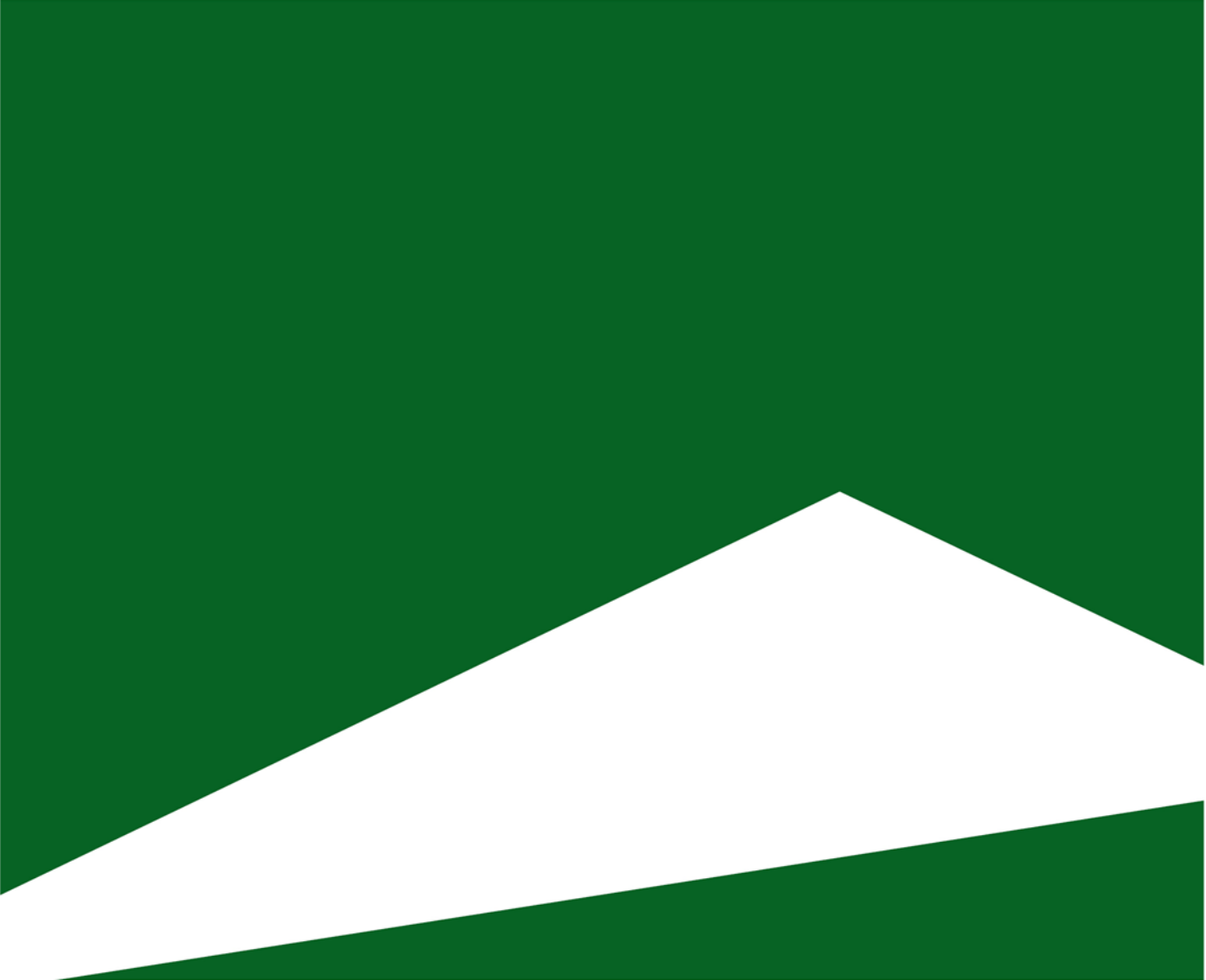




Southwest Indian Ocean Risk Assessment Financing Initiative (SWIO-RAFI) :

1^{ère} composante - Aléa

Rapport FINAL soumis à la Banque mondiale

1^{er} juin 2016

Copyright

2016 AIR Worldwide Corporation. Tous droits réservés.

Marques

AIR Worldwide est une marque déposée dans l'Union européenne.

