

Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques : la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte

Nicolas Legoff

Volume 10, Number 3, December 2010

Les petits États et territoires insulaires face aux changements climatiques : vulnérabilité, adaptation et développement

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1004060ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Legoff, N. (2010). Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques : la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte. *VertigO*, 10(3), 0-0.

Article abstract

In the South-West of the Indian Ocean, climate changes will probably induce more important cyclonic phenomenon. The small islands are often overwhelmed by those catastrophic situations whose human and material damages can be very severe. To illustrate the possible consequences of such a change, the article suggests to study the Comorian archipelago, situated in the Mozambique Channel. This group of islands, is thus composed of two neighbouring islands which allow comparison because the first one, Mayotte is a French organised territory while the other one, Anjouan, because of its political instability, is still in a low-developed situation. The specificity of these two islands is also that they are historically linked and deeply demographically interdependent. Beyond the differential of development, a real common management of cyclonic risk is necessary but still a long time coming. Many practices run counter to the durability of these populations settled on the coastal line.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2011



This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

<https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/>

Érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

<https://www.erudit.org/en/>

LES COMORES ET L'ALEA CYCLONIQUE DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES: LA VULNERABILITE DIFFERENCIEE D'ANJOUAN ET DE MAYOTTE

Nicolas Legoff

Docteur en géographie, Chercheur associé au laboratoire Géolittomer - Université de Nantes, (LETG UMR 6554 / CNRS)
nicolas.legoff@univ-nantes.fr

Résumé : Dans le sud-ouest de l'océan Indien, les changements climatiques se traduiront probablement par des phénomènes cycloniques plus importants. Les petites îles sont souvent dépassées par ces situations de catastrophe dont le bilan humain et matériel peut être très lourd. Pour illustrer les impacts potentiels d'un tel changement, l'article propose d'étudier l'archipel des Comores localisé dans le canal du Mozambique. Cet ensemble insulaire comporte en effet deux îles voisines qui permettent des comparaisons puisque l'une, Mayotte, est un territoire français structuré alors que l'autre, Anjouan, est encore à un stade de sous-développement du fait de son instabilité politique. En outre, la spécificité des deux îles est aussi d'être liées par l'histoire et fortement interdépendantes l'une de l'autre au niveau démographique. Au-delà du différentiel de développement, une véritable gestion commune du risque cyclonique se fait attendre. De nombreuses pratiques vont même à l'encontre de toute durabilité pour ces populations directement établies sur le trait de côte.

Mots clés : Comores, Anjouan, Mayotte, changement climatique, cyclone, risque côtier, gestion du littoral

Abstract: In the South-West of the Indian Ocean, climate changes will probably induce more important cyclonic phenomenon. The small islands are often overwhelmed by those catastrophic situations whose human and material damages can be very severe. To illustrate the possible consequences of such a change, the article suggests to study the Comorian archipelago, situated in the Mozambique Channel. This group of islands, is thus composed of two neighbouring islands which allow comparison because the first one, Mayotte is a French organised territory while the other one, Anjouan, because of its political instability, is still in a low-developed situation. The specificity of these two islands is also that they are historically linked and deeply demographically interdependent. Beyond the differential of development, a real common management of cyclonic risk is necessary but still a long time coming. Many practices run counter to the durability of these populations settled on the coastal line.

Key-words: Comoros, Anjouan, Mayotte, *climate* changes, cyclone, coastal risk, coastal management

Introduction

L'archipel des Comores est situé à l'entrée nord du canal du Mozambique, entre la côte est-africaine et Madagascar. Il tire sa singularité de son écartèlement géopolitique : trois îles forment l'Union des Comores (Anjouan, Mohéli et Grande Comore), alors qu'une quatrième n'a de cesse d'affirmer son rattachement à la France (Mayotte). C'est pourtant un ensemble culturellement et géographiquement

homogène qui a notamment pour dénominateur commun la civilisation swahili et une morphologie volcanique montagneuse.

Dans ces îles aux évolutions de plus en plus différenciées, il est intéressant de porter un regard comparatif sur les risques potentiels que peuvent engendrer les changements climatiques, à commencer par l'accroissement des phénomènes cycloniques et des processus physiques liés (surcote marine, pluviométrie abondante...). Les cas de Mayotte, territoire français économiquement structuré, et d'Anjouan, île de gabarit équivalent mais à l'état de sous-développement, peuvent éclairer la manière avec laquelle ces aléas météorologiques s'expriment ou sont pris en compte en fonction de capacités intrinsèques différentes. Si

Référence électronique

Nicolas Legoff, 2010, «Les comores et l'alea cyclonique dans le contexte des changements climatiques: la vulnérabilité différenciée d'anjouan et de mayotte», VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 10 numéro 3, [En ligne], URL : <http://vertigo.revues.org/>

l'évolution de l'exposition cyclonique est la même sur ces deux îles voisines, il est clair que Mayotte et Anjouan ne partent pas avec des atouts identiques en terme de connaissance du milieu, de planification et d'efficacité dans la mobilisation des moyens matériels.

La frange littorale est logiquement la zone la plus démonstrative car elle concentre la majeure partie des habitats et des activités tout en étant déjà marquée par la saturation. La perception du changement climatique y est plus souvent synonyme de défense côtière systématique que de gestion réfléchie. L'enjeu est majeur car c'est de cette gestion que dépendront la pérennité des installations et corrélativement la rapidité du développement socioéconomique. Dans les deux cas, il s'agit de trouver l'équilibre le plus durable sinon le moins précaire.

Pour aller au delà de la simple comparaison, l'article propose de soulever la problématique suivante : l'avance socioéconomique de Mayotte permet-elle d'être plus optimiste en cas d'exacerbation des changements climatiques et des risques côtiers ? Pour ce faire, il est nécessaire de relativiser la place et la fragilité des deux îles dans un contexte cyclonique qui serait renforcé. De même, la relation sociétale au trait de côte demande à être explicitée puisqu'elle commande le degré de risque en mêlant résistance et pragmatisme en fonction de la perception cyndinique. Les bases techniques et la capacité d'intervention en cas de crise n'en seront que plus lisibles et permettront d'avancer quelques éléments prospectifs.

Changements climatiques et "nouveaux" aléas cycloniques dans les Comores

Sans dresser une géographie régionale des Comores, les traits insulaires doivent d'abord être rappelés pour relativiser les points communs et les liens entre Mayotte et Anjouan. L'image de l'archipel est en effet souvent troublée par les coups d'État récurrents ou les incompressibles flux migratoires clandestins (Taglioni, 2008).

