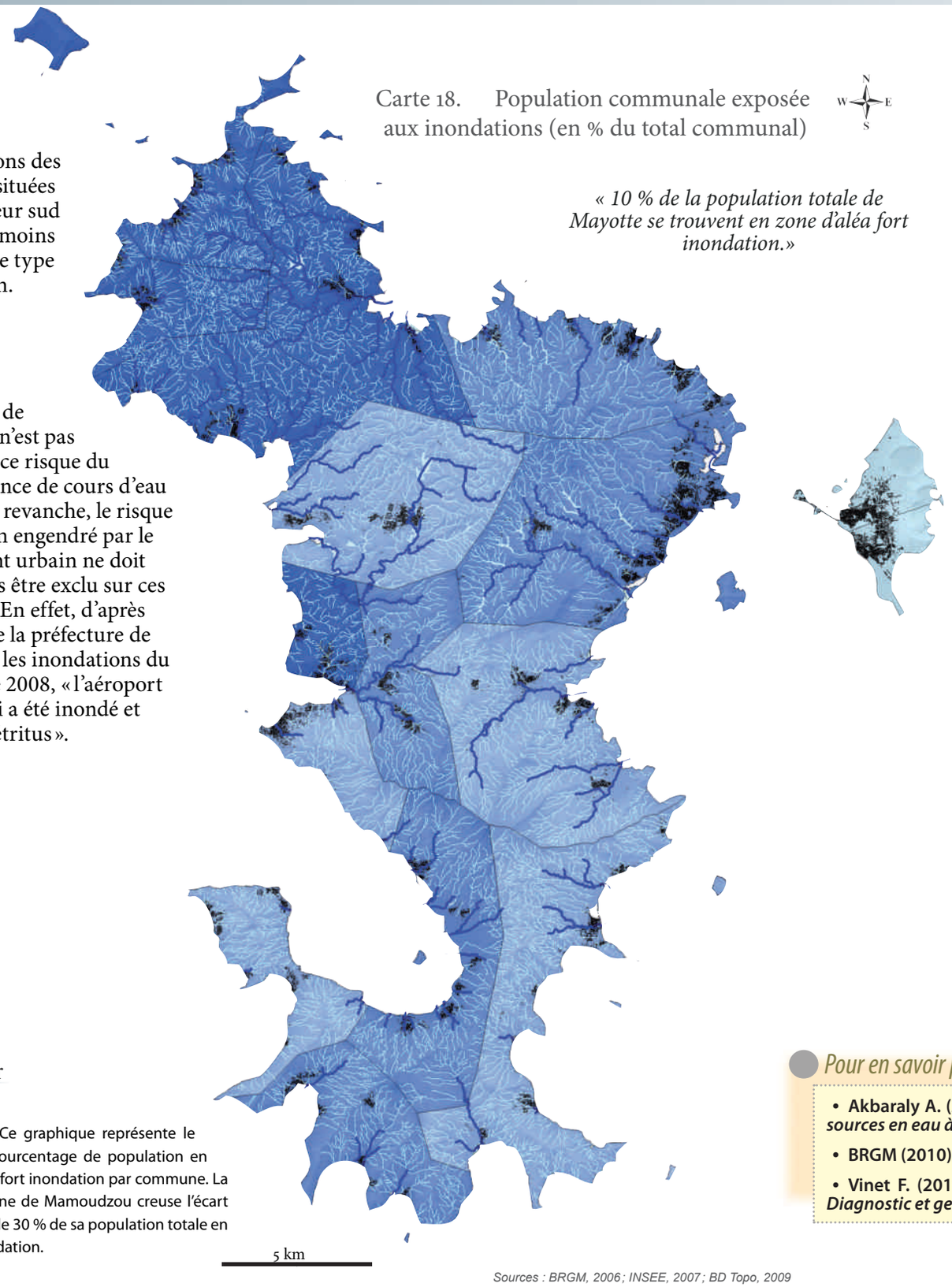
Le réseau hydrographique de Mayotte est très ramifié. Il comporte une vingtaine de rivières pérennes et de très nombreuses ravines. Ces ravines se transforment en torrent lors de la saison des pluies et alimentent les cours d'eau permanents. Les communes principalement exposées au risque d'inondations par débordement de cours d'eau sont situées au nord-ouest de l'île. Ce sont les communes de Mtsamboro, Bandraboua, Chiconi, Acoua et M'tsangamouji, avec respectivement 19 %, 18 %, 17 %, 16 % et 16 % de leur population totale exposée. Cela concerne notamment les rivières de la Bouyouni et de l'Ourouvéni. Cette dernière est la plus importante de l'île avec un bassin versant de 24 km² (BRGM, 2010).

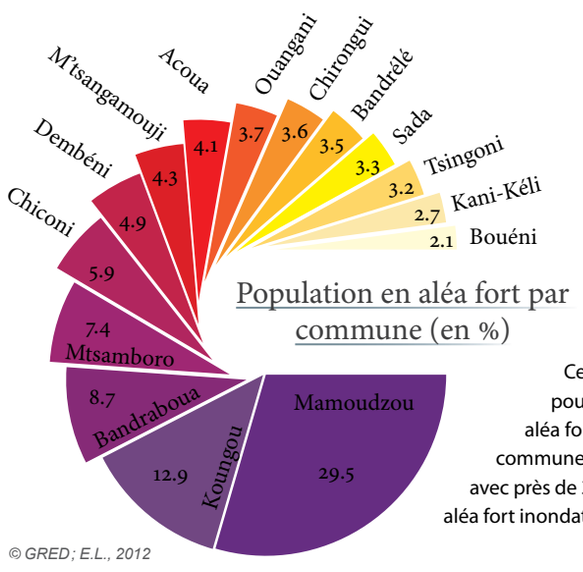
A contrario, les populations des communes situées dans le secteur sud de l'île sont moins exposées à ce type d'inondation.

Enfin, la population communale de Petite-Terre n'est pas affectée par ce risque du fait de l'absence de cours d'eau pérenne. En revanche, le risque d'inondation engendré par le ruissellement urbain ne doit en aucun cas être exclu sur ces communes. En effet, d'après le rapport de la préfecture de Mayotte sur les inondations du 15 décembre 2008, « l'aéroport de Dzaoudzi a été inondé et jonché de détritus ».

Carte 18. Population communale exposée aux inondations (en % du total communal)

« 10 % de la population totale de Mayotte se trouvent en zone d'aléa fort inondation.»





Ce graphique représente le pourcentage de population en aléa fort inondation par commune. La commune de Mamoudzou creuse l'écart avec près de 30 % de sa population totale en aléa fort inondation.

© GRED ; E.L., 2012

Sources : BRGM, 2006 ; INSEE, 2007 ; BD Topo, 2009

Définitions

Le profil en long est la pente du cours d'eau exprimée en mètre de dénivellation par km de distance.

Le chenal d'étiage est le moins large. Il correspond au passage des débits les plus faibles.

Le lit majeur correspond au passage des hautes eaux et des crues annuelles, c'est-à-dire au débit dominant.

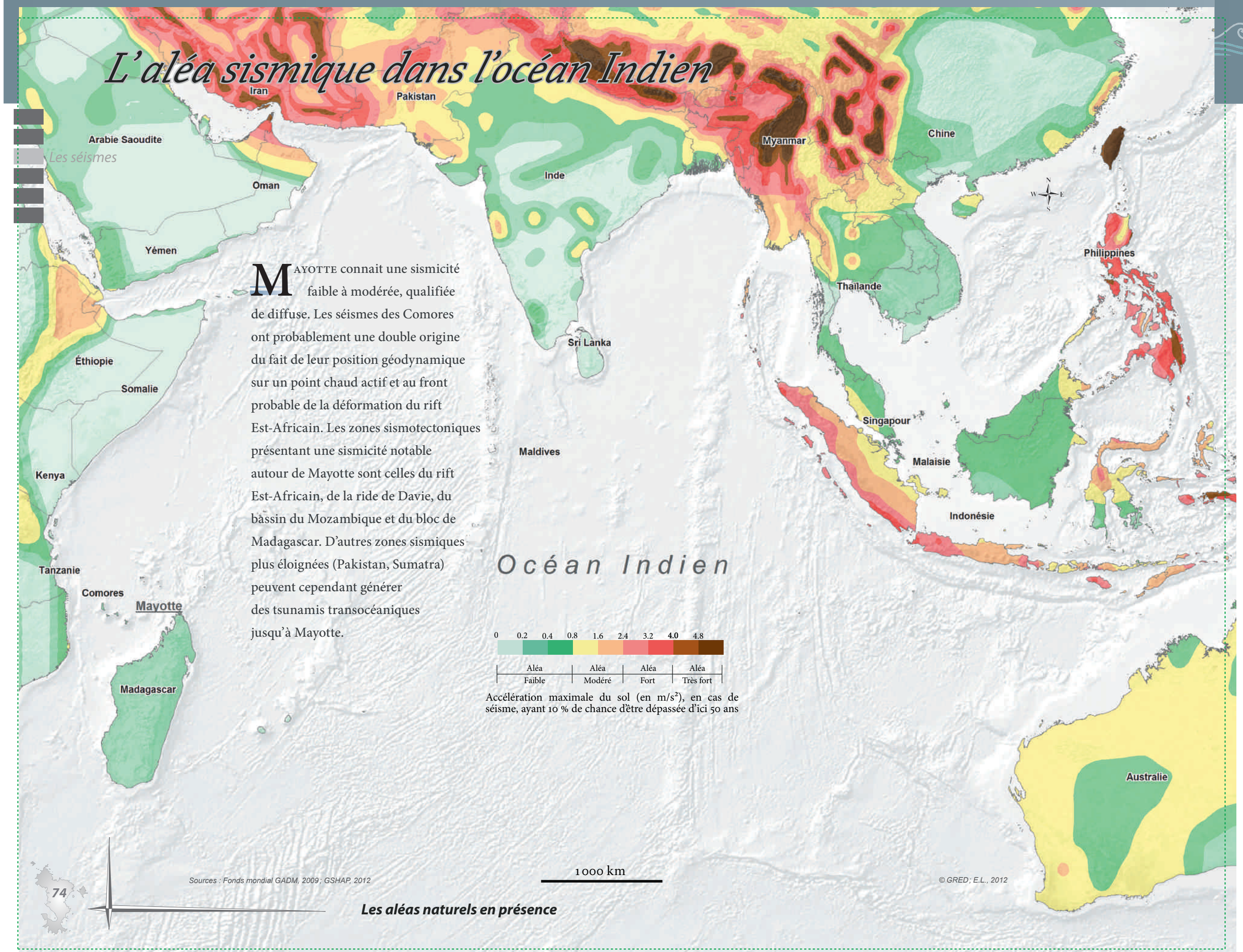
La crue correspond à une montée des eaux en réponse à un accroissement rapide du débit d'un cours d'eau.

Pour en savoir plus

- Akbaraly A. (2008) — *Panorama des ressources en eau à Mayotte.*
- BRGM (2010) — *DDRM de Mayotte.*
- Vinet F. (2010) — *Le risque inondation. Diagnostic et gestion.*

L'aléa sismique dans l'océan Indien

Mayotte connait une sismicité faible à modérée, qualifiée de diffuse. Les séismes des Comores ont probablement une double origine du fait de leur position géodynamique sur un point chaud actif et au front probable de la déformation du rift Est-Africain. Les zones sismotectoniques présentant une sismicité notable autour de Mayotte sont celles du rift Est-Africain, de la ride de Davie, du bassin du Mozambique et du bloc de Madagascar. D'autres zones sismiques plus éloignées (Pakistan, Sumatra) peuvent cependant générer des tsunamis transocéaniques jusqu'à Mayotte.



L'échelle de Richter

L'échelle de Richter permet de comparer les énergies libérées par les différents séismes. Elle est basée sur la notion de magnitude qui est une mesure de l'énergie développée au foyer du séisme. L'échelle est ouverte et sans limite supérieure connue. Dans la pratique, les séismes de *magnitude* 9 sont exceptionnels. Le séisme le plus fort jamais mesuré a atteint la valeur de 9,5, le 22 mai 1960 au Chili (Valdivia).

Que mesure la magnitude de Richter ?

La magnitude d'un séisme est une valeur intrinsèque du séisme, indépendante du lieu d'observation, des effets et des témoignages de la population, contrairement à son intensité.

Lors de la rupture qui se produit au foyer d'un tremblement de terre, la plus grande partie de l'énergie se dissipe sous forme de chaleur. Une partie seulement se propage au loin sous forme d'ondes élastiques : la magnitude de Richter, ou magnitude locale, mesure cette part d'énergie.

Comment la calcule-t-on ?

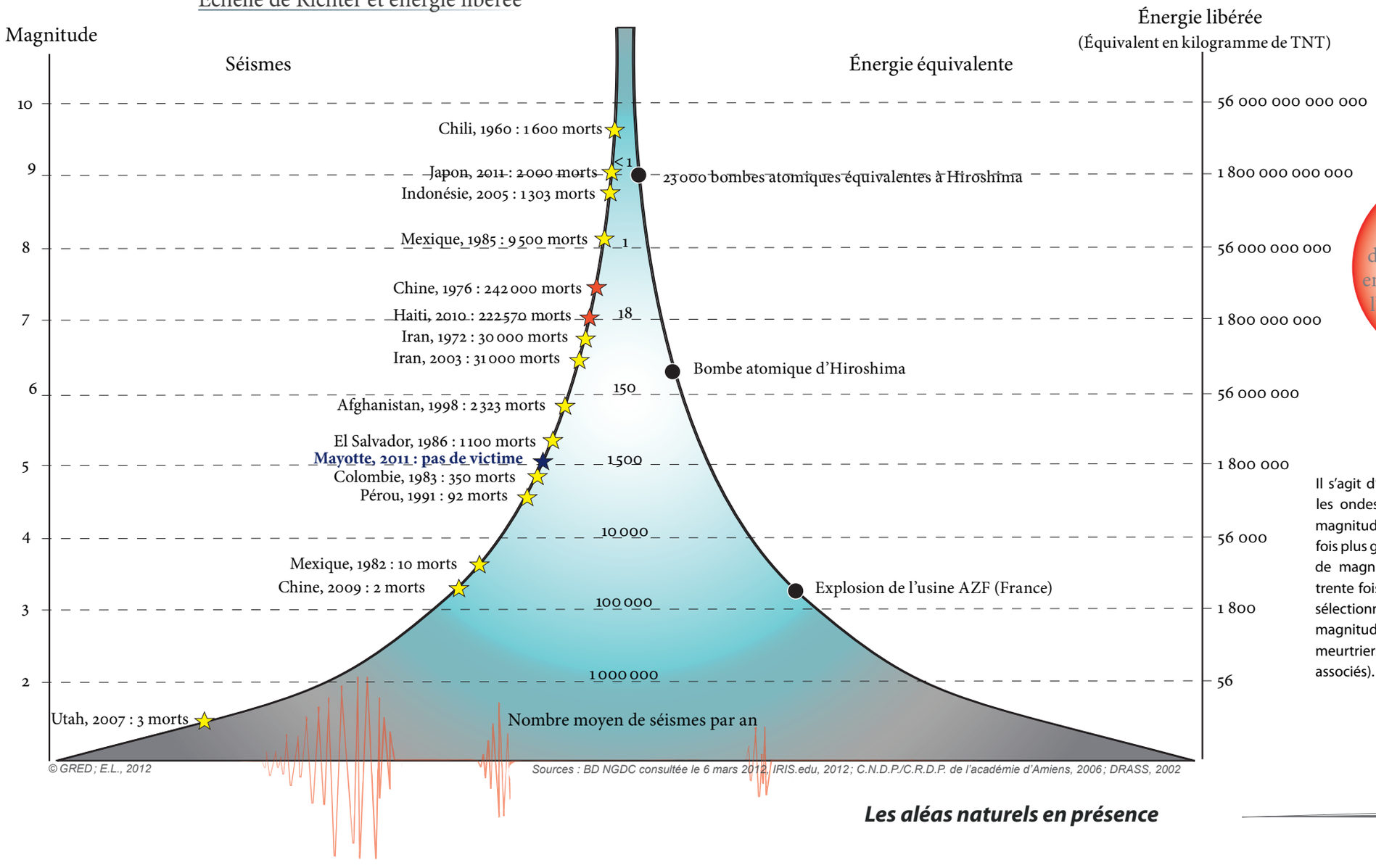
La magnitude est calculée à partir de la mesure de l'amplitude du mouvement du sol déterminée d'après l'enregistrement obtenu sur un sismogramme à 100 kilomètres de l'épicentre. Lors de son calcul, il est important de prendre en compte les paramètres des différents types d'ondes sismiques comme la distance à l'épicentre, la profondeur de l'hypocentre, la fréquence du signal, le type de sismographe utilisé, etc.

Définitions

L'échelle de Richter est une fonction continue logarithmique qui mesure la part d'énergie émise par le séisme sous forme d'ondes élastiques.

La notion de magnitude a été introduite en 1935 par l'Américain Charles Francis Richter pour les séismes locaux californiens afin d'estimer l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre.

Échelle de Richter et énergie libérée

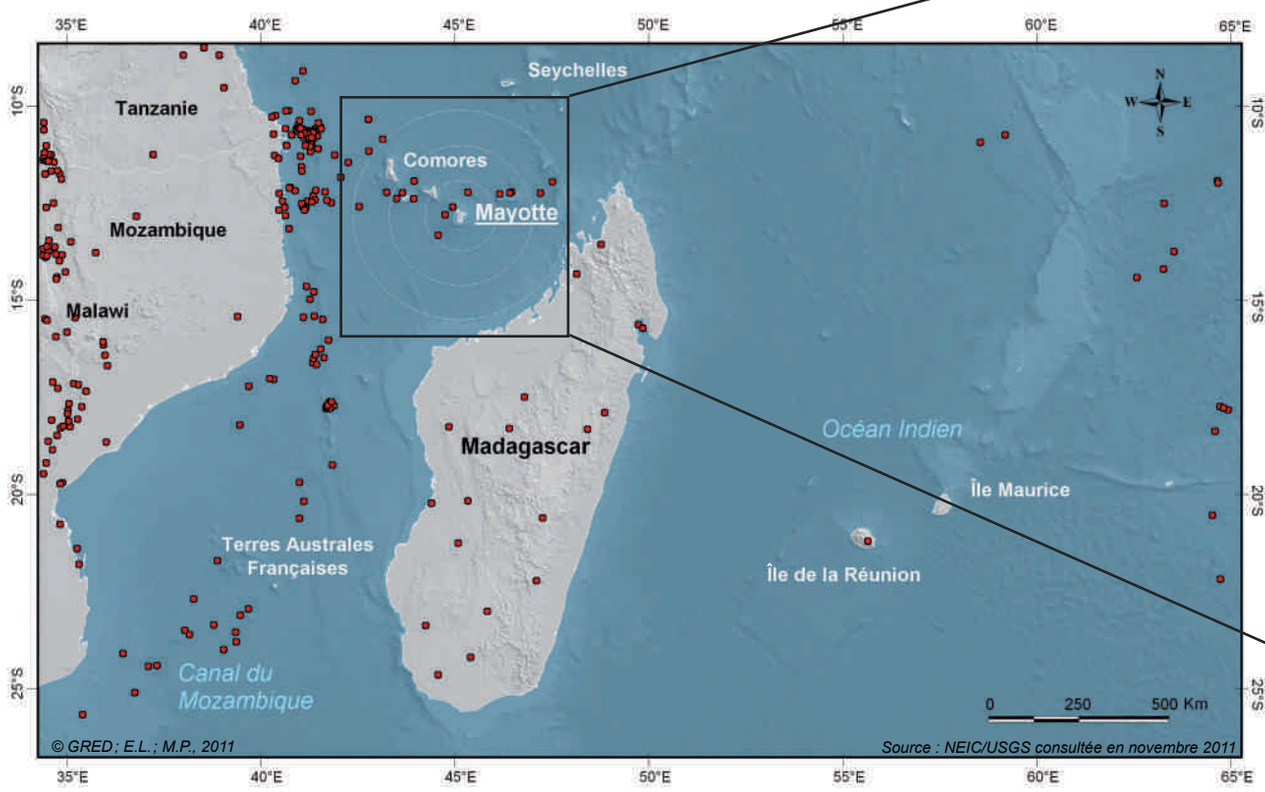


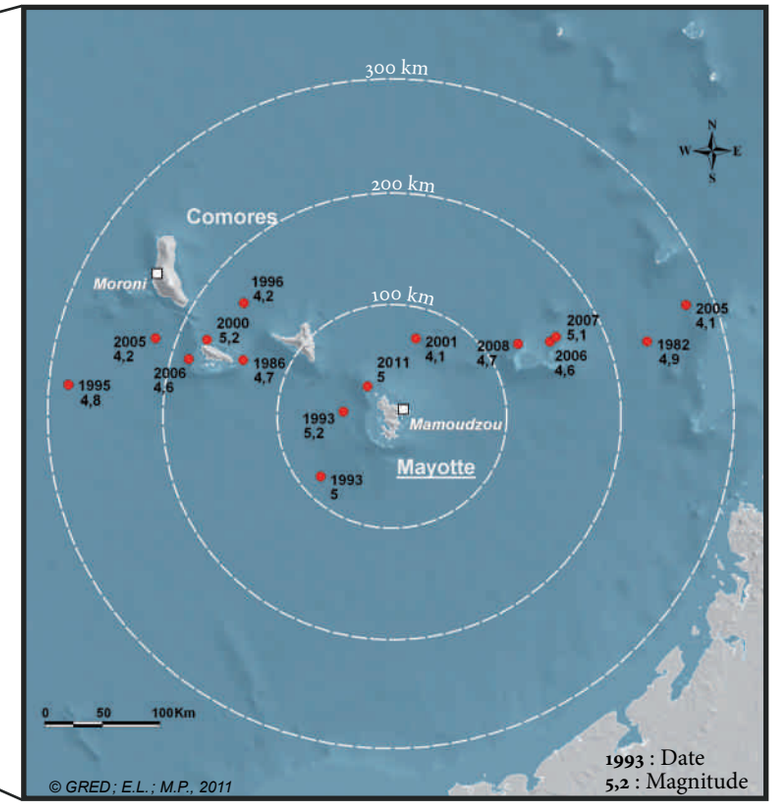
Il s'agit d'une échelle logarithmique : les ondes sismiques d'un séisme de magnitude 3 ont une amplitude dix fois plus grande que celles d'un séisme de magnitude 2 et libèrent environ trente fois plus d'énergie. Nous avons sélectionné dans chaque classe de magnitude les deux séismes les plus meurtriers depuis 1970 (hors tsunamis associés).

Les séismes significatifs en terme de magnitude depuis 1970

La sismicité de Mayotte est vraisemblablement liée à la déformation distensive de l'Afrique de l'Est. Cette déformation se propage vers le sud-est suivant la ride de Davie, vers les Comores puis Madagascar.

Carte 19. La sismicité dans le canal du Mozambique depuis 1970 (magnitude ≥ 3)





Un séisme de référence en 1993

Deux principaux séismes ont été ressentis à Mayotte en 1993 dont le ***séisme*** de référence du 1er décembre 1993. Ce séisme de magnitude 5.2 a atteint une ***intensité*** proche de VI-VII à Mayotte (DDRM, 2010). Son épicentre était situé à 40 km de l'île et de fortes vibrations ont été ressenties sur toute l'île.

Épisode sismique récent

Le dernier séisme significatif survenu à proximité de Mayotte date du vendredi 9 septembre 2011. Il a été ressenti à 16 h 25 heure locale (13 h 25 heure TU) situé au large de Mayotte, à 35 km à l'ouest de Mamoudzou, atteignant une magnitude de 5.0 (CSEM). Il est aujourd'hui connu comme étant le plus proche survenu à Mayotte. En effet, l'avant-dernier séisme datait de 2001 et son épicentre était situé à 70 km de l'île.

Nombre de séismes par classe de magnitude à proximité de Mayotte depuis 1970

Magnitude locale	Nombre de séismes dans la région	Nombre de séismes dont l'épicentre se situe à moins de 300 km de Mayotte
[0-1]	0	0
]1-2]	0	0
]2-3]	1	0
]3-4]	52	0
]4-5]	219	12
]5-6]	42	3
]6-7]	2	0
> 7	0	0

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

En 40 ans, 15 séismes ont eu lieu à moins de 300 km de l'île, dont 12 avec une magnitude comprise entre 4-5 et 3 avec une magnitude comprise entre 5-6.

Zonage sismique de la France

Pour le risque sismique on privilégie la prévision à long terme. En effet, la seule manière de diminuer le risque est d'essayer de prévoir les séismes et d'en réduire les effets (prim. net). C'est pourquoi la cartographie du zonage sismique de la France métropolitaine et d'outre-mer a été mise à jour le 1er mai 2011. Ce nouveau zonage prend en compte la probabilité qu'un séisme survienne dans une région donnée sur une période donnée. Pour la France, cinq zones d'aléa sismique ont été ainsi délimitées. Mayotte est classée en zone 3 ce qui correspond à une sismicité modérée.

La prise en compte du risque sismique dans l'aménagement du territoire

Le zonage de l'aléa sismique n'impose pas des zones inconstructibles comme c'est le cas pour l'aléa inondation par exemple. En effet, le génie parasismique offre la possibilité de construire dans des zones de sismicité faible à forte. La réglementation parasismique est définie selon la norme *Eurocode 8* qui précise la conception et les dimensionnements des structures pour leur résistance aux séismes. Pour chaque zone de sismicité une amplitude théorique est déterminée comme « une secousse nominale ». Les bâtiments sont construits en se basant sur cette secousse nominale ; ils peuvent subir des dommages irréparables mais ne doivent pas s'effondrer sur les occupants.
Aujourd'hui, tout nouveau bâtiment construit en zone de sismicité doit prendre en compte les normes parasismiques en vigueur.

Des règles spécifiques sont utilisées pour les équipements, les ponts, les barrages, les installations classées nucléaires. Les grandes lignes de ces règles de construction parasismiques sont :

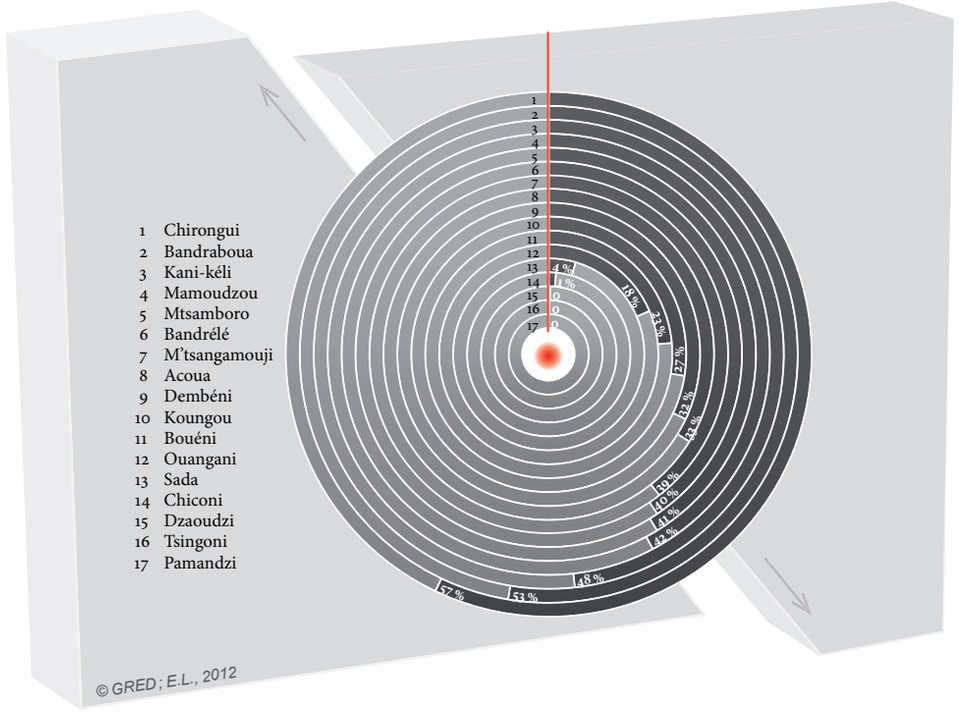
— le bon choix de l'implantation (notamment par la prise en compte de la nature du sol) ;

— la conception générale de l'ouvrage (qui doit favoriser un comportement adapté au séisme) ;

— la qualité de l'exécution (qualité des matériaux, fixation des éléments non structuraux, mise en œuvre soignée).

Le coût généré par la construction parasismique peut être réduit si l'implantation des bâtiments est gérée en dehors des zones à effet de site et des zones soumises au phénomène de liquéfaction des sols.

Pourcentage de bâtiments exposés à l'aléa sismique par commune



D'après le zonage du BRGM, 29,7 % des bâtiments sont situés en zone d'aléa sismique fort à Mayotte. Ce zonage prend en compte les effets de sites potentiels et le phénomène de liquéfaction. Dans certaines communes un bâtiment sur deux est exposé au risque sismique comme à Chirongui et Bandraboua où sont respectivement exposés 57 % et 53 % des bâtiments.

Les phénomènes induits par les séismes

Les phénomènes induits par les séismes peuvent se classer en deux types : directs et indirects. Dans le premier cas, la modification du mouvement vibratoire par des reliefs ou des sous-sols est à l'origine de ce que l'on appelle les effets de sites. Quant à eux, les effets indirects sont dus à des ruptures du sol qui provoquent généralement des mouvements de terrain, des phénomènes de liquéfaction ou encore des tsunamis induits.

Les effets de sites géologiques et topographiques

Il existe deux types distincts d'effets de site :

— Les effets de site géologiques qui sont principalement dus aux contrastes de rigidité verticaux ou latéraux entre le sol et le substratum sous-jacent. Cette différence de structure géologique provoque le piégeage des ondes sismiques dans les couches peu consolidées et l'apparition de phénomènes de résonance et de réflexions multiples. Les effets de site géologiques ont lieu dans des sédiments meubles.

— Les effets de site topographiques qui se traduisent par l'amplification ou l'atténuation du signal vibratoire. Il est provoqué par des phénomènes de réflexion ou de diffraction des ondes sismiques résultant de l'influence des reliefs. Les sites topographiques les plus favorables à l'amplification correspondent aux sommets, aux lignes de crêtes et aux rebords de plateaux.

Définitions

L'intensité est une mesure des effets du séisme en un lieu donné, sur l'homme, les objets, l'environnement et les bâtiments… Les échelles d'intensité comportent des degrés généralement notés en chiffres romains : de I à XII pour les échelles les plus connues (Mercalli, MSK ou EMS 98).

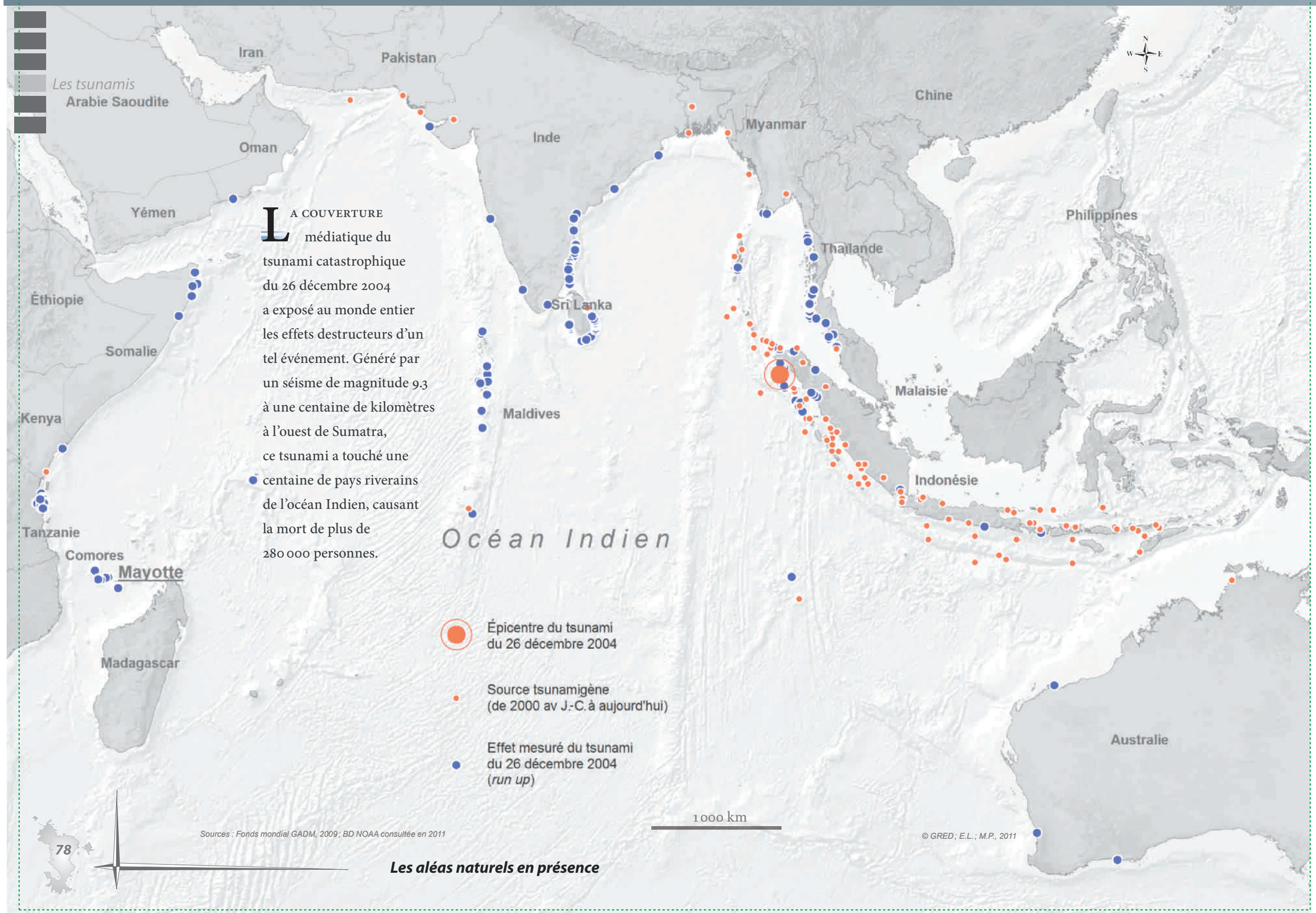
En 1990, le Comité européen de normalisation (CEN) a entrepris la rédaction des **Eurocodes**, normes européennes de conception, de dimensionnement et de justification des structures de bâtiment et de génie civil, établissant un ensemble de règles techniques.

Un séisme ou tremblement de terre correspond à une secousse ou une série de secousses du sol plus ou moins violentes, liées au passage d'ondes élastiques. Il est déclenché par la libération brutale d'une certaine quantité d'énergie.

Pour en savoir plus

- **www.eurocode1.com**
- **www.risquesmajeurs.fr**
- **www.sisfrance.net**
- **BRGM (2010) — *DDRM de Mayotte.***
- **Leone F. (2008) — *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque.***

Mayotte, une île exposée aux tsunamis



La couverture médiatique du tsunami catastrophique du 26 décembre 2004 a exposé au monde entier les effets destructeurs d'un tel événement. Généré par un séisme de magnitude 9.3 à une centaine de kilomètres à l'ouest de Sumatra, ce tsunami a touché une centaine de pays riverains de l'océan Indien, causant la mort de plus de 280 000 personnes.

Hauteur de submersion atteinte par le tsunami de décembre 2004 à Hamjago, au nord du village de Mtsamboro

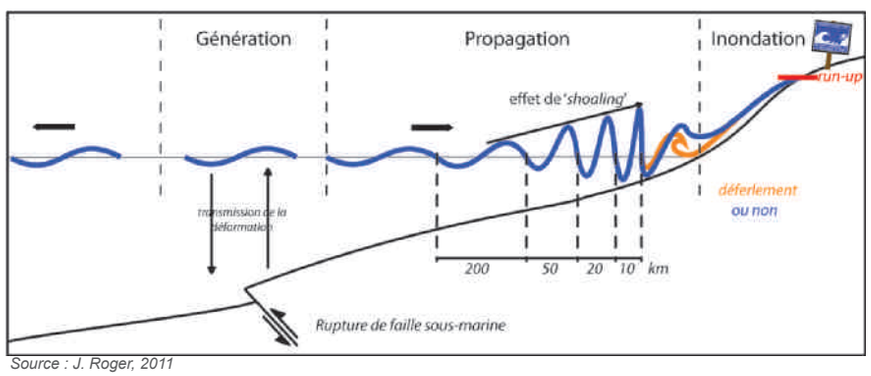
Risque de tsunami d'origine locale

En dehors des sources sismiques du Makran (Pakistan) ou de Sumatra (Indonésie), il existe un risque de tsunami d'origine locale qui pourrait être induit par un glissement de parties du récif de l'archipel comorien. Un tel cas de figure entraînerait l'arrivée de vagues en quelques minutes sur Mayotte. Par ailleurs, le volcan Karthala de Grande Comore constitue une source possible de tsunami en cas de glissement sectoriel de son édifice. Un tsunami de ce type attendrait Mayotte en moins de 20 minutes.

Explication du phénomène

Dans le cas d'un ***tsunami*** d'origine sismique, le mouvement vertical du fond sous-marin engendre un déplacement vertical de la colonne d'eau qui provoque une déformation de surface (phase de génération). À proximité du rivage, en eau peu profonde, on observe que la vitesse de propagation diminue avec la rugosité de fond. Il se produit alors un transfert entre l'énergie cinétique qui diminue au profit de l'énergie potentielle, d'où une augmentation très forte de l'amplitude des vagues à l'approche de la côte. Celles-ci peuvent atteindre jusqu'à 30 m, comme à Banda Aceh (Indonésie) en 2004. Il existe cependant des effets de site qui peuvent faire varier localement l'amplitude des vagues. Par exemple, les dégâts sont amplifiés dans les baies et les estuaires où se concentre plus encore l'énergie du tsunami.

Modèle de propagation d'un tsunami



Source : J. Roger, 2011

On observe que contrairement aux vagues ordinaires d'origine éolienne, qui ne perturbent que la surface de l'eau, les vagues du tsunami propagent leur énergie jusqu'au fond de la mer, même dans les eaux les plus profondes, ce qui leur confèrent un pouvoir très destructeur à l'approche des côtes.

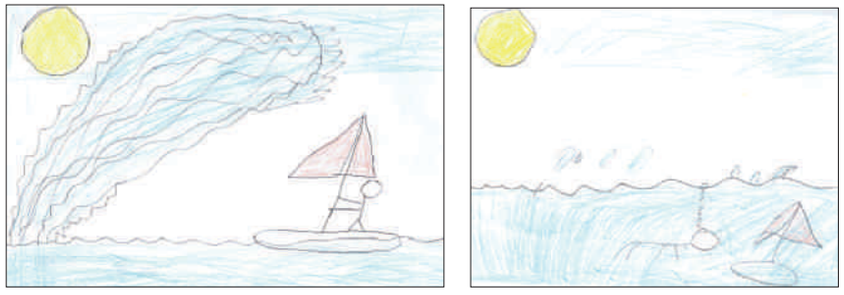
Force et effet destructeur du phénomène

La force du tsunami dépend de l'intensité du séisme, de la profondeur de son épicentre et de l'étendue des mouvements verticaux sur le plancher océanique. Ce mouvement donne lieu à un train de vagues à peine perceptible à la surface de l'océan (phase de propagation). Elles se déplacent à une vitesse de 700 à 900 km/h.

L'effet destructeur d'un tsunami est lié principalement à la hauteur d'inondation et à la vitesse de l'eau à proximité ou sur la terre. En un point donné de la côte, ses caractéristiques dépendent : de la bathymétrie locale, qui est à l'origine de focalisations et de résonances, de la topographie, de la rugosité du sol et de son occupation. Ces caractéristiques ont des effets directs sur les hauteurs de submersion qui seront atteintes. Avant que la première vague ne vienne frapper la côte, la mer peut se retirer sur plusieurs mètres de hauteur voire plusieurs dizaines de mètres. En général, la première vague n'est pas la plus forte. Celle-ci peut être suivie d'un second retrait, puis d'une autre vague et ainsi de suite. Certaines vagues peuvent survenir plusieurs minutes, voire une heure plus tard. En fonction de l'intensité de l'action mécanique qui les génère et de la géométrie de l'océan, les tsunamis se propagent sur des milliers de kilomètres et affectent les littoraux de plusieurs continents.

Prévention du tsunami

Les îles françaises de l'océan Indien commencent à se préparer face à cet aléa. La prise de conscience de la nécessité de mettre en place des actions de prévention est née des impacts du tsunami du 26 décembre 2004, quand des vagues sont montées à plus de 2 mètres de hauteur le long des côtes de la Réunion (Okal 2006) et à plus de 4 mètres aux Comores.



Dessins d'enfant illustrant un tsunami à Mayotte (classe de CE2 — Kavani stade, 2012)

À Mayotte, certains secteurs côtiers ont été inondés en 2004 sur plusieurs mètres de distance. Certaines hauteurs de ***run up*** ont atteint plus de 4 m comme par exemple dans le nord de l'île à Mtsamboro.

Définitions

L'étymologie du mot **tsunami** provient du japonais tsu « port » et nami « mer ». Il désigne littéralement une « vague portuaire ». Ce terme a été universellement repris pour désigner les grandes vagues générées par des mouvements verticaux de failles, des effondrements de caldeira ou de flancs de volcans et des glissements de terrain sous-marins. Excepté le cas des météorites, les tsunamis trouvent toujours une origine géodynamique.

Le *run up* se définit comme l'altitude maximale atteinte par le tsunami sur le littoral.

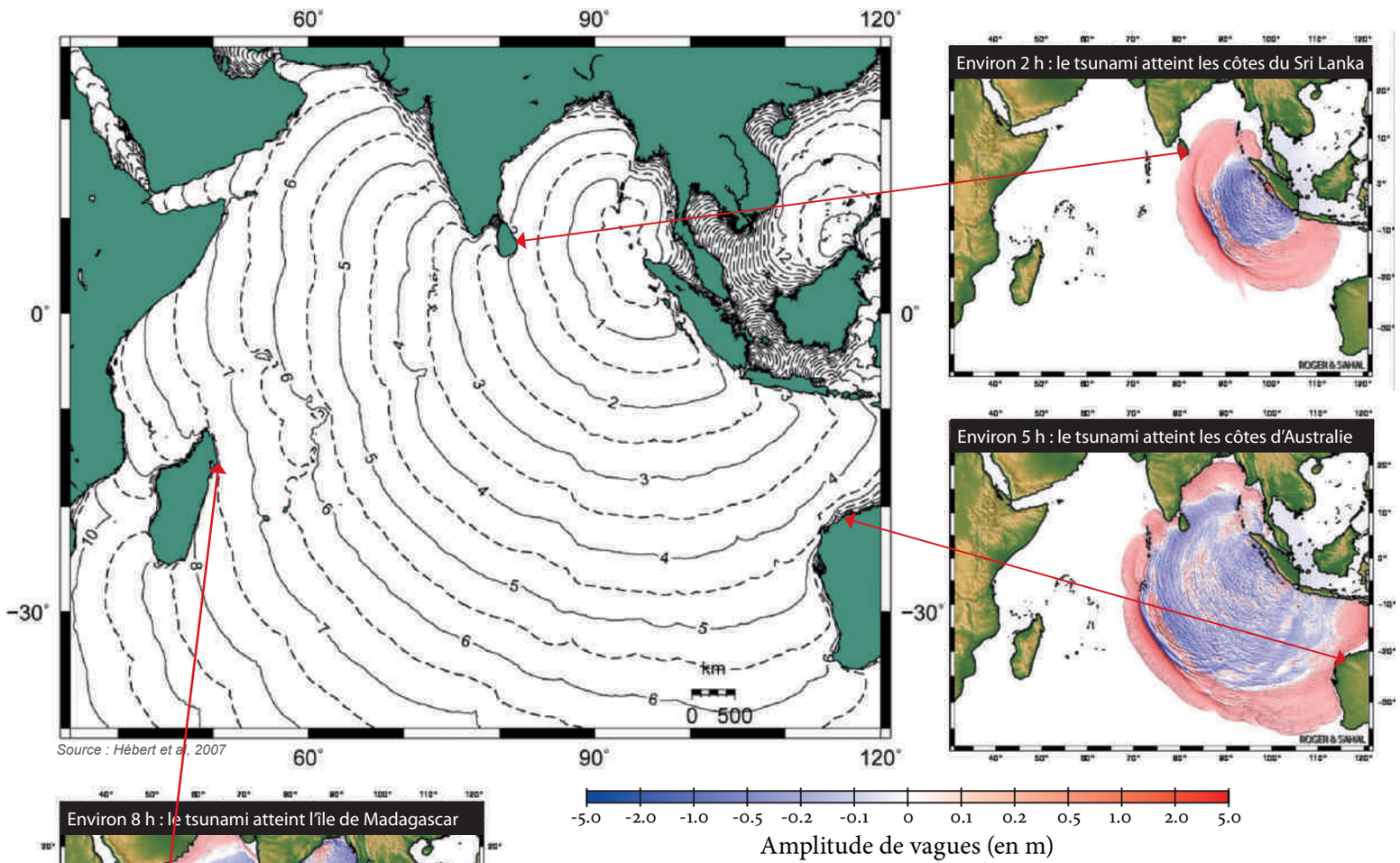
Pour en savoir plus

- **Sahal A. (2011) — *Le risque tsunami en France : contributions méthodologiques pour une évaluation intégrée par scénarios de risque.***
- **Hébert H. & Schindelé F. (2011) — *Peut-on prévoir les tsunamis ?***

Reconstitution numérique du tsunami du 26 décembre 2004

Le risque pour Mayotte d'être affectée par des tsunamis transocéaniques d'origine sismique est avéré, avec au moins deux sources potentielles majeures : la zone de subduction du Makran au Pakistan (temps de trajet modélisé d'environ 6 heures) et la zone de subduction de Sumatra en Indonésie qui a généré le tsunami du 26 décembre 2004 (temps de trajet modélisé et reconstitué d'environ 8 h 30 jusqu'à Mayotte).

Carte 20. Modélisation des temps de propagation (en heures) des ondes du tsunami du 26 décembre 2004



Source : Hébert et al, 2007

« La modélisation des tsunamis permet d'en dessiner les traits principaux, et complète les études de prévention du risque. Le vrai défi est de mener ces études suffisamment tôt avant les catastrophes, et d'en tirer les conséquences. »

(Lavigne & Paris, 2011)

Les modèles de sources sismiques retenus

Plusieurs modélisations ont été réalisées impliquant huit événements tsunamigènes connus entre 1833 et 2010, pour la zone de subduction de Sumatra. Nous nous intéressons ici au tsunami du 26 décembre 2004 même si les événements de 1833 et 1907 ont eux aussi généré des tsunamis assez puissants pour atteindre l'île de Mayotte. Le séisme exceptionnel du 26 décembre 2004, situé à 30 km de profondeur au large de l'île de Sumatra, a créé un tsunami destructeur qui a ravagé de nombreux littoraux. Le premier choc a été enregistré à 7 h 58 heure locale et sa magnitude a été estimée à 9.15 (Meltzner *et al.*, 2006 in Tsunarisque, 2011). La rupture s'étend sur plus d'un millier de kilomètres le long de la subduction de Sumatra. Deux modèles de source pour simuler cet événement ont été utilisés.

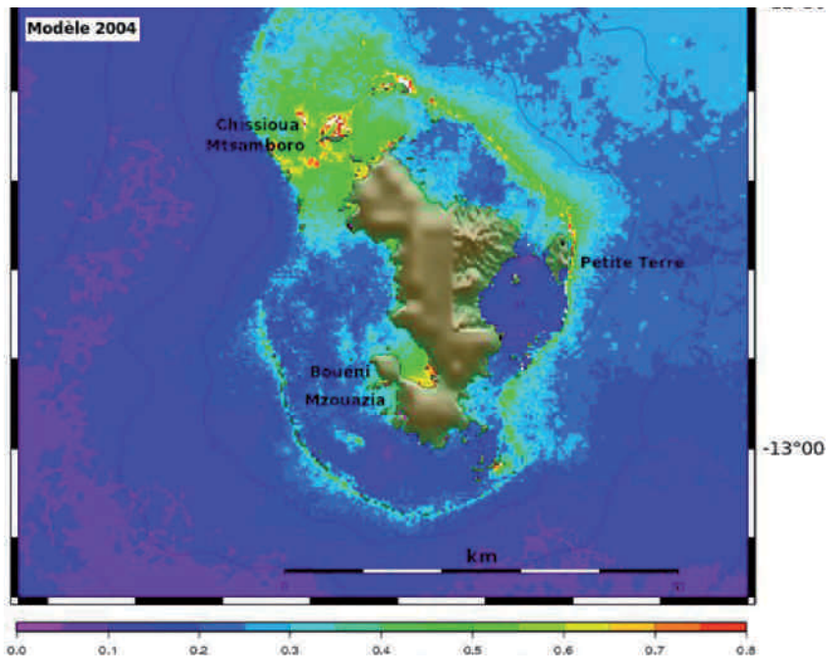
— Le premier est décrit par Hébert *et al.* (2007). Ce modèle estime la magnitude à Mw=9.2. Il génère une onde pour former la vague initiale d'une amplitude comprise entre -3.84 m à 6.92 m.

— Le deuxième modèle de source utilisé est celui de Sladen et Hébert (2008), qui a également pour magnitude Mw = 9.2. Ici, la vague initiale a une amplitude comprise entre -3.26 m à 9.50 m.

Le méga tsunami de l'océan Indien

L'événement de 2004 a généré des ondes de direction sud sud-ouest, qui ont traversé tout l'océan Indien. Deux heures après le séisme, la propagation des ondes du tsunami atteignait le Sri Lanka causant 31 000 morts (Lavigne et Paris, 2011), puis (cinq heures plus tard), l'Australie fut touchée à son tour. La première vague arriva environ 7 heures après l'initiation du tsunami à la Réunion et environ 8 h 30 après à Mayotte (Rapport PREPARTOI, 2012).

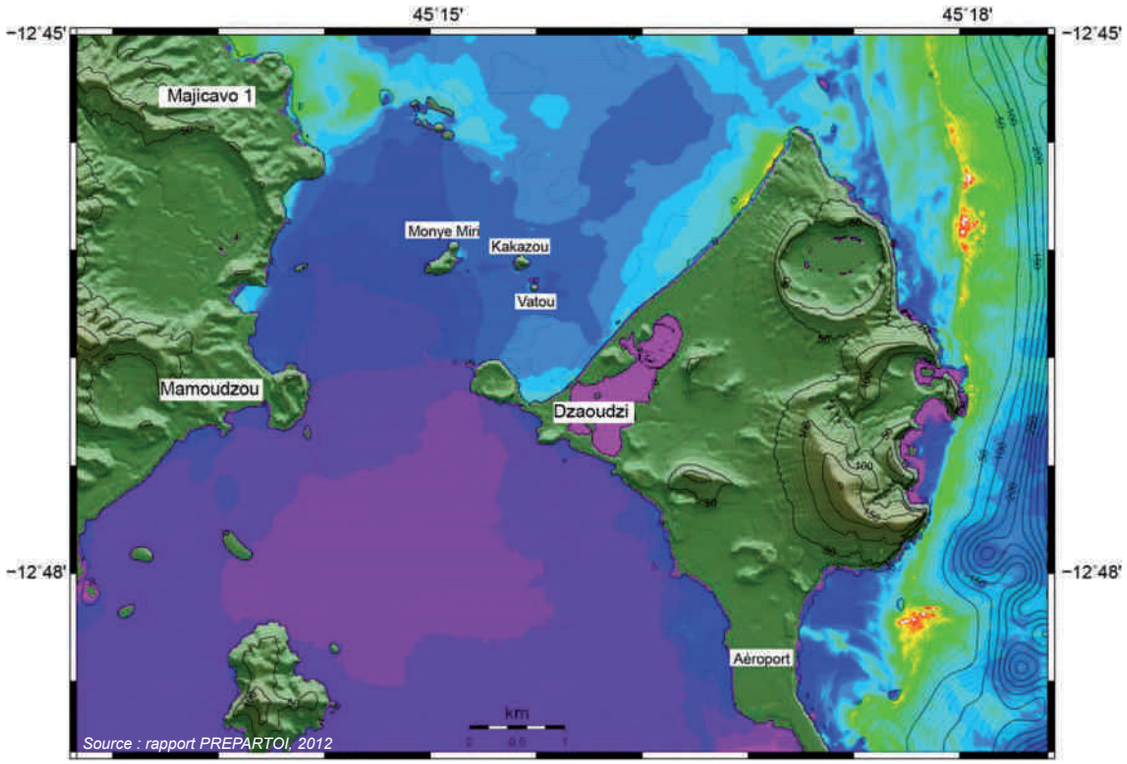
Carte 21. Hauteurs maximales obtenues pour Mayotte avec le modèle de Sladen et Hébert (2008) pour l'événement du 26 décembre 2004



Élévation maximale de l'onde (m)

source : fonds SRTM

Carte 22. Hauteurs maximales obtenues sur Petite-Terre avec le même modèle



Source : rapport PREPARTOI, 2012

Les hauteurs d'eau maximales

Le tsunami modélisé a atteint Mayotte par le nord-est puis la vague enroule l'île jusqu'au sud-ouest. Les hauteurs maximales calculées sont comprises entre 50 et 80 cm pour l'événement de 2004. Elles se situent au nord, au nord-est le long du récif et au sud de l'île. Les simulations montrent de fortes hauteurs d'eau au nord-est de l'île au-delà du récif, dans les baies du sud-ouest de l'île (Bouéni, Mzouazia) et dans les anses au sud-est de l'île. Au nord, l'île de Chissioua Mtsamboro enregistre les plus fortes hauteurs d'eau. À l'Est de Petite-Terre, les hauteurs d'eau sont proches du mètre. À l'ouest de Petite-Terre et au niveau de la ville de Mamoudzou, les hauteurs d'eau sont faibles. Les valeurs de *run up* maximales sont enregistrées dans l'anse de Majicavo 1, sur la côte au nord de Mamoudzou et au nord-est et sud-est de Petite-Terre. Le secteur de Majicavo 1 montre également une inondation assez importante mais cette dernière concerne une mangrove et n'atteint donc pas le rivage proprement dit.

Les limites des simulations

Ces données d'inondations et de hauteurs maximales calculées sont à relativiser en raison de la résolution de la dernière grille de simulation qui est de 15 m. Cela implique que les valeurs d'inondations et de hauteurs maximales sont à prendre comme des ordres de grandeur.

Petite-Terre : la plus exposée des deux îles

L'île de Petite-Terre est donc la plus exposée. D'après la simulation, le nord-est et le sud-est de l'île présentent des vagues de près d'un mètre aux abords du rivage. Entre les deux îles, les hauteurs d'eau maximales sont faibles et ne dépassent pas 70 cm. Les plages situées au nord-est et au sud-est (en contre bas de l'aéroport) de Petite-Terre et celles au nord de Mamoudzou le long des côtes de Majicavo 1 sont inondées. La ville de Mamoudzou ainsi que l'aéroport se situent suffisamment en hauteur et ne sont pas soumis à l'inondation. Les vitesses maximales se situent le long du récif, autour de Petite-Terre et au large des côtes de Majicavo 1 (entre 2 et 6 m/s). Ces vitesses sont plus rapides entre les îles situées au nord de Dzaoudzi (îles Monye Amiri, Kakazou et Vatou) et au large de la Pointe de Dzaoudzi (2 à 3 m) que dans le reste du lagon (0,1 m).

Conclusion

La modélisation d'un tsunami de type 2004 montre que la côte est de l'île, Mamoudzou et Petite-Terre sont protégés par le récif. Les inondations se limitent aux plages et à la mangrove qui occupe la plupart des baies de Mayotte. Ces résultats vont donc dans le sens des observations *in situ* faites pour l'événement de 2004 qui ont permis d'enregistrer des hauteurs d'inondation au niveau des anses au sud comprises entre 2.5 et 4 m de *run up*.

Pour en savoir plus

- **Lavigne F. & Paris R. (2011) — *Tsunarisque, le tsunami du 26 décembre 2004 à Aceh, Indonésie.***
- **Lavigne F. *et al.* (2012) — *Programme PREPARTOI : rapport final.***

Recueil de témoignages sur les tsunamis à Mayotte

Le recours à plusieurs types de témoignages

Trois approches complémentaires et chronologiques permettent de retracer l'historique du phénomène tsunami : la première s'attache aux événements contemporains qui peuvent faire l'objet de témoignages directs ; la seconde consiste en une recherche documentaire d'observations plus anciennes ; enfin, la troisième cherche à identifier et à analyser les dépôts consécutifs aux tsunamis (archives sédimentaires).

Peu d'archives écrites à Mayotte

Les archives écrites permettent habituellement d'établir une liste des tsunamis ayant eu un impact significatif dans le bassin étudié et des événements sismiques potentiellement tsunamigènes enregistrés à proximité.

Cependant, les recherches concernant l'impact des tsunamis transocéaniques ayant affecté la région depuis 2004 se sont révélées infructueuses. On peut attribuer ce manque d'information, notamment dans la presse locale, à une absence de remontée d'information des populations vers les autorités et les médias. Le tsunami du 26 décembre 2004 en témoigne malgré l'importance des effets de ce tsunami à Mayotte, il n'existe aucune mention des zones submergées dans les archives locales.