Confidentialité

AIR investit des ressources importantes dans le développement de ses modèles, méthodologies de modélisation et base de données. Ce document contient des informations exclusives et confidentielles. Il est destiné à l'usage exclusif des clients d'AIR qui sont soumis aux restrictions prévues par les dispositions en matière de confidentialité stipulées dans la licence et d'autres accords de confidentialité.

Coordonnées

Pour toute question concernant ce document, contactez :

AIR Worldwide Corporation
388 Market Street, Suite 750
San Francisco, CA 94111
États-Unis
Tél. : (415) 912-3111
Fax : (415) 912-3112



Table des matières

Sommaire.....	1
1 Introduction	2
1.1 Limitations.....	3
2 Catalogue et analyse d'aléas	4
2.1 Cyclone tropical	4
2.1.1 Vent.....	7
2.1.2 Aléa lié aux précipitations et d'inondation.....	9
2.1.3 Inondation liée à une marée de tempête	12
2.1.4 Résumé des conséquences des cyclones tropicaux	14
2.2 Inondation liée à un cyclone extratropical	14
2.2.1 Résumé des conséquences des inondations des cyclones extratropicaux	18
2.3 Séisme.....	18
2.3.1 Secousse sismique	20
2.3.2 Tsunami (TS).....	22
2.3.3 Résumé des conséquences de séisme	23
2.4 Glissement de terrain (Comores).....	24
2.5 Résumé et limitations des données	26
3 Profils d'aléa.....	28
3.1 Comores	31
3.2 Madagascar	32
3.3 Maurice	33
3.4 Seychelles.....	34
3.5 Zanzibar	35
3.6 Événements marquants	36

4	Annexe A – Documentation détaillée relative au modèle	42
4.1	Cyclone tropical	42
4.1.1	Génération d'événement	42
4.1.2	Statistiques sommaires du catalogue stochastique.....	49
4.1.3	Calcul de l'intensité locale.....	55
4.1.4	Inondation liée à une marée de tempête	67
4.1.5	Références	72
4.2	Non-Tropical Inondations Cyclone	74
4.2.1	Génération de catalogue stochastiques pour Non-Tropical Pluie Cyclone.....	76
4.2.2	Non-Tropical précipitation induite par le Cyclone	78
4.2.3	Non-Tropical Inondations Cyclone	80
4.2.4	L'analyse d'aléas de précipitations	81
4.3	Tremblement de terre.....	105
4.3.1	Les tremblements de terre dans le sud-ouest de l'Océan Indien	105
4.3.2	Calcul de l'intensité locale.....	133
4.3.3	Les tsunamis dans l'océan Indien du Sud-Ouest	143
4.3.4	Références	151
4.4	Glissement de terrain	154
4.4.1	Introduction	154
4.4.2	La susceptibilité de glissement.....	154
4.4.3	Bref résumé des méthodologies	155
4.4.4	Sources des données	156
4.4.5	Les hypothèses et les limites de la méthodologie et des données	161
4.4.6	Résultats et discussion.....	162
4.4.7	Conclusion	165

4.4.8	Références	167
5	Annexe B - Base de données conséquence	170
5.1	Suite Base de données pour les cyclones tropicaux et les inondations	170
5.1.1	Sources des données	170
5.1.2	Explication de la base de données Les données et les champs de données	171
5.1.3	Discussion des événements importants	173
5.1.4	Statistiques de la base de données	178
5.1.5	Statistiques de la base de données des cyclones tropicaux	181
5.1.6	Statistiques de la base de données des inondations	184
5.1.7	Statistiques de la base de données des glissements.....	186
5.2	Suite Base de données pour les tremblements de terre et Tsunami.....	186
5.2.1	Sources des données	186
5.2.2	Explication de la base de données Les données et les champs de données	187
5.2.3	Discussion des événements importants	189
5.2.4	Statistiques de la base de données	192
5.2.5	Statistiques de la base de données des glissements.....	195
5.3	Références	196
	A PROPOS D'AIR Worldwide Corporation	198