Les contraintes communes de deux "petites îles" interdépendantes

Mayotte et Anjouan ne sont pas seulement comparables en raison de leur proximité (70 km) ou de la culture partagée (Figure 1). C'est aussi la taille des deux îles qui appelle au rapprochement avec seulement quelques km² de différence (environ 65 km² d'écart). Aller au-delà dans les comparaisons physiques est hasardeux car même la genèse

volcanique commune ne le permet pas. Les huit millions d'années qui séparent en effet l'émergence de Mayotte de celle d'Anjouan suffisent pour donner des morphologies différentes¹. Un coup d'œil aux traits de côte permet de renseigner sur l'évolution plus avancée de Mayotte qui a subi à la fois des processus morphogéniques continentaux et une subsidence. Surtout, la présence d'un lagon quasi fermé à Mayotte change considérablement la donne dès lors qu'il est question de l'effet des vagues à la côte. Anjouan ne peut compter sur la protection d'une barrière corallienne sauf à de très ponctuels endroits où des platiers frangeants se développent. Indirectement, c'est aussi tout un rapport différent à la mer qui s'est instauré en mettant la population anjouanaise directement en contact avec l'océan Indien tandis que les Mahorais en sont écartés par le lagon.



Figure 1. Localisation de l'archipel des Comores

Démographiquement, Anjouan totalise environ 250 000 habitants sur 425 km² ce qui lui confère une légère supériorité par rapport aux données mahoraises qui avoient 180 000 habitants sur 360 km². Les densités expliquent grandement la vigueur des pressions exercées sur l'environnement et plus précisément sur la frange littorale. Il ne faut cependant pas voir dans les 580 hab./km² d'Anjouan une explication caricaturale des phénomènes migratoires vers Mayotte qui sont beaucoup plus complexes. Même le différentiel de richesse qui est de l'ordre de 1 à 10 ne suffit pas à justifier de tels

¹ Bien qu'issues du même point chaud, les différences chronologiques sont notables entre les deux îles : 9 Ma BP pour l'immersion de Mayotte contre 1,5 Ma BP pour celle d'Anjouan (Graviou *et al.*, 2006).

déplacements qui reposent avant tout sur une continuité territoriale et mentale que l'indépendance partielle de 1975 n'a pas totalement brisée. Ces flux sont là pour rappeler qu'une étude comparative entre ces deux îles a ses limites puisque les protagonistes n'évoluent pas dans des systèmes clos mais sont plutôt dans une dynamique d'échanges. À minima, il peut tout de même être avancé une certaine similitude quant à la perception des aléas météorologiques et aux comportements liés.

Dire d'Anjouan et de Mayotte qu'elles sont des "petites îles" n'est pas neutre. C'est même une catégorie à part entière sur laquelle les changements climatiques entraîneront probablement des phénomènes singuliers (GIEC, 2007). Les petites îles tropicales sont en effet particulièrement sujettes à interrogation quant à leur devenir d'autant plus que le degré de confiance dans les scénarios les plus négatifs est très élevé. L'articulation des phénomènes attendus demeure inconnue, mais assurément il sera question d'inondations, d'ondes de tempête, d'érosion des plages, de blanchissement des coraux, etc. Rien que de très classique, sauf que dans le cas des petites îles, il ne peut être question d'inertie ou d'amortissement des phénomènes comme cela peut être le cas avec une masse continentale ou insulaire d'envergure. Mayotte et Anjouan, comme bon nombre de petites îles, sont concernées par les menaces du "trop" ou du "trop peu". Le risque n'est pas tant de devoir subir un déséquilibre mais plutôt de ne pas avoir la capacité de le gérer ou de pouvoir rétablir la situation. L'état des réserves foncières, pratiquement inexistantes, illustre la faible marge de manœuvre de ces deux sociétés insulaires dont l'équilibre est directement dépendant du plein usage des espaces littoraux. Les possibilités de repli, de déplacement voire de réorganisation territoriale de la population sont des plus faibles alors que le canal du Mozambique n'est qu'en apparence une zone de moindre impact des changements climatiques.

La relative situation d'abri cyclonique du canal du Mozambique

Comme les autres îles de l'océan Indien, Anjouan et Mayotte ont à craindre un renforcement de l'intensité des cyclones. Mais si l'océan Indien est une zone de cyclogenèse très active, la probabilité d'avoir à subir un cyclone dans les Comores est moindre car cela demande une conjonction de facteurs favorables à une trajectoire bien particulière. Rien cependant d'impossible étant donné que les itinéraires cycloniques régionaux sont le plus

souvent chaotiques (Météo France, 2003) autrement dit pouvant présenter tous les cas de figure. Ainsi, les cyclones respectent assez peu la nomenclature qui les caractérise et composent le plus souvent avec les trois routes théoriques : parabolique, méridienne et zonale. Dans tous les cas, le canal du Mozambique est synonyme de fin de course pour un cyclone qui se trouvera obligatoirement confronté à Madagascar et consécutivement perdra de l'énergie en filant vers l'ouest. En ne se focalisant que sur les cyclones tropicaux² qui sont passés à moins de 300 km de Mayotte (Figure 2), il apparaît que les parcours combinent une direction zonale à laquelle fait suite une orientation plus méridienne. Cependant, comparée à une saison cyclonique complète comme celle de 2003-2004³, la probabilité d'aboutir au passage d'un cyclone sur les Comores paraît fortement réduite tant Madagascar représente une barrière efficace (Figure 3).



Figure 2. Historique des cyclones à moins de 300 km de Mayotte (1976-2010)

² Dans le cadre des changements climatiques régionaux, il faut aussi tenir compte des dépressions et des tempêtes tropicales qui seront elles aussi probablement plus lourdes de conséquences. Pour 5 cyclones enregistrés par Météo France (passage à moins de 300 km de Mayotte), il faut compter 11 tempêtes et 10 dépressions tropicales.

³ La saison cyclonique 2003-2004 est emblématique pour les Comores puisqu'elle a donné le cyclone Gafilo qui fut particulièrement destructeur.