Campagne de recueil de dépôts sédimentaires

Cette approche sédimentologique consiste à identifier les dépôts laissés en place par les submersions marines et à les caractériser pour en déduire une spatialisation des énergies et hauteurs d'eau propres à l'événement passé.

À Mayotte, la campagne de prospection de dépôts sédimentaires consécutifs à des tsunamis réalisée dans le cadre du programme PREPARTOI a mis en évidence quelques sites qui auraient pu être submergés par des tsunamis dans le passé, notamment à M'Tsamoudou et dans la baie de M'Bouini, villages situés à la pointe sud de Grande-Terre.

Deux identifications de signatures sédimentaires de tsunamis

Sources : données GEBCO, SHOM et TerraModeler, Fonds de carte BD Ortho/IGN, 2008.

La majorité des tsunamis qui inondent les côtes laisse en place des éléments mobilisés lors de la dissipation d'énergie qui suit la submersion par les flots. Ces dépôts sédimentaires sont parfois conservés en place et ne sont pas remaniés. Leur datation permet d'alimenter les catalogues d'anciens tsunamis.

Recueil de témoignages oraux

Seule une campagne de recueil de témoignages a pu mettre en évidence des effets pour le tsunami de 2004 avec des ***surcotes*** allant de 2,51 (Mzouazia) à 4,46 m (Hamjago) (Sahal, 2011). De nombreuses observations ont été faites par des témoins présents sur le littoral mahorais (cf. carte).

Prise en compte de la marée

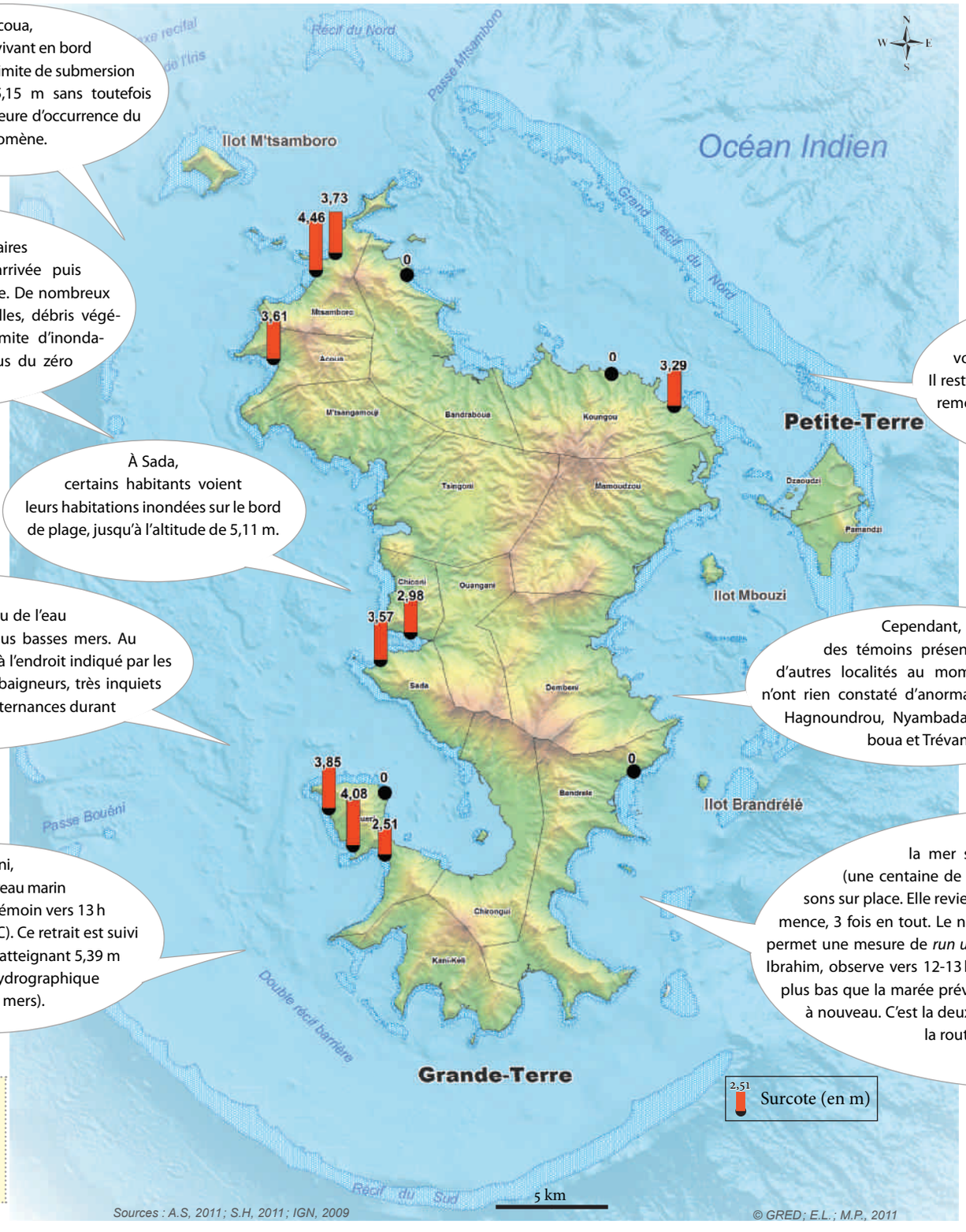
L'île de Mayotte est équipée d'un marégraphe à transmission automatique depuis 2006. Le marnage qui affecte ses côtes atteint une amplitude moyenne de 4 m. Compte tenu des fortes marées qui affectent l'île de Mayotte, il paraît judicieux de tenir compte des surcotes enregistrées lors de l'événement du 26 décembre 2004 plutôt que des *run up* mesurés par rapport aux plus basses mers. Lors des premières observations, il était 13 h (heure locale) à Mayotte. La cote prévue par le SHOM est de 1,54 m. On a donc retranché cette cote aux hauteurs de *run up* mesurées afin d'en déduire des surcotes. Ainsi, les hauteurs maximales du tsunami ont atteint, selon les témoignages recueillis, une altitude de 6 m, ce qui correspond à une surcote de 4,46 m (6 m – 1,54 m).

On peut constater que les effets sont contrastés à la côte. La côte Ouest semble la plus impactée, avec des *run up* atteignant 6 m localement. On peut poser l'hypothèse du rôle de protection qu'a joué la barrière de corail intacte à l'est et plus discontinue à l'ouest, et plus particulièrement au nord-ouest. Mais, la côte étant moins peuplée, moins de témoins ont pu être interrogés dans ce secteur.
Cette surcote importante — relativement à celles généralement observées sur les littoraux français — aurait pu avoir des conséquences bien plus graves si la marée avait été plus haute lors de l'arrivée des trains de vagues.

Complémentarité des approches

Les trois méthodes exposées (recueil de témoignages, archives écrites et archives sédimentaires) ne couvrent pas les mêmes intervalles de temps. Tandis que les témoignages recueillis sur le terrain ne permettent que très rarement de quantifier des effets remontant à plus de 65 ans, les archives écrites permettent (selon leur état de conservation) de remonter à près de 160 ans, du moins pour la presse ancienne. Pour ce qui est de la quantification des effets de tsunamis plus anciens, seuls quelques écrits historiques miraculeusement conservés ou reproduits, ainsi que les archives sédimentaires demeurent des sources d'information exploitables. Ainsi plus on se rapproche du présent, plus les informations recueillies sont nombreuses, précises et permettent un recoupement des sources et donc de parfaire notre connaissance des tsunamis passés.

Carte 23. Témoignages oraux de surcotes (en m) dues au tsunami du 26 décembre 2004



À Acoua, un pêcheur vivant en bord de mer indique la limite de submersion à une altitude de 5,15 m sans toutefois pouvoir préciser l'heure d'occurrence du phénomène.

À Chiconi, plusieurs témoins propriétaires de boutiques témoignent de l'arrivée puis du retrait du flux sur la place du village. De nombreux débris ont été laissés (canettes, poubelles, débris végétaux). Les témoins indiquent une limite d'inondation mesurée à 4,52 m au dessus du zéro hydrographique.

À Sada, certains habitants voient leurs habitations inondées sur le bord de plage, jusqu'à l'altitude de 5,11 m.

À Bambo Ouest, deux témoins observent un niveau de l'eau descendant d'un coup, plus bas que les plus basses mers. Au bout de 5 à 10 minutes, le niveau remonte jusqu'à l'endroit indiqué par les deux témoins. Le courant étant important, les baigneurs, très inquiets sortent de l'eau en courant. Il y a eu 2-3 alternances durant 30 min à 1 h.

À Bouéni, un retrait du niveau marin est constaté par un témoin vers 13 h locale le 26 (soit 10:00 UTC). Ce retrait est suivi d'une invasion marine atteignant 5,39 m au dessus du zéro hydrographique (plus basses mers).

À Majikavo Koropa, un premier témoin voit le niveau de la mer descendre vers 13 h. Il reste bas, au dessous des niveaux les plus bas, puis remonte au dessus de la route du bord de mer. L'altitude maximale atteinte est de 4,83 m.

Cependant, des témoins présents dans d'autres localités au moment des faits n'ont rien constaté d'anormal, notamment à Hagnoundrou, Nyambadao, M'Tsangaboua et Trévani.

À Mzouazia, la mer se retire relativement loin (une centaine de mètres), laissant de nombreux poissons sur place. Elle revient doucement, puis le phénomène recommence, 3 fois en tout. Le niveau maximal atteint indiqué par un témoin permet une mesure de *run up* de 4,05 m. Un second témoin, Issouf Ahmadi Ibrahim, observe vers 12-13 h que la mer qui baisse normalement descend plus bas que la marée prévue. Elle remonte violemment puis redescend à nouveau. C'est la deuxième surcote qui atteint le mur qui longe la route avant de le submerger.

Définition

La surcote marine est un dépassement anormal du niveau de la marée haute ou du recul de la marée basse, induit par des conditions météorologiques (cyclone) ou géodynamiques (tsunamis) inhabituelles combinant leurs effets à ceux des marées induites par la lune et le soleil.

Pour en savoir plus

- **www.prepartoi.fr**
- **Sahal A. (2011) — *Le risque tsunami en France : contributions méthodologiques pour une évaluation intégrée par scénarios de risque.***

Présentation de l'évolution morphodynamique du littoral à l'aide de quatre exemples

Le littoral, considéré comme une zone de contact entre la mer et la terre, est un milieu fragile en perpétuelle évolution. Longtemps restés à l'écart des établissements humains, ces espaces sont désormais soumis à de fortes pressions anthropiques. Combinées à ce phénomène de ***littoralisation***, les tendances régressives qui ont été observées sur certains sites démontrent la nécessité d'une gestion intégrée de cet espace vulnérable.

La plage artificialisée de Sada

Avec ses 8 000 habitants, la ville de Sada représente un parfait exemple de plage en zone urbaine. L'érosion de la plage s'explique ici par les aménagements anthropiques. En effet, en 1949, la ville de Sada n'était pas encore construite et l'ensemble du littoral disposait d'un couvert forestier important. La présence d'une forêt le long de la plage avait pour effet de stabiliser les sols. À cette époque, la plage apparaissait donc en état d'équilibre.

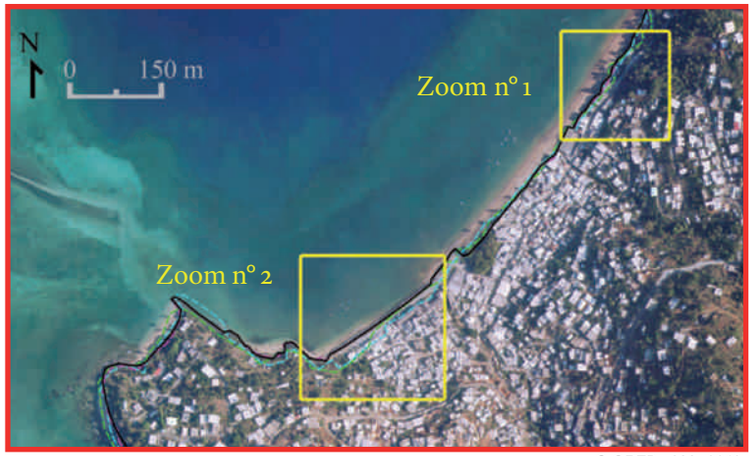
De 1949 à 1989, la construction de nouvelles habitations sur le front de mer s'est accompagnée d'un déboisement important qui provoqua une accélération de l'érosion. Puis la densification de l'habitat se stabilisa entre 1989 et 1997. Cependant, le recul du ***trait de côte*** s'est poursuivi en raison d'une raréfaction de la végétation rampante dont la cause semble être le piétinement intensif de la plage.

À l'heure actuelle, la partie nord de la plage demeure relativement stable avec des dynamiques saisonnières normales (érosion et accrétion).

Enrochements sur le haut de plage

Partie nord de la plage de Sada

Carte 24. Évolution historique de la plage de Sada



© GRED ; J.M., 2012

Position du trait de côte

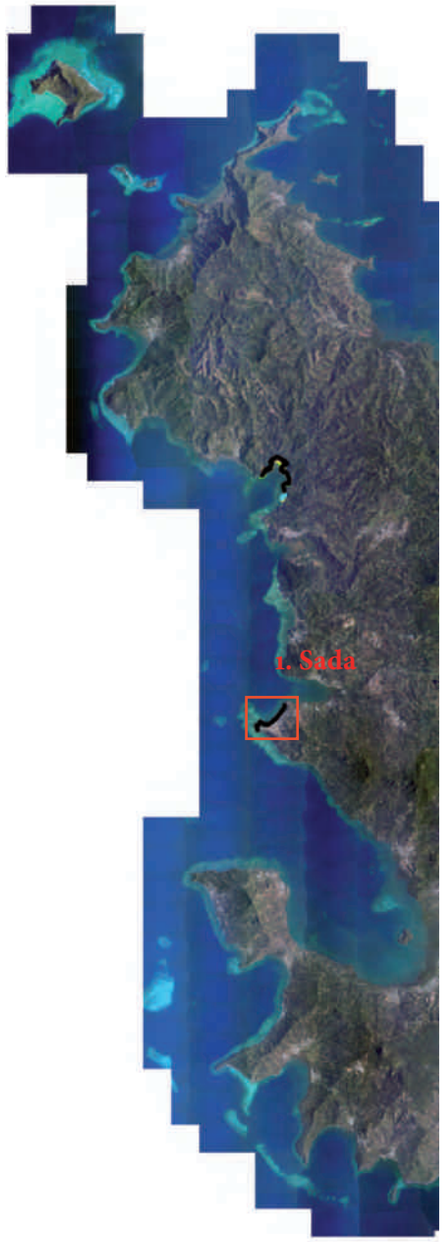
1949	- - - - -	2003	- - - - -
1989	- - - - -	2008	———

Zoom n° 1 : Partie nord de la plage

Le recul du trait de côte a été de 10 m entre 1949 et 2008, soit un recul de 17 cm/an.

Zoom n° 2 : Partie sud de la plage

On observe un remblai anthropique de la plage sur 33,5 m entre 1949 et 2008.



Crédits photos : © J. Mouassil, 2012

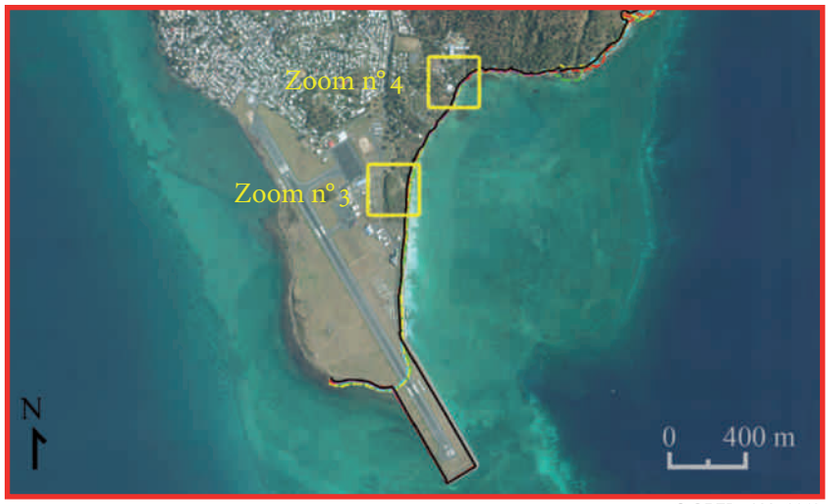
Les falaises vives de Pamandzi

Bien qu'elles ne soient encore que très peu urbanisées, les falaises de Pamandzi ont connu quelques aménagements ces dernières années. En effet, le sud a été complètement modifié par la construction puis le rallongement de la piste d'atterrissage de l'aéroport, réalisée à même le récif corallien. La partie nord de la falaise s'urbanise quant à elle peu à peu avec la construction du nouveau lotissement Chanfi.

Les falaises de Pamandzi sont constituées de matériaux pyroclastiques ponceux sensibles aux processus d'érosion comme la ***solifluxion***. Provoqué en partie par les infiltrations d'eau, ce processus contribue au démantèlement de la falaise. On retrouve ainsi à sa base de nombreux blocs écroulés et éboulés. Le recul du sommet de la falaise est aussi engendré par l'action des vagues qui viennent saper sa base et former des encoches. Entre 1949 et 2008, la partie nord a ainsi reculé de près de 16 m et la partie sud d'environ 20 m.

En revanche, le suivi diachronique de ces falaises montre une accentuation du phénomène d'érosion sur la partie nord depuis 1997. Par conséquent, un suivi régulier de leur évolution semble essentiel pour anticiper les conséquences potentielles sur les populations et les aménagements.

Carte 25. Évolution historique des falaises de Pamandzi



© GRED ; J.M., 2012

Position du trait de côte

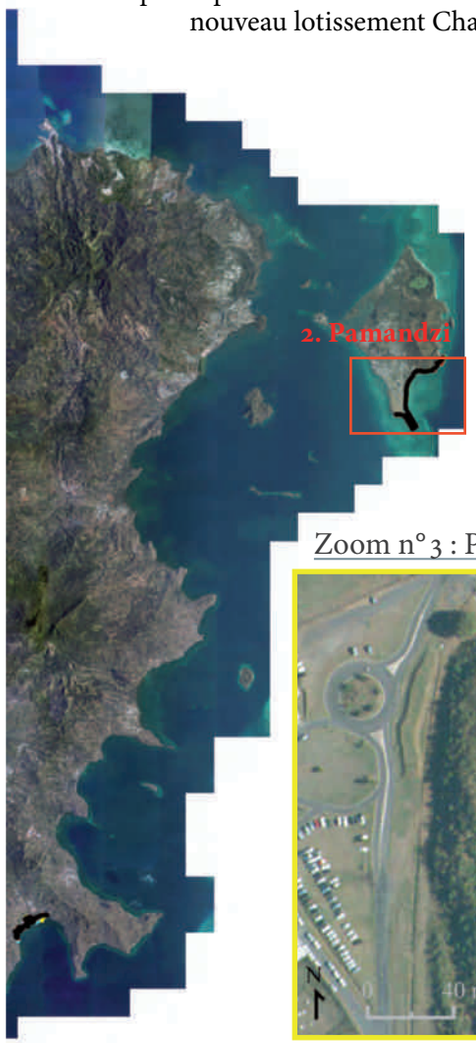
1949	- - - - -	1989	- - - - -	2003	- - - - -
1969	- - - - -	1997	- - - - -	2008	———

Définitions

La littoralisation correspond au processus de migration de la population sur le littoral. Elle implique ainsi une densification de la population et des activités humaines le long des côtes.

La solifluxion est un déplacement latéral d'une masse de matériaux d'une épaisseur de quelques décimètres, à des vitesses lentes (exprimées au maximum en cm/an). Ce mouvement est lié à la déformation interne des matériaux saturés en eau.

Le trait de côte correspond à la ligne de rivage, facilement identifiable sur les photographies aériennes par la différence radiométrique entre les parties sèches et humides de l'estran. Il peut parfois se définir par la rupture de pente entre le haut de plage et l'arrière-plage ou bien par la limite de la végétation dunaire.



Zoom n° 3 : Partie sud de la falaise

On observe un recul du trait de côte de 19,9 m entre 1949 et 2008.

Zoom n° 4 : Partie nord de la falaise

Le recul du trait de côte a été de 16 m entre 1949 et 2008.

© J. Mouassil, 2012

Blocs éboulés sur la plage au pied des falaises (côté sud)

© J. Mouassil, 2012

Partie nord de la falaise

Présentation de l'évolution morphodynamique du littoral à l'aide de quatre exemples (suite)

La micro-falaise de Soulou

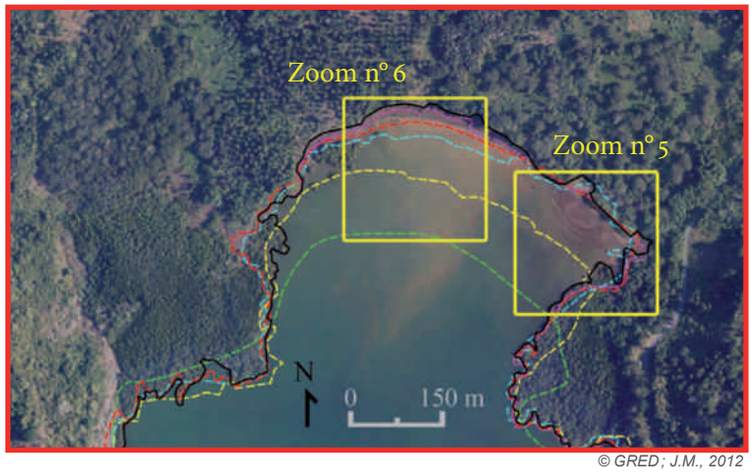
Le site de Soulou se caractérise par la présence d'une micro-falaise dont la hauteur peu parfois atteindre plus de deux mètres. Recouverte par une large bande forestière, elle est déstabilisée au niveau de l'abrupt où on observe de nombreuses chutes d'arbres.

Ce littoral étant peu anthropisé, les seuls enjeux du site correspondent aux activités agricoles liées à une cocoteraie située dans la partie nord-ouest. Même si la trace de l'homme reste actuellement peu visible, elle n'en demeure pas moins existante. En effet, la présence d'une ancienne usine sucrière à proximité de ce site a entraîné le défrichement progressif de la mangrove (besoin de construction) encore présente à l'époque. Disposant d'un couvert végétal moins important, la plaine littorale est moins bien protégée contre l'action des vagues et l'érosion s'accentue.

Il semblerait donc que l'homme joue un rôle important dans l'érosion actuelle de ce site. Cependant, l'érosion provient aussi des écoulements de surface qui, en creusant des encoches, contribuent à la chute des arbres et à la régression de la micro-falaise. L'analyse diachronique montre un recul considérable en seulement 60 ans avec des vitesses d'érosion pouvant atteindre 3 à 4 m/an en certains secteurs.

La présence de nombreux arbres couchés encore vivants le long de l'estran indique que cette régression est encore très active.

Carte 26. Évolution historique des micro-falaises de Soulou

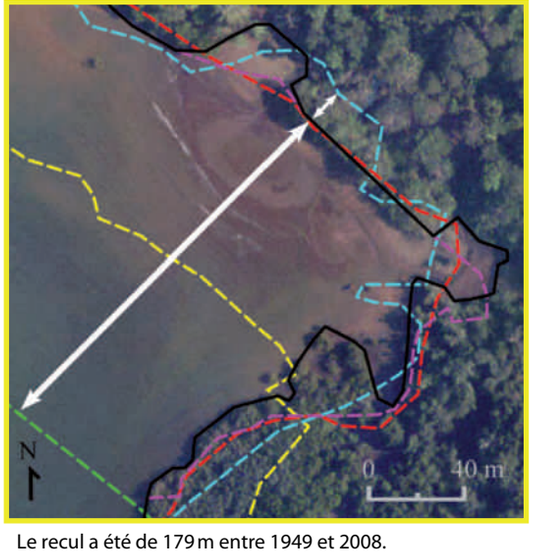


© GRED ; J.M., 2012

Position du trait de côte

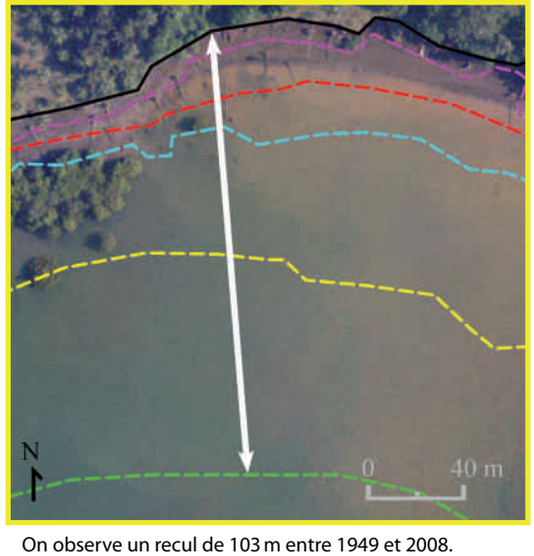
1949	- - - - -	1989	- - - - -	2003	- - - - -
1969	- - - - -	1997	- - - - -	2008	———

Zoom n° 5 : Partie est de la micro-falaise



Le recul a été de 179 m entre 1949 et 2008.

Zoom n° 6 : Partie ouest de la micro-falaise



On observe un recul de 103 m entre 1949 et 2008.

© J. Mouassil, 2012

Partie ouest de la micro-falaise

© M. Jeanson, 2012

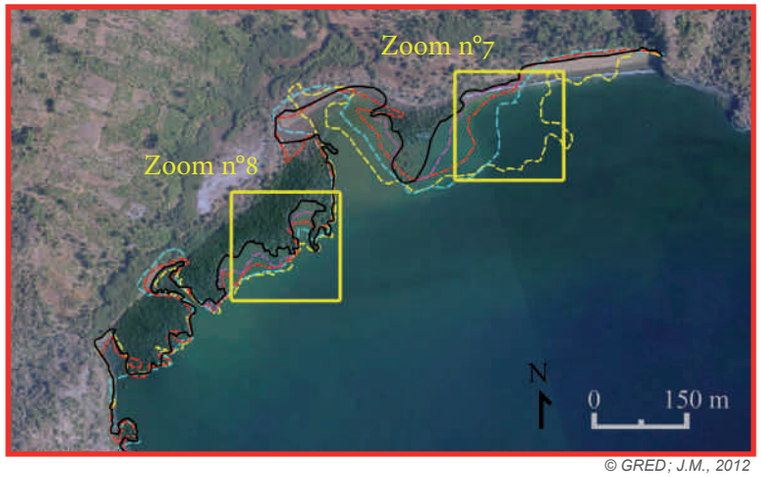
Partie est de la micro-falaise

La mangrove de Dapani

Le site de Dapani se caractérise par une forte régression de la mangrove entre 1949 et 2008. D'après les résultats du rapport MANGUIERS (Dolique *et al.*, 2010), la superficie de la mangrove est passée de 23,25 ha en 1949 à 13,24 ha en 2008, soit une perte de 9,71 ha, équivalent à une réduction de 46,33 % de la superficie totale initiale. Ce recul résulte d'un déséquilibre entre ces formations végétales anciennes et les caractéristiques hydrodynamiques et sédimentaires actuelles.

Le fond de baie accueillant la mangrove subit un phénomène d'érosion, provoquant l'asphyxie et la mort des palétuviers.
La cause du recul de la mangrove est donc principalement naturelle. Il paraît très probable que les modifications des conditions hydrodynamiques du milieu sur le temps long constituent le forçage naturel dominant dans l'attaque des palétuviers et le recul de la mangrove. Enfin, on notera que le site est très peu urbanisé et qu'il ne représente pas de risque particulier pour la population.

Carte 27. Évolution historique de la mangrove de Dapani



© GRED ; J.M., 2012

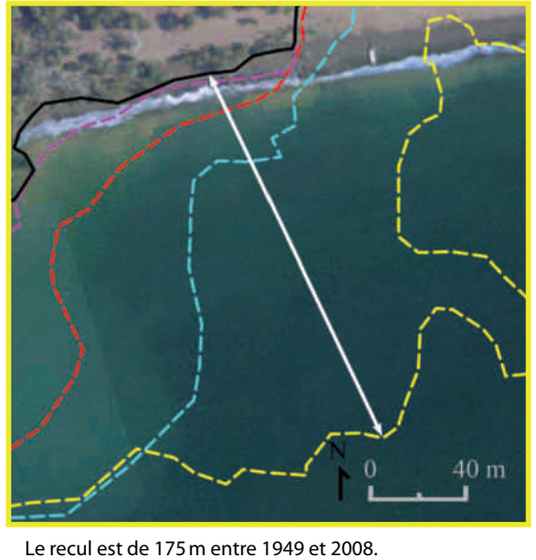
Position du trait de côte

1949	- - - - -	1989	- - - - -	2003	- - - - -
1969	- - - - -	1997	- - - - -	2008	———

© J. Mouassil, 2012

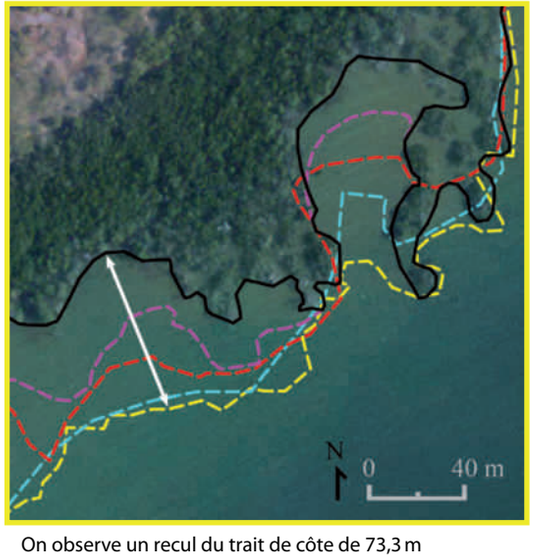
Mangrove en érosion sur la partie ouest

Zoom n° 7 : Partie est de la mangrove



Le recul est de 175 m entre 1949 et 2008.

Zoom n° 8 : Partie ouest de la mangrove



On observe un recul du trait de côte de 73,3 m entre 1949 et 2008.

© J. Mouassil, 2012

Partie est de la mangrove face au Choungui

Pour en savoir plus

- **De La Torre Y. *et al.* (2006) — *Morphodynamique des littoraux de Mayotte — Phase 2.***
- **Dolique F. *et al.* (2010) — *MANGUIERS.***

Comment gérer l'érosion littorale ?

La plage de Sada

L'érosion de la plage de Sada est d'origine anthropique et provient de l'implantation d'habitations sur le haut de plage. Cependant, la plage située dans le sud de Sada a ensuite été « sacrifiée » aux profits de la construction de lourds aménagements de protection (enrochement). Par conséquent, les besoins actuels doivent porter prioritairement sur une amélioration de la gestion du haut de plage, la mise en place d'une politique littorale et l'application de la réglementation en vigueur.

La falaise de Pamandzi

Il s'agit d'une falaise vive qui s'érode naturellement et inexorablement du fait de sa lithologie, à des rythmes variables. Aller à l'encontre de ce processus naturel revient à réaliser de lourds et coûteux aménagements, car un traitement localisé de la falaise n'aurait aucune utilité. Seule une réflexion à l'échelle de la cellule littorale et sur le temps long semblerait efficace pour stabiliser cette falaise.

Aménagements...

La stabilisation de la falaise de Pamandzi pourrait se faire au moyen de deux types d'aménagements : d'une part, la construction d'un enrochement en pied de falaise afin de limiter le sapement basal et les éboulements ; d'autre part, en menant des travaux de drainage afin de réduire les infiltrations et ainsi le phénomène de solifluxion.

... ou recul stratégique ?

Mais, en plus de coûts financiers élevés, ces aménagements conduiraient à dénaturer le site sur le plan paysager et écologique. De telles mesures doivent être réservées à des secteurs directement menacés présentant des enjeux difficilement délocalisables. Dans le cas contraire, il est préférable d'appliquer un ***recul stratégique***.

Synthèse des caractéristiques des sites étudiés

Zone d'étude (numéro et localisation)	1- Sada	2- Pamandzi	3- Soulou	4- Dapani
Prise de vue terrain				
Type de littoral	Plage artificialisée	Falaise vive à profil sub-vertical	Micro-falaise	Mangrove
Érosion littorale : Évolution	Recul de la plage de 10 m au nord entre 1989 et 1949 et empiètement de l'urbanisation sur 33,5 m de plage. La vitesse d'érosion est de l'ordre de 1 m /an.	Recul actuel de 30 à 40 cm/an.	Recul de 179 à 196 m entre 1949 à 2008 soit une vitesse d'érosion de 3 à 4 m/an.	Régression de 9,71 ha de 1949 à 2008 soit une perte de 46,33 % de la superficie totale initiale. Vitesse moyenne à l'est de 4,7 m/an.
Causes	Aménagement massif du haut de plage et du versant.	Agents marins (site exposé au large) et agents sub-aériens (solifluxion des matériaux ponceux du fait des infiltrations d'eau).	Défrichement important en raison de la construction d'une usine sucrière et des besoins de l'époque.	Modification des conditions écologiques, hydrodynamiques et sédimentaires.
Enjeux	Urbanisation importante sur le front de mer (habitation, ERP, etc.).	Lotissement Chanfi au nord, piste d'atterrissage et usine de dessalement au sud.	Peu habité mais forte activité agricole liée à la cocoteraie.	Peu ou pas aménagé. Présence d'un kiosque sur la place, vestige d'un parcours pédagogique et présence d'une piste d'atterrissage pour ULM.

Crédits photos : © J. Mouassil, 2012 © GRED ; J.M., 2012

La micro-falaise de Soulou

L'érosion de la micro-falaise de Soulou est provoquée par l'action des vagues à marée haute et par les écoulements de surface. Bien que son recul soit très important, aucun enjeu ne paraît actuellement menacé par cette régression. Par conséquent, seule la replantation de palétuviers peut être recommandée car l'érosion de ce site provient essentiellement des activités de l'homme.

La mangrove de Dapani

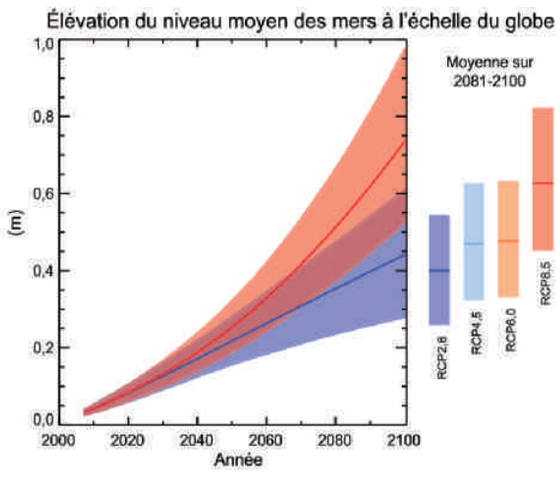
L'important recul de la mangrove de Dapani semble être principalement naturel. Il est dû à une modification des processus écologiques, hydrodynamiques et sédimentaires. Sur ce site, les ouvrages de protection ne se justifient pas car les enjeux sont très faibles. En revanche, la replantation de palétuviers adaptés aux sols sableux pourrait être envisagée à certains endroits.

La mangrove de Dapani et le mont Choungui en arrière-plan

Définition

Le recul stratégique correspond à la délocalisation des infrastructures en dehors des zones à risques, à l'intérieur des terres.

Projections de l'évolution du niveau moyen des mers par rapport à la période 1986-2005, réalisées en combinant plusieurs modèles



Source : GIEC, 2013

Une élévation du niveau marin susceptible d'aggraver l'impact de ces phénomènes naturels ?

Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), l'île de Mayotte fait partie des territoires qui seront, dans les prochaines années, les plus menacés par les conséquences du réchauffement climatique. D'après le rapport du GIEC paru en 2013, une élévation moyenne du niveau des mers de 26 à 82 cm est prévue d'ici à 2100. Cette hausse associée à une augmentation des températures aurait pour conséquence une intensification de la fréquence et de l'intensité des phénomènes naturels tels que les cyclones ou les fortes précipitations. Une montée du niveau marin sur les côtes mahoraises provoquerait une plus grande pénétration des eaux en cas de tsunami et de houle cyclonique. Par ailleurs, Mayotte connaît un phénomène de subsidence. Cette île, qui ne connaît plus d'activité volcanique depuis plusieurs milliers d'années, s'enfonce progressivement sous son poids (Graviou *et al.*, 2006). Dans quelques millions d'années, si aucune reprise de l'activité volcanique n'a lieu, l'île sera vouée à disparaître sous le niveau de la mer en laissant émerger un atoll. Combinée à une élévation du niveau marin, l'enfoncement de l'île contribuera lui aussi à l'aggravation de l'impact de ces phénomènes.

Enfin, les causes d'une aggravation future de l'impact de ces phénomènes naturels sont aussi à rechercher à une échelle plus locale. Bien que les dynamiques en action sur les littoraux de Mayotte soient très variables, l'île connaît aujourd'hui une érosion littorale importante dans certains espaces. Comme nous avons pu le constater, des secteurs tels que la plage de Sada, la falaise de Pamandzi, la micro-falaise de Soulou ou encore la mangrove de Dapani connaissent actuellement des dynamiques érosives importantes. Par conséquent, la fragilisation du littoral entraînée par un processus d'érosion contribuera à l'augmentation de l'exposition des côtes face aux tsunamis et aux houles cycloniques.

Pour en savoir plus

- **GIEC (2013) — *Résumé à l'intention des décideurs — Changements climatiques 2013.***

L'activité volcanique

Le volcan Karthala de Grande Comore : menace potentielle pour Mayotte ?

Les éruptions volcaniques

Mayotte est située à 250 km à vol d'oiseau de l'île de Grande Comore. Cette dernière est la plus occidentale, la plus vaste (1 024 km²) et la plus élevée (2 631 m) de l'archipel. Elle abrite deux volcans de point chaud : la Grille et le Karthala. Ce dernier est un jeune volcan bouclier dont la fréquence éruptive était de 11 ans en moyenne au cours du dernier siècle et qui a récemment augmenté. C'est pourquoi la communauté scientifique manifeste un intérêt particulier pour l'étude de ce volcan.

Iran
Pakistan
Arabie Saoudite
Oman
Yémen
Éthiopie
Somalie
Kenya
Tanzanie
Comores
Karthala
Mayotte
Madagascar
Inde
Sri Lanka
Maldives
Myanmar
Chine
Thaïlande
Singapour
Malaisie
Indonésie
Océan Indien

▲ Volcan émergé et supposé actif (éruption au cours de l'Holocène)
▲ Volcan émergé ayant donné une éruption significative au cours de l'Holocène

1 000 km

Sources : NGDC consultée en 2012, fonds mondial GDAM, 2009

© GRED ; E.L., 2012

▲ **Les aléas naturels en présence**

Quelle gestion pour le Karthala ?

En avril 2010 le volcan islandais Eyjafjallajökull entrait en éruption provoquant un nuage de cendres aux conséquences économiques sans précédent pour ce type d'aléa. Le trafic aérien fut paralysé dans tout le nord-est de l'Europe. Les pertes financières des compagnies aériennes et d'assurances se sont élevées à 200 millions d'euros par jour sans compter les millions de passagers restés bloqués dans les aéroports du monde entier (Lavigne et De Belizal, 2010). Cette crise a mis en évidence un manque de coordination et d'anticipation des autorités européennes face à ce type d'aléa. Par ailleurs, la communication envers les populations a été difficile du fait de l'incertitude sur l'évolution de ce phénomène tributaire des conditions météorologiques.
Mayotte n'est pas directement concernée par le risque volcanique mais le volcan Karthala situé sur l'île de Grande Comore peut être considéré comme une menace régionale, au même titre que le volcan islandais l'a été pour le nord-est de l'Europe.

Le Karthala : volcan comorien

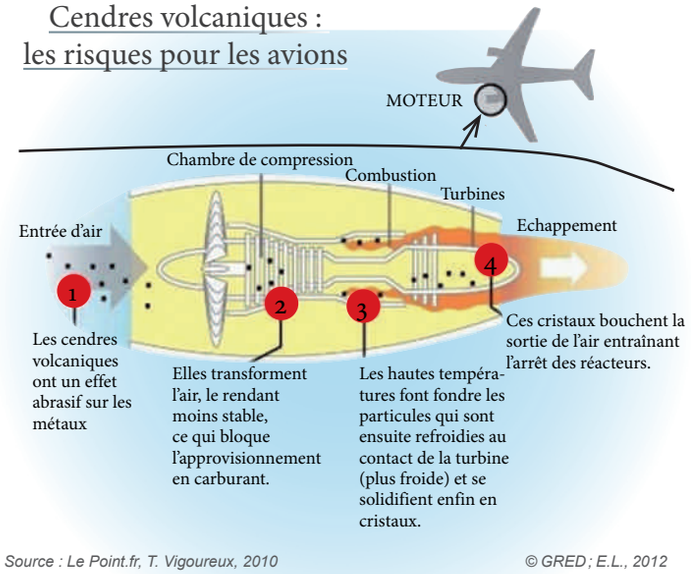
Ce volcan bouclier occupe les deux tiers méridionaux de l'île de Grande Comore. Depuis 2005, il connaît un fort regain d'activité volcanique. En effet, quatre éruptions de types explosives et magmatiques ont eu lieu entre avril 2005 et janvier 2007. Ce volcan inquiète à nouveau les habitants. La communauté scientifique, quant à elle, porte aujourd'hui son intérêt sur la vulnérabilité et les réponses des populations et des autorités face aux risques volcaniques en milieu insulaire. Les coulées de lave, les retombées aériennes et les lahars sont les trois aléas majeurs les plus préoccupants pour la Grande Comore.

Une enquête réalisée en Grande Comore a démontré que la population n'était pas ou peu préparée aux risques volcaniques. En effet, environ la moitié de la population a pris la fuite lors de cette crise éruptive, compliquant la gestion de la situation par des autorités déjà débordées (Morin, 2006).

Les cendres, quel risque pour les avions ?

La formation d'un nuage de cendre serait problématique pour tout l'archipel comorien. Même si cela ne reste qu'une hypothèse il paraît intéressant de s'informer sur ce phénomène et ses conséquences sur les avions. L'épisode du volcan islandais a mis en évidence la difficulté à gérer les risques aériens au vu du peu d'avancées scientifiques internationales dans ce domaine. Aujourd'hui, il existe encore de nombreuses incertitudes concernant les seuils de concentration des cendres capables de bloquer un réacteur. Un des exemples les plus connus est celui du Boeing 747 qui, en décembre 1989, traversa le nuage de cendres du mont Redoubt en Alaska. Les réacteurs de l'avion ingérèrent de grandes quantités de cendres et cessèrent rapidement de fonctionner. Finalement, au bout de quelques minutes et après avoir perdu 4 000 mètres d'altitude, les moteurs repartirent et l'avion se posa normalement.

Le cratère du Karthala en éruption avec son lac de lave



Le panache de cendres représente un danger pour les avions en réduisant considérablement leur visibilité mais surtout en endommageant leurs réacteurs. En effet, contrairement aux cendres issues de la combustion de la biomasse (feux de forêt...), les cendres volcaniques sont composées de minuscules particules de silice qui peuvent fondre et se recristalliser.

Pour en savoir plus

- **Lavigne F. & De Belizal R. (2010) — *Les effets géographiques des éruptions volcaniques.***
- ***Morin* J. (2006) — *Évaluation du risque volcanique en Grande Comore.***

© F. Leone, 2011 — Pêche au filet par les femmes mahoraises dans la baie de Chiconi

© F. Leone, 2 — Jour de marché

Mémoire et représentations des risques naturels

Catastrophes et retours d'expérience

Témoignages historiques

Études de cas

Perception des risques

Sources diverses dont BNF

Création d'une base de données historiques compilant divers témoignages

La compilation de sources diverses a permis la création d'une base de données qui répertorie 335 événements sur la période 1500-2010. Ce premier catalogue historique permet de dresser un « état des lieux » des phénomènes naturels passés qui ont affecté l'île de Mayotte.

Extrait de la base du catalogue historique

Phénomène naturel		Localisation		Date	Dommages				Sources		
Famille d'aléa	Phénomène	Commune	Site	Année	Morts	Blessés	Dommage au bâti	Autres dommages	Auteur	Document	Année
Morphodynamique	Inconnu	Sada	Localité de Sada	2004	3	3	Deux cases SIM détruites			*Mayotte Hebdo* n° 179	2004
Morphodynamique	Glissement de terrain	Mamoudzou	Localité de Koualé	Inconnue	5		Une partie du village détruite	Beaucoup de bétail disparu	S. Hachim, 2004	*DDRM*	2010
Morphodynamique	Glissement de terrain	Mamoudzou	Kwale legion	1829					J.-C. Audru *et al.*, 2010	*Engineering Geology*	2010
Morphodynamique	Chute de blocs / Éboulement	Koungou	Majicavo	1990	Oui		Non			*BD_MVT*	2010
Hydroclimatique	Inondation	Mamoudzou	Kwale	1680					J.-C. Audru *et al.* 2010	*Engineering Geology*	2010
Hydroclimatique	Lave torrentielle	Mamoudzou	Localité de Koualé	1630	Beaucoup de pertes humaines		Une partie du village détruite		S. Hachim, 2004	*DDRM*	2010
Géodynamique	Séisme	Mamoudzou	Kwale legion	1829					J.-C. Audru *et al.*, 2010	*Engineering Geology*	2010
Géodynamique	*Run up* tsunami	Bouéni	Bouéni	2004					A. Sahal, 2011	Témoignages oraux	2011
Climatique	Submersion marine par houle cyclonique	Bouéni	Localité de Bouéni	1934			Maisons et arbres détruits	Toutes les récoltes	Témoignage de Moinou Madi recueilli par : El Faouzi Soumaila — 1re G	« Histoires et légendes mahoraises » *Archives orales — Cahier n° 3*	1999
Climatique	Submersion marine par houle cyclonique	Bouéni	Village Mbouanatsa	1600			Destruction du village et d'un port		S. Hachim, 2004	*DDRM*	2010
Climatique	Submersion marine par houle cyclonique	Bouéni	Village de M'Zouazia	1934			Toutes les maisons détruites, les arbres couchés		Témoignage de Bakari Masundi recueilli par Ali Ida — 1re ES2	« Histoires et légendes mahoraises » *Archives orales — Cahier n° 3*	1999

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Cette base de données est composée de différents champs dont les principaux apparaissent dans l'extrait ci-dessus. Cette collecte de témoignages doit être poursuivie et complétée sur de longues périodes afin de créer une série de données exploitables sur le plan statistique. Un catalogue étendu permettra à terme d'évaluer plus précisément la *récurrence* des différents aléas naturels.

Critique et limites du catalogue historique

Durant les deux derniers siècles, on a dénombré en tout 257 enregistrements qui font référence à un phénomène naturel. 54 enregistrements sont comptabilisés entre 1500 et 1900 et 34 n'ont pas de date connue à ce jour. Ce manque de précision s'explique par l'absence d'archives sur l'île de Mayotte au sujet des phénomènes naturels passés, en particulier avant les années 1990. Le nombre d'enregistrements antérieurs à cette période varie entre 0 et 10 témoignages par décennie.

Durant les années 1930, on observe un pic relatif qui comprend dix témoignages. Il correspond au passage du cyclone Disseli (1934), pour lequel sont mentionnés six enregistrements sur dix pour cette période.

À l'inverse, la période des années 2000, qui comprend à elle seule presque la moitié des enregistrements de la base de données, soit 164, n'a pas connu d'événement majeur. Depuis les années 1990, les risques naturels sont de plus en plus étudiés par les services de l'État et du département de Mayotte, avec un archivage facilité par l'outil informatique. Ici c'est la précision de la BDmvt (139 mouvements de terrain) BRGM, (2010), qui augmente considérablement le nombre d'enregistrements.

On constate que ce recueil de données présente de nombreuses limites, notamment dans la précision des faits et leur localisation. Il amorce une future base de données historiques qui sera complétée et mise à jour dans les années à venir. Des enquêtes de terrain menées directement auprès de la population mahoraise viendraient probablement enrichir considérablement cette base de données essentielle pour maintenir une conscience des risques naturels à Mayotte.

Définition

La récurrence d'un phénomène se définit par sa fréquence historique de retour.

Extrait du « *Journal de Mayotte* » sur l'événement cyclonique Kamisy datant du vendredi 4 mai 1984

CYCLONE «KAMISY»

Le bilan officiel des dégâts

La Collectivité Territoriale vient de publier le bilan officiel des dégâts causés par le cyclone Kamisy. Nous publions ici des extraits de ce dossier d'une vingtaine de pages qui sera transmis aux autorités compétentes, en métropole.

Equipements publics

Le cyclone a causé des dégâts importants aux **bâtiments scolaires**, dont beaucoup étaient cependant de constructions récentes.

Sur 250 classes primaires existantes, 15 classes ont subi des dégâts tels qu'elles devront être totalement reconstruites, 46 autres ont eu leur toiture arrachée et des dégâts importants dans le gros œuvre

lution du dommage ne peut donc être uniquement circonscrite au seul coût du remplacement de la toiture, mais aussi à la reprise complète du bâtiment ainsi qu'au remplacement du mobilier et des fournitures scolaires détruites par les violentes pluies qui ont accompagné le cyclone.

Les dégâts concernant les écoles primaires s'élèvent à environ 4 550 000 F sur la base de 150 000 F par école à reconstruire et 50 000 F par école à réparer.

La valeur du mobilier et des fournitures à remplacer représente 300 000 F.

S'agissant des collèges, les observations précédentes ont été également faites.

Ainsi, pour le collège de Mamoudzou et ses annexes de Dzaoudzi et Tsimkoura, les toitures ont été en partie arrachées et plusieurs bâtiments gravement endommagés, ainsi que le mobilier et les fournitures. Les dégâts et pertes sont évalués à 450 000 F.

Enfin, d'autres dégâts de nature identique ont été constatés dans les locaux de l'APFPC (Association pour la Formation Professionnelle Continue) pour un montant de 350 000 F dont destruction totale d'une école préprofessionnelle à Kani-Kéli et sur un chantier en cours à Kavani.

Le bilan des dégâts est de 5 650 000 F dont 4 550 000 F pour les classes primaires.

Dans les communes, trois mairies récemment construites ont été très gravement endommagées lors du passage du cyclone : Kani-Kéli, M'tsangamouji et Chirongui. Les autres édifices municipaux ont également largement souffert, les dégâts sont estimés au total à 2 millions de francs.

Cinq lavoirs ayant eu leurs toitures arrachées : 65 000 F, destruction partielle (toitures notamment arrachées) de 25 mosquées : 500 000 F, réfection à l'identique par les fidèles.

L'estimation des destructions de l'ensemble du patrimoine immobilier communal (à l'exception des écoles) se monte à 2 565 000 F.

Les dégâts occasionnés aux divers **réseaux de distribution** sont imputables autant à la force du vent (pointes à 150 Km/h) qu'aux chutes d'arbres sur les lignes aériennes et sur les canalisations.

adduction d'eau rurale : 270 000 F, électricité : 2 000 000 F, téléphone : 500 000 F, ordures ménagères : 50 000 F.

Soit un total de 2 830 000 F.

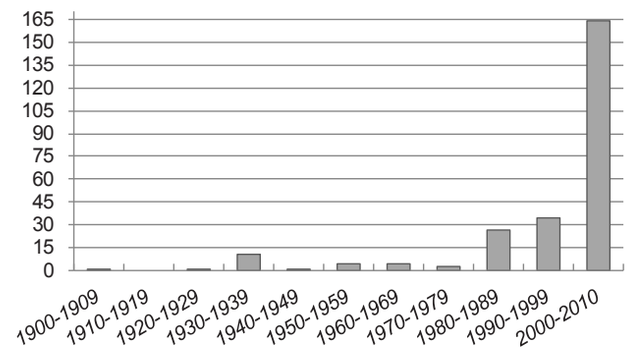
N.D.L.R. : Nous publierons la semaine prochaine la suite de ce dossier, avec, en particulier, l'évaluation des dégâts causés à l'agriculture, la pêche, l'habitat et les entreprises.

Source : Journal de Mayotte, 1984

Cet extrait, issu d'un journal local, traite des dommages imputables à l'un des événements les plus marquants sur l'île de Mayotte : le cyclone Kamisy. La mémoire du risque sur l'île s'est construite par la transmission essentiellement par oral et les témoignages écrits sont rares.

Nombre de témoignages historiques par décennie, de 1900 à 2010

Ce graphique traduit la difficulté d'accès aux données historiques à Mayotte sur les risques naturels .



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Source : Météo France

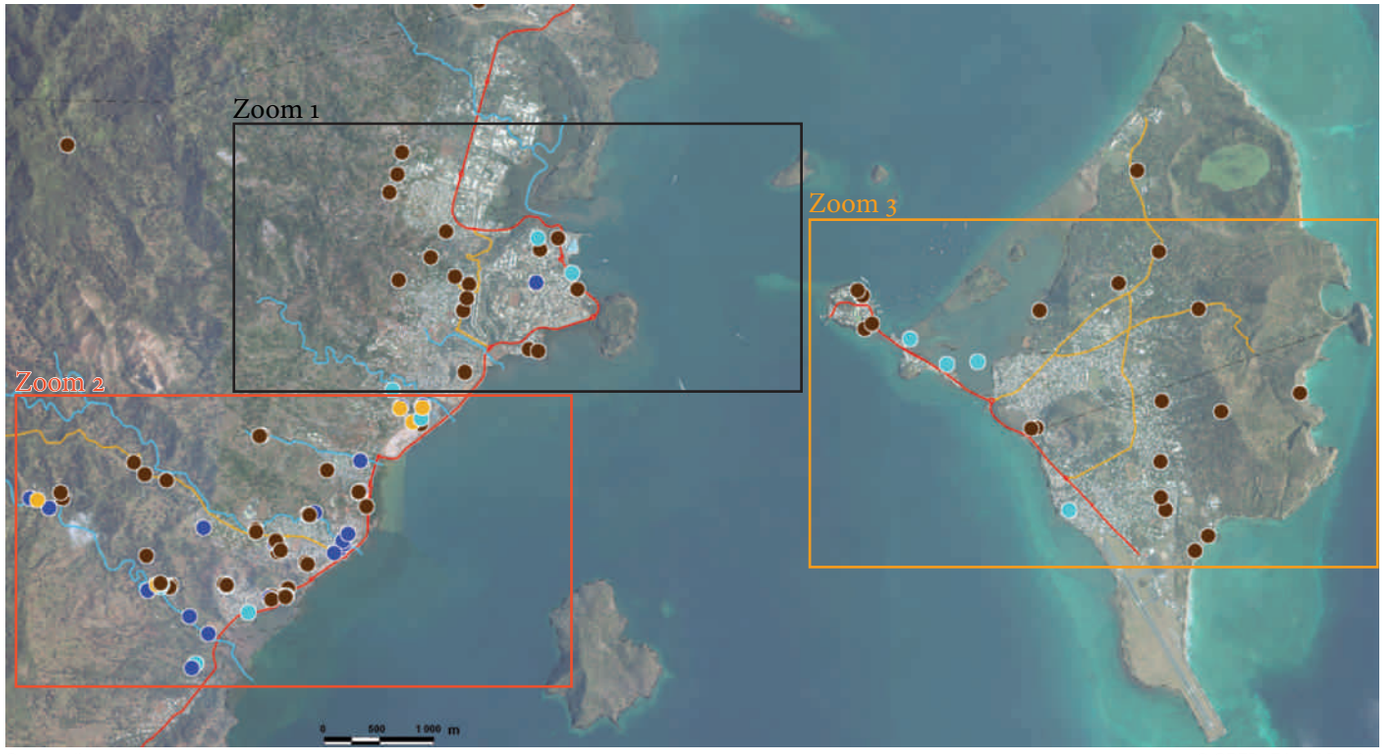
Un quartier de Pamandzi après le passage de Kamisy en 1984

Pour en savoir plus

- **www.bdmvt.net**

Cartographie des témoignages historiques à Mamoudzou et Petite-Terre

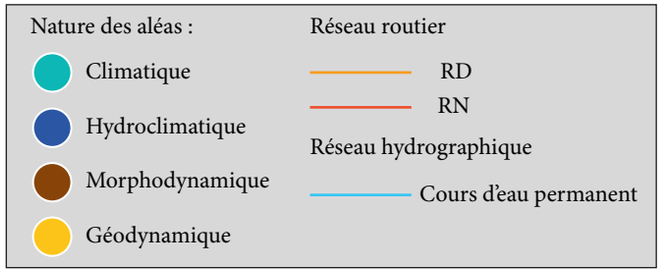
Les cartes suivantes sont issues de la base de données sur les événements historiques. Elles montrent des densités élevées de témoignages sur des secteurs à forts enjeux.