Table des illustrations

Illustration 1: Domaine du modèle de cyclone tropical d'AIR pour le bassin sud-ouest de l'Océan indien	5
Illustration 2: Trajectoires de tempête par catégorie sur l'échelle de Saffir-Simpson pour un historique de 65 ans (à gauche) et une période de 65 ans choisie de manière aléatoire dans le catalogue stochastique (à droite)	6
Illustration 3: Comparaison de probabilités historiques et simulées de compte annuel pour les cyclones tropicaux dans le domaine du modèle	6
Illustration 4: Comparaison de fréquences saisonnières à la genèse historiques et simulées pour les cyclones tropicaux dans le domaine du modèle	7
Illustration 5: Comparaison de vitesse de vent de cyclone tropical modélisée et relevée (1 minute à 10 km) pour Madagascar (à gauche) et Maurice (à droite)	8
Illustration 6: Comparaison d'empreintes modélisées du vent et des relevés météorologiques (1 minute à 10 km) pour les cyclones tropicaux Hollanda (Maurice, 1994) et Giovanna (Madagascar, 2012)	9
Illustration 7: Comparaison des précipitations cumulatives de la TRMM et modélisées pour les cyclones tropicaux entre 1998 et 2014 (à gauche). Comparaison des relevés pluviométriques GSOD et des précipitations modélisées pour les cyclones tropicaux entre 1979 et 2015 (à droite).	11
Illustration 8: Empreinte des précipitations pour le cyclone tropical Giovanna (2012) sur la base des données TRMM (à gauche) et d'après la modélisation AIR (à droite)	11
Illustration 9: Empreintes modélisées de marée de tempête pour les cyclones tropicaux Giovanna (2012, à gauche) et Hellen (2014, à droite) à Madagascar.....	13
Illustration 10: Comparaison de hauteurs modélisées de marées de tempête des modèles GDACS et AIR	13
Illustration 11: Illustration de résultats d'interprétation climatologique de précipitations liées aux cyclones extratropicaux : précipitations TRMM provoquées par le cyclone Eline (à gauche) et précipitations liées aux cyclones extratropicaux correspondantes (à droite)	15
Illustration 12 : Comparaison de la moyenne historique des précipitations annuelles mesurées par la TRMM avec le point du réseau TRMM sélectionné pour les Comores. Les barres bleues représentent les précipitations annuelles moyennes pour toutes les années (1998-2013), et les barres vertes correspondent à la station TRMM sélectionnée. La ligne rouge indique le pourcentage d'erreur pour chaque année.	17
Illustration 13 : Domaine du modèle de séisme d'AIR pour la région sud-ouest de l'Océan indien	19
Illustration 14 : Catalogues historique (à gauche) et stochastique (à droite) d'événements sismiques sur 114 ans	20