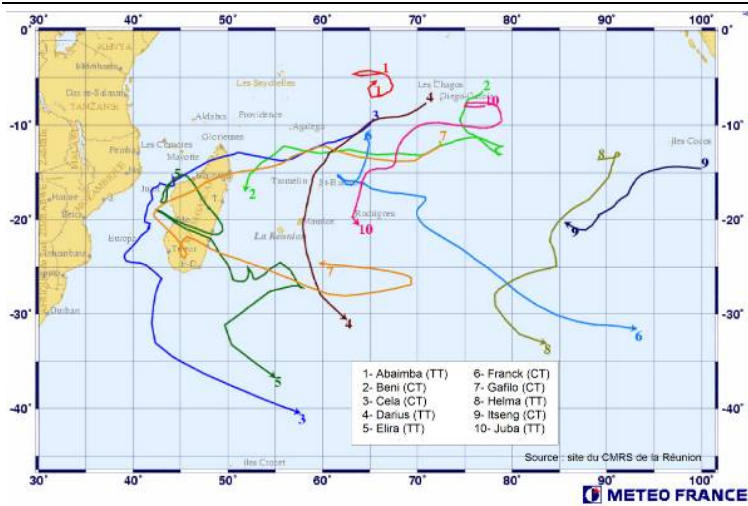


Figure 3 : Saison cyclonique 2003-04

De cette impression d'être abrité par l'écran protecteur malgache (Lecacheux *et al.*, 2007) peut aussi naître chez la population comorienne un sentiment d'invulnérabilité se révélant dangereux car n'entraînant pas une mémoire suffisamment vive pour permettre une méfiance et des réflexes entretenus vis-à-vis de l'aléa cyclonique. Il faudrait une plus longue période d'observations pour pouvoir dire s'il y a, au moins quantitativement, un réel accroissement de la récurrence cyclonique. Mais pas même le croisement des sources n'apporte de la certitude quant à ce que furent réellement les saisons cycloniques passées au-delà du demi-siècle. Avant la limite des années 1970 (instauration d'observations régulières par satellite) il est malaisé de faire ressortir les tendances nettes des cyclones tropicaux (Bates *et al.*, 2008).

Les instances internationales (PNUD, 2007) prennent cependant la situation des Comores au sérieux en avançant un Index de Risque de Catastrophe qui classe l'archipel dans les dix régions du monde les plus vulnérables aux cyclones tropicaux. Cet état s'appuie en partie sur le fait que les Comores auraient connu 40 événements météorologiques entre 1910 et 1990 (de la perturbation tropicale au cyclone à proprement parler) ayant de graves conséquences sur les infrastructures et surtout sur les populations (Guébourg, 2006). Le Tableau 1 rappelle ces principaux événements, sans qu'il soit cependant possible de prétendre à l'exhaustivité en la matière. Le référencement des cyclones devenant clair seulement à partir de l'année 1961 qui marque l'attribution d'un nom à chacun d'entre eux.

Tableau 1. Principaux événements ayant eu un impact sur Mayotte ou Anjouan

Année	Nom	Catégorie	Pression (hPa)	Vents (km/h)
1858		CT ?		
1898		CT ?		
1900		CT ?		
1934	"Disseli"	CT	972	Raf. 150-160
1953	BSH0553	TT ?	977	Sup. 100
1961	Ada	DT / TT		
1965	Claudie	DT		
1968	Georgette	TT		
1969	Corrine	TT	976	95-100
1971	Agnès	TT		
1973	Charlotte	TT		
1975	Camille	DT		
1976	Clotilde	TT / CT	990	Raf. 112
1977	Domitile	TT		
1981	Ladine	TT		
1982	Justine	DT / TT		61-76
1983	Andry	CT ?		
1984	Kamisy	CT	985	115-148
1985	Feliksa	CT	995	97-126
1988	Filao	DT		
1990	Hanta	TT	1005	70
1994	Nadia	CT		
1995	Josta	TT	930	
1996	Dolorès	TT / CT		
1997	Josie	TT	954	
2000	Gloria	TT		
2001	Dera	DT		
2002	Keseny	DT		
2004	Gafilo	CT	900	
2005	Ernest	TT	950	
2006	Bondo	TT/CT	967	
2007	Fame	TT	993	
2010	Jokwe	CT	952	

Sources : BRGM, Météo-France, Presse locale

Toujours est-il que le cyclone de 1934 a tout de même marqué les écrits par sa violence qui engendra la disparition des villages de Dzaoudzi et Pamandzi en Petite-Terre, alors que Mtsapéré, Boueni et Mzouazia auraient connu le même sort sur la grande île mahoraise. Sa dénomination locale de "Disseli" est un hommage au colon ayant alors organisé l'aide alimentaire pour contrecarrer la famine consécutive. C'est également Mayotte qui fournit les meilleures sources pour les événements plus récents. Kamisy en 1984 occupe une place de choix et reste le plus fort enregistré par Météo France. Si les précipitations sont restées modérées, le vent a en revanche perduré, soufflant littéralement 90% des cases mahoraises en torchis et provoquant globalement 26 millions d'euros de dégâts. S'il n'y a eu qu'un seul mort, l'île a compté près de 25 000

sinistrés, notamment dans le sud. Le passage de Feliksa, un an plus tard, a pris une tournure différente puisque surtout marqué par des précipitations dommageables pour les axes routiers. Près de 10 millions d'euros ont été nécessaires pour rétablir la situation.

Plus récemment, le cyclone Gafilo a traversé Madagascar en 2004, passant à 500 km au sud-est des Comores. Les dégâts furent essentiellement agricoles à Mayotte alors qu'Anjouan a dénombré une victime et la destruction d'une bonne partie des infrastructures du front de mer de Mirontsy (route, station service, réseau électrique...), le quartier nord de Mutsamudu, coupant la ville en deux pendant plusieurs mois.

Les effets attendus d'une intensification cyclonique

Les chercheurs restent prudents sur la corrélation entre le réchauffement climatique et les phénomènes cycloniques. Cependant, en grande partie grâce aux données issues des satellites, le lien semble se préciser entre l'augmentation de la température des surfaces océaniques et l'intensité des cyclones. Ainsi, dans l'océan Indien, leur vitesse moyenne enregistrée aurait augmenté de 26 km/h entre 1981 et 2006 passant de 225 km/h à 251 km/h alors que simultanément la température de la surface océanique serait passée de 28.2 à 28.5°C (Elsner *et al.*, 2008). Ce qui conforterait l'idée que le réchauffement des eaux dans le Pacifique et dans l'océan Indien se traduirait non pas par une multiplication des cyclones mais par un renforcement de la proportion des plus puissants qui aurait doublé depuis 1970 (Webster *et al.*, 2005)

Puisque rien ne plaide actuellement pour un impact moindre des cyclones, un principe de précaution doit être observé à leur égard. Le cumul d'un réchauffement de la température moyenne de la surface de l'océan Indien et d'une hausse du niveau marin apportent à la fois des conditions optimales pour la cyclogenèse et pour les effets physiques à la côte. Il ne s'agit peut-être que d'une tendance qui sera vite démentie, mais la hausse régulière des températures avancée par la Figure 4 incite à la plus grande prudence surtout s'il s'avère qu'elle peut être extrapolée à une bonne partie de la zone océanique indienne. Soit de quoi confirmer l'idée de cette intensification des cyclones sans qu'il ne soit possible d'avoir une vue claire de ce que sera leur fréquence (GIEC, 2007).