Sources diverses

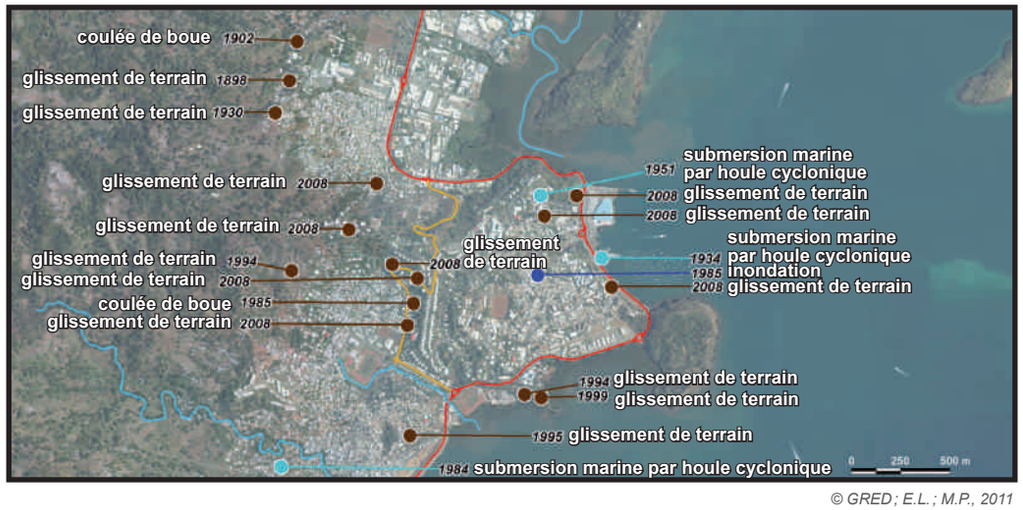
© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Carte 28. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Kawéni et Kavani (Zoom 1)



© J. Mouassil, 2012

Vue sur Mamoudzou

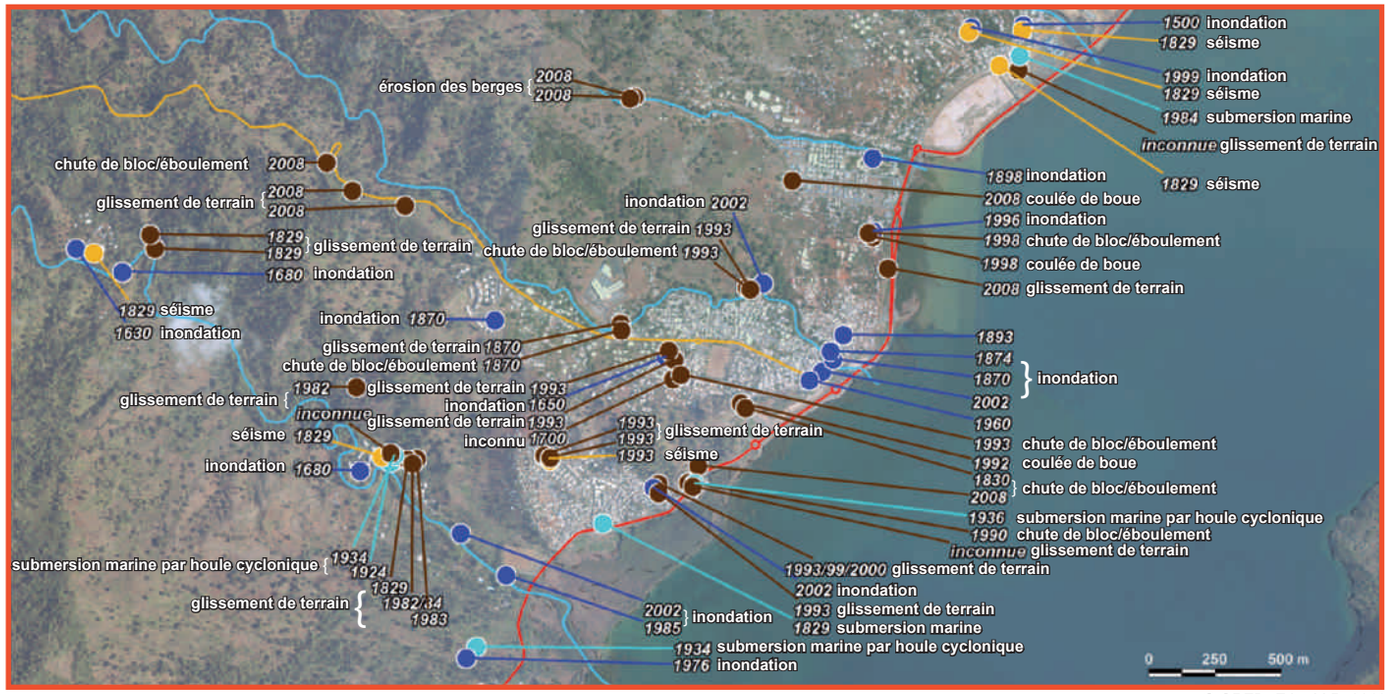


© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Zoom 1 : Mamoudzou

De nombreux témoignages sont répertoriés sur cette zone. On dénombre surtout des événements morphodynamiques qui datent notamment de 2008, dans le quartier de Kavani. Cette date correspond au passage de la dépression tropicale Fame. On note d'autres types d'aléas comme des inondations ou encore des submersions marines par houle cyclonique datant du milieu des années 1980. Même si cette cartographie offre une vue d'ensemble satisfaisante, on constate que certains événements anciens manquent de précision notamment dans leur géolocalisation.

Carte 29. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Passamainty (Zoom 2)



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

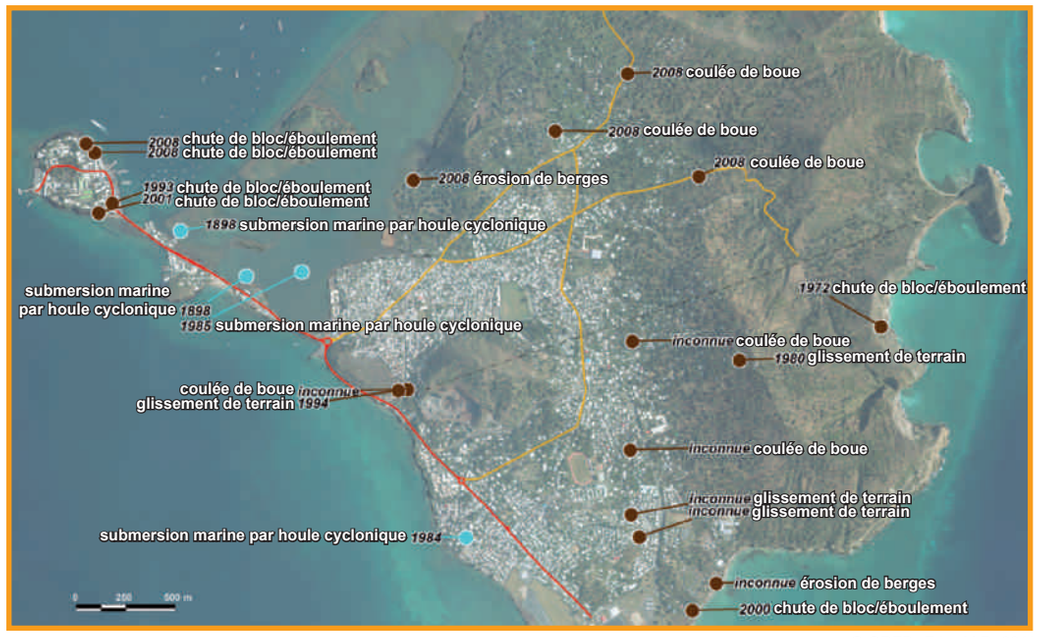
Zoom 2 : Mamoudzou, quartier résidentiel de Passamainty

De nombreux phénomènes ont touché le quartier de Passamainty. Le séisme de 1829 a été ressenti dans plusieurs secteurs et a provoqué de nombreux mouvements de terrain. Cette carte montre des zones où se concentrent certains phénomènes. Par exemple on observe un secteur où des inondations répétées, entre 1870 et 2002, à l'embouchure de la rivière Mvo Wa Gouloué. Ces témoignages donnent un aperçu de la récurrence de certains phénomènes.

© J. Mouassil, 2012

Vue sur le quartier de Pamandzi

Carte 30. Témoignages historiques de phénomènes naturels à Pamandzi (Zoom 3)



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Zoom 3 : Petite-Terre, communes de Dzaoudzi et Pamandzi

Cet extrait met en évidence une des limites d'exploitation de la base de données avec de nombreuses dates qui restent inconnues. Il montre également une zone particulièrement vulnérable au risque de submersion marine : le tronçon routier qui relie Petite-Terre au rocher de Dzaoudzi, appelé boulevard des Crabes.

© J. Mouassil, 2012

Vue sur Petite-Terre

Pour en savoir plus

- **Oppermann A. (2010) — *Inventaire départemental des mouvements de terrain.***
- **BRGM (2010) — *Dossier départemental des risques majeurs de Mayotte.***
- **www.bdmvt.net ; consulté en mars 2011.**
- **Hachim H. (2004) — *Synthèse des risques naturels à Mayotte, approche historique et situation actuelle.***

La tempête tropicale Fame de janvier 2008

Étude de cas

Des records pluviométriques jamais vus depuis 1985 enregistrés par la station de Combani

À partir du mercredi 23 janvier 2008 et durant les trois jours qui suivirent, Mayotte fut affectée par un épisode dépressionnaire significatif notamment en termes de précipitations. En 24 h, 225 mm de pluie en moyenne[1] s'abattirent sur l'île de Mayotte, ce qui équivaut à un mois de précipitations pour janvier. Les services de la DEAL et de Météo France relevèrent des records pluviométriques sur différents postes, jamais observés depuis 1985.

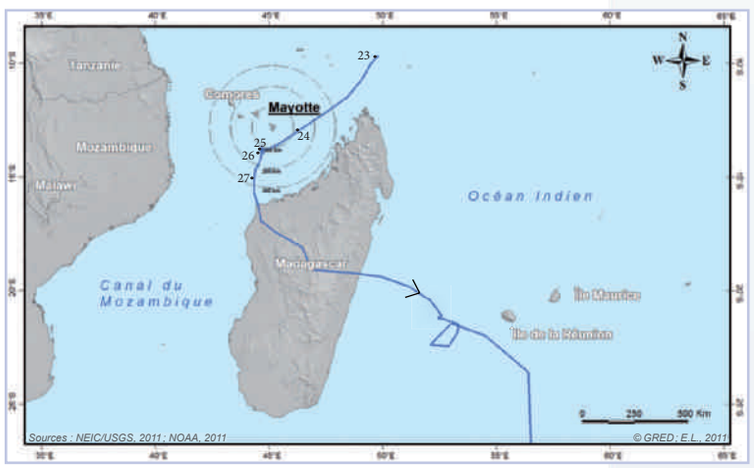
Un épisode pluvieux et rapide mais sans conséquences majeures

Après une forte saison sèche en 2007, les épisodes pluvieux de la dernière décade du mois de janvier 2008 ont inversé la tendance. La totalité de l'île a été touchée par ces fortes précipitations. Les régions les plus arrosées ont été celles de Convalescence, Combani, Sada, Coconi, Dembéni et Ougoujou. Les débits moyens des cours d'eau ont très rapidement augmenté et le taux de remplissage des deux retenues collinaires a atteint 100 % à Combani et 98 % à Dzoumougné. Dans la nuit du mercredi 23 au jeudi 24 janvier, 394 mm ont été enregistrés à Convalescence (0-24 h) et 204,4 mm de pluie ont été enregistrés à la station Météo France de Dembéni (7 h-7 h). Mayotte n'a déploré aucune victime, malgré l'intensité de ces fortes pluies durant quatre jours. En revanche de nombreux dégâts matériels furent constatés.

Chronologie de l'événement dépressionnaire Fame

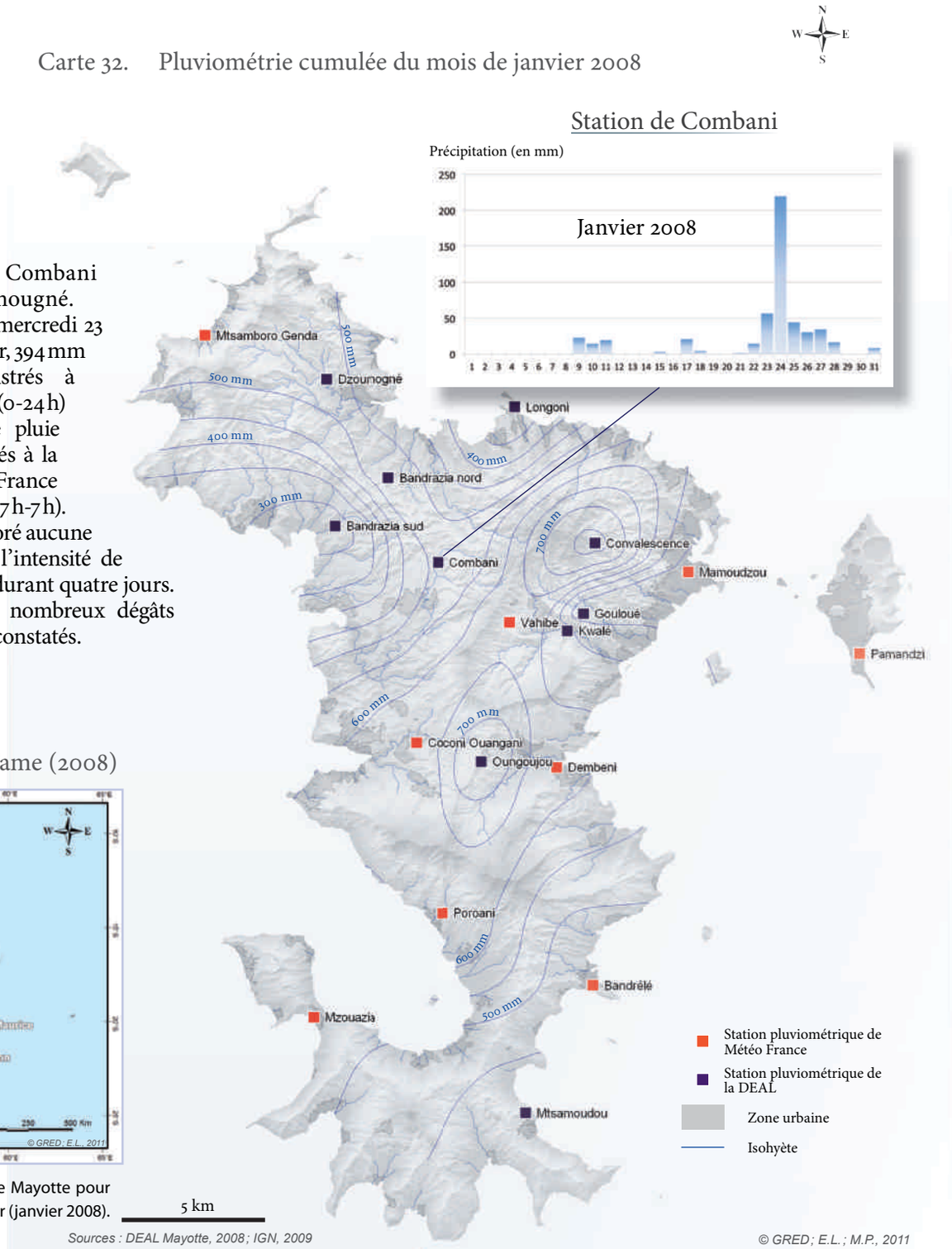
- **Mercredi 23 janvier : naissance de la masse nuageuse au nord de Mayotte. Trajectoire nord-est/sud-ouest.**
- **Jeudi 24 janvier : évolution du phénomène au stade de perturbation tropicale, passage à l'est de l'île. Houle de 1 à 1,5 m et vitesse du vent de 80 km/h en moyenne.**
- **Vendredi 25 janvier : stade de tempête tropicale nommée Fame. Passage à 130 km au sud-ouest de Mayotte. Stagnation de la tempête jusqu'au samedi et changement brusque de la houle et vitesse du vent à 110 km/h en moyenne.**
- **Dimanche 27 janvier : reprise de la trajectoire de la tempête vers le sud, direction la côte ouest de Madagascar. Augmentation de la houle (3 m).**

Carte 31. Trajectoire de la tempête tropicale Fame (2008)



L'événement Fame est passé à moins de 100 km au sud de l'île de Mayotte pour reprendre sa trajectoire en direction de la côte ouest de Madagascar (janvier 2008).

Carte 32. Pluviométrie cumulée du mois de janvier 2008

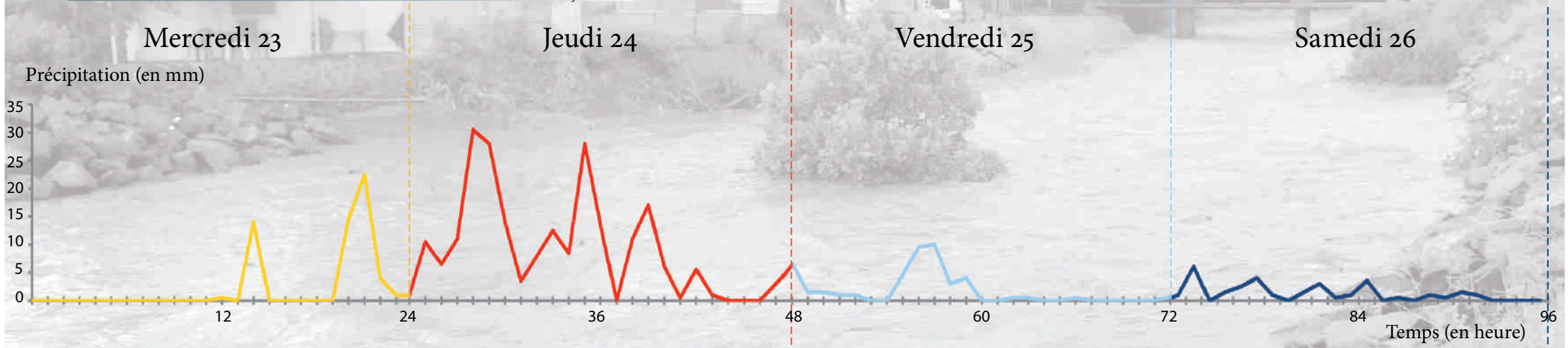


1. Moyenne effectuée sur les valeurs maximales des précipitations journalières (0-24h), uniquement sur les huit stations météorologiques de la DEAL.

Une masse nuageuse dense atteint l'île de Mayotte dans la soirée. Cette perturbation encore au stade embryonnaire provoque de violents orages accompagnés de fortes pluies dans la soirée. Entre 20 h et 22 h, 37 mm sont relevés à la station de Combani. Dans la nuit qui suit, le phénomène va s'intensifier. Un bulletin d'alerte aux orages est publié par la préfecture dès le premier pic de pluie, en début d'après-midi.

Ce vendredi, l'épisode dépressionnaire passe au stade de tempête tropicale même si on constate une baisse de l'intensité pluviométrique sur Mayotte, avec 44 mm enregistrés à la station de Combani. L'heure est au constat des dommages. Quelques écoles ont été envahies par les eaux, comme à Ouangani où une école maternelle de 200 enfants a été fermée pendant deux jours.

Pluviométrie relevée à la station de Combani du 23 au 26 janvier



Au cours de cette journée le maximum de pluie relevé pour la station de Combani est de 219,5 mm en 24 h. On constate un pic horaire de plus de 30 mm entre 4 h et 5 h du matin. Les vents se renforcent également sans pour autant être réellement dommageables. La plus forte rafale relevée à Pamandzi atteint une vitesse de 94 km/h. En revanche les dommages dus aux pluies sont assez conséquents sur l'île, notamment sur le réseau routier. L'axe Sada Chirongui est fermé dans la matinée à cause d'un glissement de terrain. Les télécommunications sont également perturbées puisqu'il est quasi impossible de se connecter à internet. Les trafics aérien et maritime sont eux aussi touchés. Plusieurs vols font demi-tour sur la Réunion. Enfin la circulation des barges a dû être interrompue à cause d'un amphidrome échoué sur le platier des Badamier. Une cellule de crise présidée par le préfet est mise en place afin de coordonner tous les services de l'État.

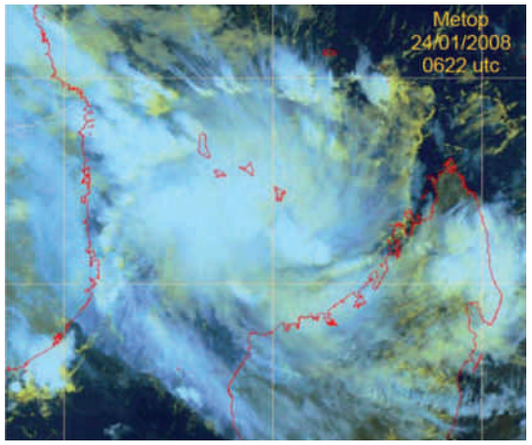
Mayotte est placée en vigilance cyclonique, le matin à 9 h 30, malgré la diminution des pluies. Ce samedi on relève 30 mm de pluie en 24 h soit la même quantité que le jeudi en une heure. Le réseau routier a été encombré par des chutes d'arbres. Des dégâts sont également constatés dans les cultures de bananes et de légumes. Un dispositif pour recenser les dégâts agricoles est mis en place afin d'indemniser les agriculteurs les plus touchés par cet épisode Fame. La cellule de crise reste fonctionnelle jusqu'au lendemain soir.

© M. Péroche, 2011 : pont de Mtsapéré

La tempête tropicale Fame de janvier 2008

Bilan : le frisson Fame laisse des traces superficielles

La tempête tropicale Fame



Cette image satellite a été prise quelques heures après les précipitations les plus intenses des premières heures du 24 janvier

Des pluies qualifiées d'exceptionnelles

L'épisode dépressionnaire Fame qu'a connu Mayotte durant quatre jours a laissé des traces dans le paysage. Les pluies journalières mesurées sur les stations de Bandrélé, Convalescence, Dembéni et Ougoujou lors de cet épisode, constituent le maximum des observations à ce jour. Pour au moins deux de ces postes (Convalescence et Dembéni), les ***périodes de retour*** ont été estimées à plus de 50 ans. De plus l'état stationnaire de la perturbation sur environ 36 h a maintenu Mayotte sous des masses nuageuses très étendues (OMM, 2008). Marquée par l'intensité des précipitations, Fame a donc sérieusement perturbé la vie socio-économique de l'île. Les pluies diluviennes, bien que temporaires, ont engendré de nombreux mouvements de terrain, coulées de boue et inondations causant des dommages importants aux réseaux vitaux et à certaines cultures notamment bananières et légumières.

Les dégâts agricoles

La tempête tropicale Fame a d'ailleurs fortement marqué le Service économique agricole (SEA) puisqu'une nouvelle aide financière a été mise en place afin de « compenser les handicaps naturels ainsi qu'un contexte économique et social défavorable ». C'est pourquoi le service a créé l'ICAM (Indemnité compensatoire annuelle à Mayotte). Plus de 1 000 agriculteurs ont demandé une indemnisation à la suite de l'épisode Fame et les dégâts agricoles ont été estimés à 1 112 k€ (DAF, 2008).

Des bananiers détruits dans un jardin

Bilan à Combani

À la station pluviométrique de Combani, les pluies tombées en 24 h peuvent être qualifiées de moyennes (période de retour comprise entre 10 et 50 ans) (DEAL et CETE Méditerranée, 2008 ; BRGM, 2008). Ces fortes pluies ont provoqué l'augmentation des débits des cours d'eau. Dans le secteur de Combani, la rivière Mwala, affluent de l'Ourovéni, un des fleuves les plus importants de l'île, draine un bassin versant de 4,40 km². Son débit a atteint 12 m³/s le 24 janvier 2008 alors que son débit mensuel en janvier est habituellement de 3,016 m³/s. La retenue collinaire, quant à elle, a atteint un taux de remplissage de 100 %. En effet, en l'espace de 15 jours ce taux est passé de 40,8 % à 100 %.

Au final, l'essentiel de la pluie comptabilisée durant le mois de janvier 2008 s'est abattue pendant quatre jours. La part de pluie enregistrée à la station de Combani, durant cette période, a représenté 70 % de la pluie mensuelle. En effet, il a plu sur la totalité du mois 505,5 mm à Combani dont 350 mm entre le 23 et le 26 janvier.

Bateaux échoués pendant la tempête Fame

Définition

La période de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Ce terme est utilisé pour les tremblements de terre, le débit d'une rivière, une quantité de pluie ou une crue, ou le passage d'une violente tempête. La période de retour doit être interprétée comme une probabilité statistique. Par exemple, une accumulation sur 24 heures de 219 mm est une pluie de période de retour 10 ans, ce qui signifie que cette pluie s'est produite statistiquement à la fréquence d'une fois tous les dix ans. Statistiquement cette pluie a 10 % de chance de se produire durant une année particulière.

Pour en savoir plus

- **Stollsteiner Ph. (2008) — *Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte.***
- **DAF (2008) — *Bulletin de situation hydrologique de Mayotte.***
- **DE et CETE Méditerranée (2008) — *Événement météorologique Fame de fin janvier 2008 sur l'île de Mayotte.***
- **Préfecture de Mayotte (2008) — *La lettre des services de l'État à Mayotte.***
- **OMM (2008) — *Bilan des alertes cycloniques en 2007-2008 à La Réunion et Mayotte.***

Le cyclone Hellen au plus proche de Mayotte, le 30 mars 2014

Source : MTOTEC/METEOSAT-7 30/03/2014 1200 UTC/MSI

Dégâts à Acoua après le cyclone Hellen

© S. Hachim, 2014

Étude de cas

Perception et vécu du risque sismique par la population mahoraise

Bien que la sismicité soit qualifiée de diffuse autour de Mayotte, ce petit espace insulaire n'en reste pas moins exposé à l'aléa sismique. Les dernières secousses ressenties sur l'île en témoignent. Une enquête a permis de révéler une vulnérabilité importante de la population mahoraise, pour qui la connaissance du phénomène sismique est quasiment inexistante.

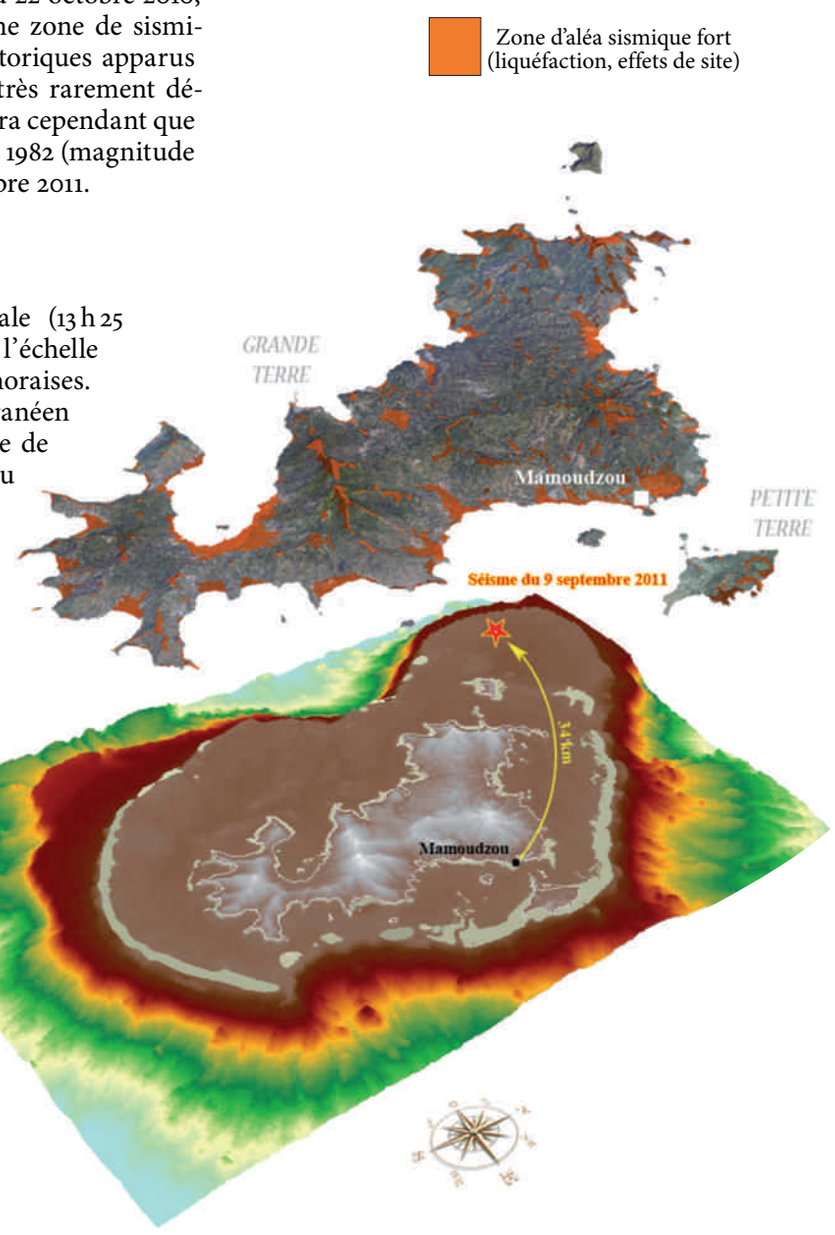
Rappel du contexte sismique

Depuis l'application du décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010, le 101e département français appartient à une zone de sismicité modérée. Les événements sismiques historiques apparus à proximité de l'archipel des Comores ont très rarement dépassé une magnitude supérieure à 6. On notera cependant que 12 séismes ont été ressentis localement depuis 1982 (magnitude ≥ 4). Le dernier en date est celui du 9 septembre 2011.

Le séisme du 9 septembre 2011

Le 9 septembre 2011, à 16 h 25 heure locale (13 h 25 heure TU), un séisme d'une magnitude 5 sur l'échelle de Richter s'est produit au large des côtes mahoraises. Selon le Centre sismologique euroméditerranéen (CSEM), il aurait été localisé à une trentaine de kilomètres au nord-ouest de Mamoudzou (34 km) soit à une dizaine de kilomètres de la côte nord de l'île, et à une profondeur comprise entre 10 et 20 kilomètres.

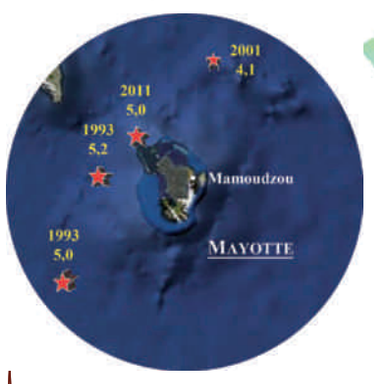
L'aléa sismique local à Mayotte (effets de site potentiels)



Sources : BRGM, 2005 ; IGN, 2009

© GRED ; J.M., 2012

Historicité des séismes au voisinage de Mayotte

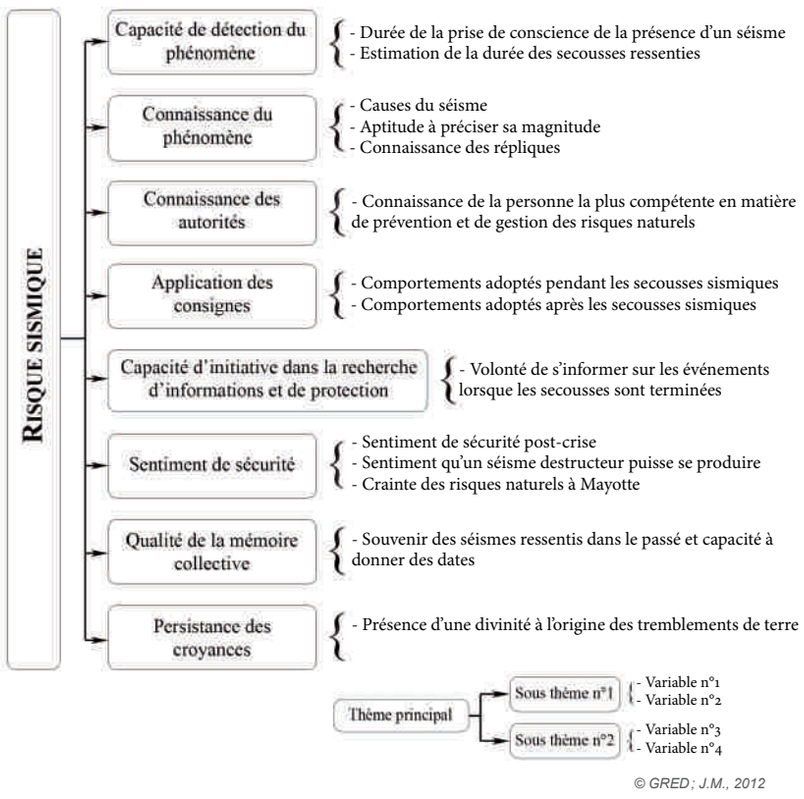


Séismes enregistrés à moins de 100 km des côtes mahoraises, depuis 20 ans.

Axes de recherche et objectifs de l'enquête

Pour combler l'absence de données qualitatives sur les effets locaux de ce séisme, un ***retour d'expérience*** a pu être mené au moyen d'une enquête auprès de la population mahoraise. Réalisée un mois après le séisme, cette enquête a permis d'enrichir les connaissances scientifiques, la perception et les comportements des personnes. Sur une durée d'une semaine, 191 personnes ont ainsi pu être interrogées.

Les thèmes du questionnaire d'enquête

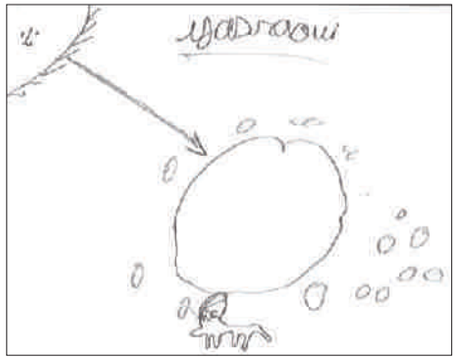


© GRED ; J.M., 2012

L'enquête a porté sur l'analyse de huit facteurs d'ordre psychosociologique.
Leur dépouillement statistique a permis d'avancer quelques pistes de réflexion pour diminuer la vulnérabilité humaine face aux séismes à Mayotte.

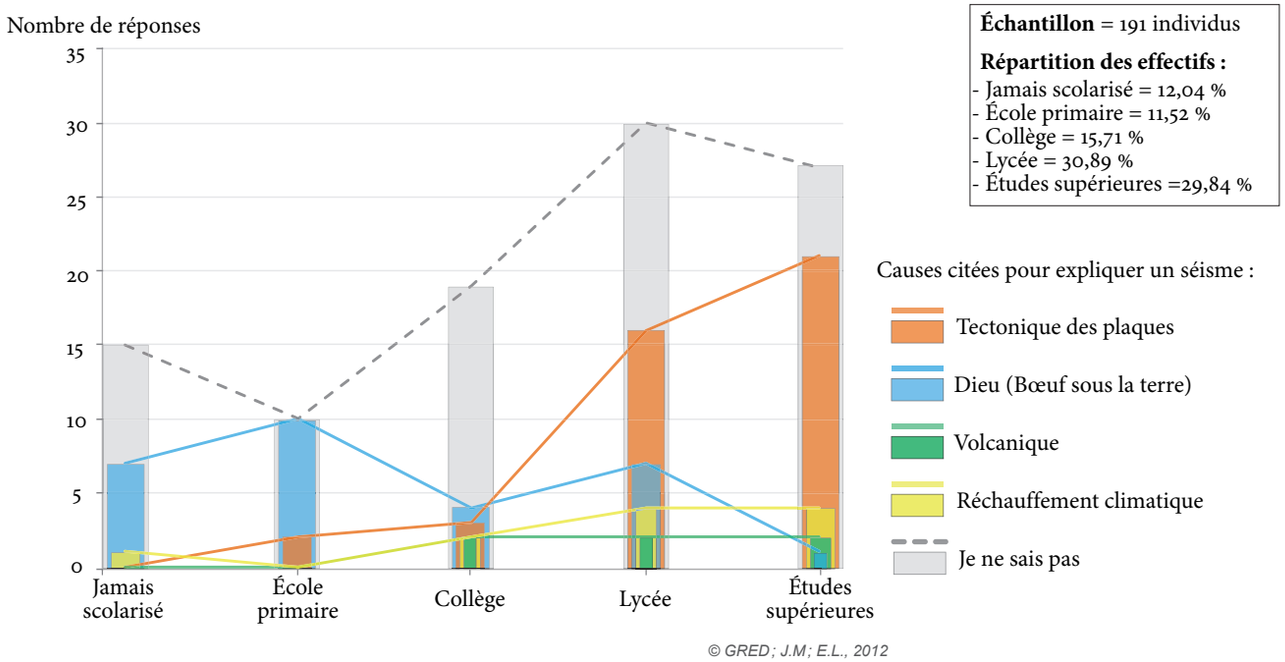
Résultats statistiques et pistes de réflexion

En établissant une corrélation entre le niveau d'étude et la connaissance exacte du phénomène sismique, la question de l'éducation en tant que vecteur de prévention a ainsi pu être soulevée. En effet, le traitement statistique montre que les individus ayant suivi des études supérieures apparaissent plus enclins à citer la tectonique des plaques comme cause principale d'un tremblement de terre. Au contraire, les personnes ayant très peu ou pas suivies de formation scolaire (primaire, collège) invoquent des causes surnaturelles pour expliquer le séisme.
Chez les Mahorais, la conception traditionnelle du monde repose sur un zébu. Selon cette tradition, c'est l'agitation soudaine de cet animal sacré qui provoquerait les tremblements de terre. Cette croyance, bien que très ancienne, pourrait ainsi avoir précédé l'arrivée de la religion islamique aux Comores et découlerait de croyances africaines. On a ainsi pu remarquer que les personnes dont le niveau d'étude n'excède pas 9 ans ont plus tendance à considérer la cause d'un séisme comme une fatalité due à une divinité.



Dessin illustrant la légende du zébu sous la terre qui serait à l'origine d'un séisme (classe de CE2 — Kavani stade, 2012)

Explication de l'origine des séismes en fonction du niveau d'éducation



Ce graphique montre une faiblesse des connaissance sur l'origine des tremblements de terre, fortement liée au niveau d'éducation. La cause tectonique à l'origine des séismes est mieux connue chez les individus ayant suivis une scolarité de plus de 9 ans (niveau lycée).

Une inaction engendrée par un manque d'information

Alors que la moitié des individus (50,3 %) a estimé avoir ressenti de « fortes » voir de « très fortes » secousses, seul un individu sur deux a réagi « tout de suite » ou « au bout de quelques instants » (42,4 %). Le reste de la population, soit 50,8 %, a réagi « après la fin des secousses ou plus tard ».
Les secousses ressenties par la population ont duré en moyenne moins de dix secondes (69,6 % de l'échantillon) et on notera que le séisme du 9 septembre 2011 n'a provoqué que très peu de dégâts sur les bâtiments. Par conséquent, on nuancera la critique sur le manque de réflexes de la part de l'ensemble de la population tout en rappelant le caractère urgent d'une amélioration de l'information préventive sur le risque sismique à Mayotte car 66,5 % des personnes interrogées affirment que le travail des autorités sur ce point est inexistant.

Pour en savoir plus

- Leone F. (2007) — ***Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque.***

Définitions

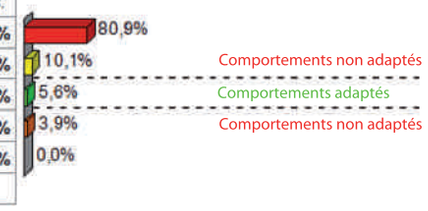
Le retour d'expérience peut être défini très brièvement comme un processus composé de méthodes et de procédures pour tirer des enseignements des activités passées. Il permet d'identifier les méthodes qui conduisent au succès, d'évaluer le chemin parcouru, de mesurer l'efficacité de son action, d'accéder à la capitalisation d'expériences en favorisant le développement et le partage des bonnes pratiques.

Les effets de site correspondent à une intensification du signal vibratoire à la surface du sol par rapport au signal observé sur un site de bonnes propriétés mécaniques. Les effets du séisme y seront ainsi plus marqués.

Comportements adoptés pendant et après le séisme du 9 septembre 2011

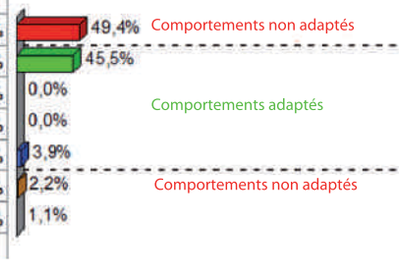
PENDANT

	Nb	% obs.
Rien de spécial	144	80,9%
Sorti	18	10,1%
Protégé	10	5,6%
Prié	7	3,9%
Autre	0	0,0%
Total	178	



APRÈS

	Nb	% obs.
Rien de spécial	88	49,4%
Sorti	81	45,5%
Coupé le gaz	0	0,0%
Coupé l'électricité	0	0,0%
Téléphoné	7	3,9%
Retrouvé mes proches	4	2,2%
Autre	2	1,1%
Total	178	



© GRED ; J.M., 2012

Ce tableau montre que la majorité de la population n'a pas adopté les bons comportements que ce soit pendant ou après le séisme, au regard des consignes habituellement en vigueur.

Étude de cas

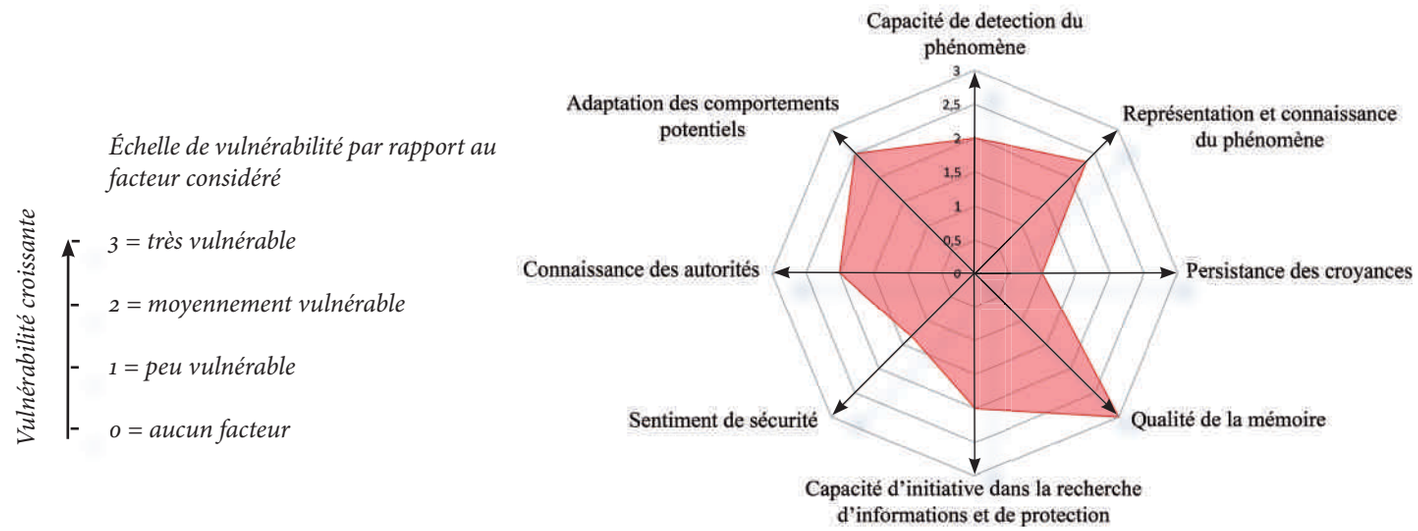
Une vulnérabilité humaine accentuée par une méconnaissance du phénomène

Une analyse qui montre une vulnérabilité globale

Le graphique ci-contre, qui caractérise la vulnérabilité humaine, met en lumière les orientations vers lesquelles les actions de prévention doivent se tourner. Il témoigne notamment d'une vulnérabilité élevée de la population vis-à-vis de la connaissance du phénomène sismique et des comportements qu'elle est censée adopter pendant le séisme. Les autorités ont, par conséquent, un important travail de préparation d'éducation et d'information à entreprendre auprès des habitants et des scolaires.

Il apparaît aussi essentiel de promouvoir la prévention du risque sismique à Mayotte à travers la transmission d'une mémoire collective sur les événements passés. Chaque événement constitue une fenêtre d'opportunité pour rafraîchir cette mémoire et relancer l'information préventive.

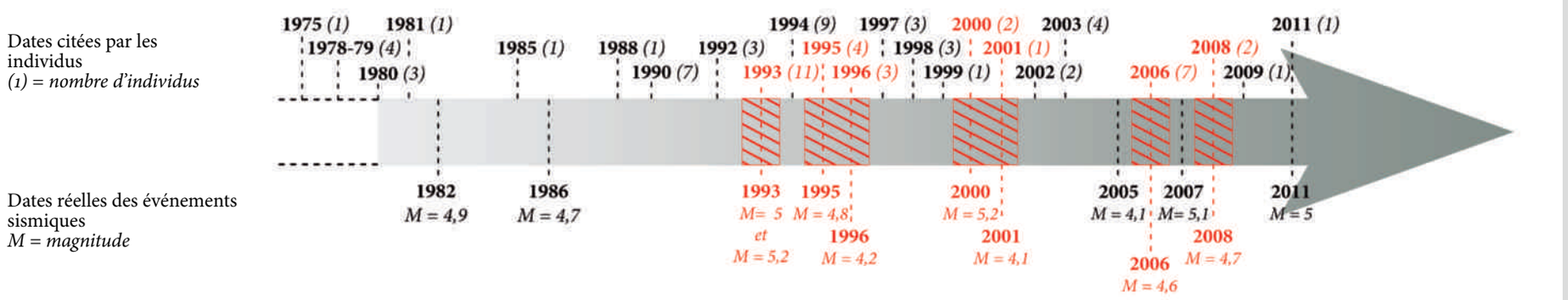
Caractérisation de la vulnérabilité humaine



© GRED ; J.M., 2012

Basé sur un Indice de représentation collective des risques (IRCR), ce graphique mesure la vulnérabilité humaine des Mahorais enquêtés sur la base de huit facteurs psychosociologiques (Leone F., 2007).

État de la mémoire collective des Mahorais au sujet des événements sismiques anciens



Sur 214 réponses récoltées, 137 individus ne savent pas répondre soit 64 % de l'échantillon.

En rouge : événements correctement cités

© GRED ; J.M., 2012

Cette frise chronologique met en évidence l'état de la mémoire collective des Mahorais au sujet des événements sismiques passés. Toutes les dates citées par les individus interrogés sont ainsi mises en parallèle avec les dates réelles des derniers séismes connus et potentiellement ressentis (ceux déclenchés à moins de 300 km des côtes mahoraises). Les séismes les mieux cités sont récents (1993, 1995, 2006). D'autres sont totalement inventés (1990, 2003) ou mal situés dans le temps (1994 par exemple).

© M. Péroche, 2011 — Habitations vulnérables à Sada

Comportements et vécu des évacuations par la population

Le 28 mars 2005, un séisme de magnitude 8,7 a eu lieu au large de Sumatra en Indonésie (16 h 08 GMT). Face à la crainte d'un tsunami transocéanique tel que celui du 26 décembre 2004, un ordre d'évacuation fut donné à Mayotte. Comment les habitants de Petite-Terre ont-ils réagi ? Où ont-ils évacué ? Où évacueraient-ils en cas de nouvelle alerte ? Et quelle est leur perception du risque de tsunami ? Ces éléments de compréhension, essentiels pour planifier une évacuation future, ont été analysés en 2011 au moyen d'une enquête.

Le recours à la cartographie participative

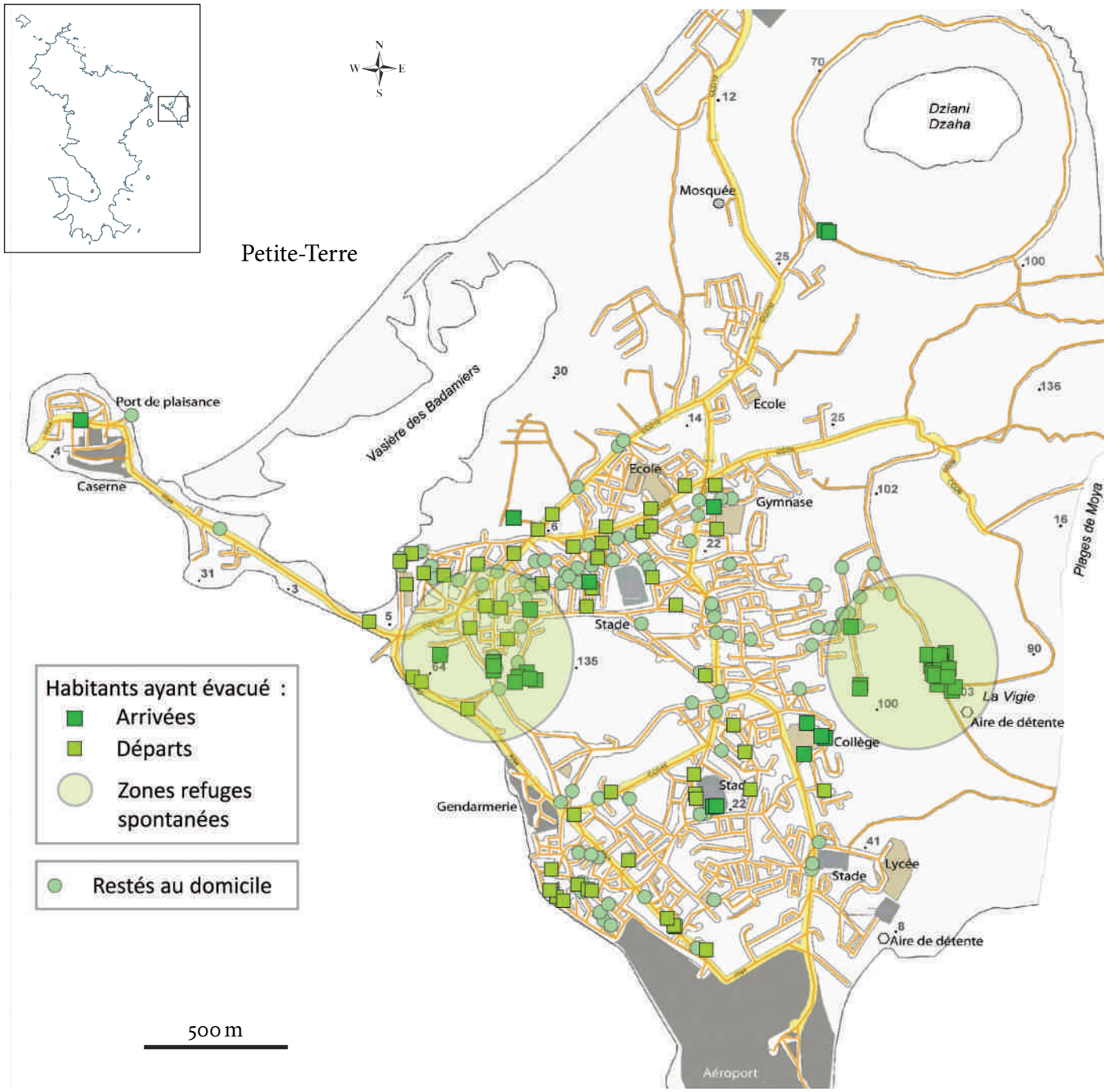
Pour évaluer le comportement des habitants de Mayotte face au risque de tsunami, une double analyse rétrospective et prospective a été envisagée : les habitants ont d'abord été invités à un retour d'expérience en représentant les trajets qu'ils ont empruntés lors des évacuations du 28 mars 2005. Puis ils ont représenté les trajets qu'ils pourraient emprunter depuis leur domicile en cas de nouvelle alerte au tsunami, le but étant d'étudier le gain d'expérience des habitants. Ces deux approches s'insèrent dans une démarche participative qui permet aux habitants de participer à l'évaluation de leur propre vulnérabilité.

Un risque surestimé par les populations

En 2005, peu d'habitants ont évacué en l'absence de consignes de la part des autorités. Ceux qui sont partis se sont rendus majoritairement à la colline de la Vigie, qui culmine à 203 m. D'autres ont atteint la colline de Labattoir (135 m). Les habitants ont cherché à atteindre les points les plus hauts de l'île. Ils sont globalement allés beaucoup trop haut par rapport au risque évalué par les scientifiques.

En cas de nouvelle alerte, une majorité des habitants choisirait d'évacuer depuis leur domicile. Ils se rendraient majoritairement à la Vigie et aux collines de Labattoir. Il y aurait peu d'évolution dans le comportement des habitants par rapport à 2005, les zones refuges spontanées étant quasiment les mêmes.

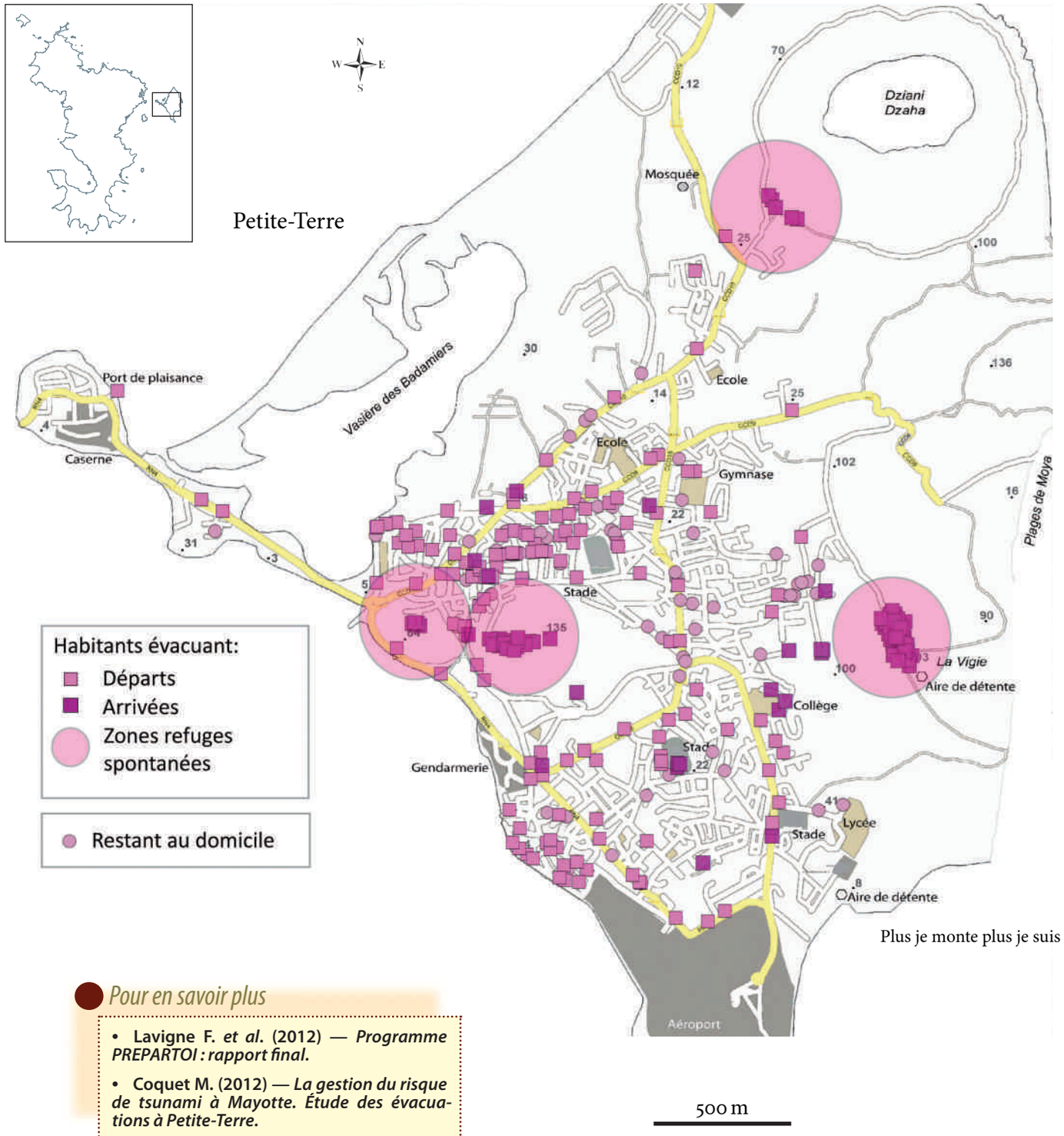
Carte 33. Évacuation des habitants lors de l'alerte au tsunami du 28 mars 2005



Sources : Open street Map, 2011 ; IGN, 2009

© PREPARTOI : M.C, 2011

Carte 34. Intention d'évacuation des habitants depuis leur domicile en cas de nouvelle alerte au tsunami



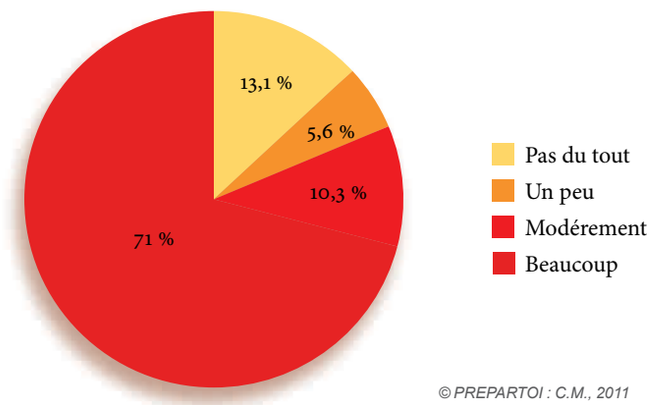
Sources : Open street Map, 2011 ; IGN, 2009

© PREPARTOI : M. C, 2011

Définition

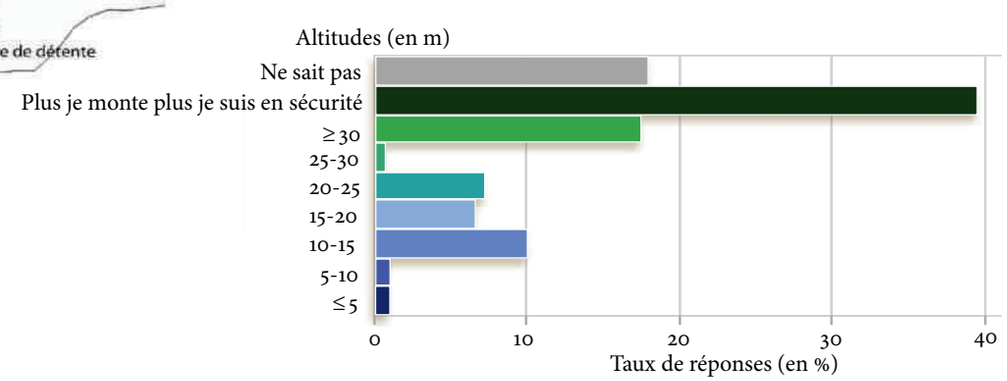
La cartographie participative est un processus d'élaboration de cartes visant à mettre en lumière l'association entre la terre et les populations locales en utilisant le langage connu et reconnu de la cartographie. (FIDA, 2009)

Avez-vous peur des tsunamis ?