Illustration 15 : Distributions de fréquences-amplitudes modélisées et historiques dans le sud-ouest de l'Océan indien (à gauche), et distributions de profondeurs historiques et modélisées dans le sud-ouest de l'Océan indien (à droite)	20
Illustration 16 : Mouvement de terrain modélisé par AIR (à gauche) et l'USGS (à droite), séisme de Madagascar de 1991	22
Illustration 17 : Comparaison entre la carte modélisée du tsunami des Seychelles (à gauche) et celle de l'inondation causée par le tsunami de 2004 dressée par le PNUD (à droite) pour l'île de Mahé.....	23
Illustration 18 : Cartographie de susceptibilité aux glissements de terrain pour les Comores, par île, sur laquelle les glissements de terrain historiques figurent en noir (résolution : 90 m x 90 m)	25
Figure A.1. Domaine du modèle Typhoon d'AIR pour le bassin du SOOI	44
Figure A.2. La probabilité annuelle cyclones tropicaux simulés touchant terre- Madagascar	45
Figure A.3. Distribution des événements historiques par mois pour le domaine modélisé	45
Figure A.4. Emplacements historiques de genèse de tempêtes (à gauche) et emplacements ajustés de formation de tempêtes (à droite)	46
Figure A.5. Probabilité de tempête simulée par catégorie d'intensité touchant terre - Madagascar.....	48
Figure A.6. Comparaison de la fréquence saisonnière historique et simulée à la genèse pour les cyclones tropicaux dans le domaine modélisé	50
Figure A.7. Comparaison du nombre annuel de probabilités simulées et historiques pour les cyclones tropicaux dans le domaine modélisé	50
Figure A.8. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Madagascar	51
Figure A.9. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Île Maurice	51
Figure A.10. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Comores	51
Figure A.11. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Seychelles	52
Figure A.12. Comparaison de trajectoires de tempête historiques (à gauche) et modélisées (à droite) pour une période de 65 ans	52
Figure A.13. Comparaison de l'intensité historique et simulée au moment de toucher terre - Madagascar	53
Figure A.14. Comparaison de l'intensité historique et simulée au moment de toucher terre – Maurice	54

Figure A.15. Densité de la trajectoire des tempêtes en fonction des événements historiques (à gauche) et simulés (à droite)	54
Figure A.16. Relation entre la vitesse du vent et la pression centrale	56
La Figure A.17. Effets de la topographie sur le vent.....	58
La Figure A.18. Effets du terrain sur les profils de vitesse de vent (adapté de Cook)	59
La Figure A.19. Exemple de facteurs de friction de l'air utilisés dans le modèle de bassin Indien du sud-ouest de Madagascar	61
La Figure A.20. Exemple de facteurs des rafales d'air utilisé dans le modèle de bassin Indien du sud-ouest de Madagascar	62
La Figure A.21. Les taux de précipitation moyenne modélisée par l'intensité des tempêtes.....	64
La Figure A.22. Représentation de l'écoulement de surface (Routage Rojas et al. 2003)	67
La Figure A.23: Comparaison de hauteurs modélisées de marées de tempête des modèles GDACS et AIR.....	71
La Figure A.24. Illustration des résultats à partir de la climatologie des précipitations NTC construction à deux pas de temps : 2-17-03Z (en haut) et 2-17-15Z (en bas). Total des précipitations TRMM, y compris celle du cyclone Eline (à gauche), et les précipitations connexes NTC (droite).....	75
La Figure A.25. L'activité des cyclones tropicaux dans le bassin du SOOI pour 2000 (a) et que le total des précipitations TRMM (b), (c) précipitations NTC, cyclone tropical rainfall (d), et le pourcentage de contribution de cyclone tropical rainfall (e)	76
La Figure A.26. Composition des événements de précipitations pour les 7-5 jours article. Barres bleues sont tous les jours de pluie, NTC dash rouge représentent le cumul des précipitations pendant la période de tempête, magenta solides représentent le moment du début de l'événement précédent sommet à l'autre événement pic vert et fort solide représente la durée du pic précédent au début de la prochaine tempête	80
La Figure A.27. TRMM points de grille couvrant la grande île des Comores. Le point mis en évidence en cyan représente la cellule de grille TRMM sélectionné	82
La Figure A.28. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le point sélectionné TRMM.....	83
La Figure A.29. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles au Comores areal	84