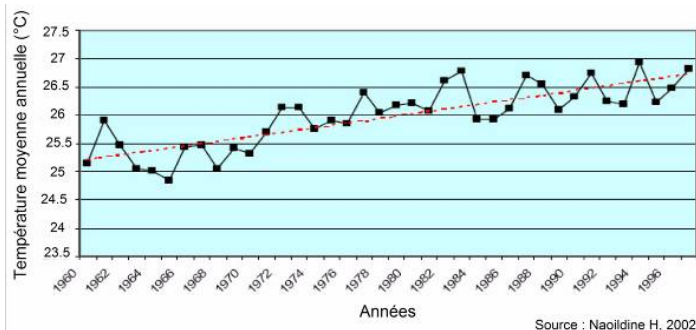


Figure 4 : hausse moyenne de la température dans les Comores depuis 30 ans

Globalement, les prévisions restent approximatives mais sont désormais stabilisées depuis une décennie. Elles avancent régionalement une hausse de 1°C d'ici 2050 et une augmentation du niveau de la mer de 4 mm/an qui atteindrait + 20/22 cm à la même date (IPCC, 2001). Ce qui reviendrait à mettre en péril une bonne part de la population de l'archipel. Rien que les effets de la transgression se solderaient pour l'Union des Comores par la submersion de 734 hectares de terres (Union des Comores, 2002), engendrant la relocalisation de près de 10% des populations bordières du trait de côte. La situation peut d'autant plus devenir critique que l'intensification cyclonique ne se traduirait pas seulement par des pointes de vent plus marquées et des vagues en nette accélération mais aussi, côté terrestre, par des précipitations plus concentrées (Bates *et al.*, 2008). Pour les îles volcaniques des Comores, une telle situation aboutirait à des écoulements plus compétents qui pourraient prendre à revers les populations de plus en plus acculées aux reliefs et alors menacées par des crues ou des mouvements de terrain.

Les études et observations sur le canal du Mozambique restent extrêmement ponctuelles et ne permettent en rien de dresser un tableau fidèle de ce que sont et donc de ce que pourront être les épiphénomènes cycloniques. Les connaissances les plus abouties sont souvent en relation avec Mayotte qui bénéficie des infrastructures les plus stables et des services météorologiques les plus compétents⁴. La mémoire collective y est peut-être aussi la plus entretenue depuis le passage du cyclone Kamisy en 1984 à qui l'on doit la prise de mesures préventives en grande partie à cause de la destruction à 80% du village de Sada dans le sud de l'île. C'est en prenant pour référence cet évènement (quantifié entre 150 km/h à Petite Terre et

⁴ Le Sud-Ouest de l'océan Indien est suivi par le Centre des Cyclones Tropicaux de la Réunion.

200 km/h à Sada avec une pression à l'œil de 969 hPa) que des simulations ont été faites et avancent que le forçage de la houle peut alors avoisiner 6 mètres (De la Torre *et al.*, 2008a). Ce qui ne signifie pas pour autant que les vagues arrivant à la côte atteindraient ces valeurs étant donné que Mayotte bénéficie de la protection de la barrière corallienne qui ceinture l'île quelques kilomètres au large. Ainsi, la surcote observable dans le lagon serait métrique (Jeanson, 2009). Anjouan ne peut pas compter sur la même protection récifale et son ouverture directe sur le large n'est pratiquement pas contrecarrée par les récifs frangeants faiblement atténuateurs des conditions hydrodynamiques extrêmes lors des périodes cycloniques.

Sur ces bases, les comparaisons entre Mayotte et Anjouan ne peuvent donc pas être poussées à l'extrême même si, à une large échelle, l'exposition est globalement la même. Seules les pratiques spatiales et la relation sociétale au littoral peuvent rendre compte du degré de vulnérabilité.

La forte prise de risques de sociétés littorales : la vulnérabilité partagée

Les notions de vulnérabilité et de risque sont fortement liées. Ramenées au sujet, elles sont le composé de l'aléa cyclonique et de la fragilité propre à l'organisation sociale de chaque île. La vulnérabilité peut être à la fois le degré de conséquences prévisibles des phénomènes liés aux changements climatiques ou bien la capacité de réponse d'une société face à une crise potentielle (Dauphiné, 2004). Il est évidemment impossible de traiter de manière exhaustive des incidences liées aux changements climatiques dans l'archipel. Quelques illustrations éclairent cependant sur la dynamique cyndinique commune aux îles. La nature et surtout la localisation des équipements renseignent assez bien cette vulnérabilité partagée par tous les Comoriens.

L'inévitable exposition des établissements humains

Il est singulier de constater que les établissements humains dans ces deux îles répondent à une localisation majoritairement littorale. Du reste, et toute proportion gardée par rapport à leur taille, il peut paraître excessif de vouloir différencier des régions littorales et des régions intérieures : le trait de côte n'étant en définitive jamais qu'à quelques kilomètres. C'est donc plus l'altitude que la distance qui permet d'opposer le littoral au centre des îles. Le cas de la région anjouanaise du Nyumakele est emblématique de cette proximité océanique qui n'a

pourtant aucune incidence majeure. Les villages de ce plateau traditionnellement agricole totalisent plus de 60 000 habitants et des densités dépassant 600 hab./km² (Sibelet et Divone, 1992) dans un contexte d'isolement, c'est-à-dire sans avoir une jonction directe avec le trait de côte.

Cet exemple suffit à démontrer la complexité des cas de figure et que les changements climatiques doivent aussi être paramétrés dans un environnement autre que marin. La littérature sur les cyclones se focalise pourtant sur ce dernier en délaissant les effets moins spectaculaires que peuvent avoir des pluies diluviennes sur les pentes. A ce sujet, les moyennes normales sont assez peu parlantes en raison des écarts interannuels même si elles donnent une idée de ce que peuvent être des précipitations exceptionnelles. Les variations selon les paramètres orographiques sont aussi localement très prégnantes et peuvent faire varier du simple au double la quantité de pluie : de 900 mm à 2 300 mm sur le point culminant de Mayotte, de 1 400 mm à plus de 3 000 mm selon l'exposition à Anjouan (Pascal, 2002). À n'en point douter, il s'agit de contraintes érosives assez fortes sur les secteurs aux sols plus évolués et donc rapidement décapés.