© PREPARTOI : C.M., 2011

À partir de quelle altitude pensez-vous être en sécurité ?



© PREPARTOI : C.M., 2011

Pour en savoir plus

- Lavigne F. *et al.* (2012) — *Programme PREPARTOI : rapport final.*
- Coquet M. (2012) — *La gestion du risque de tsunami à Mayotte. Étude des évacuations à Petite-Terre.*

Représentations mentales du risque de submersion marine

La cartographie des représentations spatiales et mentales de l'aléa submersion marine nécessite la conduite d'une enquête par questionnaires. Cette approche permet de comprendre les distorsions éventuelles entre le risque perçu par la population et le risque défini par les scientifiques. Les biais de perception mis en évidence peuvent être corrigés par des campagnes d'informations préventives plus ciblées.

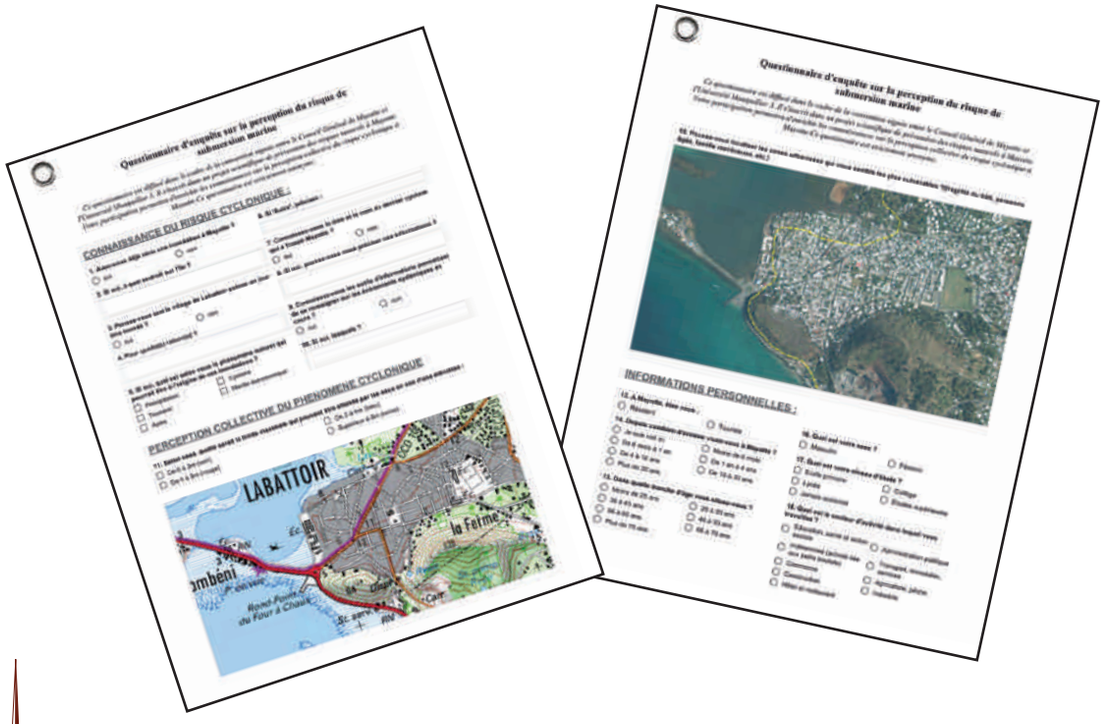
La méthode d'enquête

Un travail de préparation et de réflexion doit être effectué en amont d'une enquête afin de déterminer la pertinence de celle-ci, sa faisabilité et la méthode la plus adéquate. Les multiples contraintes humaines (présence ou non de personnes à interroger, barrière de la langue, etc.), matérielles, temporelles, budgétaires et organisationnelles font que l'usage de cette technique n'est approprié que si l'enquête répond à des besoins précis. De ce fait, tout travail d'enquête doit être précédé d'une recherche bibliographique.
La construction d'un travail d'enquête ne doit pas être précipitée. Il est nécessaire de se poser les bonnes questions : à quoi va-t-elle servir ?, qu'en attend-on ?, que veut-on savoir exactement ?, quels sont les enjeux ?, qui en fait la demande ? (Berthier N., 2006), va-t-elle répondre à nos besoins ?

Un questionnaire adapté au terrain

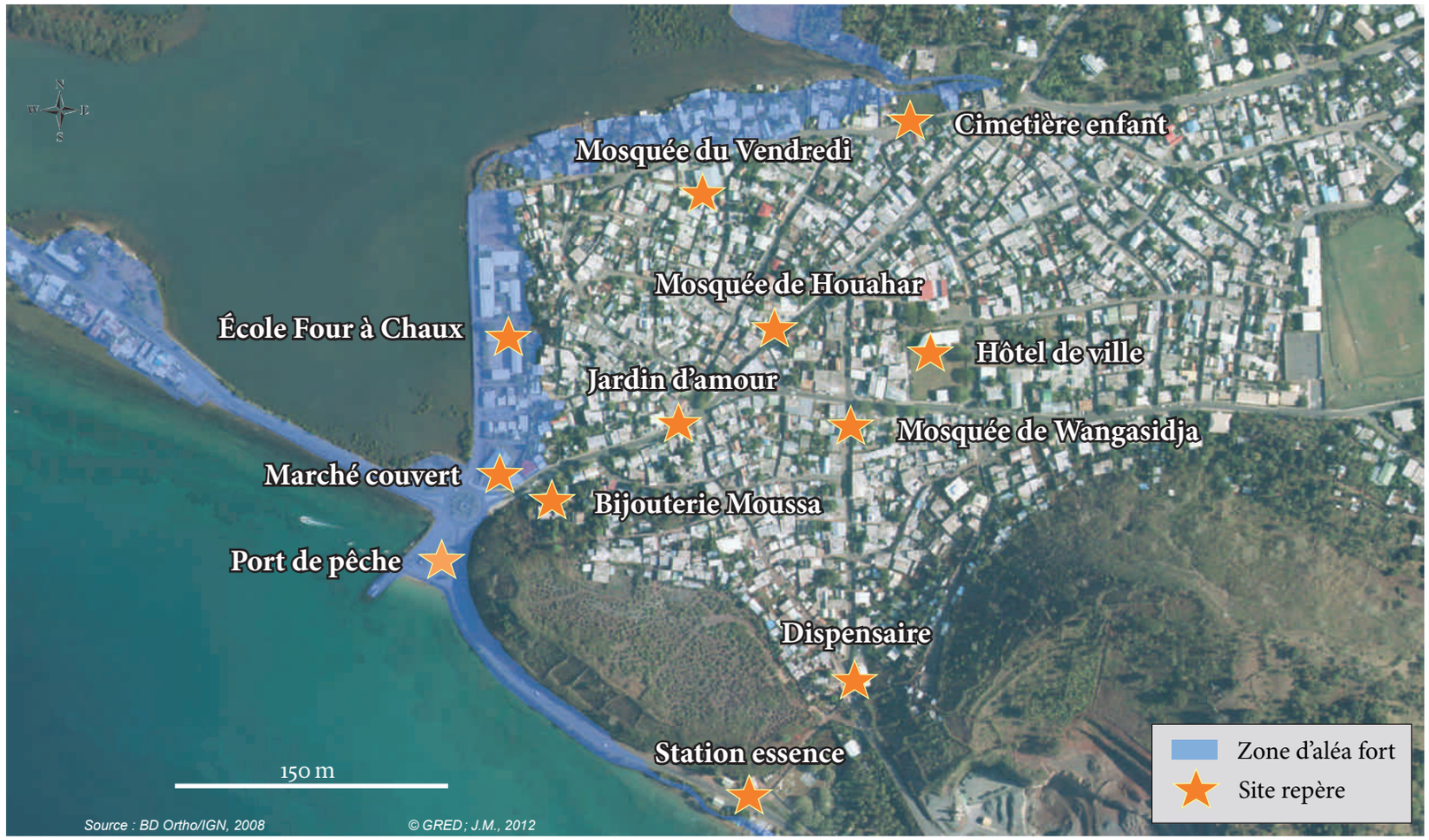
Un premier questionnaire d'enquête fut doté d'un extrait de la carte topographique de l'IGN à 1/25 000 et d'une photographie aérienne de Labattoir afin que la population puisse localiser la limite des eaux pouvant être atteinte en cas de submersion marine. Cependant, les dix premières personnes interrogées n'avaient jamais vu de carte topographique et se refusèrent à essayer de dessiner l'emprise de l'aléa.
Afin de parer ces difficultés, le questionnaire fut modifié et adapté aux modalités du terrain. Après avoir supprimé les fonds de cartes du questionnaire nous avons identifié douze « sites repères » accompagnés d'une question complémentaire formulée comme suit : « En cas de cyclone, pensez-vous que votre habitation puisse être submergée ? »
Le questionnement de chaque individu sur la potentialité de ces sites repères submersibles en cas de cyclone nous a ensuite permis de cartographier leur propre représentation spatiale de l'aléa.

Questionnaire d'enquête



Vue aérienne de l'île de Petite-Terre : au loin le village de Labattoir

Carte 35. Localisation des 12 sites repères



Définition

Une **représentation mentale** est le processus et le produit d'une activité mentale par laquelle l'individu reconstruit le réel auquel il est confronté et lui attribue un sens (Abric, 1994). De ce fait, les représentations jouent souvent un rôle plus important que les caractéristiques objectives d'une situation dans les comportements adoptés par les individus ou les groupes.

École Four-à-chaux

Le choix des sites repères

Chaque site repère a été sélectionné en fonction de :

— **Son positionnement géographique.** Nord/sud ; ouest/est ; proche du centre ville, à la limite de la zone urbaine, le but étant de couvrir un maximum d'espace.

— **Son altitude.** Idéalement, il aurait fallu disposer d'un site repère pour chaque tranche d'altitude.

— **Sa « popularité ».** Chaque lieu devait être connu par la majorité des habitants afin que leur représentation mentale de l'aléa ne soit pas biaisée. La popularité a pu être estimée grâce à un travail de terrain approfondi qui a notamment permis d'observer la place importante qu'occupent les mosquées, les écoles et l'activité de pêche dans la société mahoraise.

— **Sa position géographique par rapport à la zone d'aléa fort** à l'intérieur ou en dehors.

Station essence sur bord de mer

Pour en savoir plus

- **Mouassil J. (2012) — *Contribution à la réalisation d'un atlas des risques naturels à Mayotte.***
- **Anselme B. *et al.* (2008) — *Le risque de submersion dans le système lagunaire de la palme (Languedoc, France) : nature de l'aléa et perception du risque.***

Une population qui surévalue l'aléa...

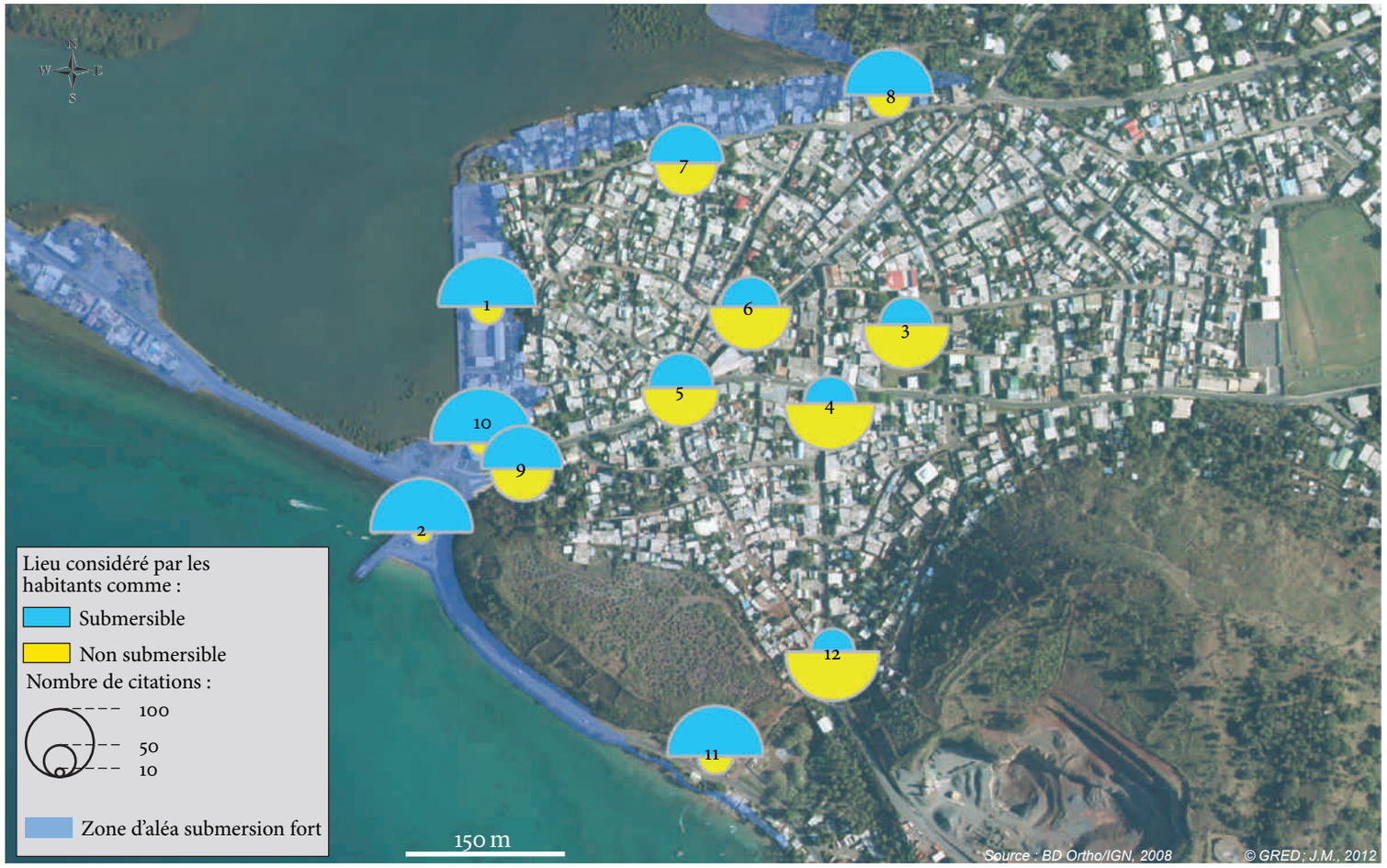
Cette étude a montré que la majorité des individus interrogés a une connaissance approximative de l'impact que pourrait avoir un tel phénomène naturel. En effet, sur les 121 personnes soumises à l'enquête, seules 38 personnes (soit 32 % de l'échantillon) affirment se souvenir de la dernière dépression cyclonique et sont capables de la nommer (Feliksa, 1985).
Compte tenu du fait que la majorité de l'échantillon est âgée de moins de 45 ans (85,1 %), la plupart n'a pas connu ces événements ou n'en a aucun souvenir. Il leur est donc très difficile de localiser correctement la limite des eaux pouvant être atteinte lors d'événements cycloniques similaires, et ils sont nombreux à surestimer l'aléa.

Sites repères	1 — École Four-à-chaux	2 — Port de pêche	3 — Hôtel-de-ville	4 — Mosquée de Wangasidja	5 — Jardin d'amour	6 — Mosquée de Houahar
Prises de vue terrain						
Caractéristiques	École primaire située au bord de l'eau. Partie est du village, très basse altitude, zone submersible	Place où se rassemblent les pêcheurs. Partie est du village, très basse altitude, zone submersible	Proche du centre-ville, altitude élevée, zone non submersible	Proche du centre-ville, altitude élevée, zone non submersible	Proche du centre-ville, altitude élevée, zone non submersible	Proche du centre-ville, altitude élevée, zone non submersible

Crédits photos : © J. Mouassil, 2012

... mais qui reste relativement bien préparée face au risque cyclonique

L'enquête a révélé que 52,5 % des individus iraient faire des provisions si une alerte cyclonique était déclenchée : 41,7 % achèteraient des bougies, 28,3 % consolideraient les portes et les fenêtres de leur domicile, 24,2 % rentreraient chez eux, 15,8 % iraient retrouver leurs proches dans une autre habitation et seulement 5,8 % écouteraient la radio ou les informations télévisées. Compte tenu de ces résultats et des recommandations qui sont portées dans le Plan Communal de Sauvergarde de Labattoir, il semblerait que la majorité de la population soit relativement bien informée des mesures de prévention à adopter en cas de vigilance ou d'alerte cyclonique. Cela peut notamment s'expliquer par une crainte généralisée de ce type de phénomène naturel mais surtout par la mise en place d'outils de prévention tels que la diffusion de slogans publicitaires en période cyclonique. En rappelant de manière ludique les principaux gestes à adopter en cas d'alerte, ces slogans contribuent à sensibiliser et prévenir de manière pérenne la population contre le risque cyclonique.



7 — Mosquée du Vendredi	8 — Cimetière Enfant	9 — Bijouterie Moussa	10 — Marché couvert	11 — Station essence Total	12 — Dispensaire
Existe dans chaque village donc forte probabilité d'être connue par la population. Partie nord du village, altitude moyenne, zone submersible	Partie nord du village, très basse altitude, zone submersible	Partie est du village, altitude moyenne, zone non submersible	Marché artisanal. Partie est du village, très basse altitude, zone submersible	La station Total en direction de l'aéroport. Partie sud-est du village, basse altitude, zone submersible, en limite du village	Partie sud du village, moyenne altitude, zone non submersible, en limite du village

Crédits photos : © J. Mouassil, 2012

© M. Gherardi, 2014 — *Vue sur le village d'Acoua*

© F. Leone, 2011 — Vue sur le village de M'tsamoudou

Vue sur le port de Mamoudzou, 2011

Habitat précaire, 2011

Port de Longonie, 2011

Aéroport Dzaoudzi — Pamandzi, 2014

Crédits photos : © M. Péroche ; F. Drouet, 2011 ; M. Gherardi, 2014

Enjeux et vulnérabilités territoriales

Territoire insulaire au caractère vulnérable

Vulnérabilités territoriales

L'exposition des enjeux

La vulnérabilité du réseau routier aux mouvements de terrain

Le réseau routier de Mayotte est relativement récent. Ce n'est qu'à partir de 1977 qu'on a commencé à ouvrir des routes, le plus souvent à partir des pistes muletières préexistantes. D'après la DEAL, le réseau routier comptait seulement 177 km de routes non revêtues, à cette époque. D'après les données de la BD Topo IGN de 2009, il se compose aujourd'hui de 511 km de routes revêtues dont 90 km de routes nationales.

Des glissements superficiels aux abords des routes

Les bordures de routes présentent des talus souvent instables, caractérisés par des lithologies altérées et argileuses, aux mauvaises propriétés mécaniques, surtout en présence d'eau. C'est pourquoi, les routes principales sont fortement exposées aux aléas ***mouvements de terrain***, surtout en période de fortes pluies. Lors de la tempête tropicale Fame en 2008, 94 instabilités de terrain ont été répertoriées et 90 % d'entre elles se sont produites dans un environnement anthropisé (talus routiers, chantiers, anciennes carrières).

Affaissement d'une route à Sada dû au phénomène de régression de talus

Talus argileux en bordure de route vers Trévani

Talus instable bordant la route nationale 1 au nord de Mamoudzou

Deux types de talus peuvent être décrits : les talus argileux sensibles aux phénomènes de ***régression de talus*** (à gauche) et les talus basaltiques qui connaissent régulièrement des phénomènes de ***chute de blocs*** (à droite).

Les mesures de mitigation

Les parades actives sont destinées à maintenir les terrains en place, en limitant le risque de mouvements de terrain : terrassements, banquettes, pneus, dispositifs de drainage, végétalisation, etc.

Les parades passives sont des dispositifs qui doivent permettre de contrôler les effets des mouvements de terrain : les grillages ou les filets de protection, les aires de stockage, les barrages déviateurs, etc.

Illustrations des différentes mesures de protection des routes

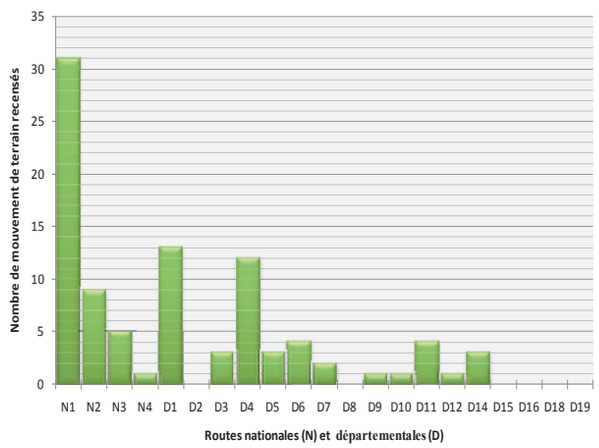
Mur de pierre grillagé (gabion)

Plantation de bananiers pour fixer les talus

Mise en place de pneus qui maintiennent le versant

Crédits photos : © M. Péroche, 2011

Cumul des mouvements de terrain par tronçon routier depuis 1990



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Les routes nationales sont les plus exposées aux mouvements de terrain. Près de la moitié des événements recensés (45) a été répertoriée sur les trois routes N1, N2 et N3.

Les tronçons routiers les plus exposés

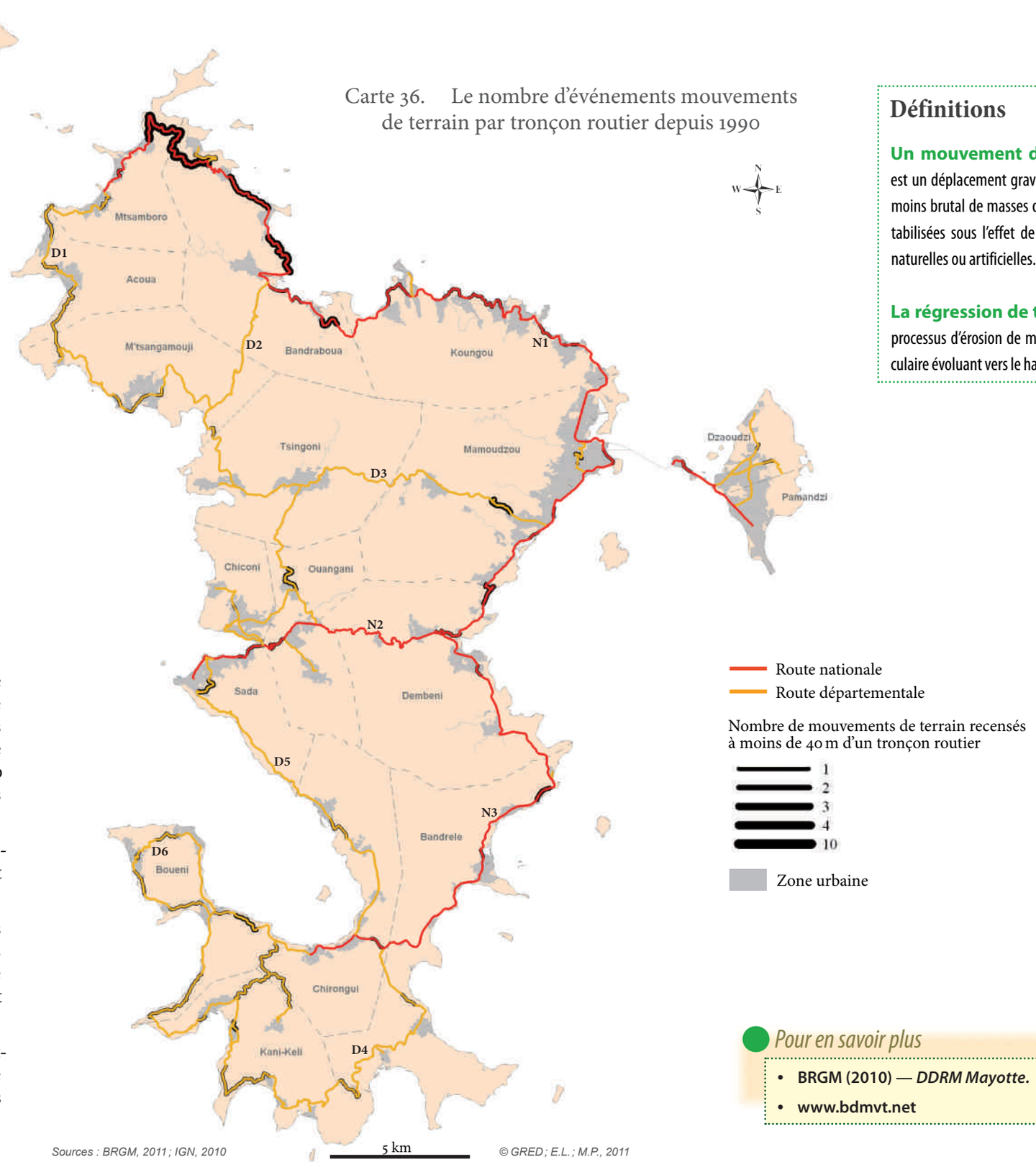
Depuis 1990, 93 mouvements de terrain ont été recensés dans la bande des 40 m de part et d'autre du réseau routier. La répartition de ces événements montre que la route nationale N1 au nord de l'île est la plus exposée avec 31 mouvements, dont 10 sur la seule portion de route entre les villages d'Handréma et de Mtsahara.

Les routes départementales D1 et D4, avec respectivement 13 et 12 événements, sont également fortement exposées au risque de coupure.

Cette cartographie constitue un bon indicateur des secteurs les plus vulnérables avec des mouvements susceptibles de se réactiver à chaque période de fortes pluies. La conséquence la plus fréquente est l'obstruction de la chaussée.

Le traitement des données par tronçon routier, c'est-à-dire d'une intersection à une autre, permet de distinguer les portions de routes les plus exposées au risque de mouvements de terrain.

Carte 36. Le nombre d'événements mouvements de terrain par tronçon routier depuis 1990



Sources : BRGM, 2011 ; IGN, 2010

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Définitions

Un mouvement de terrain est un déplacement gravitaire plus ou moins brutal de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles ou artificielles.

La régression de talus est un processus d'érosion de masse ou particulaire évoluant vers le haut du versant.

Pour en savoir plus

- BRGM (2010) — *DDRM Mayotte.*
- www.bdmvt.net

Les éléments structurant le réseau d'alimentation en eau potable

Les ouvrages de production

L'eau des rivières dite « eau brute » alimente les usines de traitement par l'intermédiaire de ***points de captages***.

Il en existe cinq sur l'île de Grande-Terre :

— Les usines de Bouyouni et de l'Ourouvéni sont les plus importantes en terme de capacité. Cette dernière, construite en 1997, est particulièrement vulnérable et exposée au risque d'érosion. En cas d'arrêt, c'est tout le sud de l'île qui se retrouverait privé d'eau potable. Elle requiert donc une attention particulière. Lors des pluies importantes de nombreux déchets descendent le cours d'eau, ce qui entraîne la fermeture de l'usine 1 à 2 heures.

— Deux usines sont localisées en zone d'aléa fort. L'usine de la Bouyouni qui est en zone d'aléa mouvements de terrain et l'usine de Mamoudzou, plutôt vétuste, située en zone d'aléa sismique. Elles contribuent toutes deux à alimenter la commune de Mamoudzou dont le besoin moyen annuel est d'environ 4800 m³/jour.

— Les usines de M'Tsangamouji et Miréréni desservent des secteurs indépendants avec des capacités de production respective de 400 et 700 m³/jour. Des ***forages*** très productifs permettent de compléter l'alimentation des usines dans cette zone.

— Il existe également une usine de dessalement sur Petite-Terre. Sa capacité de transfert est de 1500 m³/jour pour un besoin de 2700 m³/jour, si bien que de gros efforts sont à faire pour économiser l'eau dans ce secteur, d'autant plus que les canalisations sont en PVC et qu'elles engendrent des fuites importantes.

Les ouvrages de transfert

Il s'agit principalement des canalisations qui permettent de transporter l'eau depuis les ouvrages de production jusqu'aux différents réservoirs. Il en existe deux sortes : les canalisations d'eau traitée (d'adduction) et de distribution.
La ville de Sada est un des secteurs les plus vulnérables avec des canalisations construites de façon anarchique. Les terrassements sauvages y sont fréquents et peuvent provoquer une rupture dans le réseau d'eau (SIEAM, 2011). Un tronçon de canalisation de secours a été installé à Kani-Kéli pour palier d'éventuelles coupures dans le sud.

Les ouvrages de stockage

On trouve deux types de stockage à Mayotte. Les retenues collinaires stockent l'eau brute à l'amont des usines de traitement de Combani (1,5 million de m³) et de Dzoumogné (2,5 millions de m³) pour optimiser l'utilisation des volumes disponibles en saison humide.

Les réservoirs servent à régulariser le débit sur les ouvrages de transfert et de production en assurant les pointes de demande. Ils assurent une sécurité de distribution aux usagers en cas d'incident sur la production ou la distribution. Mayotte compte 64 réservoirs dont les volumes varient entre 100 et 2000 m³. Ils sont situés le plus souvent en hauteur et sont construits en béton.
Les réservoirs les plus conséquents sont ceux de Bouyouni et de l'Ourovéni, logiquement proportionnels à la capacité de production des stations de traitement : on les appelle réservoirs de tête. Si ces deux réservoirs venaient à céder, c'est la totalité de l'île qui se retrouverait privée d'eau. Ces structures présentent une forte vulnérabilité aux aléas sismique, mouvements de terrain et cyclonique.

Définitions

Les forages ou puits sont des ouvrages de prélèvement d'eau souterraine à des fins d'usage domestique.

Les points de captages sont des dispositifs de prélèvement d'eau potable par collecte passive ou pompage, soit à partir d'une source, soit d'un cours d'eau, soit d'un réservoir de barrage, ou soit d'une nappe d'eau souterraine ou aquifère.

Usine de traitement de Mayotte

Usine de traitement	Capacité de production (en m³/jour)	Débit d'exploitation moyen annuel (en m³/jour)	Zone de distribution
Ourouvéni	10000	6716	Elle alimente tout le sud de l'île jusqu'à Dembéni et les hauts de Tsoundzou 2
Bouyouni	10000	7200	Bandraboua, Mtsamboro, village de Mtsangadoua, Koungou, Mamoudzou et Petite-Terre
Mamoudzou	3000	4763	Mamoudzou, Kawéni, Disma, Majicavo Lamir, Kavani, Mtsapéré, Doujani, Passamainty, Tsoundzou 1 et 2
Usine de dessalement*	1500	2760	Petite-Terre
Miréréni	700	1156	Tsingoni
M'Tsangamouji	400	1168	M'Tsangamouji et le village d'Acoua

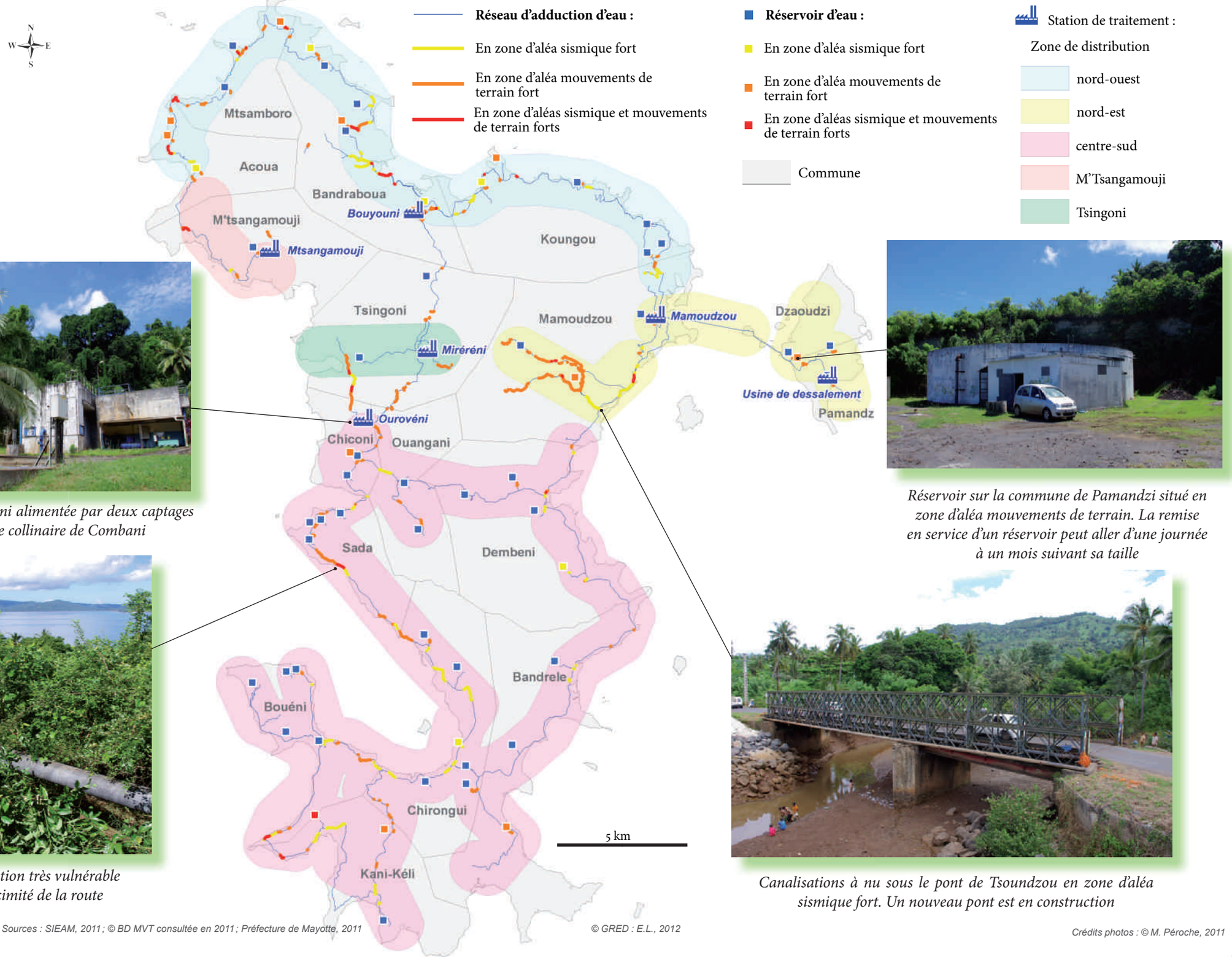
Source :SIEAM, 2011

*L'usine de dessalement construite en 1997 est alimentée par deux drains captant directement l'eau du lagon. L'usine de Mamoudzou est la plus ancienne des stations de traitement.

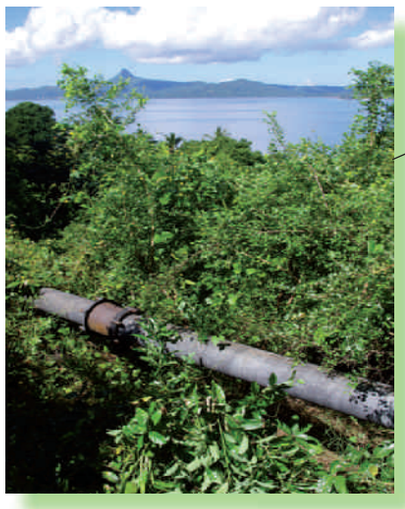
Pour en savoir plus

- **Lagahé E. & Péroche M. (2011) — *Réalisation d'un atlas sur les risques naturels à Mayotte.***
- **Syndicat intercommunal d'eau et assainissement de Mayotte (SIEAM), (2002) — *Schéma directeur d'eau potable de Mayotte, note de synthèse.***

Carte 37. Exposition du réseau d'adduction d'eau et des réservoirs aux aléas sismiques et mouvements de terrain



Usine de l'Ourouvéni alimentée par deux captages et la retenue collinaire de Combani



Canalisation très vulnérable à proximité de la route

Réservoir sur la commune de Pamandzi situé en zone d'aléa mouvements de terrain. La remise en service d'un réservoir peut aller d'une journée à un mois suivant sa taille

Canalisations à nu sous le pont de Tsoundzou en zone d'aléa sismique fort. Un nouveau pont est en construction

Sources : SIEAM, 2011 ; © BD MVT consultée en 2011 ; Préfecture de Mayotte, 2011

© GRED : E.L., 2012

Crédits photos : © M. Péroche, 2011

De la case traditionnelle mahoraise aux habitats actuels : une diversité architecturale vulnérable aux risques naturels

L'émergence de bâtiments plus modernes et la récente départementalisation contribuent à réduire la vulnérabilité structurelle. Aujourd'hui, les types de bâtiments sont très diversifiés mais tendent à s'uniformiser vers des modes d'habiter plus contemporains.

Une diversité de types de bâtiments

Il y a une vingtaine d'années la population mahoraise était regroupée dans quelques villages côtiers et seule Dzaoudzi, point de départ de l'occupation française, pouvait être qualifiée de ville.

L'habitat traditionnel s'est adapté aux nouvelles normes de constructions entrées en vigueur au cours des années suivantes. Ces évolutions des modes d'habiter mahorais se traduisent par une modernisation des logements et des matériaux utilisés. D'où la grande diversité de types de bâtiments sur l'île de Mayotte.

L'habitat traditionnel

Jusqu'au début des années 1980, la faible importation de matériaux manufacturés encourage les populations à utiliser les ressources locales pour la construction. Durant cette période, le développement des savoir-faire locaux est une nécessité.

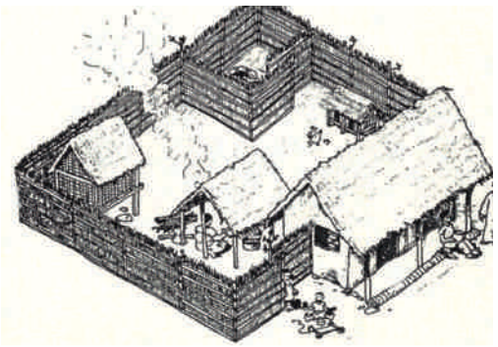
L'espace habité traduit les règles de vie familiales et villageoises à travers ses principes d'organisation et de construction. Il est formé de l'ensemble nyumba-shanza (case et enclos).

Suivant l'époque de construction et les matériaux employés, plusieurs types de nyumba sont visibles.
Il existe deux familles bien distinctes :

— Les cases végétales en châssis : Kupampa et Fandraka (habitations traditionnelles les plus anciennes), Buru, Keti-Keti…

— Les cases en terres qui utilisent un treillis : Tro Tro, ***banga***.

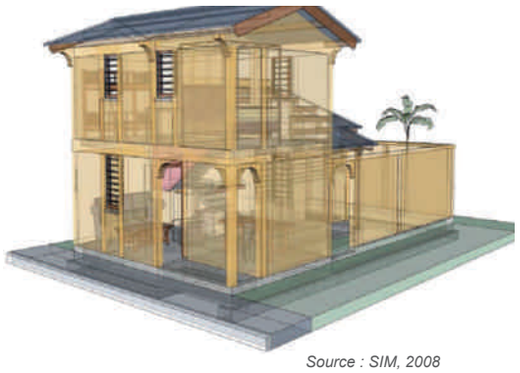
L'habitat traditionnel : nyumba-shanza



Source : SIM, 1995

Exemple d'un banga à Mzouazia

Bâtiment à l'architecture moderne



Source : SIM, 2008

Des bâtiments modernes de plus en plus réglementés

Progressivement, les classes sociales aisées se tournent vers des matériaux plus modernes comme le béton.
Dès 1978, les premiers programmes institutionnels, basés sur des modèles et des savoir-faire importés, apparaissent.

De nouvelles infrastructures comme le port de Longoni (1992) et l'aéroport (1995) vont faciliter ces évolutions. Des quartiers et bâtiments à l'architecture moderne sont construits tels que les 100 villas et la mairie de Mamoudzou. De plus, le fort accroissement de la population engendre une nouvelle forme de logements à étages, notamment en milieu urbain.

Ces nombreuses évolutions sont régies par les normes et ***réglementations obligatoires*** issues de la Constitution française.
Par ailleurs, l'engouement pour l'habitat social et la décohabitation provoquent un brutal besoin de parcelles à construire.

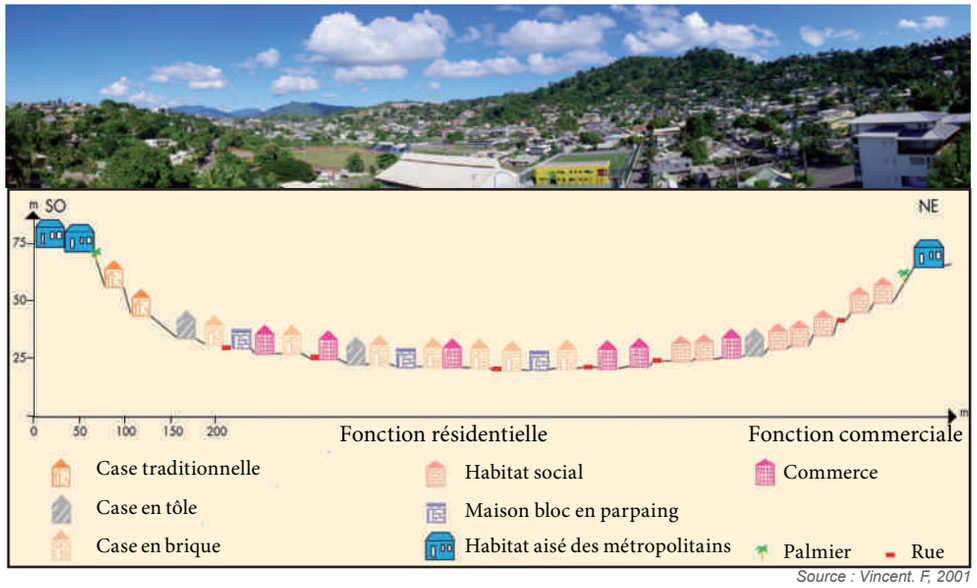
Définitions

Les bangas sont des cases de célibataires. Au moment de la puberté, chaque garçon construit son banga à l'extérieur du foyer familial. Il y passera son adolescence jusqu'au moment de son mariage, où il s'installera dans la maison appartenant à l'épouse.

La réforme foncière de 1996 est l'une des mesures qui tend vers les standards métropolitains. Il s'agit d'instaurer un système foncier fondé sur des droits individuels de propriété privée. Trois objectifs se dégagent de la réforme : régulariser l'usage du foncier, contrôler le marché foncier et mettre en place les outils qui facilitent la gestion du foncier des politiques d'aménagement du territoire.

« Depuis près d'un siècle le système foncier de Mayotte combine deux régimes : l'un coutumier, fondé sur la possession de facto reconnue localement par la communauté d'appartenance (lignage et village) ; l'autre d'essence civiliste (propriété privée des sols) reposant sur l'attribution de titres par l'État. » (Bathès, 2009)

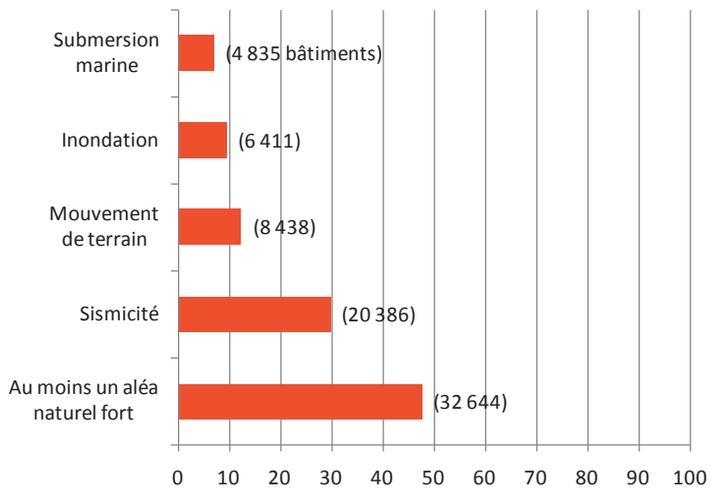
Typologie du bâti sur un transect urbain du quartier de Kavani (Mamoudzou)



Source : Vincent. F, 2001

Ce transect urbain met en exergue la diversité de bâtiments présents à Mayotte et la structure urbaine du quartier de Kavani, construit sur un ancien cratère.

Exposition des bâtiments en zone d'aléa fort



Part de bâtiments exposés (en %) pour l'ensemble de Mayotte

Sources : IGN, 2009 ; BRGM, 2006

© GRED : F.L. ; E.L. ; M.P., 2011

Pour en savoir plus

- **Bathès C. (2009) — *Effet de la régularisation foncière à Mayotte. Pluralisme, incertitudes, jeux d'acteurs et métissage.***
- **Vincent F. (2001) — *Un quartier récent dans Mamoudzou : Kavani.***
- **www.sim-mayotte.fr**

Habitation vulnérable située en bordure de mer dans le village de Nyambadao

Les logements construits illégalement

Suite au recensement de 2007, l'INSEE estimait à plus de 40 % le pourcentage d'habitations construites en tôle et autres matériaux de récupération. Ces habitats informels sont présents à proximité des deux pôles d'emplois que sont Mamoudzou et Longoni. Mais, on retrouve également ce type d'habitat dans chaque village de l'île.
La médiocrité des matériaux utilisés, l'absence de fondations ainsi que le non-respect des règles de constructions augmentent considérablement leur degré de vulnérabilité aux risques naturels.

Lieux « d'habitat illégal clandestin »

Il paraît difficile de déterminer des lieux « d'habitat illégal clandestin ». Car, d'une part, les clandestins se fondent à la population locale, et sont souvent logés au rez-de-chaussée ou dans les jardins de Mahorais ; et d'autre part, l'habitat illégal n'est pas uniquement occupé par des personnes en situation irrégulière. Néanmoins, la population locale cite le quartier de Kawéni comme étant « le plus grand bidonville de France ». Ces bidonvilles se développent dans tous les quartiers qui jouxtent Mamoudzou. Les cases en tôle y sont souvent construites en bordure de talus ou aux abords des chemins de terre battue.

L'exposition des bâtiments

Assez logiquement les quartiers informels se sont développés en zone d'aléa fort, sur des espaces communaux non viabilisés pour l'extension urbaine :

— le long des flancs de collines en zone de mouvements de terrain ;

— dans le lit des rivières en zone inondable ;

— ou encore le long de la côte en zone de submersion marine.

Plus de 30 000 bâtiments sont exposés à au moins un aléa fort (50 %) à Mayotte et plus particulièrement aux effets de sites potentiels en cas de séisme.

Logements situés en bordure de rivière à Passamainty

Logements illégaux sur les pentes de l'ancien cratère de Kavani

Crédits photos : © M. Péroche, 2011

Plus ou moins camouflées par la végétation, ces habitations souvent illégales ne respectent aucune norme de construction paracyclonique ou parasismique.

La vulnérabilité du bâti au risque de tsunami

La prépondérance d'habitats précaires, indicateur de vulnérabilité

Il aura fallu le tsunami de l'océan Indien de 2004 pour voir naître un intérêt scientifique pour la vulnérabilité du bâti face à ce risque. Ces travaux ont conduit à l'élaboration de typologies de vulnérabilité physique et de courbes d'endommagement utiles pour la modélisation des pertes potentielles en cas de tsunami. Mayotte dispose maintenant de sa propre typologie en vue de futures applications.

Sélection des critères de vulnérabilité du bâti

L'étude de plusieurs typologies préexistantes a permis de retenir les critères les plus pertinents pour une évaluation *a priori* de la vulnérabilité du parc immobilier. Il s'agit :

— du type de matériaux utilisé pour la maçonnerie,

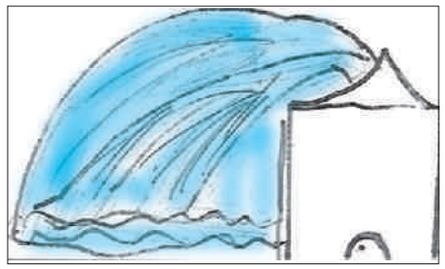
— du nombre d'étages,

— de la taille des structures porteuses (poteau < 20 cm ou pas),

— des règles de construction (calculées ou autoconstruction).

La typologie des bâtiments de Mayotte

Cette typologie permet de classer l'ensemble du bâti de l'île de Petite-Terre en cinq classes structurelles de vulnérabilité décroissante vis-à-vis des forces hydrodynamiques mises en jeu par un tsunami. Les critères de vulnérabilité pris en considération permettent de transposer cette typologie aux autres îles du canal du Mozambique. Ils sont facilement identifiables dans le cadre d'un diagnostic de terrain. Un des objectifs intermédiaires de ce travail a été de produire la cartographie de l'espace urbain en fonction de sa typologie.



Dessin d'enfant illustrant un tsunami déferlant sur une maison (classe de CE2 — Kavani stade, 2012)

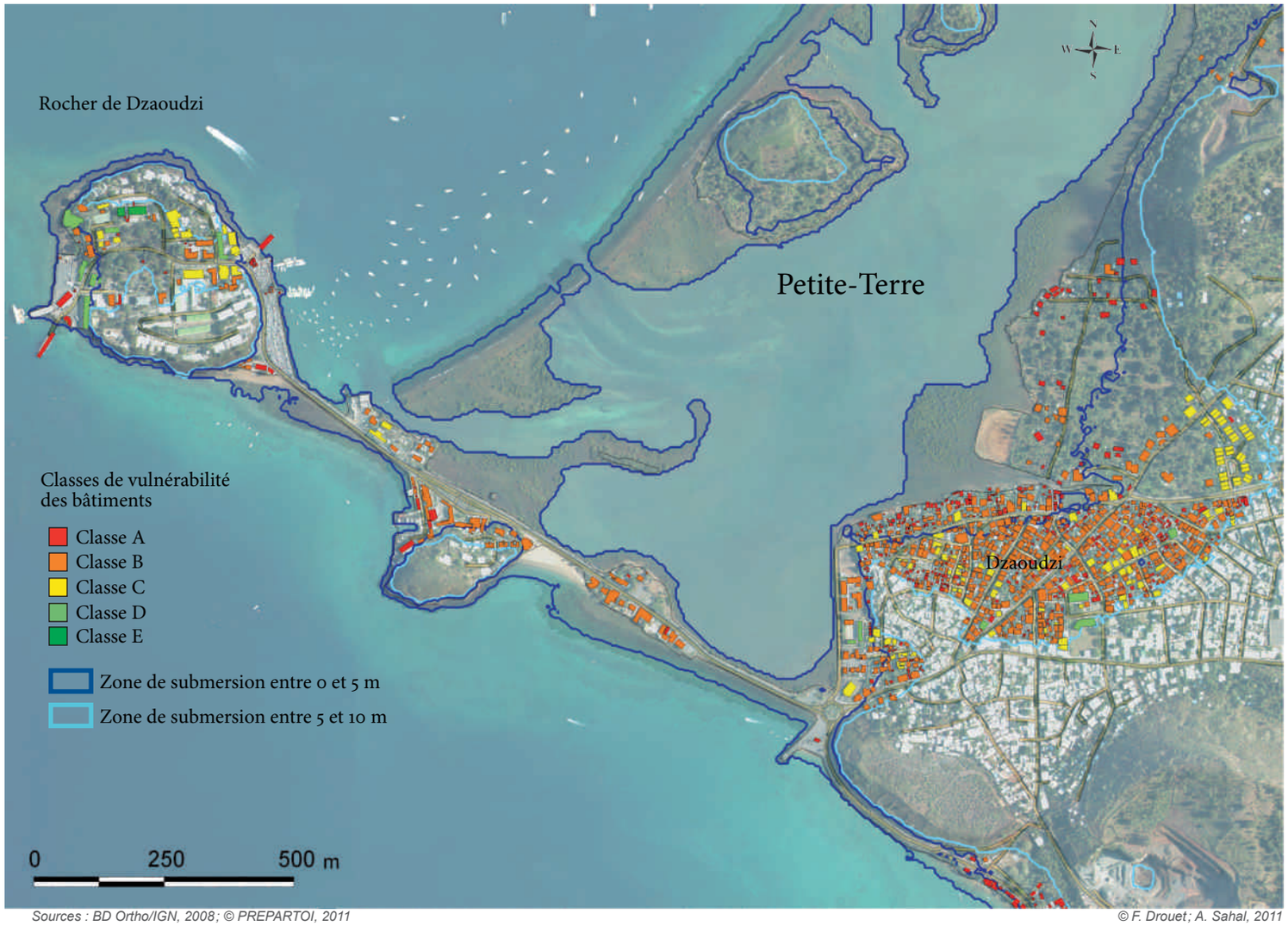
Typologie du bâti suivant sa vulnérabilité aux tsunamis

Type de bâtiment	Individuel			Collectif	
Classe de vulnérabilité	A	B	C	D	E
Critères d'identification sur le terrain	Habitat précaire auto-construit en bois, en tôle et en matériaux de récupération. Type « Banga ». Bâti de petite dimension, léger et très peu résistant.	Habitat traditionnel auto-construit avec structure en béton peu renforcée (poteaux 20*20 cm). Toit en béton ou en tôle. Bâti de taille moyenne et de faible résistance.	Habitat individuel maçonné avec structure en béton renforcée (poteaux > 20*20 cm). Présence systématique d'un étage. Toit en béton. Bâti de taille importante et résistant.	Habitat collectif maçonné de bonne conception. Structure géométrique simple. Toit en béton. Présence de 1 ou 2 étages. Bâti de grande taille et de bonne résistance.	Habitat collectif massif avec structure renforcée en béton. Présence de plusieurs étages, immeuble. Toit en béton. Bâti de grande surface et très résistant.
Vue terrain					
Nom attribué par le Plan local d'urbanisme (P.L.U.)	Habitat précaire	Case en béton	Pavillon intermédiaire ou de standing	Habitat collectif	Hôpital de Dzaoudzi

Cette typologie est basée sur des études similaires réalisées à El Jadida (Maroc) et à Saint-Paul de la Réunion. Ces approches ont été initiées lors du retour d'expérience effectué par l'équipe Tsunarisque après le tsunami d'Indonésie de décembre 2004.

© F. Drouet, 2011

Carte 38. La vulnérabilité du bâti aux tsunamis sur la commune de Dzaoudzi (Petite-Terre)



Sources : BD Ortho/IGN, 2008 ; © PREPARTOI, 2011

© F. Drouet ; A. Sahal, 2011

Le diagnostic de terrain

Au cours de la mission PREPARTOI, plus de 2 400 bâtiments ont été diagnostiqués en six semaines. La classe B est la plus représentée sur la zone d'étude. Elle regroupe environ 54,3 % de l'ensemble du bâti, suivie de la classe A, avec 37,7 %. Cette base de données se caractérise par plusieurs critères de vulnérabilité. Elle permet d'identifier rapidement les espaces de la ville les plus vulnérables face à l'aléa tsunami mais aussi de houle cyclonique.

Perspectives

Il s'agira, dans un second temps de construire des scénarios pertinents qui tiennent compte non seulement de la vulnérabilité du bâti, mais également des enjeux humains situés à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments. Il conviendra pour cela d'établir les variations spatio-temporelles des densités humaines à travers une cartographie dynamique.

Pour en savoir plus

- **Drouet F. (2011) — *Diagnostic de vulnérabilité face au risque de tsunami, sur l'île de Petite-Terre à Mayotte.***

Distribution des bâtiments (dont habitations) par classe de vulnérabilité

Classe	Nombre de bâtis	% de bâtis	Nombre d'habitations	% d'habitations
A	924	38	774	38,5
B	1 331	54	1 099	55
C	163	7	121	6
D	31	1	9	0,5
E	2	0	0	0
Total	2 451	100	2 003	100

Source : © F.Drouet, 2011

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sur Dzaoudzi, les classes de vulnérabilité A et B caractérisent plus de 3/4 des bâtiments résidentiels. Ces classes de bâtiments sont particulièrement vulnérables et abritent une forte densité humaine surtout la nuit.