La Figure A.30. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC Événements par an pour les Comores	85
La Figure A.31. Hydroclimatologie D'après la représentation de zone de points de grille TRMM dans Madagascar. Les points mis en évidence en cyan représentent le TRMM sélectionné les cellules de la grille.....	86
La Figure A.32. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique la station de TRMM sélectionné pour chaque zone ; (a) zone 1, (b) la zone 2, zone 3 (c), (d) la zone 4, et (e) zone 5. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.....	87
La Figure A.33. Comparaison des précipitations TRMM NTC observée avec les données historiques pour la jauge de pluie NTC période de mai à octobre. Barres bleues indiquent les précipitations TRMM NTC de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique les précipitations observées ; (a) Comparaison du total annuel des précipitations de la période historique à partir de 1998-2013, et (b) Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations pour la même période historique.	88
La Figure A.34. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour chaque numéro de zone	89
La Figure A.35. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles à travers Madagascar areal.....	90
La Figure A.36. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC événement événement par année pour Madagascar	91
La Figure A.37. Comparaison entre le CNT La fréquence d'apparition des événements de précipitation du NTC données TRMM (à gauche) et celui de la stochastique le catalogue (à droite).....	92
La Figure A.38. TRMM points de grille couvrant les principales îles de l'île Maurice. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.	92
La Figure A.39. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.	94
La Figure A.40. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles en Australie areal.....	94
La Figure A.41. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC événement événement par année pour l'Ile Maurice.....	95
La Figure A.42. TRMM points de grille couvrant les îles intérieures des Seychelles. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.	96

La Figure A.43. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.	97
La Figure A.44. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles dans les Seychelles areal	98
La Figure A.45. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC Événements par an pour les Seychelles.....	99
La Figure A.46. TRMM points de grille couvrant principales îles de Zanzibar. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.....	100
La Figure A.47. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.	101
La Figure A.48. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles areal à Zanzibar	102
La Figure A.49. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC événement événement par année pour Zanzibar.....	103
La Figure A.50. Les couches de la Terre à une zone de subduction	106
La Figure A.51. L'intégralité des données d'enregistrement historique et auxiliaire, en fonction de la dimension de la source sismique	110
La Figure A.52. La distribution de l'échantillon Gutenberg-Richter	111
Figure A.53. Plaques tectoniques dans l'Afrique subsaharienne et le Sud-Ouest de l'Océan Indien (source : Horner-Johnson et coll., 2007).....	112
La Figure A.54. Les manifestations des événements dans le séisme au Sud-Ouest de l'Océan Indien	114
La Figure A.55. Pour le domaine modélisé Modèle de tremblement de l'air et sub-saharienne au sud-ouest de l'Océan Indien	115
La Figure A.56. La sismicité historique par l'ampleur.....	116
La Figure A.57. Des erreurs dans le Sud-Ouest de l'Afrique sub-saharienne et Océan Indien.....	117
La Figure A.58. Zones de sources sismiques modélisées dans le Sud-Ouest et subsaharienne Océan Indien ...	119
La Figure A.59. Zones de sources sismiques 8 (droit) et 23 (à gauche) dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien	120

La Figure A.60. Schéma de la procédure utilisée pour modéliser le taux de moment sismique	122
La Figure A.61. Vitesse GPS Observations provenant de l'Afrique subsaharienne 1,0 Modèle de déformation géodésiques (<i>Stamps et al</i> , 2015) et calculé les taux annuels de moment dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien	123
La Figure A.62. A) représentation schématique de la distribution spatiale des séismes historiques dans le domaine modélisé ; et b) la distribution spatiale de la sismicité sur grille lissée	125
La Figure A.63 La redistribution dans les profondeurs . Au sud-ouest de l'océan Indien pour l'intérieur des terres (à gauche) et de l'océan (à droite) les tremblements de terre à l'aide de l'EHB (1998) catalogue.	127
La Figure A.64. 10 000 ans dans le catalogue stochastiques indépendants au Sud-Ouest de l'Océan Indien.....	128
La Figure A.65. Profondeur focale	129
La Figure A.66. Historique Frequency-Magnitude modélisés par rapport aux distributions dans le sud-ouest de l'Océan Indien	131
La Figure A.67. Le modèle par rapport à l'ampleur historique les répartitions dans le sud-ouest de l'Océan Indien	131
La Figure A.68. Le modèle par rapport à la profondeur historique des distributions de probabilité cumulative	133
La Figure A.69. Le modèle vs profondeur historique les répartitions dans le sud-ouest de l'Océan Indien	133
La Figure A.70. Classification NEHRP Carte du sol dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien.....	137
La Figure A.71. Comores : la masse maximale à l'accélération horizontale de 100 ans de la période de retour.	140
La Figure A.72. Madagascar (à gauche) et Maurice (à droite) à l'accélération au sol horizontal 100 ans de la période de retour.	140
La Figure A.73. Seychelles (à gauche) et de Zanzibar (à droite) un sol horizontal pointe l'accélération au 100 ans de la période de retour.	141
La Figure A.74. AIR (à gauche) vs USGS (droite), le mouvement du sol Modèle 1985 Madagascar tremblement de terre	142
La Figure A.75. AIR (à gauche) vs USGS (droite), le mouvement du sol Modèle 1991 Madagascar tremblement de terre	142
La Figure A.76. Une illustration du mécanisme de la formation du tsunami dans les zones de subduction (source : Wikipedia)	143