Dans l'absolu, ce n'est pas la surface qui fait défaut dans les îles comoriennes mais plutôt les espaces utilisables. Qu'il s'agisse d'une mise en valeur agricole ou de l'extension du bâti, les zones de faible déclivité sont chose rare et l'occupation des pentes ou des zones de second choix est devenue une obligation. Les informations collectées sur les terrains insulaires sont démonstratives avec, par exemple, cette estimation : 45% de la Grande-Terre mahoraise porte des pentes supérieures à 20% (Gérard, 2006). Cette proportion est obligatoirement plus importante à Anjouan du fait de la jeunesse des formes encore peu retouchées par la morphogenèse qui, dans le cas mahorais, a eu le temps de produire quelques plaines. Ces modestes formes d'accumulation portent les traces d'un colmatage qui n'est pas sans contraster dans les paysages et sans souligner la compétence potentielle des écoulements. Disposer d'espaces relativement plats ne signifie donc pas pouvoir les occuper à loisir du fait de leur caractère inondable.

Dans la même veine, le problème est aussi patent à Anjouan puisque c'est ce manque de place qui entraîne mécaniquement l'augmentation du nombre de localités et de villes bloquées sur un littoral étriqué (op. cit.). L'exposition et la vulnérabilité des populations sont alors croissantes et ce quel que soit leur degré d'appartenance

au littoral puisqu'il n'y a pas de sites réellement satisfaisants (Tableau 2).

Tableau 2. Répartition des localités par rapport au littoral

	Localités > 2 km du rivage	% de population concernée	Localités sur le trait de côte	% de population concernée
Mayotte	8	7,2 %	44	62,9 %
Anjouan	17	18,9 %	25	27,8 %

Source : Gérard, 2006

La répartition est cependant moins tranchée à Anjouan avec un espace rétro-littoral plus densément occupé. C'est aussi là que les structures urbaines sont le plus amenées à évoluer y compris sur le plan technique. C'est le signe de conditions de vie en amélioration mais aussi de pratiques spontanées créatrices de nouveaux impacts sur le trait de côte.

La surenchère de pratiques à risques

Alors que tout plaiderait en faveur de pratiques précautionneuses pour limiter les effets induits des extrêmes météorologiques, force est de constater qu'il n'en est que rarement question. Non par défi ou inconscience, mais plus sûrement car il n'y a pas d'autres alternatives ou solutions techniques locales. La nature des habitations est un des facteurs majeurs qui entre en ligne de compte pour paramétrer le degré de vulnérabilité ou d'exposition des populations. Si la case dite « végétale » faite de palmes tressées est tombée en désuétude, elle reste un mode de logement complémentaire encore largement visible dans les campagnes anjouanaises. Il n'est pas non plus inhabituel de trouver à Mutsamudu des toits-terrasses surmontés d'une construction végétale en attente d'un hypothétique agrandissement en dur (Figure 5). À Mayotte, le cyclone Kamisy en 1984 a clairement démontré qu'un tel habitat se soldait obligatoirement par des sinistrés.



Figure 5. Habitat hybride à Ajouan

C'est cependant plus le développement socioéconomique qui accélère et conditionne le passage aux murs maçonnés que le souvenir collectif d'un cyclone. Moins onéreux et plus rapides à mettre en place, les tôles en acier sont devenues courantes pour la toiture mais aussi bien souvent pour la structure des habitations dans les deux îles. C'est surtout la norme pour les quartiers informels de Mayotte qui remontent inexorablement les pentes des pourtours de Mamoudzou. Directement liés aux arrivées de clandestins des îles avoisinantes, les hauteurs de Cavani ou de Kaweni n'ont de cesse de fabriquer de la précarité qu'un aléa météorologique aurait vite fait de transformer en catastrophe humanitaire. Et ce en dépit des infrastructures sanitaires minimales possédées par le département français naissant. La présence depuis mai 2009 d'un poste de Médecins Sans Frontières⁵ à Kaweni suffit à dire la fragilité de la situation et l'insalubrité qui y règne (Lattard, 2009). A moins d'une inversion brutale des flux migratoires, il paraît difficilement concevable que les bidonvilles mahorais se résorbent. Leur pérennisation est à craindre du fait qu'elle ferait passer pour normale une localisation qui demeurera risquée même si des améliorations étaient apportées aux habitations (Figure 6).



Figure 6. L'entrée de la cuvette de Kawéni

Sauf à vouloir se rassurer, construire en dur est donc une fausse solution dès lors que le site et son substrat ne s'y prêtent pas. Le recours massif aux parpaings peut aussi avoir des effets induits inattendus. Cette mutation technique est clairement engagée à Mayotte et apporte globalement plus de confort tout en engageant les villages à clarifier leur trame. La tendance est la même à Anjouan avec des limites techniques contraignantes du fait de la non structuration des professions du bâtiment et de la filière liée. Le maillon faible étant surtout le manque de granulats nécessaires à la fabrication du béton, à savoir

⁵ A l'exception d'une structure réservée aux demandeurs d'asile en région parisienne, c'est la seule mission de l'ONG ouverte sur le territoire français.

sables et graviers. Pour pallier ce manque, les entrepreneurs ont pris l'habitude de se servir directement dans les stocks sédimentaires des plages. Ces pratiques perdurent mais deviennent difficiles du fait de la disparition pure et simple de nombreuses plages sous l'effet de ces mises en carrière.

Le problème est connu à Anjouan et, depuis 1993, une loi sanctionne même ces pratiques qui demeurent incompressibles puisque les alternatives sont inexistantes en l'absence de concasseurs mécaniques. Les études en la matière sont rares mais attestent la remarquable vitesse de recul du trait de côte et l'efficacité accrue de l'effet des vagues à la côte (Legoff et Noël, 2009). Toutes les conditions sont donc réunies pour que houle et surcote cycloniques soient les plus destructrices pour les équipements littoraux. De quoi relativiser l'impact des cyclones autant renforcé par les pratiques anthropiques que par un changement climatique régional.

C'est un autre processus qui illustre la prise de risque de la société mahoraise. Certes, le recul du trait de côte est une réalité (De la Torre *et al.*, 2008b), mais il ne menace que rarement ou ponctuellement la fonctionnalité des infrastructures. En revanche, le développement économique de Mayotte, tout aussi modeste soit-il, a engendré des choix de localisation pour les activités industrielles qui sont aujourd'hui directement sous la menace de l'effet des changements climatiques. La meilleure illustration est la surprenante zone industrielle de Kaweni construite au cœur d'une mangrove dans un cratère ennoyé. Située immédiatement au nord de Mamoudzou, elle peut être détruite par inondation et fait parallèlement peser la menace de graves pollutions en cas de scénario catastrophe.