Vue aérienne du boulevard des Crabes et du rocher de Dzaoudzi

Un suivi de l'étalement urbain sur Petite-Terre et autour de Mamoudzou

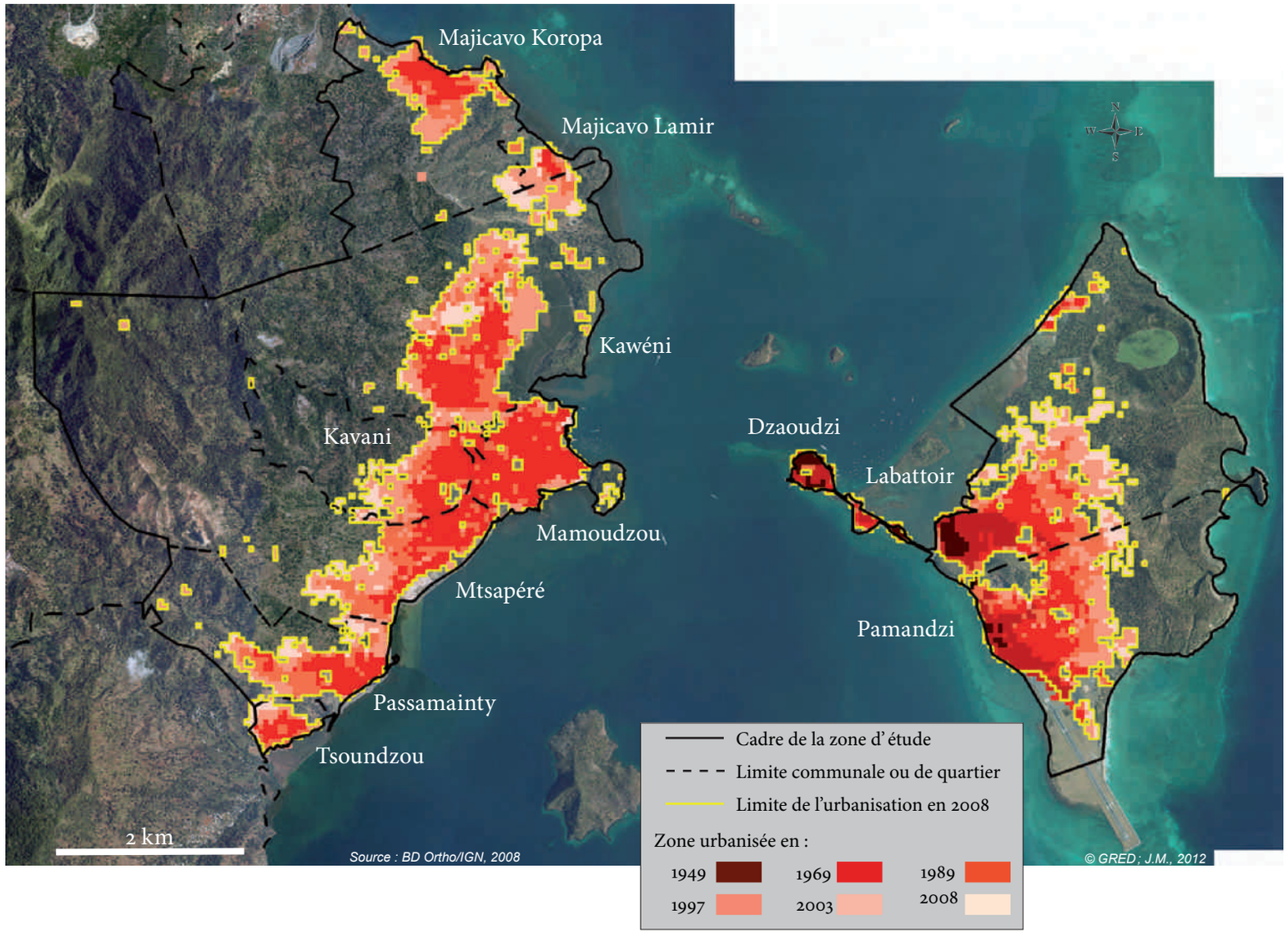
101e DÉPARTEMENT français et 5e département d'outre-mer depuis le 31 mars 2011, Mayotte connaît depuis déjà deux décennies de profondes mutations territoriales. Ces évolutions se traduisent notamment par l'émergence d'un nouveau pôle urbain à Mamoudzou et une « périphérisation » des centres de Petite-Terre.

De l'urbanisation ancienne de Petite-Terre à l'émergence d'un pôle urbain à Mamoudzou

Jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, la capitale de Mayotte demeurait à Chingoni sur Grande-Terre. Lorsqu'elle fut détruite par des razzias malgaches, le sultan Andriantsouli, qui régnait alors sur Mayotte, se réfugia avec ses habitants sur Petite-Terre où il fit fortifier l'îlot de Dzaoudzi communément appelé aujourd'hui, le « bouclier ». En 1841, les nombreuses querelles entre les sultans des Comores poussèrent Andriantsouli à chercher l'appui d'une puissance coloniale pour s'emparer de l'île. La France acquiert donc Mayotte la même année et l'administration coloniale s'installe à Dzaoudzi. En 1925, ce village devient le chef-lieu des Comores jusqu'à ce qu'il soit remplacé par Moroni en 1962, aujourd'hui devenue la capitale des Comores. Peuplé à l'époque d'une centaine de pêcheurs, le village de Mamoudzou devient en 1977 le nouveau chef-lieu de Mayotte.

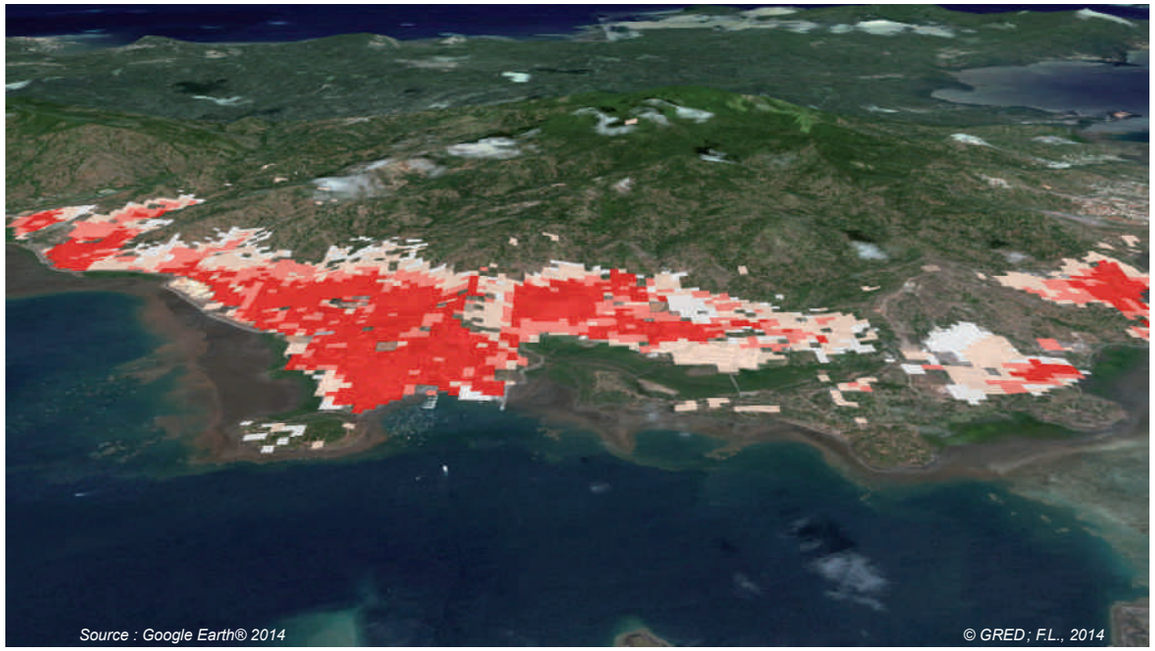
Le développement de l'urbanisation à Mayotte s'est d'avantage réalisé à travers une extension de l'aire urbaine de Mamoudzou plutôt que par l'extension périphérique de nouveaux noyaux villageois. Aujourd'hui, la ville de Mamoudzou centralise les marchandises, concentre la population, les activités et les investissements. L'ensemble de la partie nord-orientale de l'île est devenue la « banlieue » de Mamoudzou. À l'échelle de l'île, Mamoudzou représente la seule véritable agglomération urbaine. Le village de Sada, qui possède pourtant un fort potentiel en matière de développement, ne dispose pas des équipements et des services lui permettant de s'affirmer comme une véritable agglomération. Il ne représente donc qu'un « gros bourg » et n'est pas en mesure de concurrencer le centre urbain de Mamoudzou.

Carte 39. Évolution de l'urbanisation au sein du Grand Mamoudzou et sur Petite-Terre (1949 à 2008)



En raison de la faible qualité des photographies aériennes de 1949 et 1969, l'étude cartographique de Grande-Terre ne débute qu'à partir de 1989.

Carte 40. Représentation 3D de l'évolution de l'urbanisation autour de Mamoudzou



Mamoudzou véritable pôle urbain

En 2012, Mamoudzou concentre la majorité de la population de Mayotte (58 197 habitants). Cependant, la population des villages situés à proximité de cette aire urbaine connaît aussi une forte augmentation. Le centre urbain de Dzaoudzi sur Petite-Terre occupe ainsi le troisième rang avec 14 685 habitants, suivi de Pamandzi au huitième rang avec 10 201 habitants. Le développement de la ville de Mamoudzou s'étend donc en dehors de ses limites communales. On peut parler alors de « ***périphérisation*** » des petits centres-terriens pour qualifier ce processus urbain.

Pour en savoir plus

- **Ninon J. (2007) — *La dynamique urbaine à Mayotte : l'étalement de Mamoudzou et la « périphérisation » des centres petits-terriens.***
- **Benjamin D. & Godard H.-R. (2001) — *Centralisation et polarisation : l'aire urbaine de Mamoudzou et les villages mahorais.***

Mamoudzou principal bassin d'emploi

La ville de Mamoudzou possède un fort pouvoir d'attraction sur la population car elle constitue un véritable bassin d'emploi. Elle comptait 47 % des actifs de Mayotte, en 2007.

Le ***taux d'attraction de l'emploi*** de Mamoudzou n'a cessé d'augmenter pour atteindre 160,5 % en 2007. Par conséquent, même si l'urbanisation des villages de Petite-Terre est plus ancienne, il apparaît aujourd'hui que le centre urbain de Mamoudzou concentre et polarise la majorité des activités et des emplois de l'île pour s'imposer en tant que véritable « capitale » de Mayotte.

Cela s'explique notamment par la présence des principales administrations et des services fournissant à la population mahoraise la majorité des emplois stables (Préfecture, Conseil général, DDT, Direction des Affaires sanitaires et sociales, banques, etc.).

Trois secteurs de Mamoudzou accueillent l'essentiel des fonctions centrales de l'archipel mahorais : les hauteurs du centre-ville qui regroupent les instances de décision politiques, les abords de la place du marché et la zone de Kawéni pour les activités économiques.

Carte 41. Représentation 3D de l'évolution de l'urbanisation sur Petite-Terre

L'évolution de l'urbanisation de 1949 à 2008

La comparaison des clichés photographiques, pris à peu près des mêmes endroits à des dates différentes, nous permet de visualiser directement l'évolution de l'urbanisation et des aménagements urbains, en particulier sur le littoral.

Photos anciennes	Photos récentes

Vue du village de Labattoir en 1978

Vue du village de Labattoir en 2012

Vue de la ville de Mamoudzou en 1888-1891
(prise de la pointe Mahabo)

Vue de la ville de Mamoudzou en 2012
(prise de la pointe Mahabo)

Une augmentation de la vulnérabilité et de l'exposition du bâti

Mayotte compte aujourd'hui près de 186 500 habitants et connaît depuis plusieurs années une croissance démographique importante. Cela s'explique notamment par des taux de natalité élevés (supérieur à 40 ‰) et des flux migratoires permanents en provenance de la République fédérale islamique des Comores (RFIC). En effet, en quelques années, les disparités économiques et sociales entre Mayotte et les Comores n'ont cessé de se creuser et l'archipel français devient aux yeux des Comoriens, qui fuient le dénuement, un territoire d'espoir et de réussite.

Ces personnes issues de l'immigration viennent augmenter une population en manque d'espace et contribuent à l'augmentation de la pression foncière à Mayotte. Le manque d'espace est notamment dû à la présence d'une étroite plaine littorale et à de fortes pentes sur l'arrière-pays. Du fait d'une forte croissance démographique, l'espace encore disponible sur les côtes mahoraises ne peut absorber la demande de logements. L'archipel connaît donc à l'heure actuelle une difficile croissance de l'habitat urbain, à l'image notamment du quartier de Kavani.
Cette croissance s'accompagne d'une augmentation des vulnérabilités et de l'exposition du bâti. Face aux difficultés quotidiennes, les personnes les plus démunies, souvent clandestines, sont contraintes de se réfugier dans des espaces à risque tels que le front de mer, les mangroves ou encore les fortes pentes exposées aux glissements de terrain. Cette exposition aux risques naturels a été multiplié par 3,5 depuis 20 ans, principalement pour Mamoudzou (cf. courbes).

Définitions

L'étalement urbain exprime le développement des surfaces urbanisées à partir d'un noyau central matérialisé par une agglomération. Il correspond ainsi à l'extension de la périphérie des villes vers les espaces limitrophes.

Le terme de **périphérisation** renvoie à une organisation spatiale « centre-périphérie ». Il est empreint d'une connotation politique qui vise à affirmer le poids d'une ville par rapport à une autre. On parle alors de « centralisation-périphérisation ».

Le **taux d'attraction de l'emploi** est le rapport, exprimé en pourcentage, entre les emplois offerts dans une commune et les actifs domicilés et travaillant dans cette commune.

© J. Mouassil, 2012

Habitats précaires au sein de la mangrove de Iloni

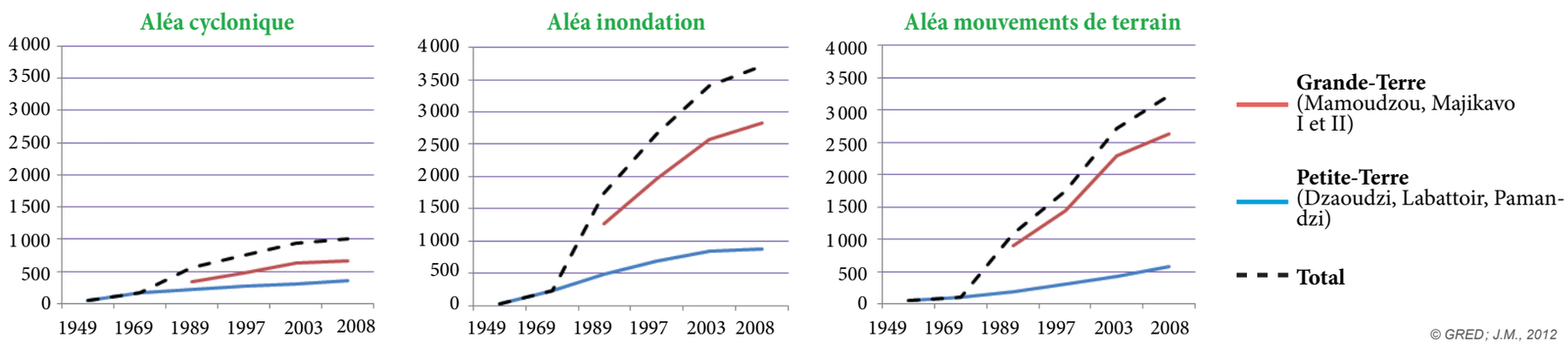
© J. Mouassil, 2012

Habitats précaires sur les fortes pentes de Mtsapéré

© J. Mouassil, 2012

Habitats précaires en front de mer à Sada

Évolution des surfaces urbanisées soumises à un aléa de 1949 à 2008 (en nombre de mailles de 50 m × 50 m)



De même que pour l'étude cartographique, l'étude de l'évolution des zones urbanisées de Grande-Terre ne débute qu'à partir de l'année 1989.

L'aléa cyclonique se caractérise par la submersion marine de type tempête tropicale Feliksa (1985). L'aléa inondation comprend le ruissellement urbain et les débordements de cours d'eau. L'aléa mouvements de terrain correspond aux chutes de blocs, aux glissements de terrain et aux mouvements de terrain indifférenciés.

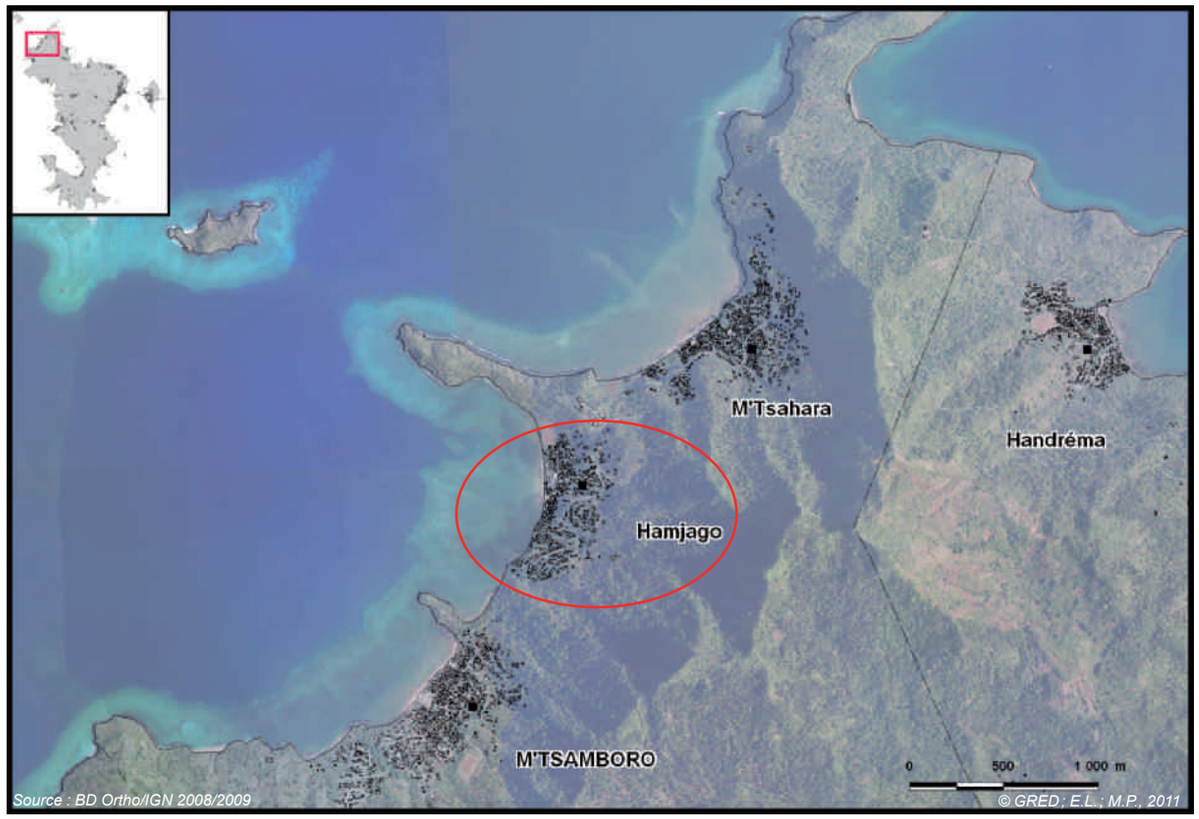
La combinaison entre une pression foncière importante et un manque d'espace entraîne depuis les années 1950 a une très grande augmentation de l'urbanisation dans les zones d'aléas naturels forts. Cette croissance des enjeux est très significative sur Grande-Terre et en particulier dans les secteurs à risque inondation et mouvements de terrain.

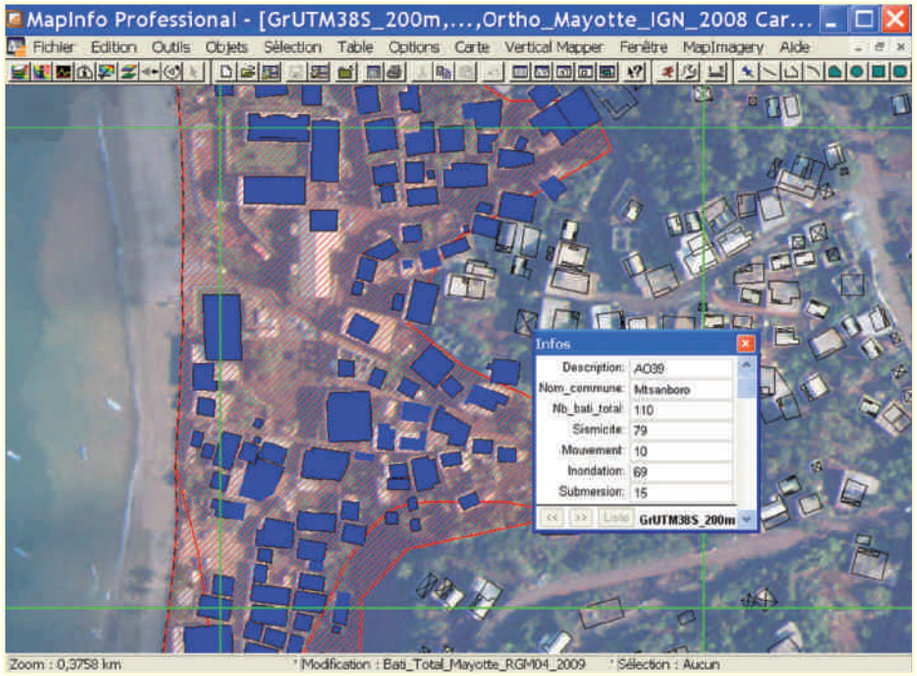
Le carroyage comme choix de représentation

Le risque peut être déduit d'une simple combinaison entre les enjeux et les aléas. L'indice d'exposition qui en découle peut être traité sur un fond de carte carroyé afin de s'affranchir des limites administratives et physiques. Il en résulte des cartes d'exposition sur lesquelles la donnée est agrégée soit en valeur absolue, soit en valeur relative (taux). Ce choix cartographique adapté à une lecture fine du risque a été retenu pour les bâtiments exposés aux quatre aléas de référence définis par le BRGM.

Le village d'Hamjago se situe entre M' Tsamboro et M'Tsahara, au nord-ouest de Grande-Terre.

Carte 42. Village d'Hamjago





En bleu, l'ensemble des bâtiments sélectionnés en zone d'aléa fort (en rouge)

Les captures d'écran sont centrées sur le village d'Hamjago situé sur la commune de Mtsamboro au nord de l'île. Nous avons choisi de prendre ce village comme exemple car certaines habitations sont exposées par les quatre aléas, ce qui présente un intérêt pédagogique.

Le traitement de la donnée

Les données sont préalablement organisées au sein d'un SIG. La première étape constitue à calculer pour chaque maille de 200 m de côté le nombre de bâtiments exposés.

Les bases de données nécessaires

La base de données sur le bâti provient de l'IGN et date de 2009. La comparaison de cette base avec une orthophoto de 2008 permet une mise à jour. Malgré quelques lacunes, cette base de données convient parfaitement pour un travail à l'échelle de l'île. On recense près de 68 500 bâtiments. Les quatre aléas de référence pris en compte sont : sismique, mouvements de terrain, inondation et submersion marine. Les enveloppes de ces phénomènes naturels ont été produites par le BRGM pour la rédaction du Dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Elles ont été mises à jour en 2010.

Avantage de la méthode

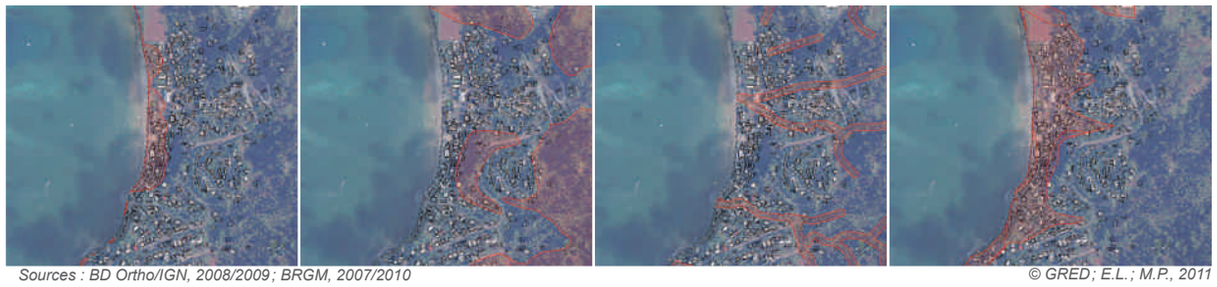
Hormis la précision de lecture, ce choix de représentation de la donnée sur une carte carroyée, autorise le traitement statistique de l'information. Une classification commune à l'ensemble des cartes offre alors des possibilités de comparaison dans l'exposition du bâti à chaque aléa de niveau fort.

Limites

L'une des principales limites de cette cartographie réside dans l'approximation de la cartographie des aléas. En effet on note certaines aberrations notamment dans l'enveloppe des zones inondables. Il n'existe pas de cartographie officielle plus détaillée en attendant le zonage plus précis des PPRn (Plans de prévention des risques naturels). Pour autant le niveau de précision reste acceptable pour représenter les foyers de risque à l'échelle communale.

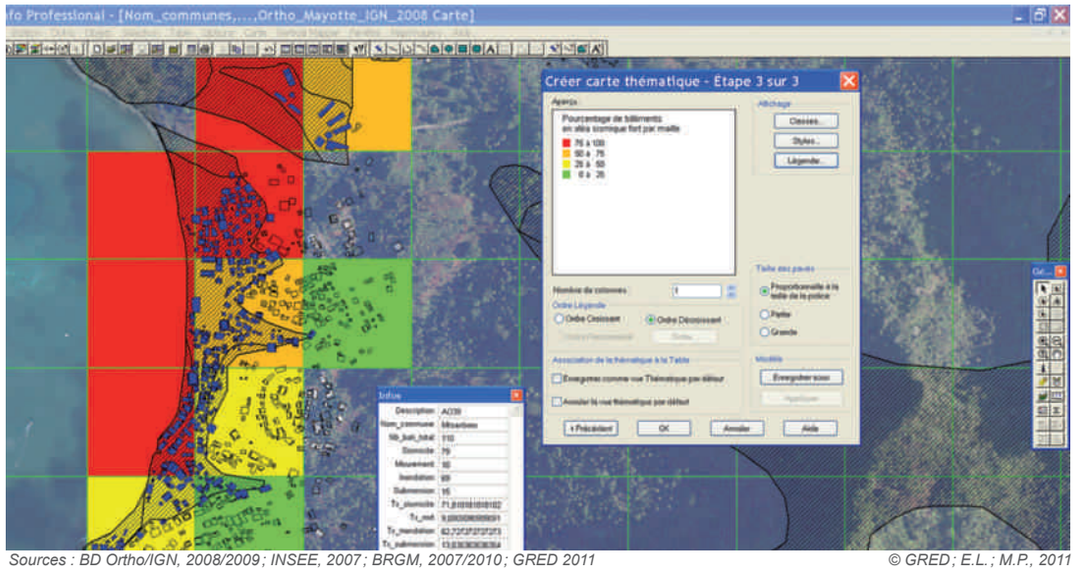
Grain orageux au-dessus du village d'Hamjago

Extrait du zonage des aléas de référence



Aléa fort submersion marine — *Aléa fort mouvements de terrain* — *Aléa fort inondation* — *Aléa fort sismicité*

Classification des indices d'exposition



Les valeurs d'exposition du bâti sont ici traitées en classes de même amplitude (25 %). Elles représentent la part du bâti de la maille exposée à l'aléa considéré (ici sismique). Ce taux d'exposition traduit un certain niveau de risque relatif.

Orthophoto de 2008 avec la base de données IGN (2009)

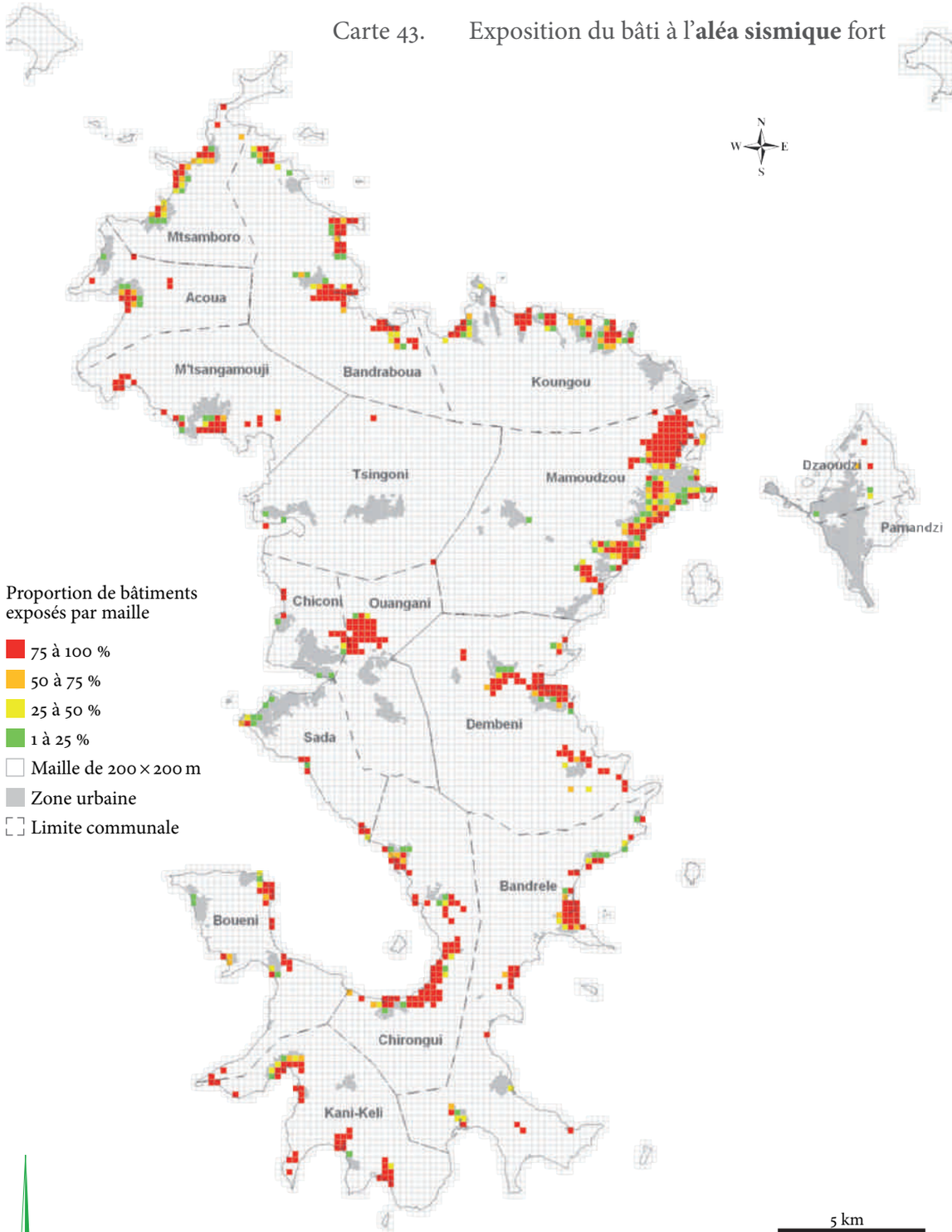
Pour en savoir plus

- **Lagahé E. & Péroche M. (2011) — *Réalisation d'un atlas sur les risques naturels à Mayotte.***

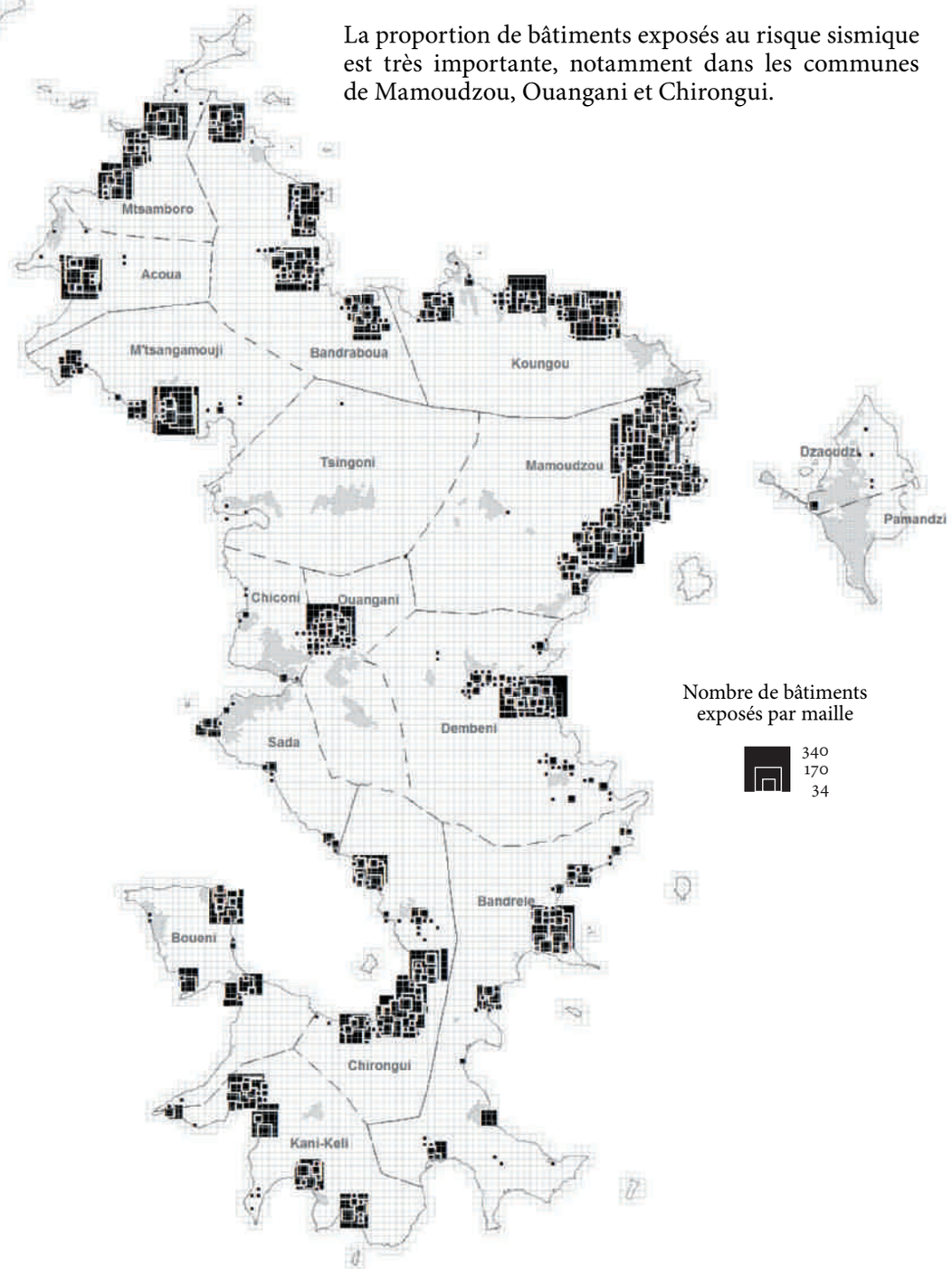
Exposition des bâtiments aux aléas naturels

La représentation de l'exposition du bâti, à travers une collection de cartes, permet de situer les portions de territoire à risques élevés. Nous avons cartographié les bâtiments exposés en zone d'aléa fort par maille de 200 m de côté, en valeurs relatives et absolues.

Carte 43. Exposition du bâti à l'**aléa sismique** fort



La proportion de bâtiments exposés au risque sismique est très importante, notamment dans les communes de Mamoudzou, Ouangani et Chirongui.



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sources : BRGM, 2007 mise à jour 2010 ; GRED, 2011 ; INSEE, 2007

Carte 44. Exposition du bâti à l'aléa fort **mouvements de terrain**

Le risque mouvements de terrain concerne plus particulièrement le bâti des communes de Mamoudzou, Chiconi, Sada et certaines communes du nord de l'île.

Proportion de bâtiments exposés par maille

- 75 à 100 %
- 50 à 75 %
- 25 à 50 %
- 1 à 25 %
- Maille de 200 × 200 m
- Zone urbaine
- Limite communale

Nombre de bâtiments exposés par maille

340
170
34

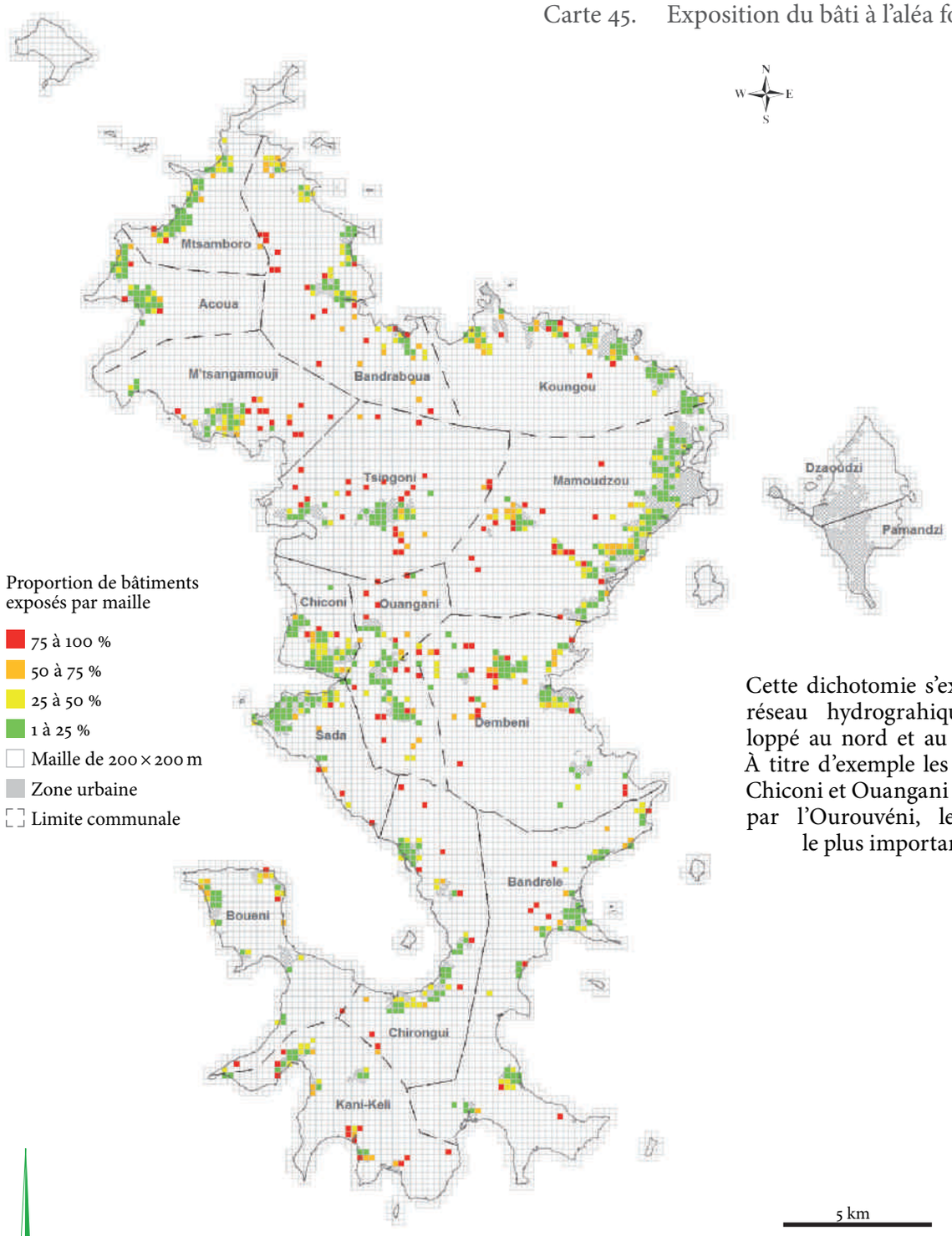
5 km

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sources : BRGM, 2007 mise à jour 2010 ; GRED, 2011 ; INSEE, 2007

« À Mayotte, on compte 68 592 bâtiments exposés aux quatre principaux aléas naturels.»

Carte 45. Exposition du bâti à l'aléa fort **inondation**



Cette dichotomie s'explique par un réseau hydrograhique plus développé au nord et au centre de l'île. À titre d'exemple les communes de Chiconi et Ouangani sont traversées par l'Ourouvéni, le cours d'eau le plus important de l'île.

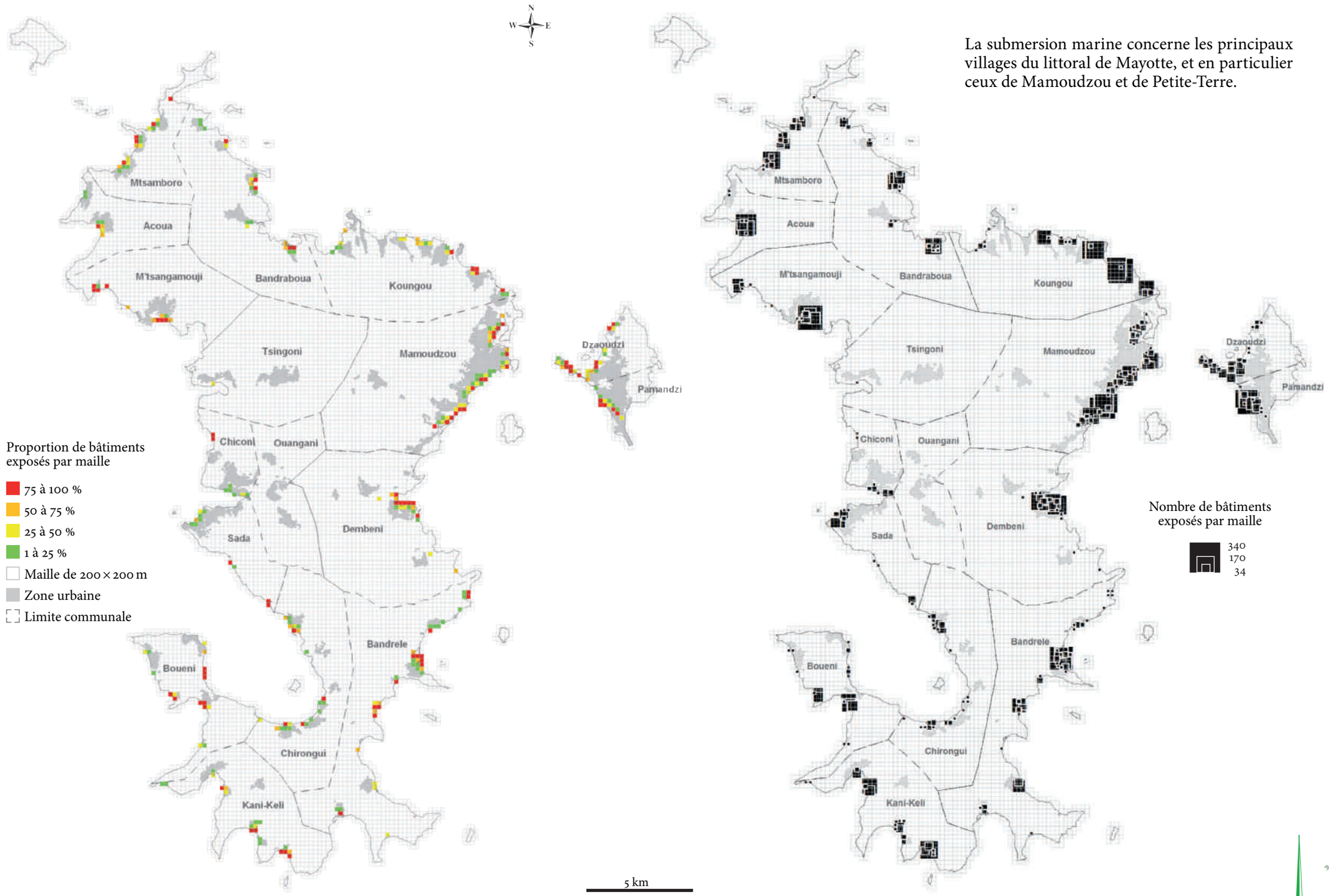
Le nord et le centre de l'île sont particulièrement exposés au risque inondation contrairement aux communes du sud, excepté pour Chirongui.

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sources : BRGM, 2007 mise à jour 2010 ; GRED, 2011 ; INSEE, 2007

Carte 46. Exposition du bâti à l'aléa fort **submersion marine**

La submersion marine concerne les principaux villages du littoral de Mayotte, et en particulier ceux de Mamoudzou et de Petite-Terre.



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sources : BRGM, 2007 mise à jour 2010 ; GRED, 2011 ; INSEE, 2007

Création d'un indice expérimental d'exposition intégrant le rôle protecteur des mangroves

La cartographie de l'exposition des villages mahorais face au risque de tsunami repose sur une base de données SIG prenant en compte des critères d'aléa, d'enjeux et de protection assurée par la mangrove. La pondération de chaque critère débouche sur un indice expérimental dont la cartographie permet d'apprécier ce niveau d'exposition.

Prise en compte de l'aléa

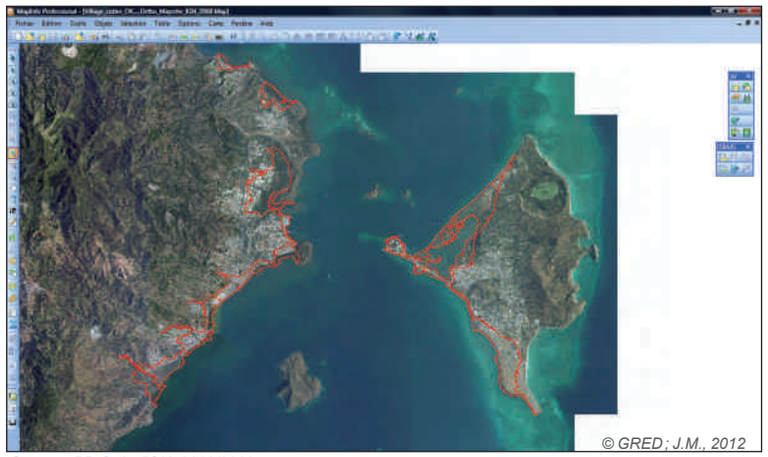
L'aléa tsunami a été caractérisé de manière simple sur la base des modèles réalisés par le CEA/DASE et des travaux de Sahal (2011). Ainsi, une hypothèse de submersion maximale de 5 m d'altitude a été retenue pour cartographier l'aléa. Cette enveloppe de hauteur d'eau a été définie pour tous les villages mahorais à l'aide du Modèle numérique de terrain (MNT) issu de la BD Litto3D de l'IGN/SHOM.

Sectorisation des zones exposées

Les enjeux retenus proviennent de la BD Topo de l'IGN (2009). Il s'agit des bâtiments de toutes natures situés dans la tranche d'altitude 0-5 m.
L'indice étant calculé pour chaque village, nous avons donc dû sectoriser à dire « d'expert » la tranche « 0-5m ». Ce découpage suit les limites de l'urbanisation, de la mangrove et du relief.

La délimitation administrative de certains villages tels que Trévani ou Kougou englobe plusieurs zones urbaines. Si ces zones urbaines d'un même village ne sont pas exposées de la même manière au risque de tsunami (morphologie du terrain et angles de pénétration de l'onde de submersion différents), nous avons donc créé pour chacune d'elles un secteur d'étude particulier.

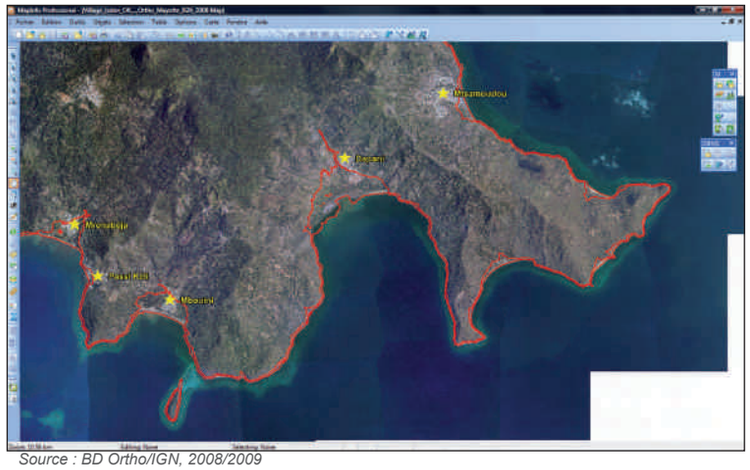
Tranche d'altitude 0-5 m issue du MNT de 2008



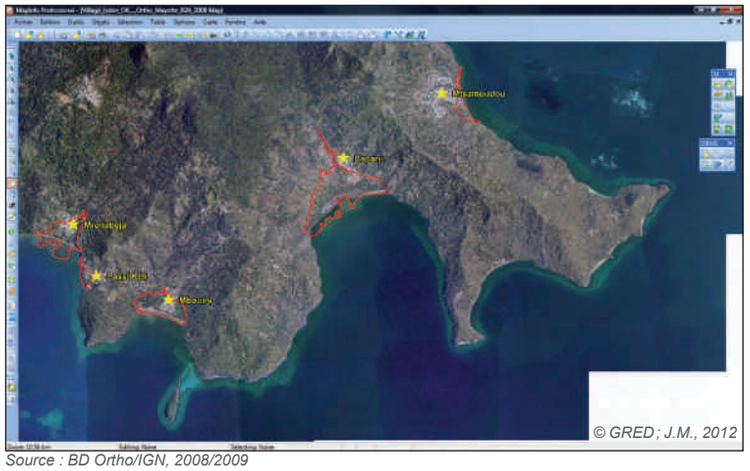
Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009

Sur ce zoom de Petite-Terre et de Mamoudzou est représenté rouge l'enveloppe de la tranche d'altitude 0-5 m obtenue à partir du Modèle numérique de terrain de la BD Litto3D.

Tranche d'altitude 0-5 m avant et après la sectorisation

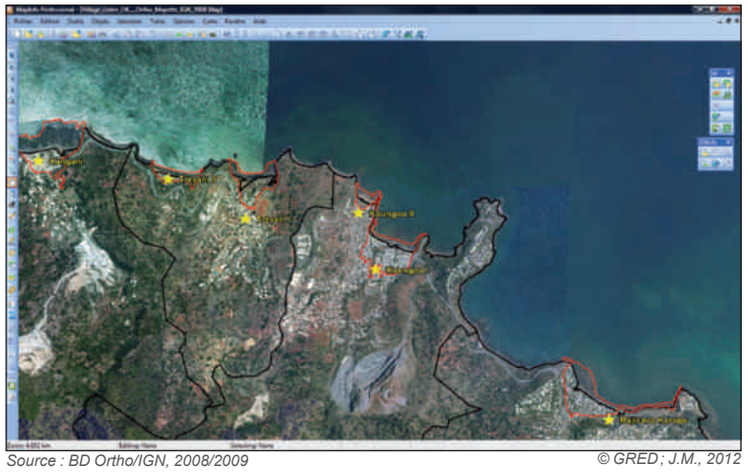


Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009



Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009

Division des villages de Trévani et Koungou en deux secteurs d'étude



Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009 © GRED ; J.M., 2012

Sur ce zoom des villages de Trévani et Koungou, la limite administrative apparaît en trait continu noir et le secteur d'étude exposé est défini par un trait continu rouge. Ces villages disposent de deux zones urbaines distinctes qui ont été sectorisées. Il est en effet probable qu'une onde de submersion ne se propage pas de la même manière sur ces deux zones du littoral.

Le rôle protecteur de la mangrove en cas de submersion marine

Le rôle de la végétation côtière dans l'atténuation des effets d'un tsunami est un fait avéré depuis déjà plusieurs années. Dahdouh-Guebas *et al.* (2005) ont montré que des établissements humains situés directement en arrière de la mangrove sont moins endommagés que ceux situés aux alentours en cas de tsunami. Ces observations ont été confirmées lors du tsunami du 11 mars 2011 au Japon.

La densité d'une mangrove joue un rôle clé dans la réduction des effets d'un tsunami. Danielsen *et al.* (2005) soulignent qu'une mangrove de 14 à 26 troncs d'arbres pour 100 m², composée de ***Rhizophora spp.*** et ***d'Avicennia spp.***, aurait atténué les dommages dans 96 % des cas étudiés en Inde. Les espaces urbanisés situés en arrière d'une mangrove sont donc moins exposés aux dommages potentiels que les villages ne disposant pas de mangrove.

Le ralentissement de la propagation des vagues a d'ailleurs été très bien illustré par Hills et Mader en 1997. Pour un même volume d'eau inondant une surface plane, la pénétration de l'eau dans les terres est fonction de la rugosité de la surface. Plus cette surface sera végétalisée ou urbanisée, moins l'eau pénétrera dans les terres. En revanche, plus la surface sera dénudée, plus l'inondation sera profonde et élevée.

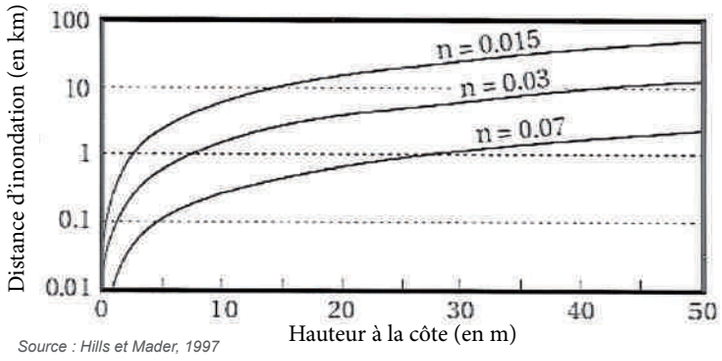
Le feuillage, les branches et les troncs d'arbres sont autant d'obstacles à la pénétration des eaux. Ils ralentissent de fait la propagation d'une onde de submersion dans les terres.

Bâtiments pris en compte pour la quantification des enjeux

Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009 © GRED ; J.M., 2012

Ce zoom sur le village de Mbouini permet de voir en noir les bâtiments exposés de la BD Topo de l'IGN (2009), retenus pour la quantification des enjeux.

Distance d'inondation à la côte pour trois types d'occupation du sol sur une surface plane



Source : Hills et Mader, 1997

Sur ce graphique, le coefficient de rugosité « n » correspond à une surface dénudée lorsque n = 0,015, à une surface développée et urbanisée lorsque n = 0,03 et à une surface densément végétalisée lorsque n = 0,07. On peut apprécier le pouvoir ralentisseur sur une onde de submersion marine.

© J. Mouassil, 2012

Mangrove de Bouyouni dont la partie supérieure est recouverte par les eaux (marée haute)

Pour en savoir plus

- **Dahdouh-Guebas *et al.* (2005) — *How Effective Were Mangroves as a Defence Against the Recent Tsunami ?***
- **Danielsen *et al.* (2005) — *The Asian Tsunami : A Protective Role for Coastal Vegetation.***

Création d'un indice expérimental d'exposition intégrant le rôle protecteur des mangroves

Création d'un secteur de protection pour caractériser la mangrove

Tout comme la quantification des enjeux, la caractérisation spatiale de la mangrove a nécessité la création d'un secteur d'étude approprié que l'on nomme « secteur de protection ». Le niveau de protection fourni par la mangrove en calculant le pourcentage de mangrove disponible a été apprécié. La mangrove ne se développe que lorsque des conditions biologiques, hydrodynamiques et sédimentaires particulières sont réunies. Au-delà d'une certaine altitude, elle n'est plus en mesure de se développer. Par conséquent, calculer le pourcentage de mangrove présente au devant de chaque village, en comparant la superficie réelle du couvert végétal à la superficie totale des espaces situés entre 0 et 5 mètres, revient à considérer que la mangrove peut s'implanter jusqu'à une altitude de 5 m. La protection est considérée comme maximale lorsque le pourcentage de mangrove est de 100.
La création de ce nouveau secteur d'étude a été basée sur la typologie du littoral proposée par le CIRAD et AGRIFOR en 2010. Ce secteur a été délimité en fonction : du front de la mangrove — ou du niveau 0 de l'IGN en cas d'absence de cette dernière — et de la limite entre la plage, la falaise ou les rochers littoraux et l'urbanisation.

Le « secteur de protection » intègre aussi les « tannes », compte tenu du fait que ces espaces peuvent être colonisés par de nouveaux palétuviers. Ils pourront jouer un jour un rôle dans le ralentissement des vagues.

Critères retenus pour évaluer la protection de la mangrove

Les critères retenus pour l'évaluation du degré de protection fourni par la mangrove sont au nombre de cinq :

1 — La présence ou non de mangrove au front des villages : les villages disposant d'une mangrove sont moins exposés que les villages sans couvert végétal.

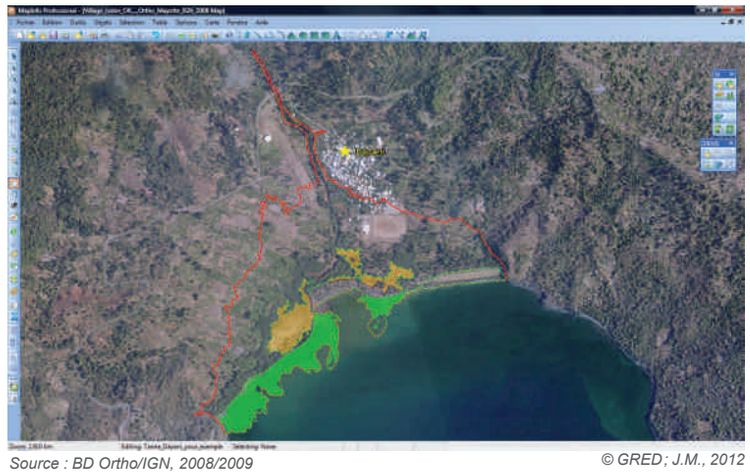
2 — La densité de la mangrove : elle a été exprimée de manière qualificative à dire « d'expert » et a conduit à une typologie simplifiée.