Cette zone industrielle n'est pas directement exposée à la houle mais a plutôt à craindre une conjonction de facteurs favorables à une surcote lors d'une période cyclonique. Une superposition d'une forte marée dynamique avec des écoulements volumineux en provenance du bassin-versant n'est pas impossible. C'est en substance la configuration qui a abouti à l'envahissement d'entreprises par un mètre d'eau et de boue lors du passage de la dépression tropicale Feliksa le 15 février 1985 (Audru J-C. *et al.*, 2004). Il faut bien entendu relativiser les choses, puisqu'il ne s'agissait que d'une dépression tropicale et que cet événement date de plus d'un quart de siècle. Depuis, l'urbanisation a gagné du terrain et la zone industrielle s'est agrandie vers le nord mais surtout vers les terrains les plus en aval, nécessitant

des remblaiements hétérogènes. Il est alors difficilement concevable que les risques liés à un cyclone ne se soient pas accrus, ne serait-ce qu'en raison de l'imperméabilisation des sols revêtus sur les pentes (Figure 7).

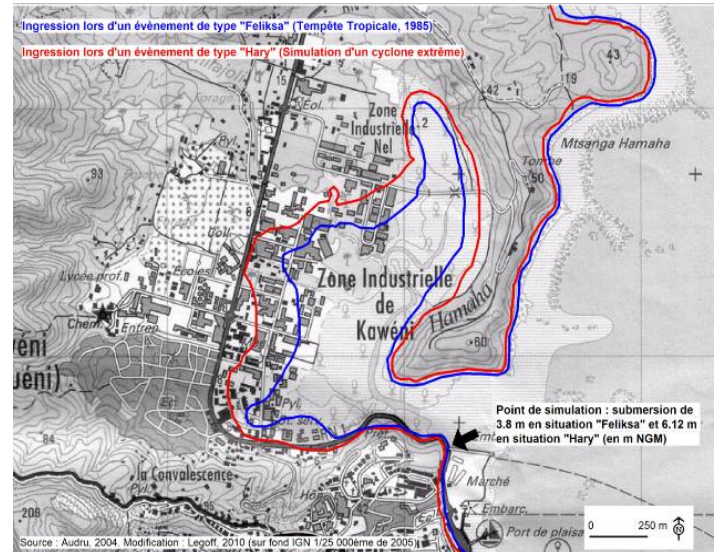


Figure 7. Submersion potentielle de Kaweni en cas de surcote

La Figure 7 qui s'appuie sur des travaux du BRGM rend compte de cette réalité. A partir de deux situations météorologiques, celle de Feliksa en bleu et d'une autre théorique présentant en rouge l'ingression engendrée par un cyclone extrême (baptisé Hary pour les besoins de la simulation), on note clairement que les surfaces émergées touchent les établissements industriels. Cette étude a été initialement réalisée à partir d'un support cartographique datant de 1985. Elle est ici présentée sur une base plus complète révisée en 2005 qui donne un meilleur aperçu de l'extension des bâtiments.

La mise en place d'une gestion des risques : vers une vulnérabilité différenciée et une durabilité hypothéquée

Gérer un risque météorologique local ou pire encore climatique régional demande de pouvoir s'appuyer sur des paramètres stables ou des perspectives fiables sur le long terme. Un des points d'achoppement pour les deux îles est de ne pas savoir précisément vers qui doit être orientée une telle gestion. Autrement dit, il y a nécessité de disposer de données à la fois quantitatives et qualitatives sur la population.

Gérer les risques cycloniques : une question de démographie et de foncier

Les chiffres deviennent globalement fiables du côté du Mayotte et le dernier recensement de 2007 annonce avec précision 186 452 habitants (INSEE, 2007). Ce qui ne peut constituer qu'une hypothèse basse puisqu'il est difficilement concevable que l'ensemble des clandestins aient été englobés dans des enquêtes calquées sur une démarche métropolitaine. Ainsi sont logiquement incorporées dans les statistiques toute personne résidant sur le territoire pour une durée au moins égale à six mois. Ce qui n'exclue nullement les personnes en situation irrégulière mais on peut douter qu'elles aient répondu à l'appel des recenseurs. La comparaison doit surtout être faite avec la précédente estimation de 2002 qui faisait part de 160 262 habitants sur l'île. Cette croissance de plus de 25 000 habitants en cinq années suffit à alerter et à faire douter d'une possible gestion en cas de passage cyclonique. La forte croissance démographique s'explique en effet plus par l'immigration que par la natalité, fut-elle importante (près de 8 000 naissances par an). Ce détail est important puisqu'il ne signifie pas un agrandissement des cellules familiales mais bien l'implantation de nouvelles familles et donc la multiplication des parcelles bâties. Les deux communes voisines de Mamoudzou, à savoir Koungou au Nord et Dembeni au Sud ont ainsi explosé lors de la dernière période intercensitaire avec des croissances respectives de 95% et 83% et l'ajout d'autant de pauvreté. C'est cette concentration qui fait dire aux services de Météo France que par rapport aux années 1980, la vulnérabilité de l'île a augmenté (Camuzard, 2010).

Il est délicat d'en savoir plus sur les 252 000 personnes recensées en 2004 à Anjouan. La natalité y est certes vive, mais elle est à mettre en balance avec le flux sortant de migrants vers Mayotte. Dans ce jeu migratoire de vases communicants, les incertitudes sont grandes et les estimations prennent le pas sur la précision. Il n'y a objectivement aucune raison qui permette de penser que les flux en provenance d'Anjouan vont arrêter de nourrir les bidonvilles de Mayotte. Les renversements politiques sont trop fréquents dans l'Union des Comores pour qu'une véritable dynamique de développement puisse se mettre en marche et réduire le nombre de candidats à l'exil.

Si le front démographique est mobile du côté d'Anjouan, il est clairement pionnier du côté mahorais. La situation n'incite donc pas à l'ancrage d'une mémoire collective pourtant nécessaire face aux aléas climatiques. Entre une mémoire qui se délite d'un côté en perdant des habitants et une autre qui est loin de se construire, il est impossible de compter sur une conscience commune du risque

cyclonique qui est pourtant le plus probable et le plus transversal à l'archipel⁶.

À ces lacunes culturelles s'ajoute une mainmise mal assurée sur le foncier. Dans une société où le droit coutumier et la justice cadiale pèsent encore lourdement, le travail des administrations pour clarifier les droits des propriétaires est des plus difficiles car la population n'en ressent pas la nécessité. Avancer sur des bases mal assurées est aussi périlleux, comme en témoignent les chantiers administratifs mahorais : mise à plat de l'état civil, du cadastre, généralisation des procédures métropolitaines (permis de construire, Plans Locaux d'Urbanisme...). Ramenées à la problématique des incidences propres aux changements climatiques, ces démarches sont pourtant des éléments incontournables sans lesquels il est impossible de planifier quoique ce soit en matière de risque. Les situations sociodémographiques sont généralement éphémères tant les mouvements migratoires intra et inter îles peuvent être volumineux, ce qui obligera certainement à revoir très fréquemment les schémas de prévention des risques.

La planification mahoraise, un exemple pour les autres îles ?

L'évidente avance mahoraise en matière de mise en sécurité de la population doit donc être relativisée par l'anarchie démographique qui vient d'être évoquée. Aussi importants que puissent être les efforts de la Préfecture et plus particulièrement du Service interministériel de défense et de protection civiles (SIDPC), la non maîtrise démographique maintiendra toujours un doute sur leur mise en pratique effective. Dans les Dossiers de Risques Majeurs (DRM) qui ont été établis figure en bonne place la donne climatique. Mais ces publications sont avant tout symboliques de l'alignement sur le droit français puisque les DRM constituent des obligations légales. Il appartient ainsi au Préfet, dans le cadre d'un volet préventif, de mener à bien des études visant à informer les citoyens des risques auxquels ils sont soumis sous tout ou partie de leur territoire. Cette information préventive est imposée par la loi du 22 juillet 1987 sur la sécurité civile puis reprise dans l'article L 125.2 du Code de l'environnement. Pour Mayotte,

⁶ Le travail réalisé par les Archives Départementales de Mayotte sur le cyclone Kamisy de 1984 est en ce sens éclairant. Ce dernier avait été d'autant plus ravageur que seuls les plus âgés pouvaient témoigner de ce qu'était un véritable cyclone et ainsi mettre en garde. Aujourd'hui, c'est le souvenir même de cet épisode qui disparaît progressivement. Bien peu de personnes sont capables de le nommer, de le dater ou de relater ses conséquences. Qui se souvient en effet qu'à l'époque, la République Islamique des Comores avait apporté une aide alimentaire décisive aux sinistrés mahorais ?

son application est à dater de 2004 avec des conclusions à l'échelle communale qui ont pu être réalisées grâce à une série d'études conduites par le BRGM (Préfecture de Mayotte, 2004).

Ces travaux ne font que constater des situations pour le moins délicates qui rendent la planification bien souvent impossible. L'aspect spontané et illégal d'une majorité d'habitations va de paire avec cette gestion qui, au mieux, ne peut se faire qu'à la marge. Il est possible que l'arsenal législatif français n'arrive que trop tardivement à Mayotte et ne soit de fait inapplicable. Ainsi, selon l'article L 562-1 du Code de l'environnement, dans les zones exposées aux risques les constructions sont soit interdites, soit soumises à de contraignantes conditions de réalisation : éviter de construire en bordure du littoral, ne pas construire dans le lit majeur, sur un versant soumis aux instabilités de terrain... ce qui revient catalogue complet de ce qu'il est possible de constater à Mayotte. Pour contrecarrer tant bien que mal cet état de fait et particulièrement la nature médiocre des constructions, l'alerte rouge est déclenchée à Mayotte à partir de 120 km/h de vent contre 150 km/h à la Réunion.

Conformément à la législation, le risque cyclonique est décrit pour chaque commune dans les Documents d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) grâce à des fonds cartographiques au 1/25 000ème : concrètement, c'est bien la préfecture qui garde la main en matière d'intervention. Pour ce faire, elle s'appuie sur le Centre météorologique régional spécialisé (CMRS) de Saint Denis de la Réunion qui est le référent local pour l'organisation météorologique internationale. C'est lui qui assure la veille cyclonique et propose des trajectoires potentielles qui sont directement à l'origine du déclenchement de l'alerte et, le cas échéant, de la mobilisation des services adéquats (Tableau 3).

L'avancée d'Anjouan comme du reste des Comores en matière de prévention des risques climatiques ne peut être aussi nette que pour Mayotte et les efforts se focalisent sur l'urgence et donc sur la gestion de crise. Ce qui ne veut pas dire que le problème soit pris avec légèreté par les dirigeants politiques, aussi éphémères soient-ils. Dès que l'occasion est donnée de s'exprimer sur cet aspect au niveau international, le discours est même bien rôdé et débouche inexorablement sur des demandes d'assistance technique. Un Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques (PANA) a même clairement été établi sans qu'il puisse voir le jour faute d'un contexte politique propice. Une demande récurrente concerne le

Service national de météorologie qui, faute de moyens, est limité dans son fonctionnement (Union des Comores, 2002). C'est pourtant le maillon essentiel dans l'observation des changements climatiques et à plus court terme pour le déclenchement des procédures d'alerte cyclonique.

Tableau 3. Comparaison des systèmes d'alerte cyclonique

SYSTEMES D'ALERTE CYCLONIQUE	
Mayotte	Anjouan
Veille assurée par le CMRS de la Réunion	Veille assurée par la Direction de la Météorologie Nationale
Alerte donnée par les services de la Préfecture.	Alerte donnée par la Direction Nationale de la Protection Civile (Ministère de la Défense et de la Sécurité du Territoire)
Vigilance cyclonique : perturbation cyclonique dans la zone	Phase 1 : alerte générale (observation, menace vague pour le territoire)
Alerte orange : danger dans l'île pour les 24 heures (phase diffusée au public, fermeture des établissements scolaires)	Phase 2 : avis de menace (danger pour le territoire national)
Alerte rouge : cyclone affectant l'île dans les heures qui viennent (arrêt total des activités, mise en sécurité de la population)	Phase 3 : menace certaine (danger certain pour le territoire national)
Fin de menace cyclonique : danger écarté.	Phase 4 : danger imminent (cyclone touchera le territoire)
	Phase 5 : fin de menace (préavis de 4 à 6 heures)

D'autres maillons de la chaîne sont problématiques car l'organisation se fait à l'échelle de l'Union des Comores et non de chaque île. Il y a ainsi une très forte dépendance de structures dont on ne sait si elles sont réellement efficaces voire impartiales au vu des tensions inter-îles. Faire ainsi du Ministère de la Défense la pierre angulaire du système est soumis à caution. La question doit être posée de l'utilité d'une organisation décentralisée plutôt que d'une structure fédératrice qui ne résiste généralement pas aux bouleversements politiques chroniques. Dans les faits, les carences des services météorologiques comoriens sont palliées par une collaboration informelle avec les CMRS et Météo France Mayotte.