3 — L'évolution surfacique de la mangrove de 1949 à 2008 : les classes proposées sont basées sur des valeurs quantitatives issues du rapport *Mangroves mahoraises : surveillance par instrumentation et recherches sédimentaires* (2010). Ce rapport rend compte du pourcentage d'évolution de la majorité des mangroves. La prise en compte de l'évolution des mangroves sur une période de presque 60 ans nous permet d'évaluer l'exposition des villages par rapport à une dynamique érosive à la fois historique (évolution ancienne) et actuelle (érosion ou progression qui continue encore aujourd'hui).

4 — La part de la superficie de la mangrove dans le secteur de protection : le pourcentage de mangrove « disponible » pour la protection des villages en cas de tsunami correspond à la différence entre la superficie réelle de la mangrove et la superficie totale du secteur de protection. Pour un même secteur de protection, une mangrove qui occupe 25 % de la superficie aura un rôle protecteur moins élevé que si la mangrove en occupe 50 %.

5 — La morphologie générale de la mangrove :
la morphologie de la mangrove est basée sur la continuité du couvert végétal. On peut supposer qu'en cas de tsunami, l'eau pénétrera plus facilement dans une mangrove non homogène que dans le cas contraire. La présence de zones de faiblesse (ouvertures dans le couvert végétal) pourrait favoriser l'infiltration des eaux et diminuer le ralentissement de l'onde de submersion.

Les composantes spatiales de l'indice expérimental



Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009 © GRED ; J.M., 2012

Sur ce zoom du village de Dapani sont représentés tous les secteurs d'étude nécessaires à la création de l'indice. Le trait continu de couleur rouge correspond à la zone d'exposition (aléa et enjeu) ; le trait pointillé en vert correspond au « secteur de protection » et les mangroves sont en aplat de couleur verte, et *les tannes* sont en aplat de couleur marron clair.

© J. Mouassil, 2012

Jeunes palétuviers se développant dans la tanne de Dapani

… des villages aux tsunamis

Classification du degré d'évolution de la mangrove

Degré d'évolution	Évolution en %
Extension significative	> + 50
Extension modérée	De + 7 à + 50
Extension légère	De + 1 à + 7
Stable	Entre - 1 et + 1
Régression légère	De - 1 à - 7
Régression modérée	De - 7 à - 50
Régression significative	< - 50

© GRED ; J.M., 2012

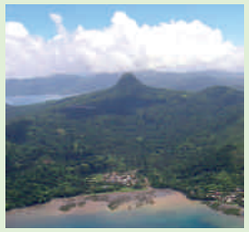
Ce tableau a été réalisé à partir des données du rapport MANGUIER. Une étude cartographique des mangroves manquantes a dû être effectuée afin de pouvoir estimer un degré d'évolution et disposer d'une base de données complète.

Caractérisation de la morphologie de la mangrove

Village témoin	Morphologie	Photographie aérienne
Miangani	Tissu continu	
Passamainty	Tissu discontinu	

© GRED ; J.M., 2012

Typologie relative à la densité des mangroves

Village témoin	Densité	Photographies aériennes	
Mamoudzou (pointe Mahabo)	Très dense		
Tsoundzou	Dense		
Mronabéja	Peu dense		
Sada	Absente		

© GRED ; J. Mouassil, 2012 ; BD Ortho/IGN, 2008

Grâce à cette typologie, la base de données a été renseignée pour chaque village. Plus la densité de la mangrove est élevée, plus le village est protégé.

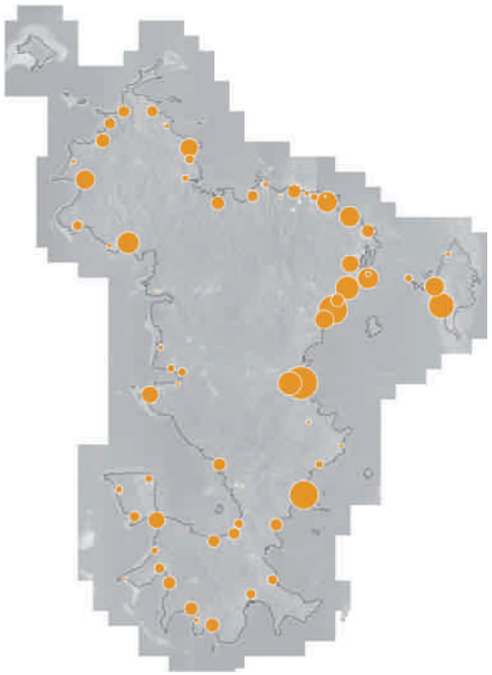
Définition

Les tannes sont des zones marécageuses saumâtres et/ou des aires sursalées et dénuées de végétation, situées en arrière de la mangrove, dans les zones atteintes par les hautes mers de vives-eaux exceptionnelles (Jeanson, 2009)

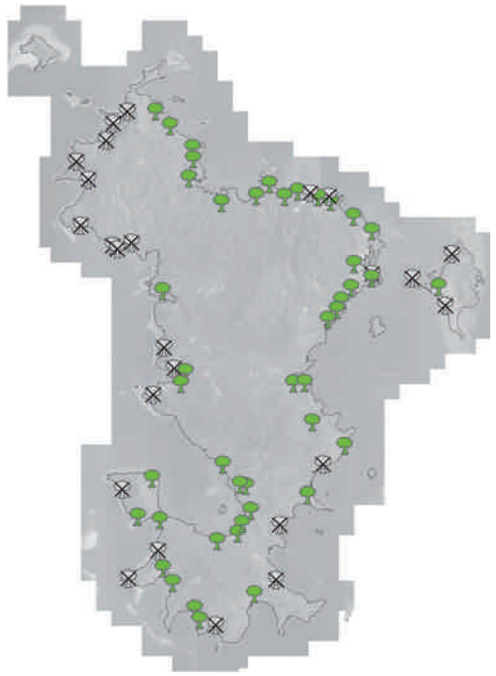
Pour en savoir plus

- **Dolique F. (2010) — *Rapport MANGUIER (Mangroves mahoraises, surveillance par instrumentation et recherches sédimentaires).***

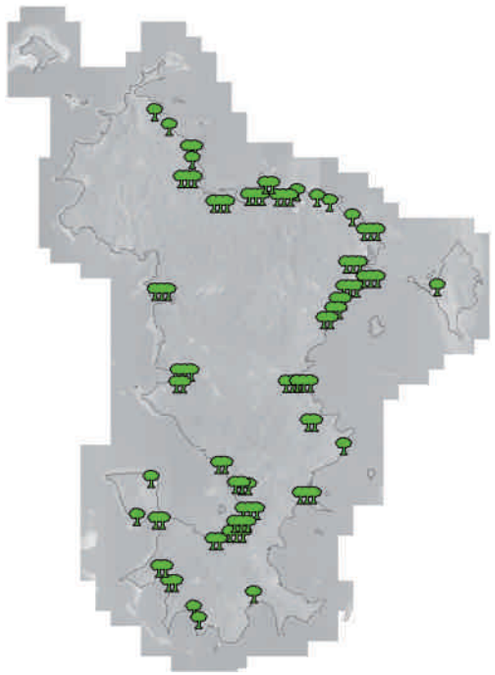
Les différents critères pris en compte dans le calcul de l'indice d'exposition final



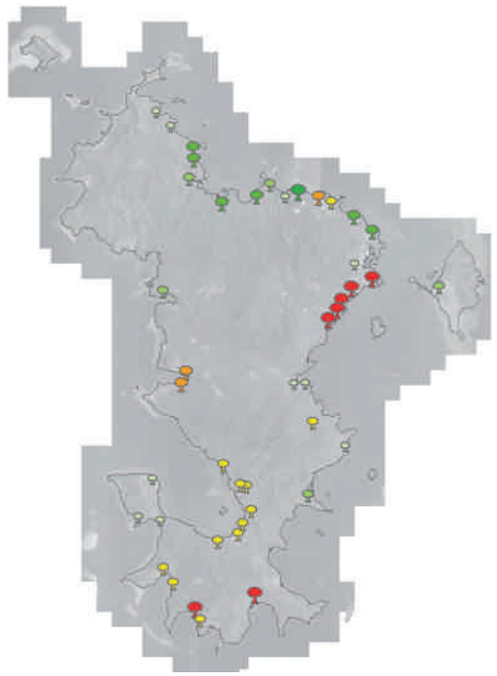
Nombre d'enjeux bâtis



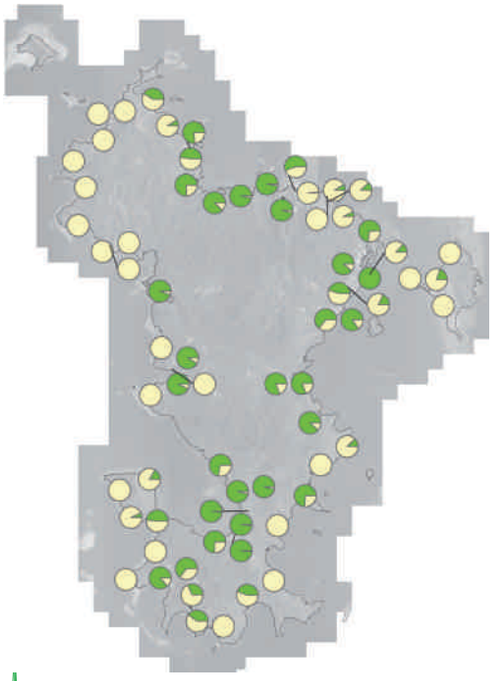
Présence ou non de mangrove au front des villages



Densité de la mangrove



Évolution surfacique de la mangrove de 1949 à 2008



Part de mangrove dans le secteur de protection (en %)

Nombre de bâtiments situés à une altitude inférieure à 5 m :

- 2 000
- 200
- 20

Présence de mangrove au front des villages :

- oui
- non

Densité de la mangrove en 2012 :

- Très dense
- Dense
- Peu dense

Évolution de la mangrove de 1949 à 2008 :

- Extension significative
- Extension modérée
- Extension légère
- Stable
- Régression légère
- Régression modérée
- Régression significative

Pourcentage de mangrove dans le secteur de protection :

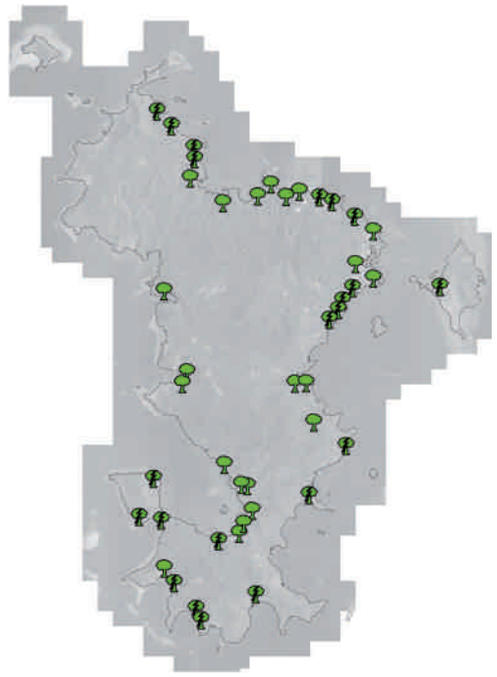
- 50 %
- 50 %
- Superficie de la mangrove
- Superficie du secteur de protection

Qualité du tissu de la mangrove :

- Continu
- Discontinu

5 km

© GRED ; J.M., 2012



Morphologie générale de la mangrove (qualité du tissu)

Calcul de l'indice expérimental

Le calcul de l'indice d'exposition final (IE_f) a été effectué avec le logiciel Microsoft Office Excel®. Chaque classe de critère a été pondérée afin d'obtenir des indices intermédiaires. Ces derniers ont ensuite été ajoutés pour obtenir l'indice d'exposition final.

$$\text{Indice IE} = \left[(\text{INDICE_BAT}) - \left(\frac{\text{INDICE_PROTECTION}}{\text{INDICE_PROTECTION MAXIMUM}}\right)\right] \times 100$$

© GRED ; J.M., 2012

Avantages de l'indice

Le principal avantage de cette méthode repose dans la prise en compte du rôle protecteur de la mangrove contre l'aléa submersion marine. Jusqu'ici aucune évaluation spatiale et quantitative n'avait été réalisée sur cet aspect.

Cet indice offre un regard synthétique sur l'exposition des villages mahorais et nous invite à réfléchir sur les conditions de maintien de cette mangrove pour se protéger des risques naturels.

Synthèse des pondérations affectées à chaque critère

Indice intermédiaire	Modalité	Valeur attribuée	Explication
INDICE_BAT	x	Nombre de bâtiments exposés / Nombre maximum de bâtiments exposés	Indice relatif à l'exposition des bâtiments
INDICE_ PRÉSENCE_ MANGROVE	Oui Non	1 0	Indice relatif à la présence de mangrove
INDICE_ETAT	Très dense Dense Peu dense Absente	1 0,75 0,5 0	Indice relatif à la densité de la mangrove
INDICE_ ÉVOLUTION	Absence de mangrove Extension significative Extension modérée Extension légère Stable Régression légère Régression modérée Régression significative	0 1 0,75 0,5 0,25 0,5 0,75 1	Indice relatif à l'évolution de la mangrove de 1950 à 2008
INDICE_ SUPERFICIE_MAN-GROVE	x	Pourcentage de superficie de la mangrove / Pourcentage maximum de superficie de la mangrove	Indice relatif à la superficie de la mangrove
INDICE_ MORPHO_ MANGROVE	Continu Discontinu Absence de mangrove	1 0 0	Indice relatif à la morpho-logie de la mangrove
INDICE_ PROTECTION	x	INDICE_PRESENCE_MANGROVE + INDICE_ETAT + INDICE_EVOLUTION + INDICE_SUPERFICIE_ MANGROVE + INDICE_MORPHO_MANGROVE	Indice synthétisant le degré de protection apportée par la mangrove

© GRED ; J. M., 2012

Village de Sada non protégé par la mangrove

Village de Kani Bé protégé par la mangrove

Pour en savoir plus

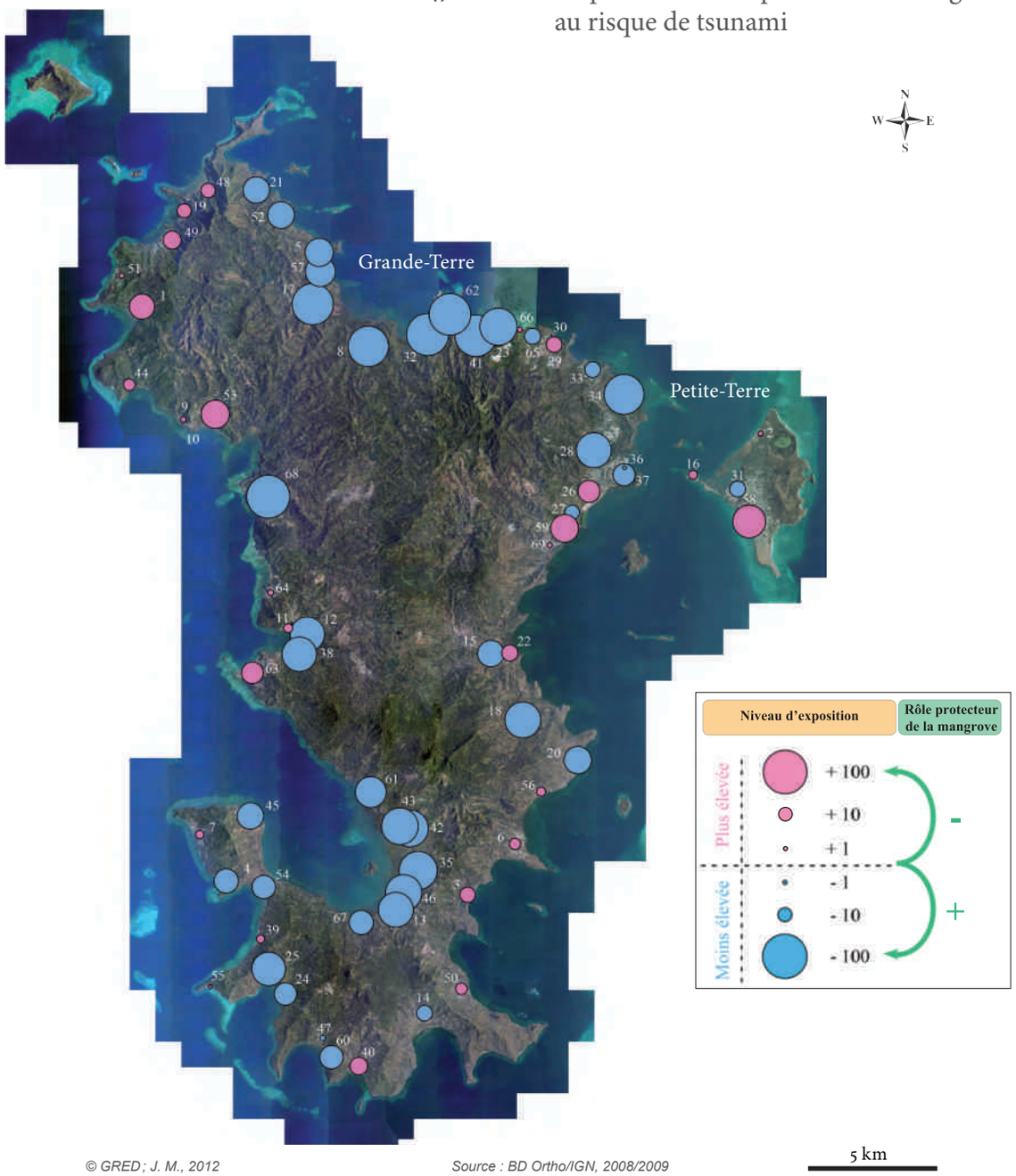
- **Mouassil J. (2012) — *Contribution à la réalisation d'un atlas des risques naturels à Mayotte.***

L'indice d'exposition final par village

Classement des villages selon leur degré d'exposition

Code	Nom du village	Indice d'exposition
58	Pamandzi	57,83
53	M'tsangamouji	43,22
59	Passamainty	41,11
1	Acoua	33,76
26	Mtsapéré I	25,56
63	Sada	25,47
49	Mtsamboro	17,17
40	Mbouini	16,35
22	Iloni	14,02
29	Koungou I	13,59
3	Bambo Est	12,73
48	Mtsahara	11,56
19	Hamjago	10,63
50	Mtsamoudou	7,71
44	Mliha	7,48
6	Bandrélé	7,11
11	Chiconi I	4,44
56	Nyambadao	4,32
16	Dzaoudzi	3,97
7	Bouéni	3,85
39	Mbouanatsa	3,74
64	Sohoa	1,98
9	Chembényoumba I	1,75
2	Badamier	1,55
69	Tsoundzou	1,54
51	Mtsangadoua	1,52
66	Trévani II	1,45
55	Ngouja	0,58
30	Koungou II	0,12

Carte 47. Indice expérimental d'exposition des villages au risque de tsunami



© GRED ; J. M., 2012

Source : BD Ortho/IGN, 2008/2009

10	Chembényoumba II	0,00
36	Mamoudzou I	-0,69
47	Mronabéja	-1,55
27	Mtsapéré II	-11,01
14	Dapani	-12,48
33	Majicavo Koropa	-12,88
31	Labattoir	-13,08
65	Trévani I	-13,67
37	Mamoudzou II	-25,04
24	Kani Bé	-26,03
60	Passi Kéli	-27,60
54	Mzouazia	-27,71
4	Bambo Ouest	-29,55
67	Tsimkoura	-29,78
21	Handréma	-35,42
15	Dembéni	-35,98
45	Moinatrindri	-36,14
52	Mtsangamboua	-37,07
20	Hamouro	-38,52
5	Bandraboua	-40,24
57	Nyambo	-45,94
61	Poroani	-49,01
25	Kani Kéli	-57,25
38	Mangajou	-61,11
12	Chiconi II	-61,34
28	Kawéni	-61,62
13	Chirongui	-62,82
18	Hajangoua	-65,49
46	Mramadoudou	-67,58
42	Miréréni Bé	-67,85
43	Miréréni Kéli	-67,85
23	Kangani	-69,92
35	Malamani	-73,92
34	Majicavo Lamir	-80,79
8	Bouyouni	-83,11
17	Dzoumogné	-86,95
62	Port de Longoni	-87,22
41	Miangani	-88,66
32	Longoni	-89,25
68	Tsingoni	-93,90

La cartographie de l'indice final permet de comparer l'exposition globale des villages au risque de tsunami. Sur les 69 villages étudiés, 30 sont considérés comme surexposés, soit près de 43,5 %. Ces secteurs doivent faire l'objet de mesures préventives particulières qui passent en priorité par un maintien de la mangrove protectrice en cas de tsunami ou de houle cyclonique.

… des villages aux tsunamis

Quelques vues aériennes du littoral et des mangroves de Mayotte

13 M'Tsangadoua

14 Mtsamboro / îles Choazil

15 M'Tsangamboua

16 Port de Longoni

17 Trévani / Koungou

12 Baie d'Acoua

19 Lac Dziani

18 Petite-Terre

11 Chembényoumba / M'Tsangamouji

10 Baie de Chiconi

20 Plage de Moya

9 Bambo Ouest

8 Mzouazia

1 Mamoudzou / Kawéni

2 Mtsapéré

4 Bandrélé

7 Kani-Kéli / Kani Bé

6 Mbouini / Mronabéja

5 Dapani

3 Dembéni / Illoni

© GRED ; J. M., 2012

Exposition de la population littorale

Des enjeux principalement situés en bordure littorale

Avec plus de 186 500 habitants (INSEE, 2007), la population de Mayotte a augmenté de 26 000 habitants en l'espace de cinq ans. Ce phénomène démographique a provoqué l'accélération et l'amplification de la dynamique urbaine, particulièrement sur la bordure littorale.

En chiffre

28 % de la population totale de Mayotte (soit 52 471 personnes) vivent dans une tranche d'altitude comprise entre 0 et 10 m dont 12,5 % (soit 23 482 personnes) à moins de 5 m. Plus de 6 000 personnes vivent en zone submersible sur la commune de Mamoudzou. La population des communes de Koungou et de Bandrélé est également très exposée aux risques de tsunami ou de houle cyclonique avec respectivement 3 000 et 2 000 personnes concernées.

« Le phénomène de submersion marine comprend des aléas : tsunami et houle cyclonique. »

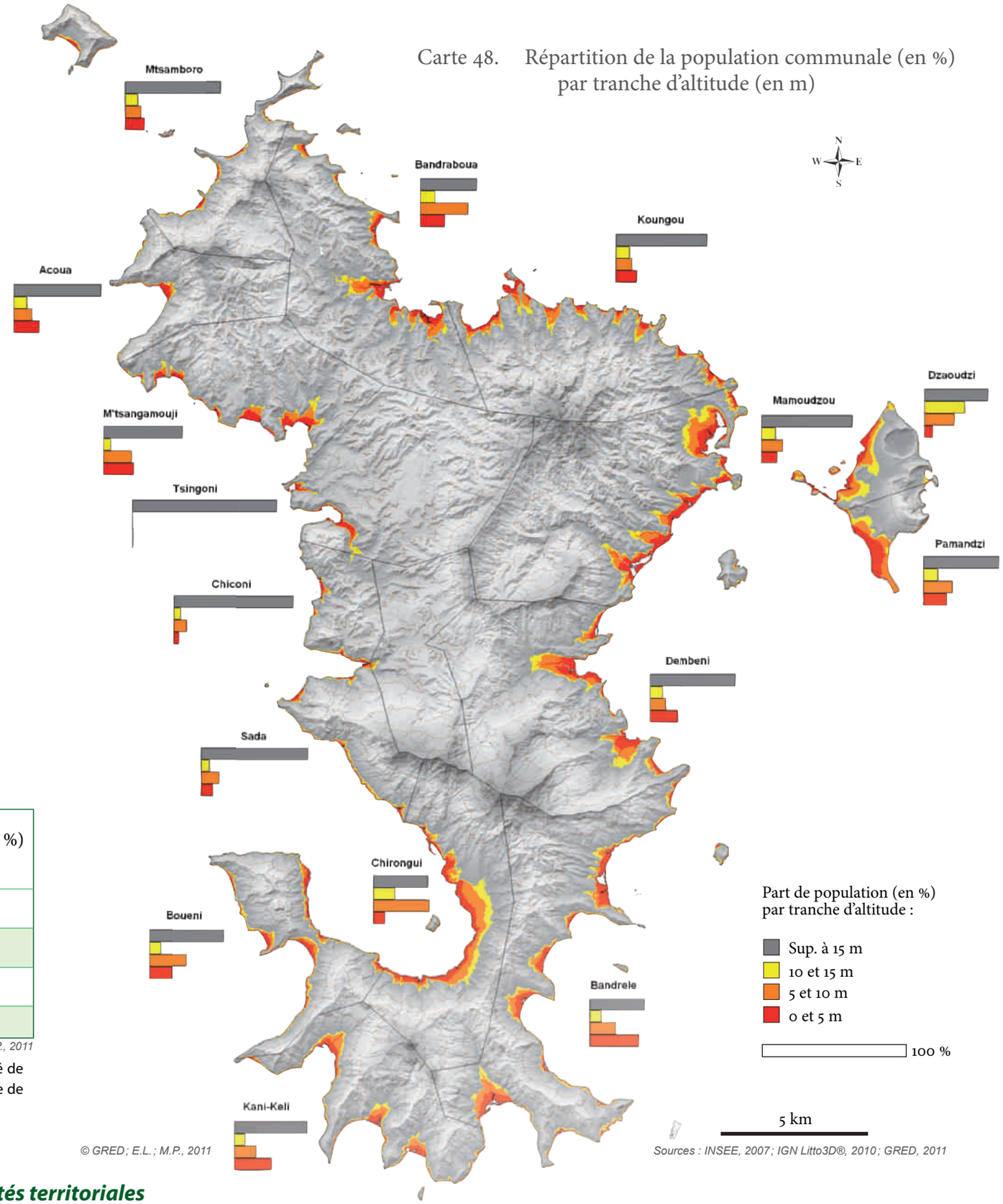
Les quatre premières communes les plus exposées à l'aléa submersion marine

	Part de la population (en %)			Cumul de la population (en %) située entre 0 à 15 m
	0-5 m	5-10 m	10-15 m	
Chirongui	8,4	38,5	14,8	61,7
Bandraboua	17,5	33,2	10,4	61,1
Bandrélé	34,3	18,5	8,3	61,1
Dzaoudzi	5,8	21,4	27,8	55

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Les communes de Dzaoudzi, Bandraboua, Bandrélé et Chirongui ont plus de la moitié de leur population communale qui vit dans une tranche d'altitude 0 à 15 m. La commune de Bandrélé possède plus de 34 % de sa population communale à moins de 5 m.

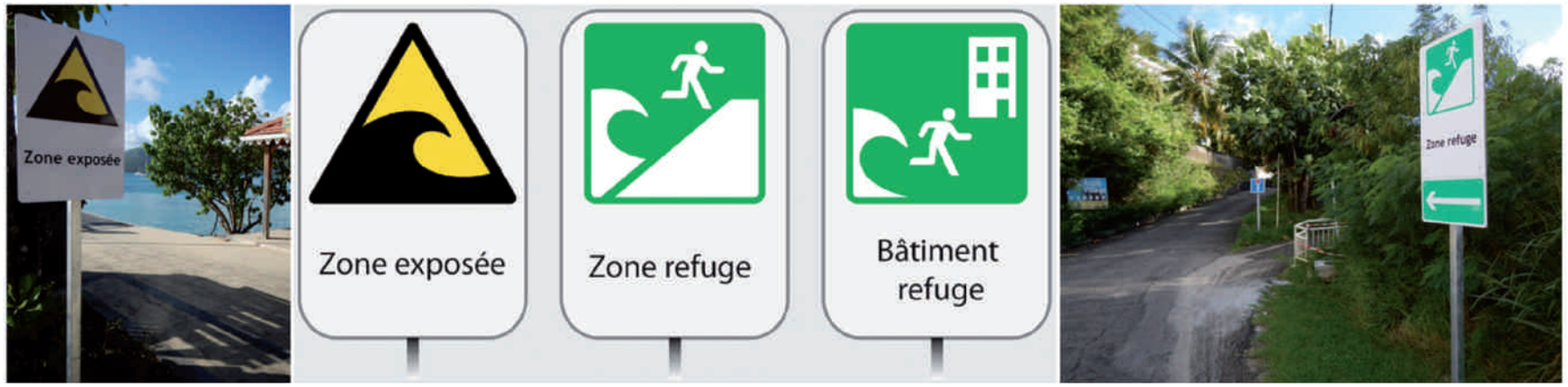
Carte 48. Répartition de la population communale (en %) par tranche d'altitude (en m)



© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

Sources : INSEE, 2007 ; IGN Litto3D®, 2010 ; GRED, 2011

Signalétique officielle recommandée par l'Unesco (norme iso 20712) pour afficher le risque tsunami



Crédits photos : © M. Péroche, 2011

Les itinéraires d'évacuation distinguent des zones refuges topographiques (horizontales) situées en extérieur, ou bien verticales aménagées dans des bâtiments spécialement étudiés pour résister aux séismes et abriter un grand nombre de personnes. Ces panneaux ont été posés pour la première fois en France sur la commune de Saint-Anne en Martinique en novembre 2013.

Définition

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer suite à des tempêtes, cyclones ou tsunamis. Elles peuvent être aggravées par des conditions marégraphiques sévères.

Une population depuis toujours exposée

Les premiers villages mahorais se sont presque toujours installés près de la mer afin de profiter des réserves halieutiques. C'est pourquoi, les activités humaines et économiques ont poursuivi leur développement sur ces espaces plats. De ce fait, on assiste à une concentration des enjeux humains dans les zones exposées à la submersion marine.

Cette case traditionnelle construite en matériaux légers est située en bordure du littoral, dans le village de Bandraboua

Scénario d'évacuation programmée

Le phénomène de ***submersion marine***, qu'il soit engendré par un tsunami ou un phénomène cyclonique, nécessite d'évacuer la population se trouvant à proximité des côtes. Face à ce risque, les événements récents d'Indonésie (2004) ou du Japon (2011), nous ont montrés que la seule chance de survie pour les personnes résidait dans la fuite. En cas de houle cyclonique, l'évacuation doit être adaptée aux conditions météorologiques défavorables qui peuvent évoluer très vite.

Il existe deux types d'évacuation. Dans de nombreux cas on va privilégier la fuite des populations vers des zones refuges topographiques situées en hauteur et on parle alors d'évacuation horizontale. Le deuxième type est appelé l'évacuation verticale qui consiste à gagner un bâtiment de plusieurs étages. Cette seconde solution est difficilement envisageable sur l'île de Mayotte, au regard du grand nombre de bâtiments aux structures légères et très souvent dépourvus d'étages.

« Traditionnellement peuple de pêcheurs et de paysans, les Mahorais vivent en hameaux et villages implantés sur la frange littorale. » (SIAM, 1995)

Mesures de prévention possibles

L'analyse spatiale permet de localiser les zones d'habitat les plus éloignées des zones refuges, donc les plus vulnérables. On peut alors imaginer des parcours balisés pour guider la population vers les zones refuges, voire la construction d'espaces refuges verticaux pour les zones qui en sont dépourvues. Mais la base de la prévention réside dans l'éducation des populations et la préparation des autorités. Il est important de pouvoir détecter les signes précurseurs des tsunamis et d'identifier rapidement les chemins d'évacuations.

Pour en savoir plus

- **Leone F., Péroche M. & Gutton R. (accepté) — *Le risque tsunami en Martinique : planifier une évacuation préventive en modélisant l'accessibilité des zones refuges.***
- **IOC-UNESCO (2008) — *Intergovernmental Oceanographic Commission. Tsunami Preparedness.***

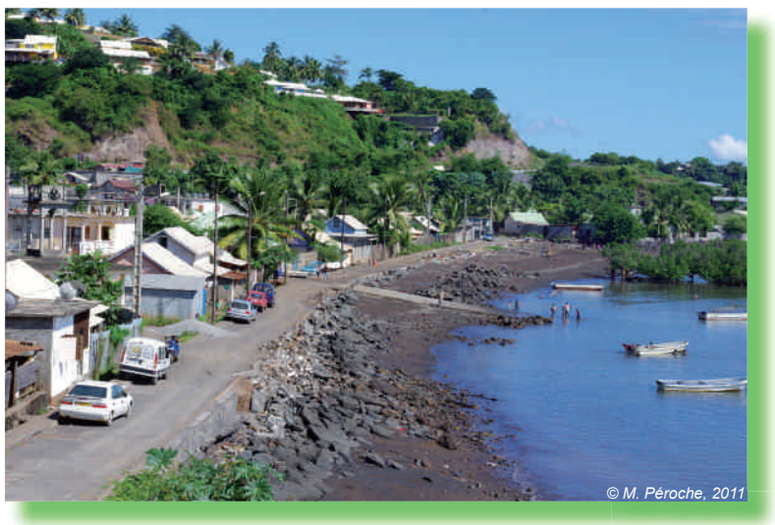
Exposition des ressources littorales

Mamoudzou, Dzaoudzi et Pamandzi particulièrement exposées à la submersion marine

L'exposition directe a été définie, pour plusieurs familles de ressources territoriales. On a cartographié cette exposition au moyen du pourcentage de l'effectif total communal en considérant tous les principaux enjeux situés à moins de 5 m d'altitude.

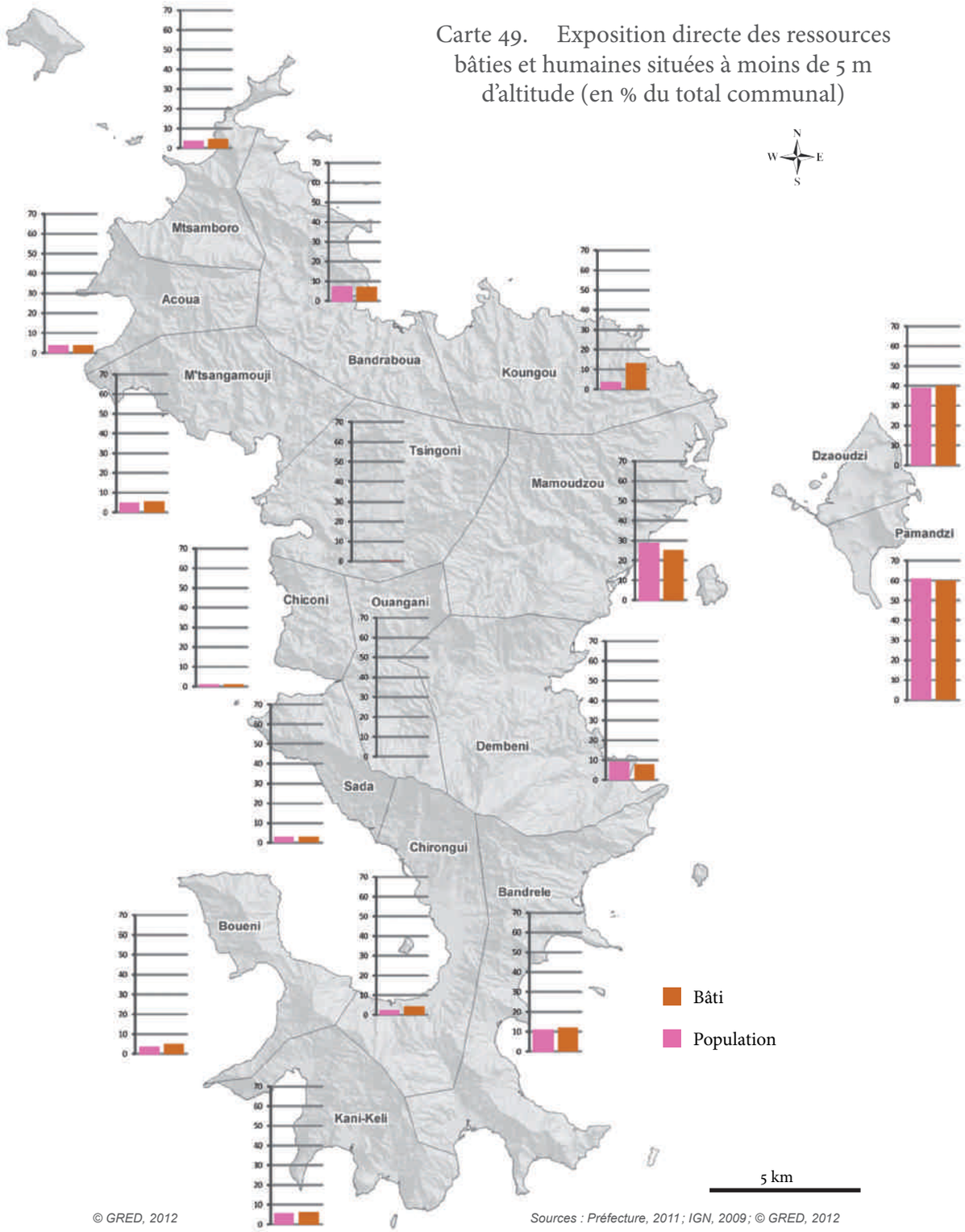
L'exposition du bâti

L'exposition du bâti est proportionnelle à celle de la population avec près de 9 000 bâtiments situés à moins de 5 m d'altitude (13 %). En cas de tsunami les dommages au bâti peuvent être très variables. Leur intensité est fonction des vitesses et hauteurs d'eau, et bien entendu du niveau de résistance des constructions face aux effets de pression latérale et d'impact provoqués par les débris flottants.



Populations et habitations situées à moins de 5 m d'altitude dans le village de Majicavo-Koropa

Carte 49. Exposition directe des ressources bâties et humaines situées à moins de 5 m d'altitude (en % du total communal)



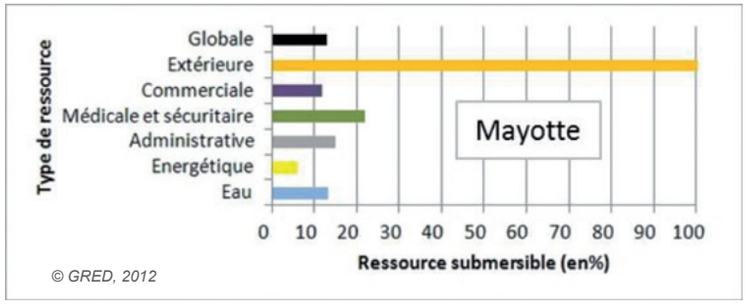
© GRED, 2012

Sources : Préfecture, 2011 ; IGN, 2009 ; © GRED, 2012

Les ressources majeures exposées

Le degré d'exposition des ressources majeures est variable. Ce sont 12,8 % des principales ressources du territoire qui sont directement exposés à la submersion marine (13 % à Grande-Terre et 11 % à Petite-Terre). Les communes les plus concernées sont celles de Petite-Terre si on raisonne en ressources propres, avec 50 % des ressources totales exposées pour Pamandzi et Dzaoudzi, suivies pour Grande-Terre des communes de Mamoudzou (37 %), Kani-Kéli (20 %) et Acoua (12 %). Les catégories les plus exposées sont les ressources extérieures (port et aéroport entièrement submersibles : 100 %), suivies des ressources médicales et sécuritaires (21,8 %), administratives (14,8 %), hydriques (13 %), commerciales (11,6 %) et énergétiques (5,8 %).

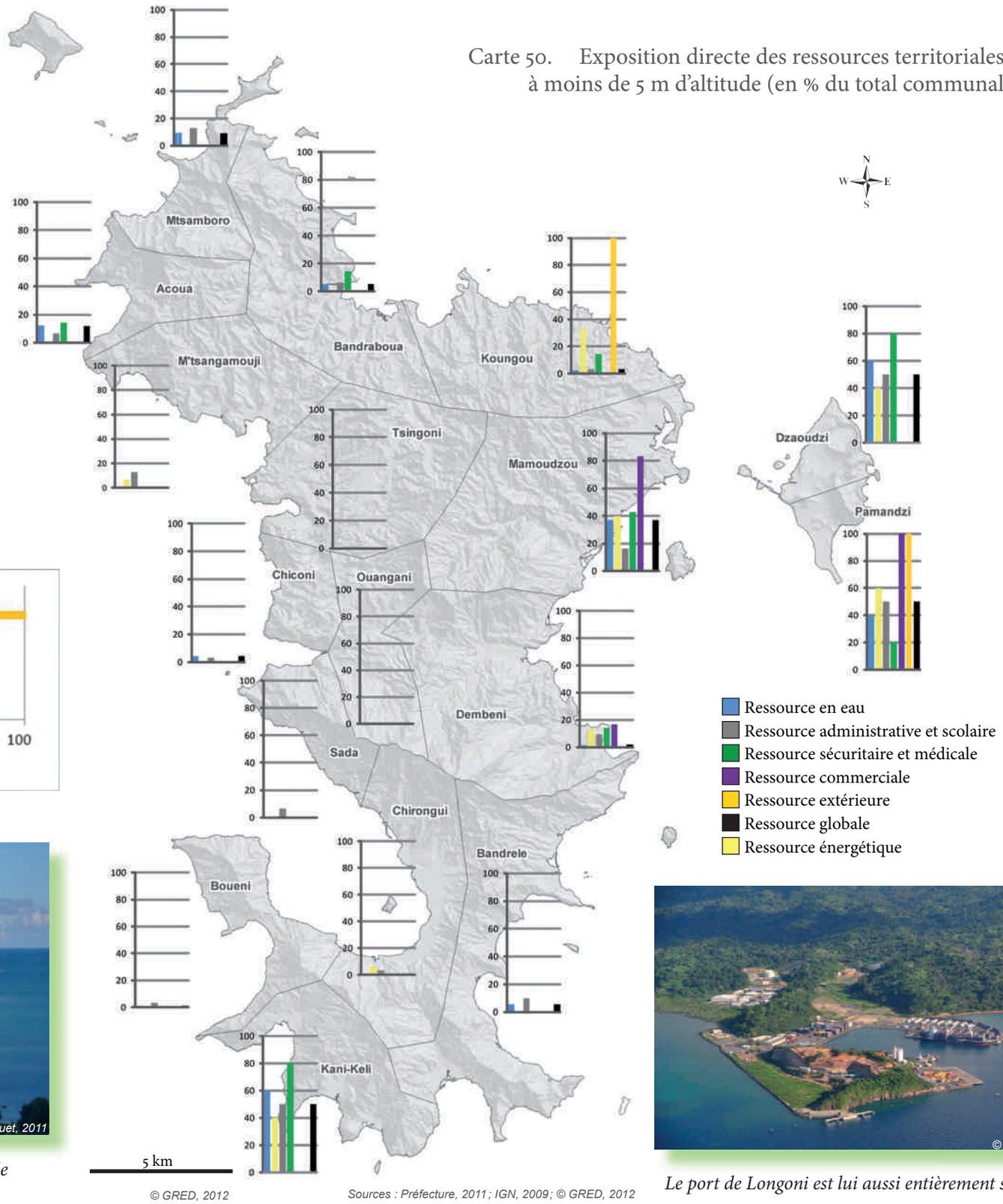
Exposition des ressources territoriales pour l'ensemble de Mayotte



© F. Drouet, 2011

L'aéroport est une des ressources extérieures très exposée au risque de submersion marine

Carte 50. Exposition directe des ressources territoriales situées à moins de 5 m d'altitude (en % du total communal)



© GRED, 2012

Sources : Préfecture, 2011 ; IGN, 2009 ; © GRED, 2012

© F. Drouet, 2011

Le port de Longoni est lui aussi entièrement submersible

© M. Gherardi, 2011 — *Vue sur le quartier de Kavani*

Réunion de gestion de crise, 2011

Arrivée des barges au quai de Mamoudzou

Déchargement de container

Aéroport de Dzaoudzi-Pamandzi

Crédits photos : E. Lagahé, F. Leone, M. Péroche, 2011, © M. Gherardi, 2014

Capacités de réponse et gestion des risques

Accessibilité, moyens et procédures de gestion des risques et des crises

Accessibilité territoriale

Capacités d'évacuation

Dispositifs de gestion

L'accessibilité du territoire dépend du réseau routier

L'état du réseau routier : facteur déterminant d'une bonne accessibilité territoriale

L'accessibilité routière d'un territoire dépend avant tout de la densité, de la qualité, de l'organisation spatiale et de la connectivité de son réseau.

Organisation spatiale du réseau routier

Le réseau routier de Mayotte est relativement récent. Les premières routes revêtues, réalisées sur Mamoudzou, datent de la fin des années 1970.
Son organisation spatiale générale est fortement contrainte par le relief. En effet, l'île est compartimentée par des lignes de crêtes rayonnantes autour de sommets basaltiques (point culminant : mont Bénara à 660 m alt.). L'essentiel du réseau principal (routes nationales et départementales) se situe à proximité du littoral, ce qui permet de faire la quasi-totalité du tour de Grande-Terre. Il existe également quatre axes transversaux constitués de 2 nationales et 2 départementales, et une portion de piste (chemin) entre Bouyouni et la retenue collinaire de Combani. Ces axes transversaux offrent des itinéraires de contournement (délestage) en théorie appréciables en cas de coupures de portions littorales. En effet, près de 8 % du réseau routier (74,7 km) se trouve à moins de 5 m d'altitude, ce qui le rend d'autant plus vulnérable à des phénomènes de submersion marine. Mais c'est sans compter d'autres aléas naturels qui peuvent l'affecter tels que les mouvements de terrain et les inondations.

Les vulnérabilités du réseau

Les atteintes passées au réseau routier ont souvent eu lieu lors d'événements cycloniques. En 1985, pendant le cyclone Feliksa, un mouvement de terrain obstrua la route d'accès au port de commerce de Longoni, entraînant 10 heures de coupure. Au même moment, la rivière la Koualé inonda toute la plaine environnante, isolant le village de Koualé (Préfecture de Mayotte 2008 et BRGM, 2010).

L'une des principales causes de dégradation des routes est la fragilité des canalisations et la destruction, lors d'inondations, de buses en métal qui datent de plus de 20 ans. Lors du passage de l'épisode dépressionnaire Fame en 2008, certaines buses cédèrent et la route fut entièrement coupée au niveau de Tahiti Plage, empêchant l'accès des secours et il fallut une semaine pour rétablir la circulation. Toujours lors de la tempête tropicale Fame, un grand nombre de petits glissements ou éboulements de talus coupèrent les routes. Il fallut 3 h pour dégager la route allant de Mamoudzou à Longoni et plus de 5 h pour atteindre Mtsamboro. Lors de ce même épisode pluvieux, 94 mouvements de terrain furent répertoriés et 90 % d'entre eux se déclarèrent dans des secteurs anthropisés (talus routiers, chantiers, anciennes carrières) (BRGM, 2011).

Par ailleurs, les inondations provoquent fréquemment des phénomènes d'embâcles. Ainsi, en 1998 un embâcle boucha un fossé à proximité du rond-point de Pamandzi, ce qui entraîna l'inondation de toute cette zone et l'interruption du trafic routier. Un an plus tard, de fortes inondations provoquèrent de nouveau des embâcles, notamment dans le village de Kangani où le pont fut obstrué par des branchages et des carcasses de voitures (Préfecture de Mayotte et BRGM, 2010).

Points de congestion aux abords de Mamoudzou

Les dysfonctionnements du réseau routier sont aussi liés à quelques points de congestion récurrents sur Mamoudzou, ce qui peut aggraver l'accessibilité en cas de crise. On peut citer en particulier, à l'entrée nord, le rond-point « SFR » de la zone industrielle de Kawéni, et à l'entrée sud, les ronds-points de Passamainty et du Baobab. En effet, la capitale de l'île concentre l'essentiel de l'activité économique, administrative et commerciale, ce qui engendre des difficultés de circulation liées aux migrations pendulaires. De plus, le nombre grandissant de voitures individuelles sur l'île ne fait que renforcer ce phénomène. À l'intérieur même de la ville, la circulation est rendue difficile par l'étroitesse et la sinuosité des rues.
Les communes disposent d'un réseau important de voies secondaires communales et privées construites au fur et à mesure de l'urbanisation. Mais elles ne disposent pas toujours des ressources nécessaires pour en assurer l'entretien régulier et ce réseau secondaire est en mauvais état, voire dangereux pour la sécurité (Licoine, 2008).

Typologie des routes de Mayotte

Type de route	Nature et fonction	Vue terrain
Route principale à 1 chaussée	Route comportant 1 chaussée goudronnée. Assure les liaisons à fort trafic à caractère prioritaire entre agglomérations importantes.	
Route secondaire à 1 chaussée	Route comportant 1 chaussée goudronnée. Relie les communes de moindre importance et permet de se déplacer rapidement à l'intérieur d'une commune, dans les zones rurales, et de relier les bourgs aux hameaux proches	
Route empierrée	Route sommairement revêtue (pas de revêtement de surface ou revêtement très dégradé), mais permettant la circulation de véhicules automobiles de tourisme par tout temps. Toutes les routes empierrées sont incluses.	
Chemin	Les chemins sont prévus pour la circulation de véhicules ou d'engins d'exploitation. Ils ne sont pas forcément carrossables pour tous les véhicules et par tout temps (voir aussi « route empierrée »).	
Sentier	Chemin étroit ne permettant pas le passage de véhicules. Seuls les principaux sentiers sont inclus.	
Escalier	Escalier directement relié au réseau routier supportant une allée, assurant la jonction entre deux voies de communication ou entre le réseau routier et un élément adressable.	

© GRED ; E.L. ; M.P., 2011

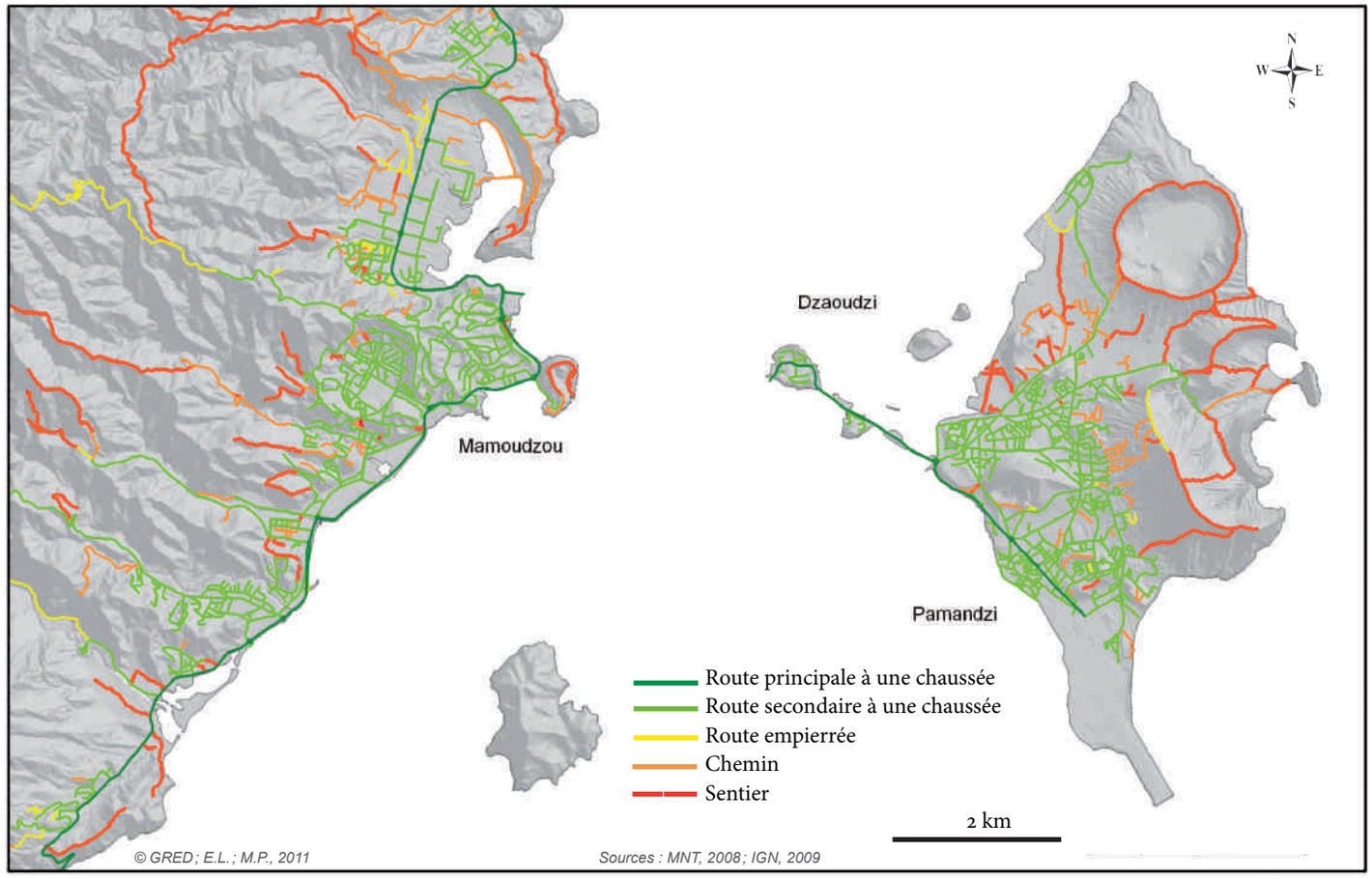
Sources : IGN, 2009

Ce réseau routier et pédestre utilisé pour la modélisation provient de la BD Topo de l'IGN (2009). Il contient une description vectorielle des éléments du territoire et des infrastructures. Cette base sert de référentiel cartographique national à grande échelle (RGE, précision métrique) pour la localisation de l'information thématique relative aux problématiques d'aménagement, d'environnement ou d'urbanisme.

Portion de route emportée par un cours d'eau au niveau de Doujani

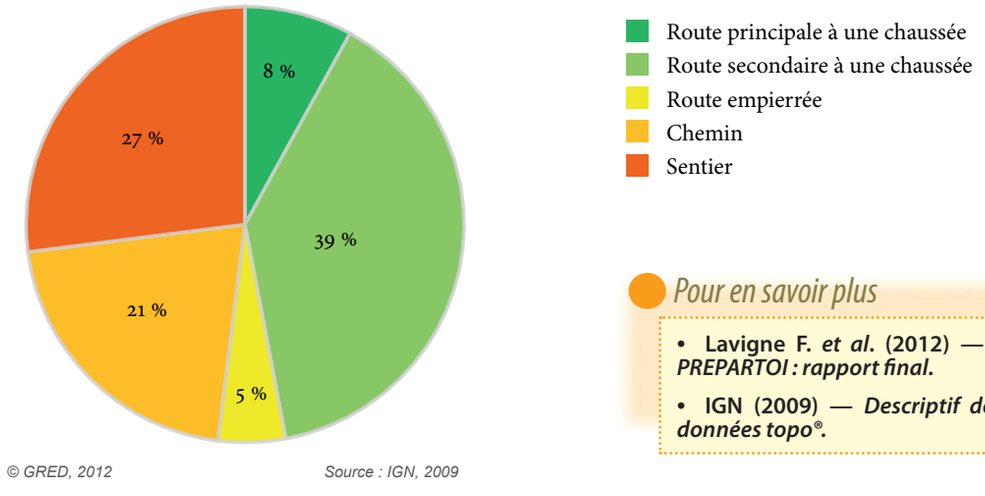
Littoral d'Acoua après le passage du cyclone Hellen

Carte 51. Extrait des voies de communication à Mamoudzou



Pour les besoins de la modélisation le réseau est converti en graphe et chaque nœud est une intersection.

Répartition des types de voies selon la BD Topo IGN (2009)



Pour en savoir plus

- **Lavigne F. *et al.* (2012) — *Programme PREPARTOI : rapport final.***
- **IGN (2009) — *Descriptif de la base de données topo®.***

L'accessibilité du territoire en cas de tsunami

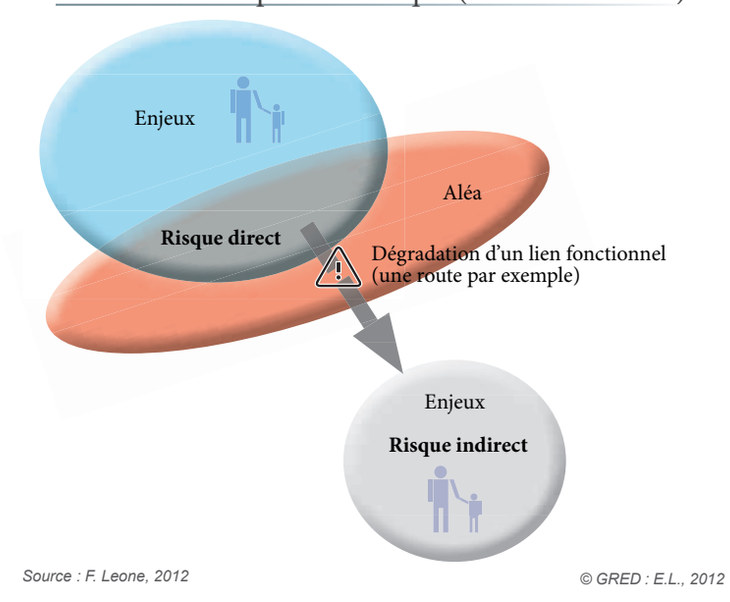
Différentes formes d'accessibilité territoriale en lien avec une crise tsunami

L'ACCESSIBILITÉ du territoire est une condition nécessaire à la bonne gestion d'une ***crise***. En cas de dégradation, certains espaces peuvent devenir plus difficiles à atteindre, voire totalement isolés. Il en résulte de nouvelles conditions de risque, qualifié d'induit.

Risque direct et indirect

Nous avons vu précédemment que le territoire mahorais est exposé aux phénomènes naturels sur plus de 50 % de sa superficie. Certaines communes présentent même près de 60 % de leur surface en zone d'aléa fort. Cette première estimation du ***risque direct***, appréhendée par la conjonction spatiale d'enjeux et d'aléas locaux, est aggravée par de nombreux facteurs de vulnérabilité : population clandestine et non recensée, manque de ressources lié à l'exiguïté, isolement géographique, etc. Sur cet espace restreint et fortement polarisé autour de Mamoudzou et du port de Longoni (Grande-Terre), de Dzaoudzi, et de l'aéroport de Pamandzi (Petite-Terre), la question de l'***accessibilité*** territoriale par voie routière revêt un caractère essentiel pour la mobilité des populations et le maintien des activités. En cas de dégradation par divers agents naturels, cette accessibilité spatiale peut devenir une cause de ***risque indirect*** (ou reporté), en retardant les opérations de secours, en réduisant les ressources post-crise et en isolant des populations livrées à elles-mêmes dans les heures ou journées qui suivent un sinistre. Au contraire, une bonne accessibilité favorisera la résilience territoriale et la gestion d'une crise, en accélérant le retour à la normale, mais en facilitant également des évacuations de population en cas d'alerte.

Les différents espaces du risque (direct et indirect)

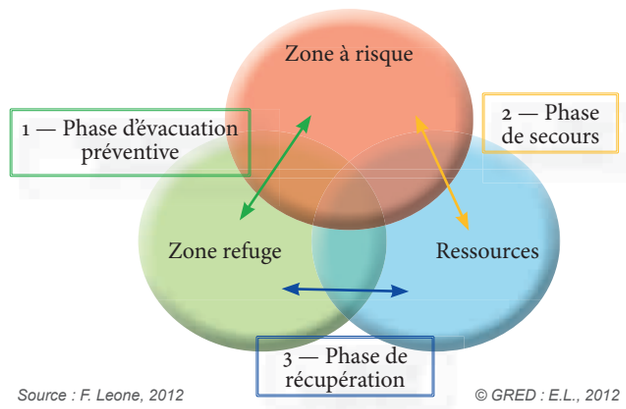


Source : F. Leone, 2012 © GRED : E.L., 2012

Types d'accessibilité territoriale

En fonction des enjeux (populations exposées, ressources vitales, centres de secours), des lieux de départ et d'arrivée (espaces à risque, refuges ou ressources), mais également en fonction des phases habituelles d'une crise tsunami, plusieurs types d'accessibilité territoriale peuvent être définis et analysés : (1) entre les zones à risque et les zones refuges en phase d'évacuation préventive, (2) entre les zones ressources et les zones à risque (ou d'impact) en phase de secours, (3) entre les zones refuges et les zones ressources en phase de récupération. Il convient également d'y ajouter les accessibilités et mobilités internes à chaque espace ainsi défini.

Les différents types d'accessibilité territoriale



Source : F. Leone, 2012 © GRED : E.L., 2012

Protocole méthodologique

L'objectif du travail a été d'explorer des protocoles méthodologiques reproductibles pour modéliser, cartographier et quantifier ces différentes formes d'accessibilité et les rendre utiles pour l'aide à la gestion de crise. En cela, le territoire de Mayotte offre plusieurs avantages pour expérimenter de telles applications : une forte demande locale de prévention, des enjeux humains importants sur le littoral avec près de 28 % de la population totale situés à moins de 10 m d'altitude, un aléa tsunami probable, un espace bien renseigné sur le plan géographique avec de nombreuses bases de données, un territoire exigu aux faibles ressources alternatives, des routes principales en majorité littorales et un fort risque d'enclavement territorial.

Ces accessibilités ont été modélisées au sein d'un SIG en exploitant la théorie des graphes et des outils de calcul d'itinéraires par les plus courts chemins. Cette modélisation repose en amont sur la constitution de graphes routiers avec différenciation des types de voies, sur le paramétrage des vitesses de déplacement, sur l'identification des tronçons vulnérables, sur l'évaluation des enjeux vitaux (populations exposées et ressources pour la gestion de crise), sur la délimitation des zones de submersion (danger) et de protection (refuge) et l'estimation des temps d'arrivée d'un tsunami (aléa de référence).

Choix d'un scénario de tsunami de référence

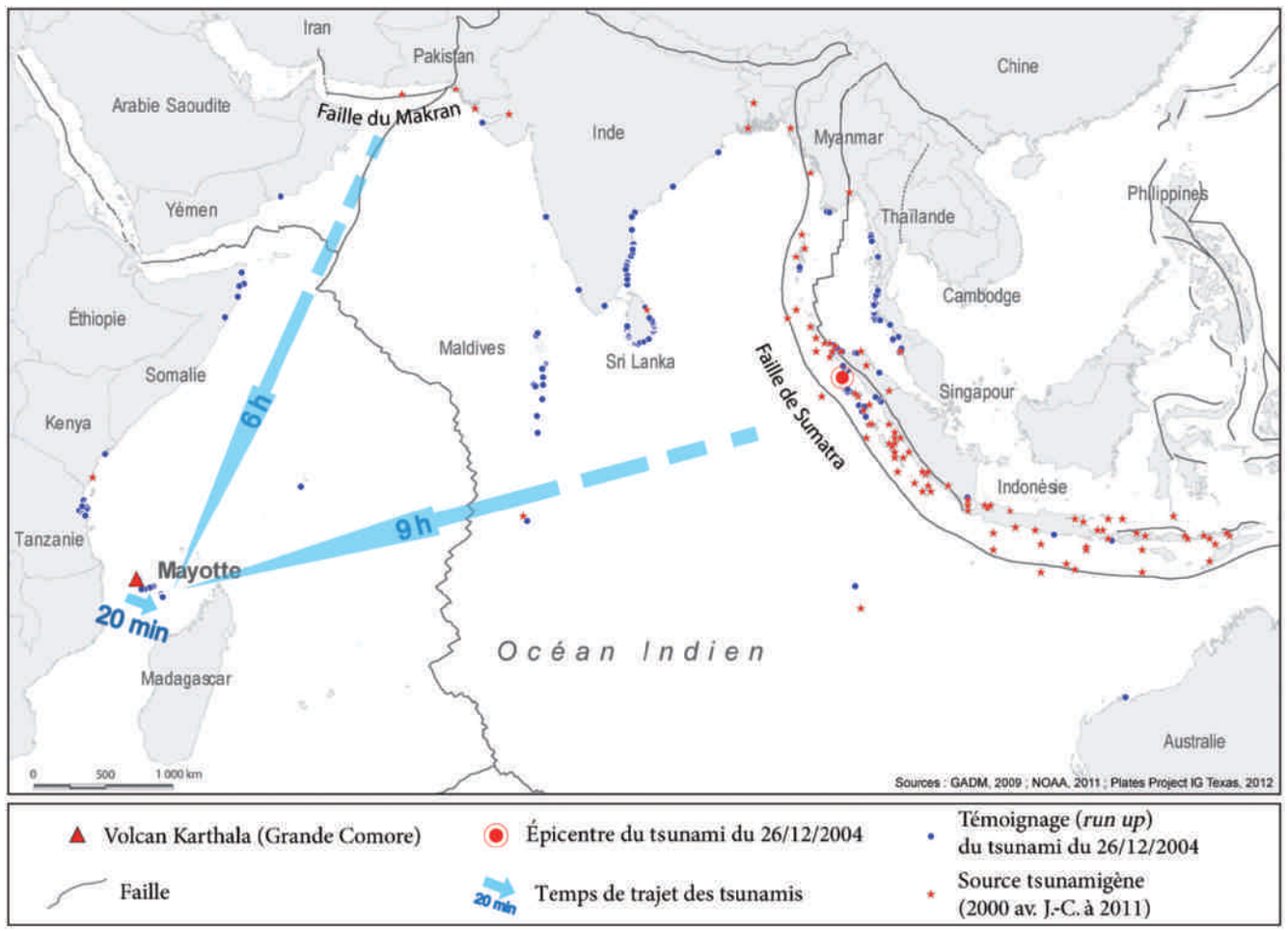
Le risque pour Mayotte d'être affectée par des tsunamis transocéaniques d'origine sismique est avéré, avec au moins deux sources potentielles majeures : la zone de subduction du Makran au Pakistan (temps de trajet modélisé d'environ 6 heures) et la zone de subduction de Sumatra en Indonésie qui a généré le tsunami du 26 décembre 2004 (temps de trajet d'environ 9 heures jusqu'à Mayotte).

Néanmoins, les recherches documentaires concernant l'impact des tsunamis transocéaniques historiques à Mayotte sont restées infructueuses. Seule une campagne de recueil de témoignages a pu mettre en évidence des effets pour le tsunami de 2004 avec des surcotes allant de 2,51 m (Mzouazia) à 4,46 m (Hamjago) (Sahal, 2011). À l'échelle régionale, le volcan Karthala de Grande Comore constitue une source possible de tsunami en cas de glissement sectoriel de l'édifice. Un tsunami de ce type arriverait à Mayotte en moins de 20 minutes. Par ailleurs, il existe aussi un risque de tsunami d'origine locale qui pourrait être induit par un glissement de portions escarpées du récif corallien qui entoure l'archipel, comme en témoignent les cicatrices d'arrachement visibles sur les cartes bathymétriques récentes. Un tel cas de figure entraînerait l'arrivée de vagues en quelques minutes.

Les tout premiers modèles de propagation d'un tsunami transocéanique similaire à celui de 2004 fournis par le CEA/DASE mettent en évidence des secteurs d'amplification des grandes longueurs d'ondes autour de Mayotte. On peut constater que les zones d'amplification correspondent assez bien aux secteurs les plus affectés en 2004 et que les hauteurs maximales (Hmax) sont plus importantes dans la partie nord-ouest du lagon où la barrière de corail est discontinue.

En attendant une modélisation plus fine des amplifications locales et de la submersion, nous avons fait le choix de retenir un zonage de l'aléa de référence « submersion marine par tsunami » basé sur l'altimétrie des côtes, en considérant toutes les zones littorales situées à moins de 5 m d'altitude. Cette tranche hypsométrique a été extraite du MNT de la BD Litto3D fournie par le CG de Mayotte (résolution de 1 m, précision altimétrique de 20 cm). On considère donc que ce zonage de référence enveloppe les effets maximaux d'un tsunami de référence de type 26 décembre 2004, mais qu'il peut être localement dépassé par un scénario d'origine locale. Dans tous les cas on peut considérer que les zones situées à plus de 10 m d'altitude sont hors d'atteinte d'un tsunami, compte tenu de la protection rapprochée jouée par la barrière de corail.

Carte 52. Les principales sources tsunamigènes menaçant Mayotte



Définitions

L'accessibilité d'un lieu est définie comme étant la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou plusieurs autres lieux (Bavoux J.-J. *et al.*, 2005).

Perte d'accessibilité : dégradation de l'accessibilité de divers enjeux constitutifs d'un territoire (personnes, biens, activités, fonctions diverses) et incidences (en particulier socio-économiques) de ces dégradations. Elle peut s'apparenter à une perte de contrôle du territoire.

Le risque direct implique la conjonction spatiale et temporelle d'un danger (aléa) et d'éléments exposés (enjeux) affectés d'une certaine vulnérabilité.

Le risque indirect est induit par la dégradation d'un lien fonctionnel entre des enjeux (ex. route coupée et perte d'accessibilité induite). Il peut résulter d'un effet domino.

La crise désigne une période de tension potentiellement conflictuelle ou une situation de déséquilibre grave ou de rupture préoccupante. En cas de crise le sinistre dépasse les moyens préparés, le temps se contracte (la vitesse des événements est plus grande que la vitesse de l'action) et l'espace se dilate (le problème s'étend à de nouveaux territoires). Il faut souvent innover et improviser car les réflexes ne suffisent plus. Mais ces difficultés peuvent être réduites par une bonne préparation ou planification.

Modéliser et cartographier l'accessibilité routière au moyen de graphes

L'accessibilité du territoire par les piétons et les véhicules a été modélisée, cartographiée et quantifiée à l'aide de protocoles méthodologiques reproductibles. Cette modélisation repose en amont sur la constitution de graphes routiers avec différenciation des types de voies, sur le paramétrage des vitesses de déplacement, sur l'identification des tronçons vulnérables, sur l'évaluation des enjeux vitaux (populations exposées et ressources pour la gestion de crise), sur la délimitation des zones de submersion (danger) et de protection (refuge) et l'estimation des temps d'arrivée d'un tsunami.

La théorie des graphes

La théorie des graphes permet d'intégrer la notion d'accessibilité dans les systèmes d'information géographique. Elle offre une vision simplifiée du réseau. En effet, c'est avant tout dans les calculs et les représentations graphiques de l'accessibilité que la théorie des graphes devient la plus utile.

Dans un premier temps, il faut transformer le réseau en graphe c'est-à-dire en un objet mathématique composé de sommets et d'arcs. Les sommets (les points) peuvent être associés aux nœuds du réseau, et les arcs (les liaisons entre les points) sont associés aux tronçons routiers.

Le graphe doit distinguer les différents types de voies qui composent le réseau car celles-ci ont des capacités et des vitesses différentes. C'est pourquoi nous avons pris en compte deux critères dans les graphes réalisés : la morphologie (profil en long, pente) de la route et la qualité des voies (profil en travers, largeur).

À l'aide de ces critères nous avons calculé des vitesses de déplacement pour les véhicules (en tenant compte du types de voies seulement) et des vitesses de déplacement pour les piétons.

Les vitesses de déplacement...

De nombreux paramètres rentrent en compte lorsqu'il s'agit de déterminer des vitesses de déplacement d'un véhicule ou encore d'une personne à pied. Outre la morphologie, la qualité des voies influence grandement cette possibilité. Ainsi, à chaque classe d'infrastructure a été associée une vitesse moyenne de déplacement, aussi bien pour un véhicule que pour un piéton.

... pour un véhicule

Les vitesses moyennes de circulation en voiture ont été déduites de tests effectués sur plusieurs classes de voies au mois de mars 2011 au volant d'une Renault Clio. Les valeurs mesurées s'étendent de 17,5 km/h en agglomération (Mamoudzou) à 42 km/h en rase campagne. Ces vitesses, très faibles comparativement aux moyennes nationales, sont très variables en fonction de la topographie (sinuosité, pente), de l'état de la route, et du moment de la journée (congestion du réseau, encombrement des bas-côtés). Nous avons finalement ajusté ces valeurs moyennes en fonction de nos tests et des références bibliographiques disponibles (Chapelon, 1996) selon une gamme s'étendant de 5 à 50 km/h.

... pour un piéton

Concernant les piétons, nous avons pris en compte deux critères : la pente et la largeur de la voie. En l'absence d'interaction avec d'autres individus ou avec des obstacles présents dans l'environnement, un piéton se déplace à une vitesse, dite « de confort », de l'ordre de 1,3 mètre par seconde (soit près de 5 km/h).

Par définition, une évacuation face au risque de tsunami implique un dénivelé positif. Il convient donc de moduler la vitesse pédestre en fonction de la pente du terrain. Nous avons fixé la valeur de pente critique à partir de laquelle une évacuation à pied n'est plus envisageable à 30° (58 %).

Les modélisations qui suivent ont été testées pour trois scénarios de vitesses qui prennent en compte respectivement : la vitesse, la pente et la largeur des voies. Le scénario 3 est encore plus proche des conditions réelles, puisqu'il prend en compte la largeur des voies au moyen d'un coefficient dit de friction.

Vitesses pédestres de déplacement retenues pour différentes simulations (en km/h)

Type de voie	Largeur (m)	Classe de pente (en %)						Coefficient de friction	Vitesse de déplacement pour un véhicule
		0	0-15	15-30	30-45	45-60	> 60		
Sans distinction	-	5,01							
		5,01	4,26	2,9	1,76	0,88	0		
Route principale à une chaussée	12	4,76	4,04	2,76	1,67	0,86	0	0,95	50
Route secondaire à une chaussée	8	4,62	3,93	2,68	1,62	0,83	0	0,92	40
Route empierrée	3	4,01	3,41	2,32	1,4	0,72	0	0,8	10
Chemin	2	3,76	3,19	2,18	1,31	0,68	0	0,75	5
Sentier	1	2,5	2,13	1,45	0,88	0,45	0	0,5	-
Escalier	-	-	1,53	1,04	0,63	0,32	0	0,36	-
Hors graphe	1 km/h							-	-

©GRED ; E.L., 2012 Source : rapport PREPARTOI, 2012

Scénario 1 : vitesse de confort seulement

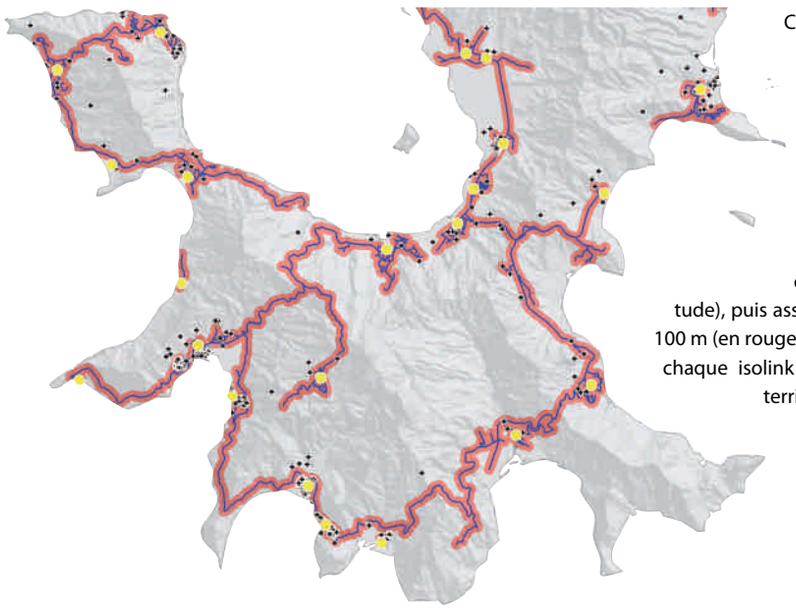
Scénario 2 : vitesse calculée en fonction de la pente

Scénario 3 : vitesse calculée en fonction de la pente et de la largeur de voie

Restitution cartographique des résultats

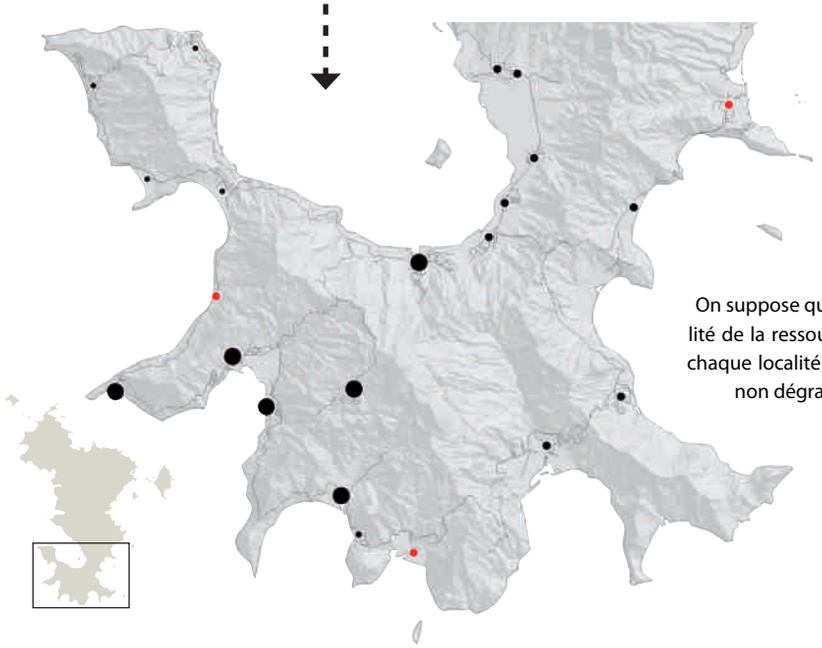
Les calculs d'accessibilité peuvent se faire selon deux modes : selon la distance la plus courte (mode « *Shortest* »), ou selon le temps de trajet le plus court (mode « Fastest »). Le premier mode a été choisi pour l'accessibilité des zones refuges tandis que le second a été réservé à celle des secours et des ressources territoriales. Dans les deux cas la distance et la durée du parcours sont calculées.

Représentations linéaires (isolinks)



© GRED ; E.L., 2012

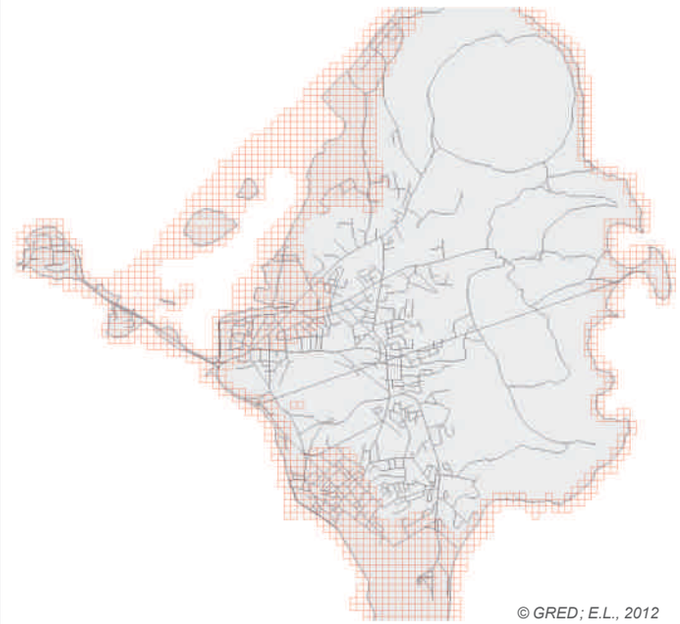
Ce mode de représentation linéaire a été retenu pour calculer les ressources accessibles. Les isolinks (en bleu) ont été d'abord générés à partir de chaque ***centre fonctionnel*** (point jaune) sur un réseau dégradé (suppression des tronçons sous 5 m d'altitude), puis assemblés. Une zone tampon de 100 m (en rouge) a ensuite été créée autour de chaque isolink pour calculer les ressources territoriales (croix noires) situées à proximité.



Ces quantités de ressources accessibles ont ensuite été réaffectées à chaque centre fonctionnel, puis représentées par des cercles proportionnels exprimant le pourcentage de la ressource encore accessible après un tsunami. On suppose que pour chaque île c'est la totalité de la ressource qui est accessible depuis chaque localité en situation normale (réseau non dégradé, avant tsunami).

Les points rouges correspondent aux centres fonctionnels qui n'ont plus accès à aucune ressource après le tsunami.

Représentations surfaciques (carroyage)



© GRED ; E.L., 2012

Cette méthode consiste à appliquer les temps de trajet modélisés à chaque maille d'une grille. La grille est construite sur toute la zone d'étude ou uniquement sur les portions du territoire effectivement traversées par le réseau routier. La taille des mailles peut être adaptée suivant l'échelle d'étude et/ou le format des cartes à produire. Dans les applications qui suivent, nous avons retenu des mailles de 1 hectare (100 × 100 m) pour représenter l'accessibilité des secours et des mailles de 2 500 m² (50 × 50m) pour traiter l'accessibilité des zones refuges (évacuation). Toutes les mailles qui ne sont pas traversées par un tronçon de route sont considérées comme naturellement isolées. On calcule les temps d'accès entre les lieux de départ et les centroïdes de chaque maille. Les résultats obtenus sont ensuite discrétisés en classes de couleurs.

Définition

Les **centres fonctionnels** correspondent à 74 foyers principaux de population représentés dans le SIG par des points localisés manuellement en faisant en sorte de les fixer sur un nœud stratégique du réseau routier intra-urbain (carrefour, rond-point) et de prendre en compte les risques d'enclavement.

Avantages de la méthode

Cette méthode offre des avantages importants pour mesurer l'accessibilité territoriale. En effet, elle permet par le jeu des agrégations spatiales d'affecter des données à ces mailles : bâti, population, etc. Les données d'accessibilité obtenues peuvent ainsi être exportées dans un tableur pour construire des courbes d'accessibilité. Ces courbes expriment le volume d'enjeux accessibles en fonction du temps. Le passage aux courbes permet d'apprécier l'impact territorial d'un scénario en superposant sur un même graphique les courbes d'accessibilité à l'état normal et celles obtenues pour un réseau altéré.

Pour en savoir plus

• **Leone F.** ***et al.*** **(2011)** — ***Modélisation de l'accessibilité territoriale pour l'aide à la gestion de crise tsunami (Mayotte, France).***

L'accessibilité des zones refuges

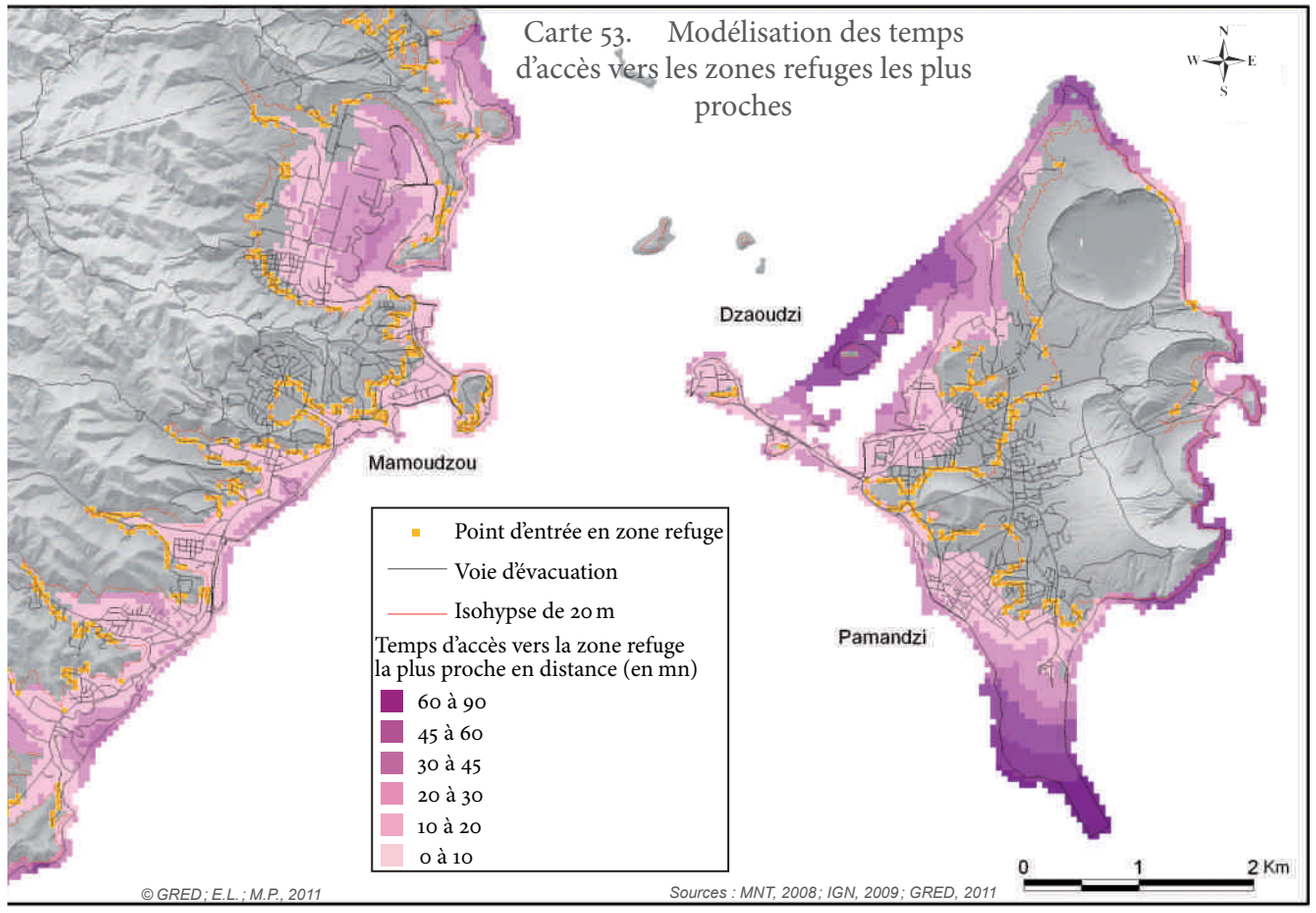
Modéliser les temps de mise en sécurité des populations en cas de tsunami

À Mayotte, face au risque de tsunami, l'évacuation de la population doit être envisagée uniquement à pied.

Modéliser l'accessibilité des zones refuges

En cas de tsunami la consigne habituelle est d'évacuer à pied, dans le calme, par ses propres moyens, vers les zones refuges les plus proches et en suivant la signalétique en vigueur (IOC UNESCO, 2008). Ce sont ces conditions que nous avons retenues dans nos simulations, faisant donc l'hypothèse d'itinéraires préalablement fléchés, selon les chemins les plus courts, avec une population préparée. Ces conditions ne sont actuellement pas réunies sur Mayotte mais elles permettent de modéliser les délais d'évacuation qu'elles pourraient garantir si elles étaient correctement mises en œuvre. Afin de simuler ces conditions d'évacuation, nous avons défini des points d'entrée en zones refuges et non pas des zones refuges en tant que telles. Ces points d'entrée correspondent à tous les espaces situés à plus de 20 m d'altitude. Ils ont été extraits par recoupement automatique du réseau des voies de communication avec l'isohypse 20 m. En effet, nous faisons l'hypothèse que les populations exposées (situées à moins de 10 m d'altitude) sont en sécurité totale à partir du moment où elles atteignent ces points d'altitude situés au plus proche du réseau routier.

L'accessibilité pédestre des zones refuges a été modélisée au départ des mailles du territoire situées à moins de 10 m d'altitude, en utilisant la totalité des voies de communication disponibles. Les calculs des temps d'accès théoriques obtenus pour chaque maille du territoire intègrent la pente et le type de voie. À l'échelle de Mayotte, et pour réduire les temps de calcul, nous avons considéré l'accessibilité uniquement au départ des mailles habitées et pour lesquelles nous possédions une estimation de la population nocturne. Cette simulation donne pour l'ensemble de Mayotte un temps maximum théorique de mise en sécurité de 34 minutes obtenu pour Mamoudzou. Il varie fortement d'une commune à l'autre en fonction du relief et de la densité du réseau routier.



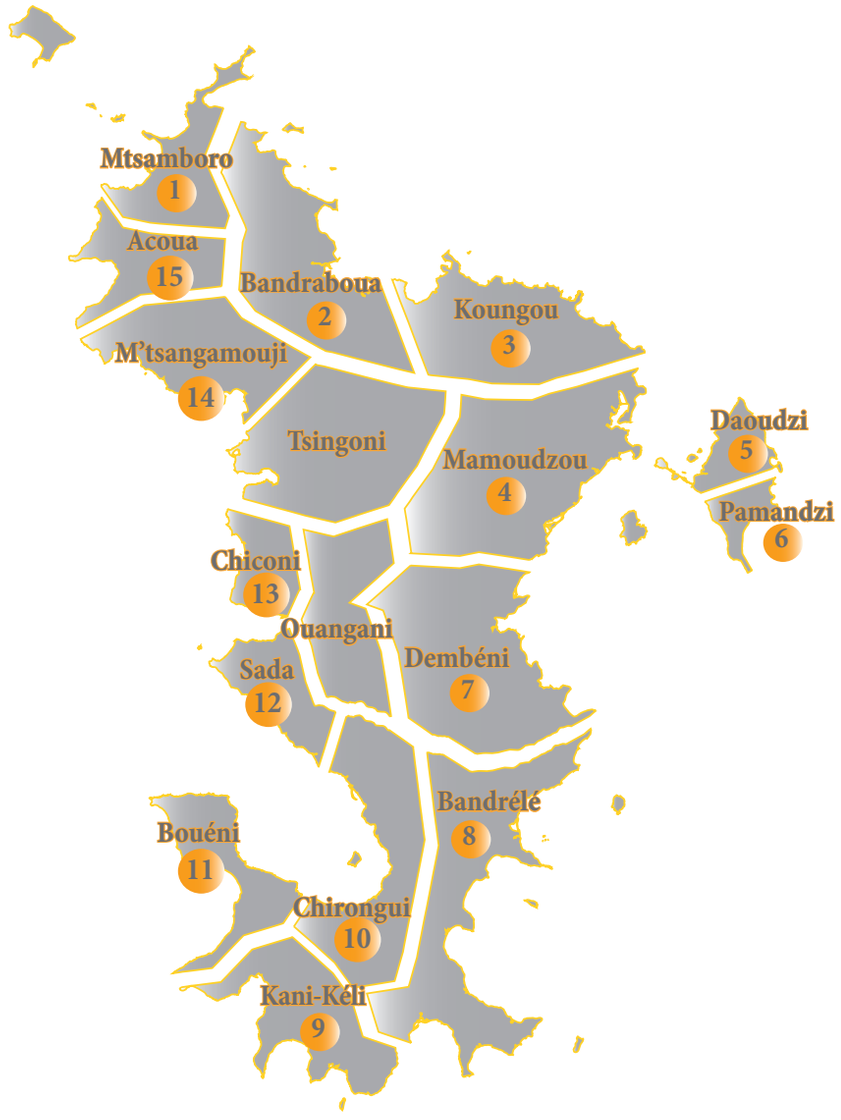
Carte 53. Modélisation des temps d'accès vers les zones refuges les plus proches

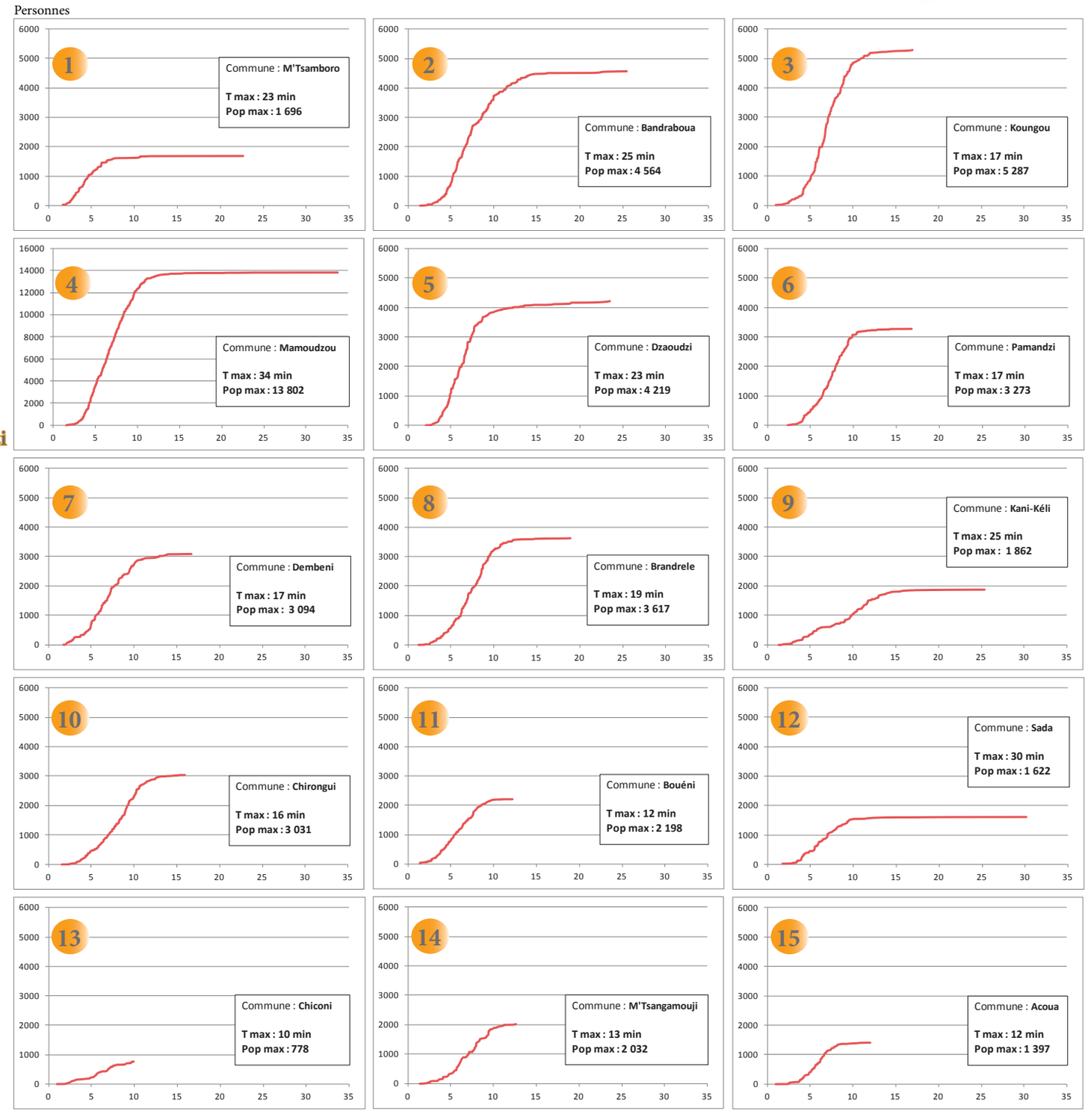
Cette carte met en évidence les secteurs les plus éloignés des points d'entrée en zones refuges situés à plus de 20 m d'altitude. Les temps d'accès vers les zones refuges les plus proches sont représentés en minutes. Sur l'ensemble du pourtour littoral des communes de Pamandzi et de Dzaoudzi, les temps d'accès sont souvent supérieurs à 1 h, particulièrement au sud de Pamandzi où se trouve l'aéroport.

Une évacuation qui doit être planifiée

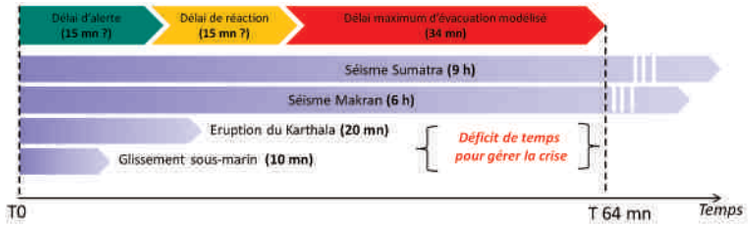
En cas d'évacuation effective il faudrait ajouter à ces temps de mise en sécurité un temps de réaction des populations qui peut être très variable en fonction de l'organisation de la réponse, notamment de la qualité de l'alerte, de la perception du risque, des comportements individuels ou collectifs et donc du niveau de préparation global face au risque de tsunami. Néanmoins, on reste bien en deçà des temps de trajet de tsunamis lointains (6 à 9 heures) comparables à celui du 26 décembre 2004 ; ce qui laisse théoriquement le temps de gérer une évacuation totale du littoral, du moment que cette dernière a été planifiée et que l'alerte a été déclenchée. Sur ce point, le réseau de surveillance et d'alerte actuellement en cours de développement sur l'océan Indien devrait pouvoir garantir une alerte 15 mn après le déclenchement du séisme générateur.

Mais *a contrario* ce délai de mise en sécurité n'est pas suffisant pour des sources proches (éruption du Kartala ou glissement sous-marin) qui pourraient générer un tsunami sur les côtes mahoraises en moins de 20 minutes. À titre d'exemple, un délai d'alerte de 15 mn, suivi d'un temps de réaction des populations de 15 mn et d'un temps de trajet de 34 mn pour atteindre les zones refuges définies dans cette étude, donnent un cumul de 64 mn. Ce délai pourrait être réduit par un aménagement adapté du territoire intégrant de nouvelles zones refuges verticales dans certains bâtiments publics élevés et résistants, en priorité dans des secteurs à forts enjeux humains.





Confrontation des délais d'évacuation modélisés avec les temps de propagation de différents tsunamis potentiels



© GRED ; M.P ; F.L., 2012

Risque de dysfonctionnement du réseau routier

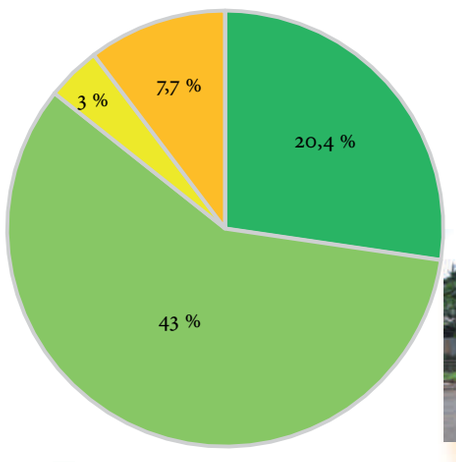
Un réseau routier vulnérable en cas de submersion marine

Près de 8 % du réseau routier carrossable de Mayotte (74,7 km) se trouve à moins de 5 m d'altitude, ce qui le rend vulnérable à des phénomènes de submersion marine. Ce sont les routes secondaires à une chaussée qui sont majoritairement exposées (58 %, 43,6 km).

Modes d'endommagement du réseau

En cas de tsunami, le mode d'endommagement prédominant pour un tronçon routier est l'obstruction par des dépôts de matériaux divers, mais des effets d'***affouillement*** peuvent conduire à l'érosion partielle ou totale des chaussées, en particulier celles situées au plus proche du trait de côte. Par ailleurs, les nombreux ouvrages de franchissement peuvent être également emportés par les effets d'impact sur les ***tabliers*** des ponts (Gauraz, 2008). Pour un tsunami de même magnitude avec la même charge solide, on peut considérer que la probabilité de coupure d'un tronçon routier dépend de la longueur du tronçon exposée et de sa distance à la côte. Les dysfonctionnements induits par cette coupure vont se traduire par des limitations de gabarit et/ou des limitations de vitesse de circulation en cas de dégradation partielle de la chaussée, jusqu'à des interruptions de trafic de quelques heures à plusieurs semaines en fonction de l'intensité des dommages et des capacités locales d'intervention.

Répartition des classes fonctionnelles des tronçons situés à moins de 5 m d'altitude (% de longueurs cumulées)



Carte 55. Tronçons routiers situés à moins de 5 m d'altitude et pouvant être coupés en cas de tsunami

Route submersible à Labattoir

Route submersible à Mtsanga Makoulatsa

Route submersible à Kawéni

Routes submersibles :
(à droite) Mtsanga Mtsanyounyi
(ci-dessus) Acoua

Route submersible près de Anse Bambo

© GRED, F.L. ; M.P. ; E.L., 2012 Source : IGN, 2009

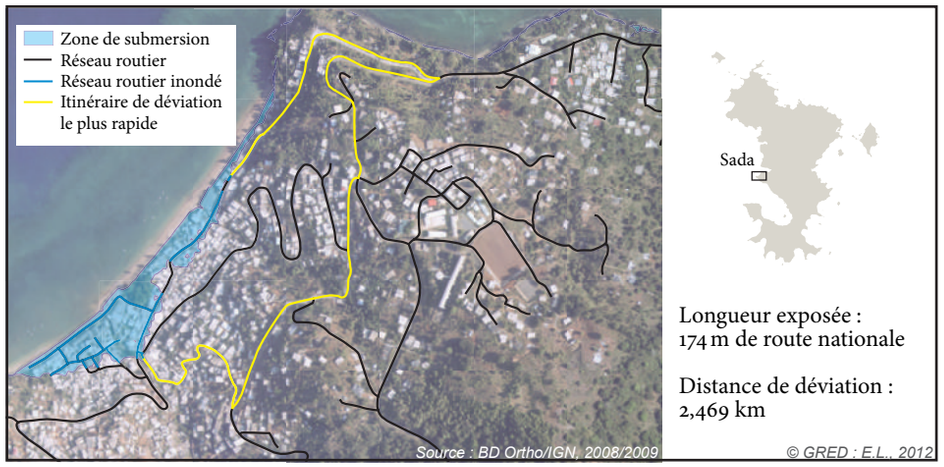
Crédits photos : © M. Gherardi, 2011

Source IGN 2009 © GRED ; M.P. ; E.L., 2012

La façade nord-est de Grande-Terre est la plus concernée

Dans tous les cas il faudra envisager et aménager des itinéraires de déviation. 97 tronçons exposés (84 sur Grande-Terre et 13 sur Petite-Terre) ont fait l'objet d'un diagnostic sur le terrain, comportant des prises de vue et un calcul de la distance minimale de contournement (déviation) au moyen du logiciel Route Finder®. 37 des 97 tronçons étudiés présentent des distances de déviation de plus de 36 km en cas de coupure. Ils se situent majoritairement entre Passamaïnti et Dzoumonyé sur la façade nord-est de Grande-Terre. Dans une démarche analytique visant à mesurer le risque de dysfonctionnement d'un tronçon routier, cette distance de déviation peut devenir un critère de valeur fonctionnelle entrant dans la définition d'un indice de risque qui combine une probabilité de coupure, un degré de vulnérabilité et cette valeur fonctionnelle (Leone *et al.*, 2011).

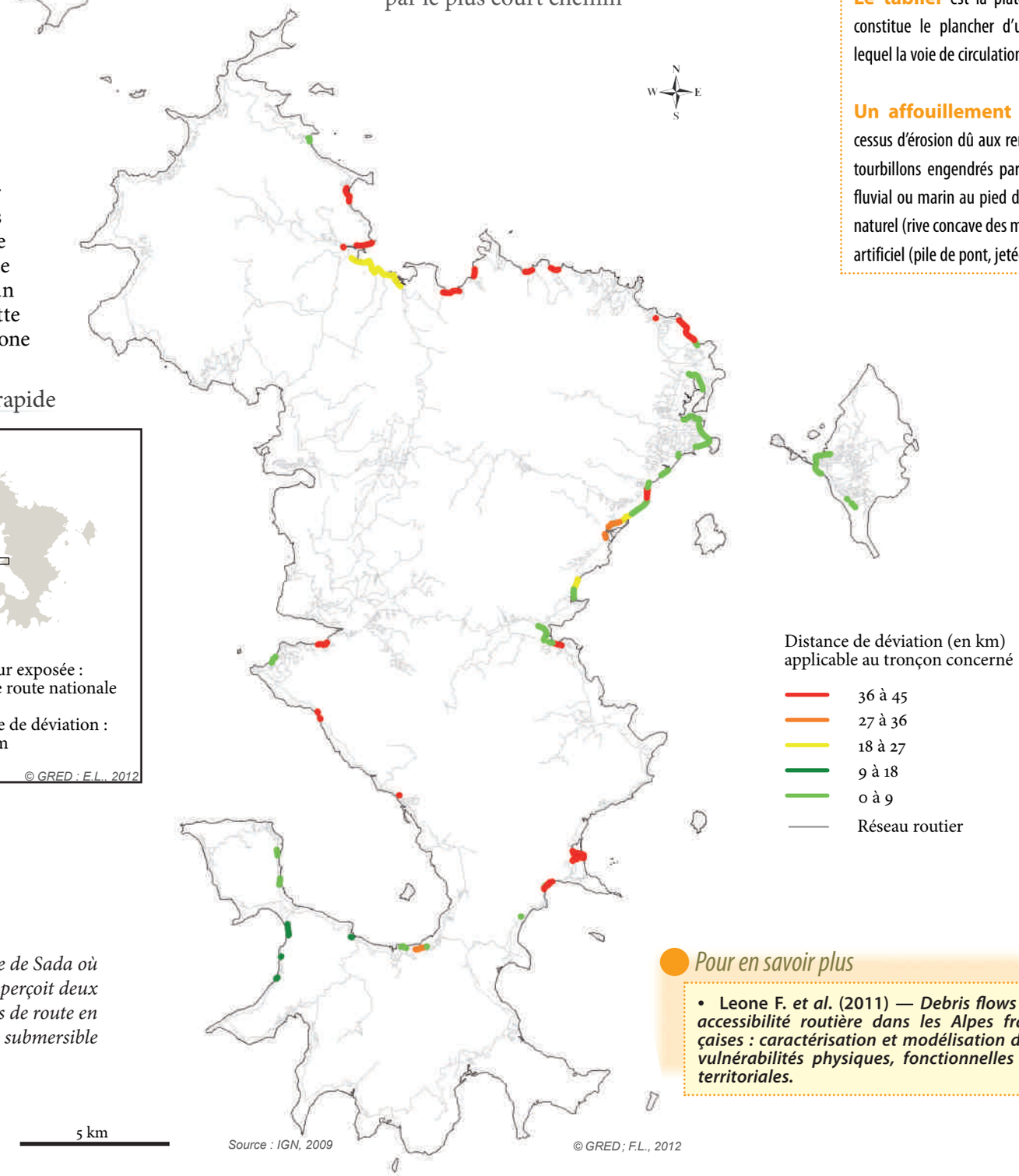
Exemple d'itinéraire de déviation par le chemin le plus rapide



Sur la commune de Sada 174 m de route nationale (N2) sont en zone submersible.
Le chemin de déviation le plus court a été estimé à 2,469 km.

La ville de Sada où l'on aperçoit deux tronçons de route en zone submersible

Carte 56. Classification des tronçons exposés étudiés en fonction de leur distance de déviation par le plus court chemin



Définitions

Le tablier est la plate-forme qui constitue le plancher d'un pont sur lequel la voie de circulation est établie.

Un affouillement est un processus d'érosion dû aux remous et aux tourbillons engendrés par un courant fluvial ou marin au pied d'un obstacle naturel (rive concave des méandres) ou artificiel (pile de pont, jetée).

Pour en savoir plus

- **Leone F. *et al.* (2011) — *Debris flows et accessibilité routière dans les Alpes françaises : caractérisation et modélisation des vulnérabilités physiques, fonctionnelles et territoriales.***

Point méthodologique sur les temps d'évacuation modélisés

Capacités d'évacuation

Route Finder® : un outil pour modéliser des temps et des itinéraires d'évacuation en cas de tsunami

Devant la multitude de paramètres à prendre en compte la modélisation des évacuations ne peut être qu'une approximation de la réalité. Ces modèles reposent sur l'utilisation de SIG couplés à des outils de calcul d'itinéraires exploitant la théorie des graphes. Ils permettent d'extraire des temps de parcours et des itinéraires d'évacuation optimisés.

Paramétrage du logiciel Route Finder®

Cartographier l'accessibilité d'un lieu dans le cadre d'une évacuation nécessite de modéliser le temps d'accès depuis des zones de départ (mailles habitées situées entre 0 et 10 m) vers des points d'arrivée (« point d'entrée en zone refuge »). On considère que l'évacuation des habitants exposés se ferait à pied. On paramètre la vitesse pédestre dans le logiciel Route Finder®. Lorsque les mailles ne sont pas connectées au réseau, on paramètre une option « *off road* » qui relie le centroïde de la maille au nœud du réseau le plus proche avec une vitesse fixée ici à 1 km/h.

Matrice OD et cartographie

L'outil Route Finder® calcule l'ensemble des chemins qui relient une zone de départ avec toutes les zones d'arrivée potentielles. La matrice OD (origine-destination) compte ici 7 128 715 entrées. Il faut ensuite sélectionner les tronçons de routes les plus courts entre chaque couple de points OD.
Les temps minimum de parcours associés sont ensuite affectés à chaque maille de départ puis cartographiés.

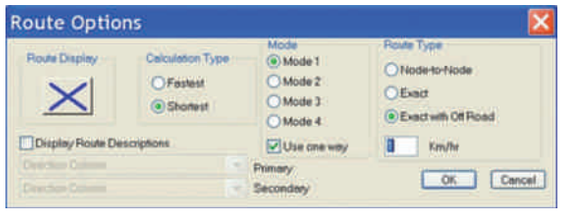
Avantages et limites de l'outil Route Finder®

L'application Route Finder® permet entre autres de :

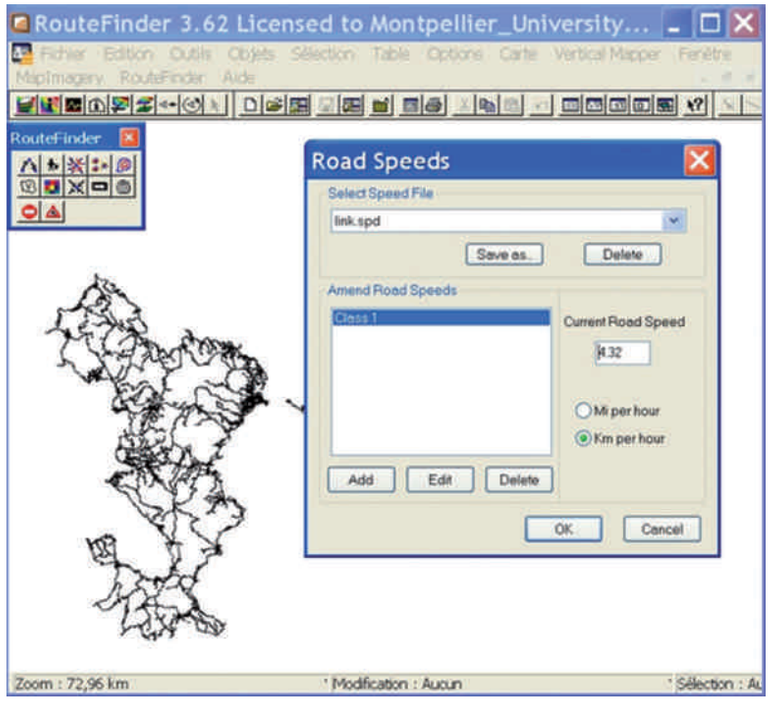
— calculer des itinéraires en fonction de la distance ou du temps de parcours minima ;

— calculer des matrices d'accessibilité entre plusieurs lieux (matrices OD) ;

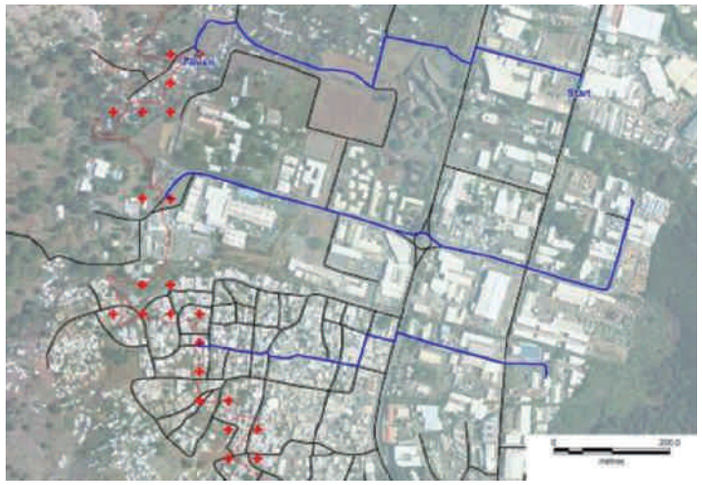
— cartographier l'accessibilité au moyen d'isochrones.



Paramétrage du mode de calcul et des vitesses dans le logiciel Route Finder®



Calcul d'itinéraires optimisés par Route Finder®



Exemples d'itinéraires d'évacuations (en bleu) par les plus courts chemins générés par Route Finder®. Application à l'accessibilité des zones refuges (croix rouges).

Ces résultats peuvent appuyer l'aide à la décision, notamment pour :

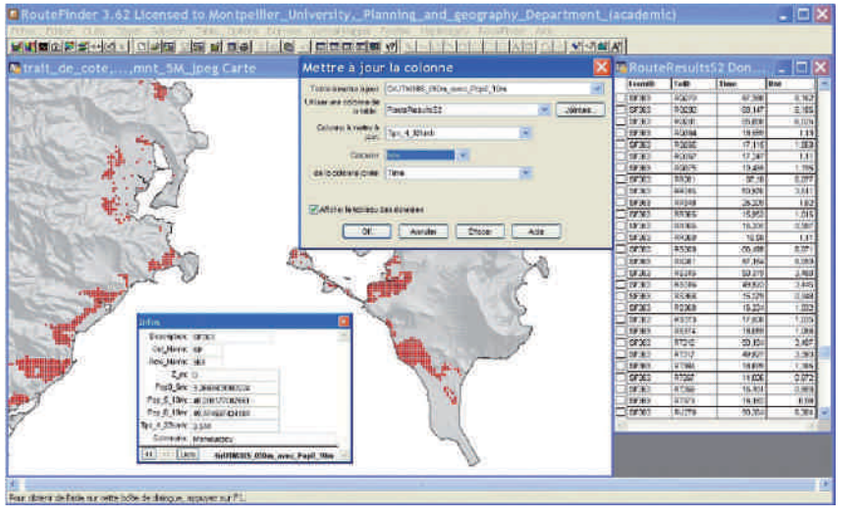
— des délais et des itinéraires d'évacuation ;

— des espaces éloignés des zones refuges ;

— du nombre de personnes à évacuer en fonction du temps.

La principale critique est que cet outil ne permet pas de modéliser les effets de congestion du réseau entre individus. Un des moyens pour contourner cette défaillance serait d'appliquer une vitesse plus faible sur les portions de routes qui rétrécissent.