Conclusion

Dans le contexte de changements climatiques, l'archipel des Comores a surtout à craindre que les phénomènes cycloniques n'occupent une place de plus en plus

prépondérante. Le dernier épisode notable date de plus d'un quart de siècle et paradoxalement le doute persiste sur la capacité à se prévenir et à gérer un tel évènement. Du fait de leur isolement, Anjouan et Mayotte doivent surtout compter sur elles-mêmes pour minimiser les risques. Ces derniers sont en outre inévitables du fait de l'exposition des établissements humains sur des littoraux peu propices à des situations d'abri et largement saturés. Il ressort aussi que la relation entre le niveau de développement et le degré de risque n'est pas simple à établir du fait de l'interdépendance entre ces deux îles. Le système de prévention et de gestion des crises est certes des plus précaires à Anjouan mais cette île induit aussi une précarisation de la situation mahoraise.

En clair, les flux migratoires incontrôlés entre Anjouan et Mayotte sont responsables d'une explosion démographique et surtout de l'étalement spontané d'un bâti rudimentaire et inadapté aux conditions climatiques extrêmes. Les constructions cumulent lacunes techniques et localisations en des lieux inappropriés à toute installation comme les secteurs de forte pente. Il ne peut qu'y avoir un décalage entre les planifications, aussi sérieuses soient-elles, et ce que serait la réalité d'une catastrophe liée au passage d'un cyclone. La raison n'a pas non plus toujours été de mise dans le développement socioéconomique de Mayotte si bien qu'une bonne partie de son activité économique pourrait être réduite à néant du simple fait de la présence d'une houle ou d'une surcote marquée.

Plus globalement, il y a nécessité d'une coopération entre Mayotte et Anjouan voire plus globalement à l'échelle du canal du Mozambique. Elle existe déjà de manière informelle par le truchement du CMRS de la Réunion. Mais c'est en termes d'aide technique qu'il y a le plus de choses à construire en mutualisant autant les connaissances que les moyens d'intervention.

Bibliographie

- Audru, J.-C., A. Bitri, J.-F. Desprats, C. Mathon, N. Maurillon, J.-L. Nédellec, O. Jossot, J.-P. Rançon, P. Sabourault, O. Sedan, M. Terrier-Sedan et N. Zornette, 2004, *Atlas des aléas naturels à Mayotte (communes de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi)*, Rapport BRGM/RP-53037-FR, 135 p.
- Bates, Kundzewicz, Wu et Palutikof (éd.), 2008: *Le changement climatique et l'eau*, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
- Camuzard, J., 2010, "Cyclones : Mayotte plus vulnérable qu'en 1984", In *Upanga* n°18.
- Dauphiné, 2004, *Risques et catastrophes*, Armand Colin, Paris, 288 p.

- De La Torre, Y., S. Lecacheux, R. Pedreros, Y. Balouin, 2008a, "Modélisation de la houle cyclonique dans le lagon de Mayotte". *Journées Nationales Génie Côtier- Génie Civil*, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, pp. 325-334.
- De La Torre, Y., K. Rasoamanana et L. Françoise, 2008b, *Atlas des plages de Mayotte*, phase 2. BRGM/RP-56866-FR, 140 p.
- Elsner, J.B., H.J. Kossin et T.H. Jagger, 2008, "The increasing intensity of the strongest tropical cyclones", In *Nature*, n°455, pp. 92-95.
- Gérard, Y., 2006, *Transformations urbaines et dynamiques résidentielles dans l'archipel des Comores*, thèse de doctorat, Université de la Rochelle, 389 p.
- GIEC, 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- Graviou, P., J.-P. Rançon et N. Hubert, 2006, *Curiosités géologiques de Mayotte*, BRGM Editions, 96 p.
- Guébourg, J.-L., 2006, *Petites îles et archipels de l'océan Indien*, Karthala, Paris, 256 p.
- INSEE, 2007, *INSEE Infos* (spécial RGP de Mayotte), n°32, 4 p.
- IPCC, 2001, "Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC/START/TWAS)", AIACC Research Project – Indian Ocean, April 9, 2002.
- Jeanson, M., 2009, *Morphodynamique du littoral de Mayotte, des processus au réseau de surveillance*, thèse de doctorat, Université du littoral Côte d'Opale, 353 p.
- Lattard, H., 2009, "A Mayotte, la chasse aux clandestins aggrave la situation sanitaire", In *Le Monde* du 14/10/09.
- Lecacheux, S., Y. Balouin et Y. De La Torre, 2007, *Modélisation des vagues d'origine cyclonique à Mayotte*, BRGM/RP-55981-FR, 100 p.
- Legoff, N. et J. Noël, 2009, *Le littoral anjouanais : éléments pour la mise en place d'actions d'aide au développement*, AOAA / LETG-CNRS, 47 p.
- Météo France, 2003, *Atlas climatique de la Réunion*, 80 p.
- Naoildine, H. et A. Ahmed, 2002, "Effets des émissions de gaz à effet de serre sur le climat dans l'archipel des Comores", In *Ya Mkobe*, n° 8-9.
- Pascal, O., 2002, *Plantes et forêt de Mayotte*, Paris, MNHN, 108 p.
- PNUD, 2007, *Coopération inter-agences sur le relèvement après les catastrophes aux Comores*, 24 p.
- Préfecture de Mayotte, 2004, *Dossier des risques majeurs (1^{ère} édition)*, 40 p.
- Sibelet, N. et Ph. Divone, 1997, "La face cachée d'une situation prétendue figée (Niumakélé, Comores)", In *La ruralité dans les pays du sud à la fin du XX^{ème} siècle*, IRD Editions, pp. 663-674.
- Taglioni, F., 2008, "L'île d'Anjouan figure de la balkanisation de l'archipel des Comores", *EchoGéo*, Sur le vif 2008, [En ligne], mis en ligne le 02 septembre 2008. URL : <http://echogeo.revues.org/index7223.html>. Consulté le 21 février 2010.
- Union des Comores, 2002, *Communication Nationale Initiale sur les changements Climatiques (résumé exécutif)*, 12 p.
- Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry et H.-R. Chang, 2005, "Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment", In *Science*, Vol. 309, pp. 1844-1846.