Jointure alphanumérique entre les mailles de départ et la matrice des temps d'évacuation calculés par Route Finder®



© M. Gherardi, 2014 — Barge qui relie Mamoudzou à Petite-Terre

L'accessibilité des secours en phase d'urgence

L'accessibilité du territoire au départ des six casernes de pompiers

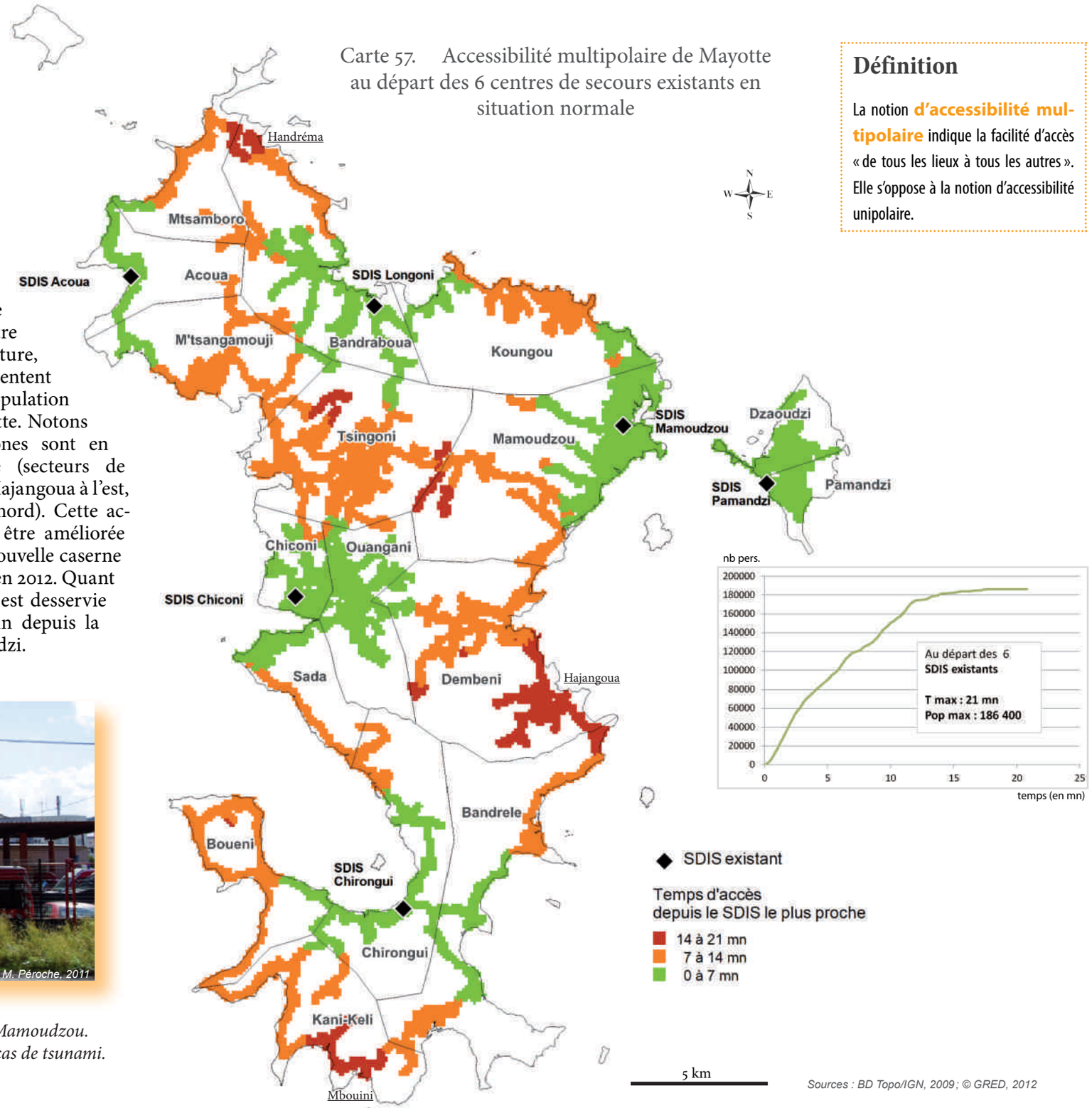
L'accessibilité routière des secours a été traitée au départ des 6 casernes de pompiers existantes avant et après en scénario de tsunami majeur venant couper les routes littorales.

Secteurs enclavés

Cette carte représente ***l'accessibilité multipolaire*** en situation normale au moyen des itinéraires et des temps minimum d'intervention en utilisant les trajets les plus courts en temps de parcours pour une voiture. Ce modèle donne un temps d'intervention maximal théorique de 21 mn pour atteindre l'ensemble du territoire mahorais par voie routière. Un seuil de 14 minutes proche du temps minimum réglementaire des services de secours en France, permet d'identifier les secteurs les plus enclavés en situation normale. On identifie ainsi sur Grande-Terre six zones principales situées à plus de 14 mn d'un centre de secours en voiture, mais qui ne représentent que 2 % de la population officielle de Mayotte. Notons que 3 de ces zones sont en situation littorale (secteurs de Mbouini au sud, Hajangoua à l'est, et Handréma au nord). Cette accessibilité devrait être améliorée avec le projet de nouvelle caserne prévu à Dembéni en 2012. Quant à Petite-Terre elle est desservie en moins de 7 mn depuis la caserne de Pamandzi.

Le Service départemental d'incendie et de secours de Mamoudzou. Bien que non inondable, il peut être totalement isolé en cas de tsunami.

Carte 57. Accessibilité multipolaire de Mayotte au départ des 6 centres de secours existants en situation normale



Définition

La notion **d'accessibilité multipolaire** indique la facilité d'accès « de tous les lieux à tous les autres ». Elle s'oppose à la notion d'accessibilité unipolaire.

L'accessibilité routière dégradée

L'accessibilité routière dégradée a été modélisée pour un scénario d'aléa de tsunami majeur et l'hypothèse d'une coupure de toutes les routes situées à moins de 5 m d'altitude. Ces coupures multiples (8 % du réseau routier et carrossable de Mayotte) entraînent une forte dégradation de l'accessibilité territoriale post-tsunami. Cette dégradation a été traitée au départ de chacune des casernes existantes.

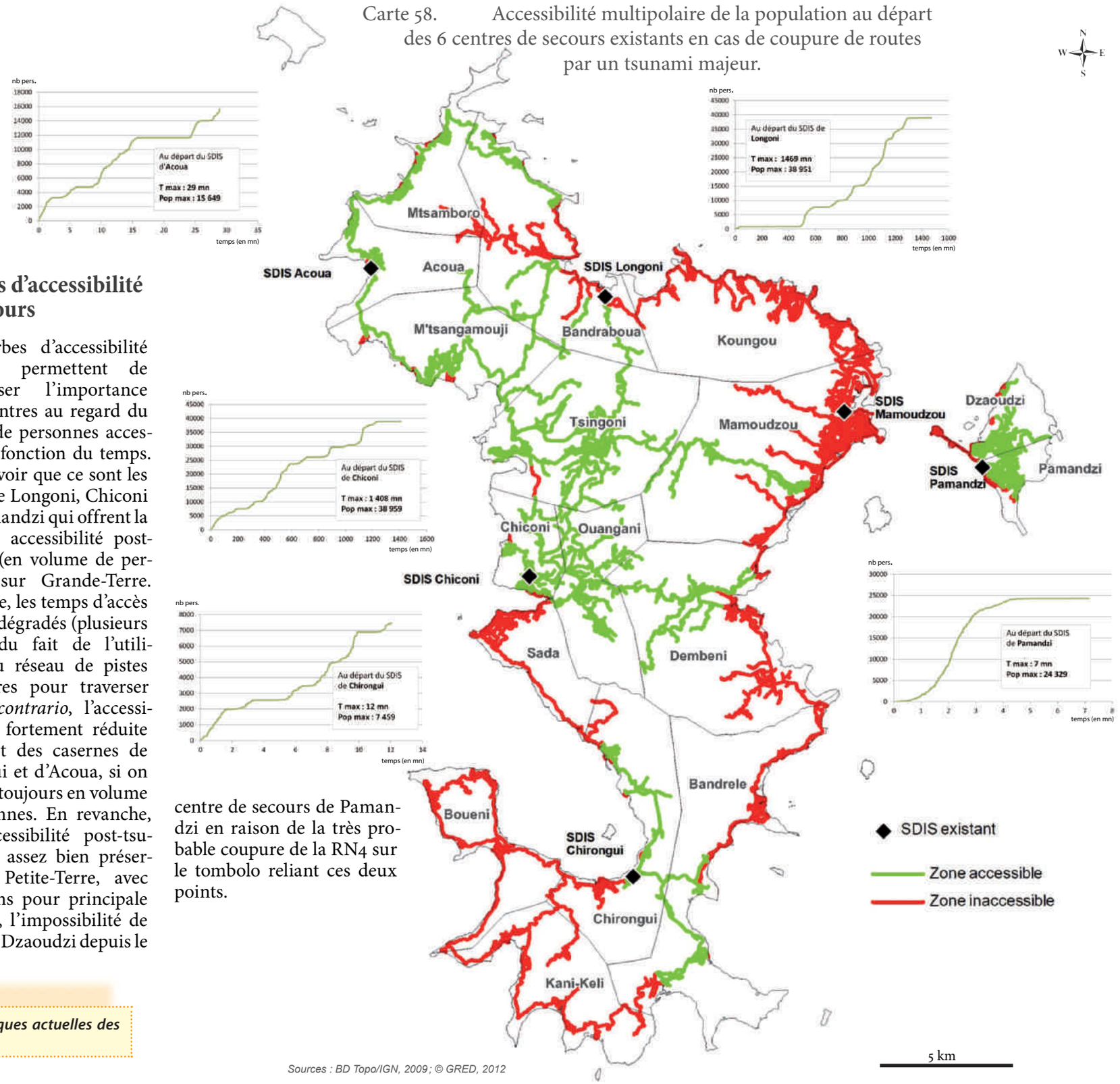
Le SDIS de Mamoudzou est le moins accessible

C'est le centre de secours principal de Mamoudzou qui génère la plus faible accessibilité car bien que hors d'eau (plus de 5 m), tous ses accès immédiats sont inondables. Il s'agit d'une situation d'enclavement total très critique qui pourrait compromettre l'intervention des secours sur tout le quart nord-est de Grande-Terre où se trouvent les enjeux humains littoraux les plus importants. Il en va de même pour la majorité du littoral, excepté pour le quart nord-ouest de Grande-Terre bien desservi par la caserne d'Acoua. Mais cette dernière est implantée en zone submersible.

Courbes d'accessibilité des secours

Les courbes d'accessibilité produites permettent de hiérarchiser l'importance de ces centres au regard du nombre de personnes accessibles en fonction du temps. On peut voir que ce sont les centres de Longoni, Chiconi et de Pamandzi qui offrent la meilleure accessibilité post-tsunami (en volume de personnes) sur Grande-Terre. Par contre, les temps d'accès sont très dégradés (plusieurs heures) du fait de l'utilisation du réseau de pistes secondaires pour traverser l'île. *A contrario*, l'accessibilité est fortement réduite au départ des casernes de Chirongui et d'Acoua, si on raisonne toujours en volume de personnes. En revanche, cette accessibilité post-tsunami est assez bien préservée sur Petite-Terre, avec néanmoins pour principale difficulté, l'impossibilité de rejoindre Dzaoudzi depuis le centre de secours de Pamandzi en raison de la très probable coupure de la RN4 sur le tombolo reliant ces deux points.

Carte 58. Accessibilité multipolaire de la population au départ des 6 centres de secours existants en cas de coupure de routes par un tsunami majeur.



Pour en savoir plus

- **SETRA (2007) — *Pratiques actuelles des études sur l'accessibilité.***

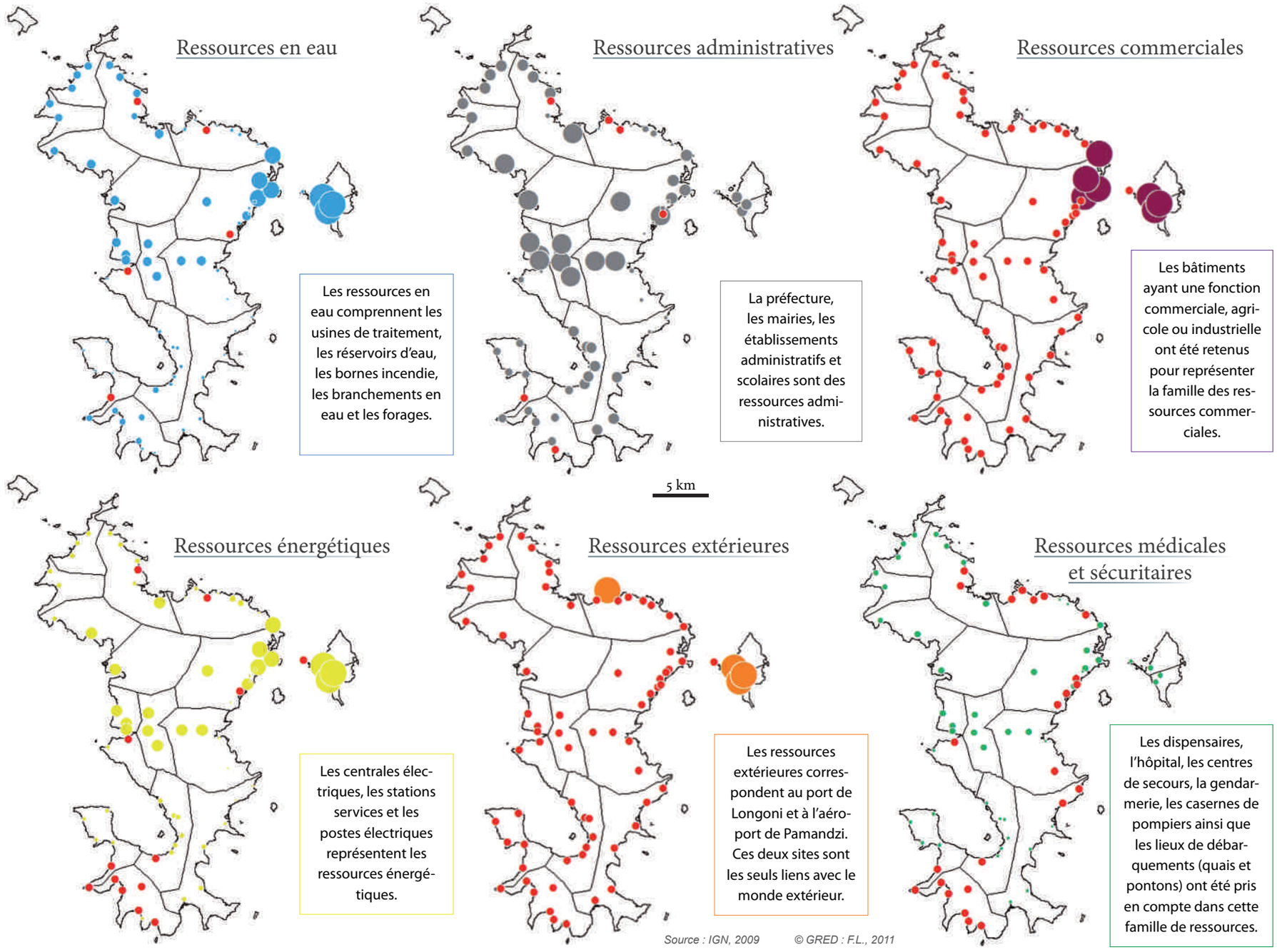
L'accessibilité post-tsunami de six familles de ressources majeures

L'accessibilité des ressources post-crise a été considérée par voie routière au départ des 74 villages de Mayotte (centres fonctionnels) en appliquant la méthode des isolinks décrite précédemment. Six familles de ressources majeures étudiées ont été retenues dans ce scénario post-tsunami.

Capacité de récupération post-tsunami

Elle est cartographiée et mesurée au moyen d'un indicateur donnant le pourcentage de ressources encore accessibles après dégradation du réseau routier par un tsunami. Les points de ressources retenus sont ceux situés dans un périmètre de 100 m de part et d'autre du réseau routier. On suppose que la totalité de ces ressources vitales est accessible en situation normale. Les cartes obtenues pour chaque famille de ressource donnent un aperçu des capacités de récupération post-tsunami des différents villages. Ces capacités sont très variables suivant les types de ressources et les villages. À l'échelle des deux îles, et en se basant sur le nombre de villages totalement privés de ressources (points rouges), les ressources les moins accessibles sont l'aéroport et le port, totalement enclavés, suivies des ressources commerciales, médicales et sécuritaires, énergétiques, administratives et hydriques.

Carte 59. L'accessibilité des six familles de ressources majeures à partir des centres fonctionnels après un tsunami majeur (en % de la ressource accessible en situation normale)



Source : IGN, 2009 © GRED : F.L., 2011

Des pertes d'accessibilités plus fortes au sud-ouest et au nord-ouest

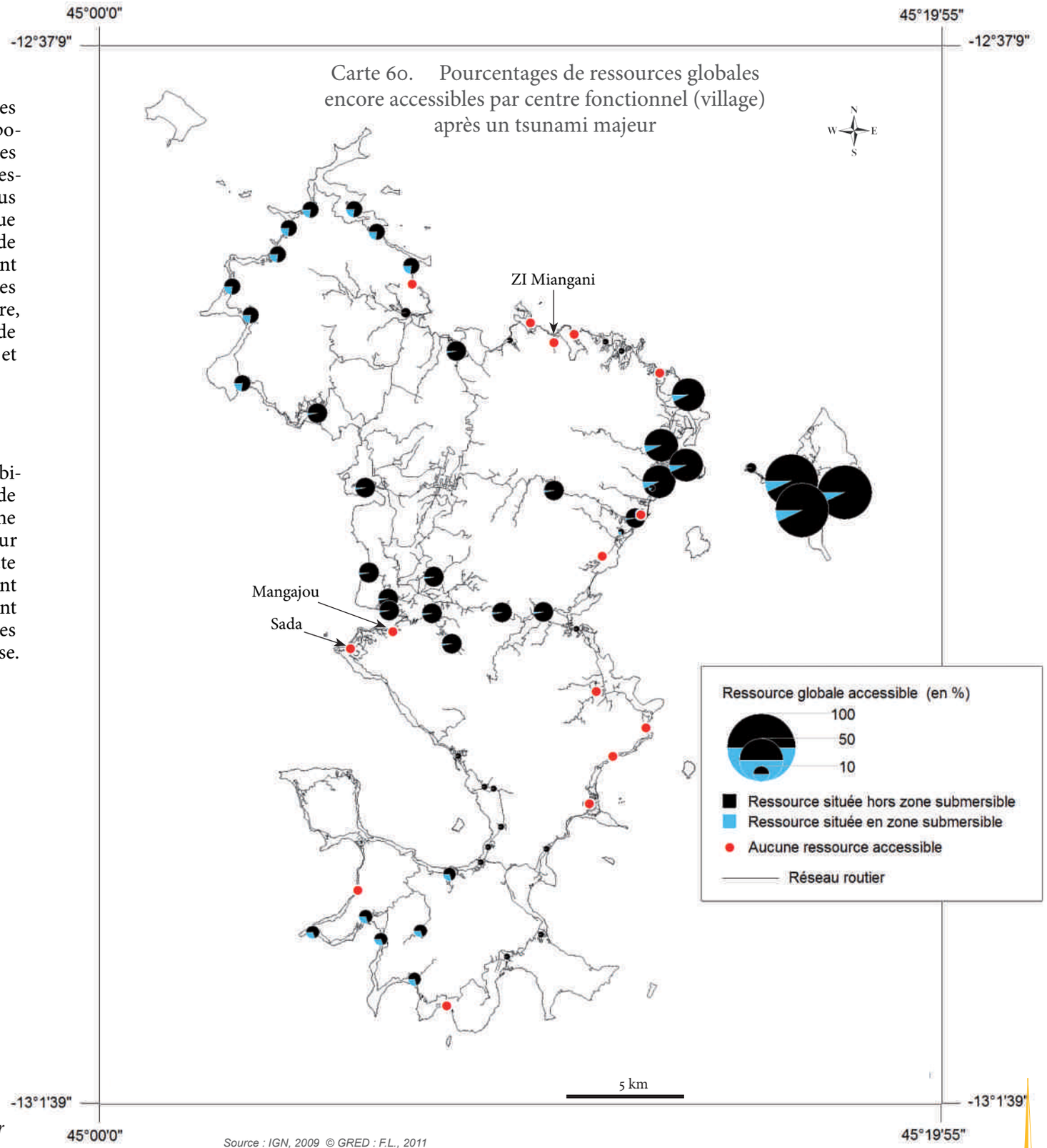
La carte d'accessibilité des ressources globales (6 familles réunies) permet de différencier la part des ressources exposées (submersibles) de celles qui ne le sont pas. C'est pour les villages du nord-ouest et du sud-ouest que ces taux de ressources exposées sont les plus élevés. Cette même carte nous apprend qu'au regard de l'ensemble des ressources de chaque île, près de 70 % des villages recensés perdent l'accès à plus de 90 % de leurs ressources en cas de tsunami. 15 villages sont particulièrement pénalisés. On peut citer par exemple les villages de Sada et Mangajou au centre-ouest. Au contraire, trois villages seulement conserveraient l'accès à plus de 90 % de leurs ressources globales : Labattoir, Pamandzi et Vitalémengou sur Petite-Terre.

Une gestion de crise difficile

En cas d'impact de tsunami majeur sur Mayotte, l'accessibilité terrestre serait fortement dégradée par les coupures de routes. Il en serait de même sur le plan maritime avec une vingtaine d'appontements rendus hors d'usage, ou bien sur le plan aérien avec un aéroport totalement inondé. Cette situation pourrait fortement compromettre le débarquement des moyens de secours extérieurs. Par ailleurs, l'éclatement spatial des centres de décision, de secours et de soins entre les deux îles, ne ferait que compliquer la gestion d'une telle crise. Ces scénarios permettent de s'y préparer.

La ZI de Miangani ne serait plus accessible en cas de tsunami majeur

Carte 60. Pourcentages de ressources globales encore accessibles par centre fonctionnel (village) après un tsunami majeur



Source : IGN, 2009 © GRED : F.L., 2011

La planification d'une gestion de crise tsunami

Dispositifs de gestion de crise existants et vulnérabilité institutionnelle

Dispositifs de gestion

Le risque tsunami, bien qu'inédit à Mayotte, doit être pris en compte afin de préparer institutions, organisations et populations à une crise éventuelle. Des dispositifs existent mais ils sont principalement greffés sur la gestion des risques cycloniques.

Les moyens anté- et post- crise

Même si ces deux risques présentent des ressemblances ils ne sont pas similaires. Le risque tsunami présente des spécificités qui doivent être prises en compte afin d'apporter l'aide nécessaire à la planification de gestion de crise. Pour cela, et à partir d'un scénario d'aléa donné (zone basse de 0 à 5 m), il faut évaluer les dispositifs de gestion de crise existants à Mayotte. L'estimation des impacts potentiels d'un tsunami sur les côtes mahoraises nous permet d'aborder la question de la capacité de réponse de l'île. La question de l'alerte et de l'information des populations est un sujet crucial pour ce type de risque à Mayotte.

Un manque d'information préventive

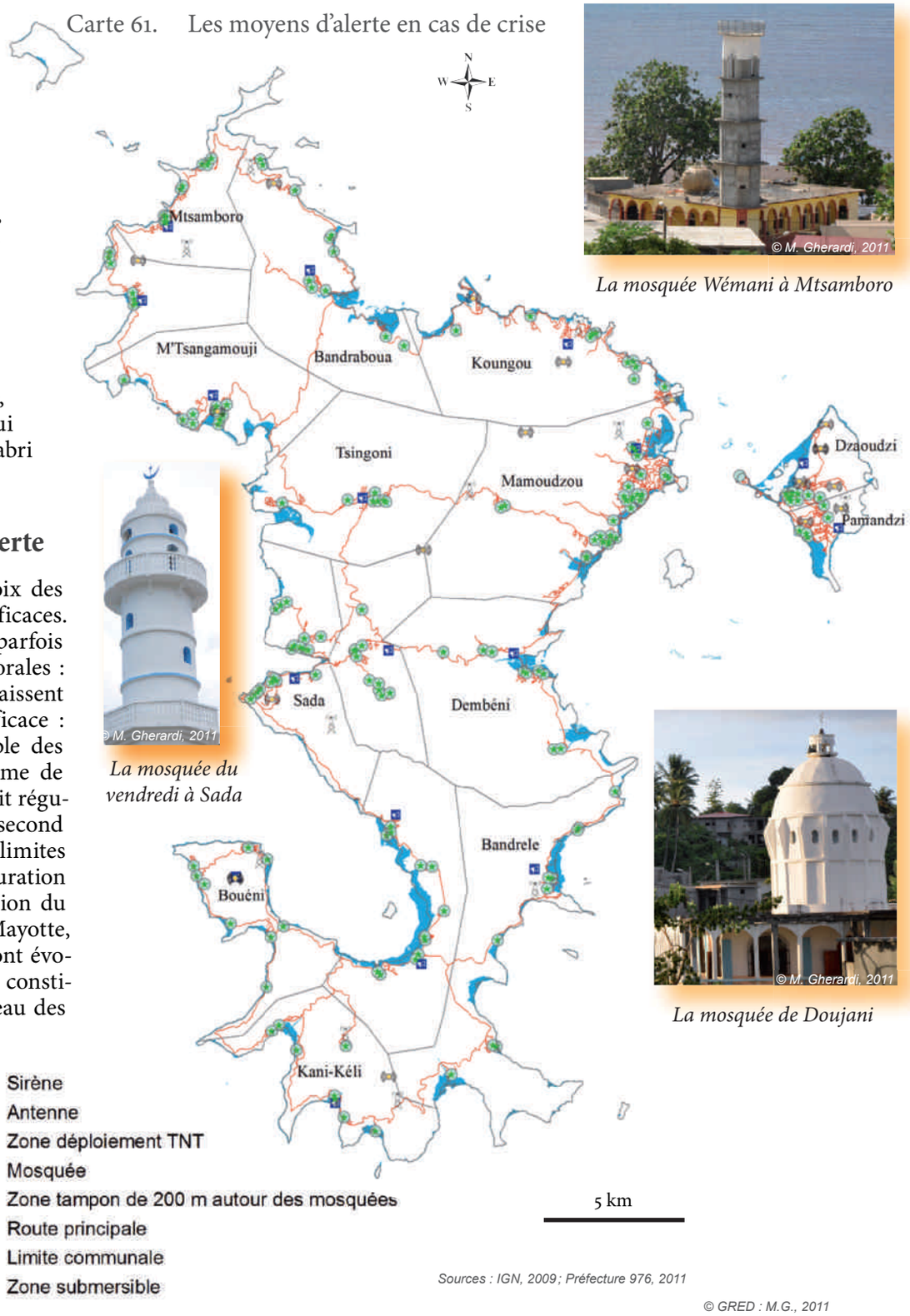
On peut aujourd'hui constater deux réactions extrêmes de la population face à l'arrivée d'un tsunami : le comportement des curieux qui se précipitent dans les ports (la Réunion, 2004) ou sur les ponts (Nouvelle-Calédonie, 2007) pour observer le phénomène, quitte à s'exposer inutilement. À l'inverse on peut reconnaître des comportements d'individus paniqués fuyant à des hauteurs démesurées alors qu'ils étaient déjà à l'abri, encombrant ainsi inutilement les routes (Mayotte, 2004), ou encore se réfugiant en hauteur pendant des durées de plusieurs jours (Futuna, 1993, 2007). Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'un défaut ou d'un excès de précaution, ces comportements révèlent un manque flagrant d'information préventive, composante de la gestion de crise qui pourrait permettre une mise à l'abri efficace des individus.

La mosquée de Mtsapéré

Les vecteurs de diffusion de l'alerte

La question majeure concerne le choix des vecteurs d'informations les plus efficaces. Plusieurs vecteurs sont disponibles et parfois déjà adoptés par les autorités préfectorales : sirènes, SMS, etc. Les sirènes apparaissent comme le moyen d'alerte le plus efficace : elles permettent de toucher l'ensemble des populations concernées de jour comme de nuit, à condition que leur entretien soit régulier. Les SMS apparaissent comme le second moyen d'alerte privilégié, malgré des limites liées à la couverture GSM et à la saturation possible des réseaux. Lors de la réunion du 16 mars 2011 menée en préfecture de Mayotte, les acteurs locaux et la Croix-Rouge ont évoqué le relais intéressant que peuvent constituer localement les mosquées. Le réseau des mosquées avait été avancé pour pallier l'absence de réseau de sirène à Mayotte. Il n'est cependant pas intégré actuellement dans le dispositif officiel de la préfecture qui, conformément aux consignes du ministère de l'Intérieur, préfère privilégier les SMS.

Carte 61. Les moyens d'alerte en cas de crise



La mosquée Wémani à Mtsamboro

La mosquée du vendredi à Sada

La mosquée de Doujani

Contexte et objectifs d'un dispositif d'alerte tsunami

En cas de tsunami, les bulletins d'alerte du TWC sont transmis à la préfecture (SIDPC) par Météo-France. Le rôle de Météo-France est un rôle de transmission d'alerte mais il doit y avoir une interprétation locale de l'alerte. Le SIDPC informe ensuite les services de l'État et les principaux acteurs.
Le dispositif tsunami du plan Orsec est le document le plus abouti pour la gestion de crise tsunami à l'échelle de l'île. Il s'inspire fortement du plan de gestion de crise cyclone. Il prévoit une diffusion de l'alerte aux populations par les maires mais également par les médias (RFO, presse écrite et radiodiffusion), par Météo-France *via* son répondeur téléphonique, par le SIDPC (4x4 équipés de hauts-parleurs), et enfin par la capitainerie à l'aide de panneaux d'information. Des communiqués de presse sont prévus pour les deux niveaux d'alerte et pour la fin d'alerte.
De nouveaux moyens de transmission aux populations sont en cours de négociation avec certains opérateurs téléphoniques afin de transmettre l'alerte par SMS. Ces dispositions ne sont pas inscrites au plan ORSEC, mais le seront lors de la prochaine actualisation du plan.

Positionnement et dimensionnement des moyens d'intervention

Les sapeurs-pompiers possèdent 14 ambulances mais l'île ne dispose que d'un seul hélicoptère de la gendarmerie. En cas de dommages massifs, la priorisation de l'affectation de ce type de moyen serait difficile. Les moyens maritimes sont un point faible.

Les responsables estiment que la capacité des hôpitaux et établissements de santé ne serait pas dépassée lors d'une crise tsunami. Le matériel de réponse à une crise de la Croix-Rouge est stocké dans un hangar sur Petite-Terre, situé en zone inondable : tentes, kit (eau), laboratoire, réservoir, habitat d'urgence. La gestion locale de la crise reposerait aussi sur les moyens municipaux. Les mairies sont supposées être les centres névralgiques de gestion de crise à l'échelle locale.

Carte 62. Ressources et lieux de gestion de crise

Sources : IGN, 2009 ; Préfecture 976, 2011

© GRED : M.G., 2011

Définition

Résilience : il s'agit d'un concept que l'on peut définir *a minima* comme la capacité d'un système à récupérer après une forte perturbation. La résilience renvoie d'avantage à une adaptation combinant une part de retour à l'identique et une part de changement. Son évaluation repose donc sur l'analyse des capacités préexistantes, y compris les pratiques et savoirs locaux en matière de gestion des risques et des crises. Le temps de récupération est un indicateur de mesure de la résilience d'un système.

Lieux de gestion de crise

En cas d'alerte et de crise tsunami, le poste de commandement de l'île serait situé à la préfecture sur Petite-Terre, mais il existe également une antenne à Mamoudzou.
Sur les six centres de secours, un seul se situe à Pamandzi et celui de Kawéni est proche du niveau de la mer. Dans un scénario de risque, l'alerte serait transmise aux populations qui évacueraient vers les hauteurs. À ce jour, aucune zone refuge n'est toutefois clairement identifiée par les autorités. Dans le cadre de la rédaction des PCS, certaines mairies ont fait l'effort de recenser les ERP qui seraient en mesure d'abriter des populations mais on est loin d'un recensement systématique ni d'une intégration de ces moyens locaux aux dispositifs de gestion de crise.

La planification d'une gestion de crise tsunami

Dispositifs de gestion

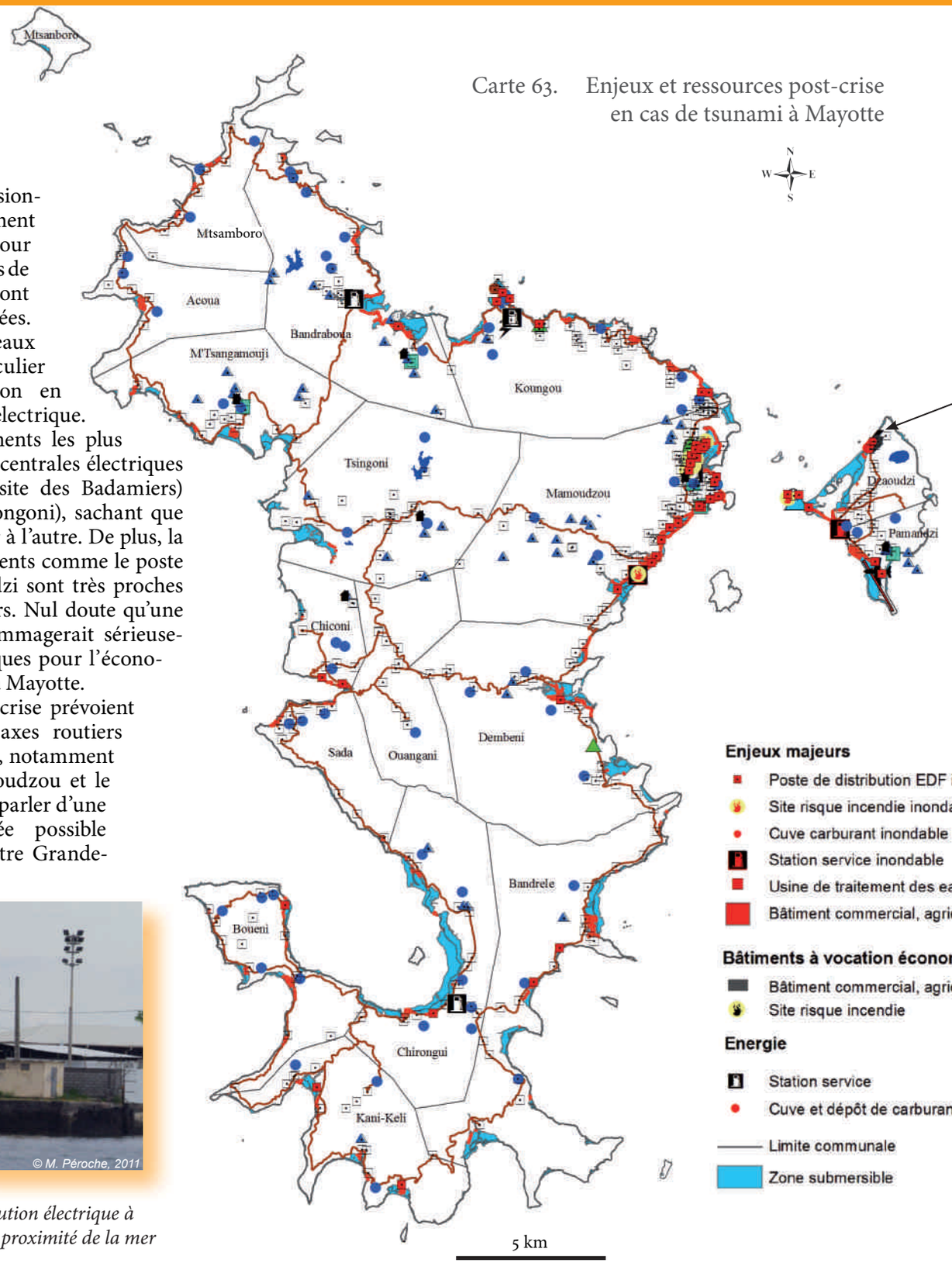
Actions et moyens de la post-crise

Le recensement, le dimensionnement et le positionnement des moyens nécessaires pour rétablir les fonctions vitales de la vie socioéconomique sont des tâches souvent négligées. La vulnérabilité des réseaux est à évaluer, en particulier les réseaux d'alimentation en eau potable et le réseau électrique. Pour ce dernier, les éléments les plus vulnérables sont les deux centrales électriques situées sur Petite-Terre (site des Badamiers) et sur Grande-Terre (à Longoni), sachant que l'une ne peut se substituer à l'autre. De plus, la situation de certains éléments comme le poste de distribution à Pamandzi sont très proches du niveau moyen des mers. Nul doute qu'une submersion à +5 m endommagerait sérieusement ces points névralgiques pour l'économie et la vie quotidienne à Mayotte.
De plus les scénarios de crise prévoient la coupure de certains axes routiers majeurs à l'échelle de l'île, notamment entre la préfecture Mamoudzou et le sud de Grande-Terre sans parler d'une interruption momentanée possible des liaisons par barge entre Grande-Terre et Petite-Terre.

© M. Péroche, 2011

Poste de distribution électrique à Pamandzi, situé à proximité de la mer

Carte 63. Enjeux et ressources post-crise en cas de tsunami à Mayotte



© J. Mouassil, 2012

Située sur Petite-Terre (Badamiers), la centrale thermique au gazole installée depuis 2008 a une puissance totale de production de 38,1 MW (INSEE, 2010).

Enjeux majeurs
- Poste de distribution EDF inondable
- Site risque incendie inondable
- Cuve carburant inondable
- Station service inondable
- Usine de traitement des eaux potables inondable
- Bâtiment commercial, agricole ou industriel inondable

Bâtiments à vocation économique
- Bâtiment commercial, agricole ou industriel
- Site risque incendie

Energie
- Station service
- Cuve et dépôt de carburants
- Limite communale
- Zone submersible

Réseau électrique
- Poste de répartition EDF
- Poste de distribution EDF
- Centrale thermique

Eau et assainissement
- Usine de traitement des eaux usées
- Usine de traitement d' eau potable
- Point de captage
- Château d'eau
- Réservoir d'eau

Infrastructures de transport
- Route principale
- Quai
- Port
- Aéroport
- Piste aéroport

Sources : IGN, 2009 ; Préfecture 976, 2011 © GRED : M.G., 2011

© L. Cazaux, 2011 —*Le port de Longoni*

Bibliographie

Abric J.-C. (1994), *Pratiques sociales et représentations*, Presses universitaires de France, Paris.

Akbaraly A. (2008), *Panorama des ressources en eau à Mayotte,* Communication orale, Séminaire « les enjeux de l'eau à Mayotte », Comité de bassin de Mayotte, DEAL, Mamoudzou, 16-17 octobre 2008, 27 p.

Anselme B., Durand P. & Goeldner-Gianela L. (2008), *Le risque de submersion dans le système lagunaire de la palme (Languedoc, France) : nature de l'aléa et perception du risque*, Actes du colloque international pluridisciplinaire « Le littoral : subir, dire, agir », Lille, France, 16-18 janvier 2008, 13 p.

Audru J.-C. (2009), « Major natural hazards in a tropical volcanic island: A review for Mayotte Island, Comoros archipelago, Indian Ocean », *Ingineering Geology*, 18 p.

Bathès C. (2009), « Effets de la régulation foncière à Mayotte. Pluralisme, incertitudes, jeux d'acteurs et métissage », *Économie rurale* [En ligne], http://economierurale.revues.org index2376.html, 18 p.

Bavoux J.-J., Beaucire F., Chapelon L. & Zembri P. (2005), *Géographie des transports,* éd. Armand Colin, collection « U », Paris, 232 p.

Bavoux J.-J. & Chapelon L. (2014), *Dictionnaire d'analyse spatiale,* éd. Armand Colin, Paris, 608 p.

Benjamin D. & Godard H.-R. (2001), « Centralisation et polarisation : l'aire urbaine de Mamoudzou et les villages mahorais », *Mappemonde* n° 64, p. 2-6

Bensoussan O. (2009), « La mer, menace ou espoir de développement pour Mayotte ? », *Les Cahiers d'outre-mer* [En ligne], http://com.revues.org/index5779.html, 25 p.

Boukoucha A. (2011), *Entretien avec le directeur du Service interministériel de Défense et de Protection civile (SIDPC),* Préfecture de Mayotte, le 6 avril 2011.

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), (2010), *Dossier départemental des Risques majeurs de Mayotte,* éd. BRGM, 145 p.

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) (2011), *Base de données sur les mouvements de terrain (BDmvt)*, www.bdmvt.net/ (consulté en mars 2011).

Burnod P. & Sourisseau J.-M. (2007), « Changement institutionnel et immigration clandestine à Mayotte, Quelles conséquences sur les relations de travail dans le secteur agricole ? », *Autrepart* (43), p. 165-176.

Centre régional de documentation pédagogique (CRDP) de l'académie d'Amiens (2006), *Les séismes*, Collection « Thém@doc », 106 p.

Chabot Y. (2012), *L'étude de la dynamique géomorphologique des badlands de Mayotte. Impacts et enjeux,* mémoire de Master 1, Géographie, université Paris I.

Collectif Migrants Mayotte (2008), *Contre rapport sur la réalité de ce que dissimule le terme d'« immigration clandestine » à Mayotte*, présenté le 4 septembre 2008 à la délégation sénatoriale à Mayotte au nom de la commission des lois du Sénat, 43 p.

Corbett J. (2009), *Cartographie participative et bonne pratique*, étude préparée pour le Fonds international de développement agricole (FIDA), 59 p.

Coquet M. (2012), *La gestion du risque de tsunami à Mayotte. Étude des évacuations à Petite-Terre*, mémoire de Master 1, Géographie, université Paris I, 78 p.

Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte (DAF) (2006), *Atlas des mangroves de Mayotte,* service Environnement, 145 p.

DAF (2008), *Rapport d'activité,* 43 p.

DAF (2008), *Bulletin de situation hydrologique de Mayotte*, bulletin n° 2, février 2008, 5 p.

Dahdouh-Guebas F., Jayatissa L.P., Di Nitto D., Bosire J.O., Lo Seen D. & Koedam N. (2005), « How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami ? », *Current Biology*, vol. 15, n° 12, p. 443-447.

Danielsen F., Sorensen M.K., Olwig M.F., Selvam V., Parish F., Burgess N.D., Hiraishi T., Karunagaran V.M., Rasmussen M.S., Hansen L.B., Quarto A. & Suryadiputra N. (2005), « The Asian tsunami : A protective role for coastal vegetation », *Science*, vol. 320, n° 5748, 643 p.

DE & Centre d'études techniques de l'Équipement (CETE) Méditerranée (2008), « Événement météorologique Fame de fin janvier 2008 sur l'île de Mayotte, qualification pluviométrique et hydrologique », *Les études*, 18 p.

Debeuf D. (2004), *Étude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte*, Thèse en sciences de la terre, université de la Réunion, 277 p.

De la Torre Y. & Aubie S. (2003), *Étude de la morphodynamique des littoraux de Mayotte, Phase 1 : typologie et tendance d'évolution*, rapport RGM/RP-52320-FR, 164 p.

De la Torre Y., Dolique F. & Jeanson M. (2006), *Morphodynamique des littoraux de Mayotte, Phase 2 : mise en place d'un réseau de quantification de l'érosion côtière*, rapport RGM/RP-54832-FR, 73 p.

Depraetere C. (1991), « Le phénomène insulaire à l'échelle du Globe : tailles, hiérarchies et formes des îles océanes », *L'Espace Géographique*, 1990-1991, n° 2, GIP reclus, Montpellier, p. 126-134.

Depraetere C. & Moniod F., (1991) : « Contributions des Modèles numériques de terrain à la simulation des écoulements dans un réseau hydrographique : exemple du bassin de Bras-David (Guadeloupe) », *Hydrologie Continentale*, vol. 6, n° 1, 1991, ORSTOM, Paris, p. 29-53.

Depraetere C. (2008), « The Challenge of Nissology: A Global Outlook on the World Archipelago Part I: Scene Setting the World Archipelago and Part II: The Global and Scientific Vocation of Nissology », *Island Studies Journal*, vol. 3, n° 1, 2008, p. 3-36.

Bibliographie

Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DEAL) (2008), *Bulletin de situation hydrologique de Mayotte*, bulletin n°2, février 2008, 5 p.

Direction de l'Équipement de Mayotte (DE) (2011), *Entretien avec des agents de la Direction de l'Équipement : J.-M. Witkow et Youssouf Djamal Oudile,* DE de Mayotte, Mamoudzou, le 4 mai 2011.

Direction régionale des actions sanitaires et sociales (DRASS) (2002), *Suivi épidémiologique des conséquences sanitaires de l'explosion de l'usine AZF*, Cellule inter-régionale d'épidémiologie d'intervention, Institut de veille sanitaire, rapport intermédiaire, 88 p.

Dolique F., Jeanson M. & Pribat B. (2010), *MANGUIERS (MANGroves mahoraises, sUrveillance par Instrumentation Et Recherches Sédimentaires),* rapport final pour le ministère de l'Outre-mer, IRD/université Antilles Guyane, 72 p.

Drouet F. (2011), *Diagnostic de vulnérabilité face au risque de tsunami, sur l'île de Petite-Terre à Mayotte*, mémoire de Master 1, Géographie, université Montpellier 3, 115 p.

Dumont G.-F. (2005), « Mayotte, une exception géopolitique mondiale », *Outre-Terre*, 2/2005 (n° 11), p. 515-527.

Eberschweiler C. (1986), *Étude hydrologique, hydrochimique et géochimique isotopique d'une île volcanique sous climat tropical : Mayotte,* thèse de 3e cycle, université de Paris XI, Orsay, 361 p.

Églin F. & Ravail D. (2010), « Les mécanismes climatiques de la zone intertropicale », *Univers Maoré* n° 14, p. 38-45.

Frétigné H. (dir. Barrier M. & Chaze C.) (2008), *Le travail indépendant informel à Mayotte*, rapport d'étude, Microcrédit Réunion, 36 p.

Gauraz A.-L. (2008), *Élaboration d'indicateurs d'évaluation de la vulnérabilité structurelle aux tsunamis*, rapport de stage de Master 2 GCRN, université Montpellier 3, 106 p.

GIEC (2013), *Résumé à l'intention des décideurs — Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques,* Cambridge University Press, Cambridge, 34 p.

Godard H. (dir. Saint-Julien Th.) (1998), « Les Outre-mers », volume 13 de l'*Atlas de France*, Montpellier/Paris, GIP Reclus/La Documentation Française, 128 p.

Graviou P. (2006), *Curiosités géologiques de Mayotte*, éd. BRGM/BAOBAB, 96 p.

Guilcher A. (1965), *Précis d'hydrologie marine et continentale*, Masson, Paris, 389 p.

Hachim S. (2004), *Synthèse des risques naturels à Mayotte : approche historique et situation actuelle*, maîtrise de géographie spécialité environnement, université Montpellier 3, 79 p.

Hébert H., Sladen A. & Schindelé F. (2007), « Numerical Modeling of the Great 2004 Indian Ocean Tsunami : Focus on the Mascarene Islands », *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(1A), S208-S222, doi : 10.1785/0120050611

Hills J.-G. & Mader C.L. (1997), « Tsunami producted by the impacts of the small asteroids », *Annals of the New York Accademy of Sciences*, 822, p. 381-394.

Institut géographique national (IGN) (2009), *Descriptif de la base de données Topo®*, 172 p.

Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) (2007), « Le revenu des habitants de Mayotte en 2005 », *Mayotte Info* n° 28, 1 p.

INSEE (2010), *Tableau économique de Mayotte,* Direction régionale de la Réunion, antenne de Mayotte, 130 p.

IOC-UNESCO (2008), « *Tsunami Preparedness », Information Guide for Disaster Planners, IOC Manuals and Guides* n° 49, http://ioc.unesco.org. http://ioc, 29 p.

Jeanson M. (2009), *Morphodynamique du littoral de Mayotte. Des processus au réseau de surveillance*, thèse de doctorat de géographie, université du Littoral Côte d'Opale, 347 p.

Jeanson M. (2014), « Mangrove Evolution in Mayotte Island, Indian Ocean : A 60-year Synopsis Based on Aerial Photographs », *Wetlands,* 34, p. 459-468.

Joly F. (1997), *Glossaire de géomorphologie : base de données sémiologiques pour la cartographie,* Armand Colin, 325 p.

Jourdain T., Maurillon M. & Mouron R. (2002), *Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre*, rapport BRGM/RP-52193-FR, 111 p.

Lagahé E. & Péroche M. (2011), *Réalisation d'un atlas universitaire sur les risques naturels à Mayotte,* mémoire de Master 2 GCRN, université Montpellier 3, 154 p.

Laulan P. (2006), *Atlas des mangroves de Mayotte,* DAF de Mayotte, service Environnement, 145 p.

Lavigne F. & de Belizal E. (2010), « Les effets géographiques des éruptions volcaniques », *EchoGéo*, 14 p.

Lavigne F. & Paris R. (dir.) (2011), *Tsunarisque, le tsunami du 26 décembre 2004 à Aceh, Indonésie*, Publications de La Sorbonne, Paris, 324 p.

Lavigne F. (dir), Sahal A., Coquet M., Wassmer P., Goett H., Leone F., Péroche M., Lagahé E., Gherardi M., Vinet F., Hachim S., Drouet F., Quentel E., Loevenbruck A., Schindelé F., Hébert H., Anselme B., Durand P., Gaultier-Gaillard S., Pratlong F., Divialle F. & Morin, J. (2012), *PREPARTOI : PREvention et REcherche Pour l'Atténuation du Risque de Tsunami dans l'océan Indien (Réunion et Mayotte)*, rapport final, Fondation MAIF, université Paris 1, 257 p.

Leone F. (2008), *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones),* éd. Edilivre Universitaire Collection, Paris, 336 p.

Bibliographie

Leone F., Meschinet de Richemond N. & Vinet F. (2010), *Aléas naturels et gestion des risques*, Licence géographie, éd. PUF, 284 p.

Leone F., Deymier J., Chapelon L., Colas A. & Jomelli V. (2011), « Debris flows et accessibilité routière dans les Alpes françaises : caractérisation et modélisation des vulnérabilités physiques, fonctionnelles et territoriales », in : *Actes du 24e colloque de l'Association internationale de climatologie*, Rovereto, Italie, sept. 2011, p. 369-374.

Leone F., Péroche M., Gherardi M., Sahal A., Vinet F., Hachim S. & Lavigne F. (2013), « Modélisation de l'accessibilité territoriale pour l'aide à la gestion de crise tsunami (Mayotte, océan Indien, France) », *Annales de Géographie*, n° 693, p. 502-524.

Licoine F. (2008), « Le réseau routier de Mayotte », article de la revue *Ponts et Chaussées magasine*, 4 p.

McCall G. (1994), « Nissology: The Study of Islands », *Journal of the Pacific Society*, vol. 17, nos 2-3, p. 1-14.

McCall G. (1996), « Clear Confusion in a Disembedded World: The Case for Nissology », *Geographische Zeitschrift*, vol. 84, n° 2, p. 74-85.

Morin J. (2006), *Évaluation du risque volcanique en Grande Comore*, mémoire de Master 1 GCRN, université Montpellier 3, 116 p.

Nicet J.-B., Jamon A., Simian G., Chabanet P., Bissery C., Guigou A., Aboutoihi L., Bigot L. & Quod J.-P. (PARETO/IRD/APNEE/PARC NATUREL MARIN/ECOMAR) (2012), *ORC8 — Suivi 2011 de l'état de santé des récifs coralliens de Mayotte — Suivi benthique et ichtyologique, et impact du blanchissement de 2010*, rapport pour le compte de la DEAL Mayotte, 72 p. + annexes.

Ninon J. (2007), « La dynamique urbaine à Mayotte : l'étalement de Mamoudzou et la " périphérisation " des centres petits-terriens », *Cahiers d'outre-mer* (240), p. 305-318.

Oppermann A. (2010), *Inventaire départemental des mouvements de terrain*, rapport BRGM/RP 58952 FR.

Organisation météorologique mondiale (OMM). (2008), *Bilan des alertes cycloniques en 2007/2008*, La Réunion et Mayotte, 17 p.

Plan d'Aménagement et de Développement durable (PADD) de Mayotte (2008), 119 p.

Porcher M., Schirmm M., Oberlinkels M., Morancy R., Nicot S., Gabrie C., Cheminée A., Quod J-P., Bigot L., Esbelin C., coll. Thomassin B.A., Blasco F. & Fromard F. (2002), *Plan de gestion du lagon de Mayotte. Volet 2 : État des lieux des milieux côtiers et récifo-lagonaires*, rapport CAREX Environnement, WWF, ARVAM, 84 p.

Préfecture de mayotte (2008), *La lettre des services de l'État à Mayotte*, n° 3, 6 p.

Raunet M. (1992), *Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon*, 69 p.

Roger J. (2011), *Tsunamis générés par des séismes au niveau de la zone de collision entre les plaques africaine et eurasienne : Étude de cas pour l'évaluation du risque tsunami en Méditerranée occidentale et Atlantique nord*, Thèse de doctorat de l'université Pierre-et-Marie-Curie, spécialité Géosciences et Ressources naturelles, 347 p.

Rolland R., Boullet V. & Quod J.-P. (2005), *Mayotte, biodiversité et évaluation patrimoniale. Contribution à la mise en œuvre de l'inventaire ZNIEFF*, rapport Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte et Conservatoire botanique national de Mascarin, 324 p.

Sahal A. (2011), *Le risque tsunami en France : contributions méthodologiques pour une évaluation intégrée par scénarios de risque*, Thèse de doctorat de géographie, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 268 p. + annexes.

Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) (2005), *Rapport d'activité 2004*, collection « Les repères », 71 p.

Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) (2007), *Pratiques actuelles des études sur l'accessibilité*, rapport d'études, 146 p.

Stieltjes L. (1988), *Notice explicative de la carte géomorphologique de Mayotte*, Édition BRGM, Orléans, 70 p.

Stollsteiner Ph. (2008), *Actualisation des propositions pour une méthodologie relative aux études hydrauliques et hydrologiques à Mayotte*, rapport BRGM/RP-56881-FR, 98 p.

Syndicat intercommunal d'Eau et Assainissement de Mayotte (SIEAM) (2002), *Schéma directeur d'eau potable de Mayotte*, note de synthèse, 15 p.

Tarnaud L. *et al.* (2012), « Le maki de Mayotte », ouvrage collectif, *Univers Maoré*, n° 16, 48 p.

Tarnaud L. (2006), « Cathemerality in the Mayotte Brown Lemur (*Eulemur fulvus*) : Seasonality and Food Quality », *Folia Primatologica*, 77, p. 166-177.

Tarnaud L. (2004), « Ontogeny of Feeding Behaviour of *Eulemur fulvus* in the Dry Forest of Mayotte », *International Journal of Primatology*, 25, p. 803-824.

Tarnaud L. & Simmen B. (2002), « A Major Increase of the Lemur Population of Mayotte since the Decline Reported in 1987 », *Oryx*, 36, p. 297-300.

Tattersal L. (1977), « Ecology and Behavior of *Lemur fulvus mayottensis*, (Primates lémuriformes) », *Anthropological Paper of the American Museum of Natural History*, New York, 52, p. 195-216.

Thomassin B.A., Priess K., Dahalani Y., Wendling B., Ousseni I. & Decamp D. (1999), *Observatoire des récifs coralliens de Mayotte — Description des stations et point zéro de l'état de vitalité des peuplements (oct.-nov. 1998)*, rapport DAF de Mayotte/GIS LAG-MAY, 133 p.

Bibliographie

Tonabel J., Tattersall I., Simmen B. & Tarnaud L. (2011), « Decline and Structural Changes in the Population and Groups of the Mayotte Brown Lemur (*Eulemur fulvus*) », *Oryx*, 45, p. 608-614.

Vincent F. (2001), « Un quartier récent dans Mamoudzou : Kavani », *Mappemonde*, 64, 12 p.

Wickel J. (2005), *Observatoire des récifs coralliens de Mayotte : Bilan 1998-205. Évolution et perspectives,* rapport pour le compte du service de l'Environnement de la DAF de Mayotte, 55 p.

© F. Drouet, 2011 — Grain orageux au-dessus du village d'Hamjago

© M. Gherardi, 2011 — Le mont Choungui, relief emblématique de Mayotte

Conception graphique :

Émilie Lagahé et Monique Gherardi (U.M.R. GRED)

Collection « Géorisques »

Titres déjà parus dans la même collection

— *Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information*, F. Leone et F. Vinet, 2013.

— *Le littoral : caractérisation et gestion d'un espace à risques*, F. Leone et F. Vinet, 2012.

— *Quelles archives aujourd'hui pour mieux gérer les risques demain ? Approches géographiques et historiques*, N. Meschinet de Richemond, 2010.

— *La mise en carte des risques naturels — Diversité des approches*, F. Leone et F. Vinet, 2008.

— *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles — Analyses géographiques*, F. Leone et F. Vinet, 2006.

Presses universitaires de la Méditerranée
(Université Paul-Valéry Montpellier)
pulm@univ-montp3.fr
www.PULM.fr

Dépôt légal : décembre 2014

Fabrication printteam groupement d'imprimeurs spécialisés,
imprimé et façonné en France, 4e trimestre 2014.
www.print-team.fr

131114_ATLAS_VERSION_IMPRIMERIE.indd 175 14/11/2014 16:13