La Figure A.77. Un exemple d'un tsunami pré-calculé sur la simulation de panne de la sonde dans l'interface de validation.....	144
La Figure A.78. Cadre tectonique de la région du SOOI (source : IRIS, Google).....	146
La Figure A.79. Les zones d'aléa de tsunami pour Zanzibar	147
La Figure A.80. Certaines zones à aléa de tsunami pour Madagascar.....	148
La Figure A.81. Comparaison entre les Seychelles carte tsunami modélisés (à gauche) et tsunami de 2004 l'inondation par le PNUD (à droite) pour l'île de Mahé.....	149
La Figure A.82 Carte de l'utilisation des terres de l'archipel des Comores (île de Grande Comore, Anjouan, et Mohéli) développés dans le cadre du projet d'impliquer la communauté Développement Durable (pharmacodépendance) à partir des images satellite haute résolution (PNUD Comores 2014).....	159
La Figure A.83 Site de 0,5 km de MODIS Global Land Cover Climatologie de l'Institut de la couverture terrestre de l'USGS	159
La Figure A.84 Données SRTM 90 mètres de résolution (Shuttle Radar Topography Mission SRTM, GL)).....	159
La Figure A.85 L'île de Grande Comore descriptions du sol. Les espaces blancs indiquent les domaines de l'information aucune et coïncident avec l'emplacement des deux volcans boucliers de la grille et le Mont Karthala. (PNUD Comores 2014)	160
La Figure A.86 L'île d'Anjouan descriptions du sol (PNUD Comores 2014).....	160
La Figure A.87 Les données de la base de données harmonisée des sols du monde (FAO et al. 2012).....	161
La Figure A.88 Emplacements des glissements précédent pour l'Union des Comores sont indiqués en brun (2011) Soule et Abdoukarim	161
La Figure A.89 La susceptibilité de glissement de zonage pour les Comores par island avec glissements historiques illustré en noir (90 m x 90 m de résolution)	164
La Figure A.90 Site affecté environ 2 kilomètres de la ville de Ouallah 1 à Mohéli (Source : Mansourou, 2014)	165
La Figure B.1 Le cyclone tropical Giovanna (2012) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Giovanna Feb 13 2012 0630Z par la NASA image par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC ; (droite) Giovanna 2012 suivi par Keith Edkins - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit].....	174

La Figure B.2 (à gauche) l'Inondation du Vovouni Village, avril 2012 et (à droite) a détruit Routes et ponts à Hambou, Grande Comore, avril 2012 (Source pour les photos : DGCS)	175
La Figure B.3 Cyclone tropical Ivan (2008) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Ivan 16 Feb 2008 0645Z par l'image de courtoisie de la NASA/MODIS EOSDIS, lance l'équipe de réponse rapide des terres, à la NASA GSFC ; (droite) Ivan 2008 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]	176
La Figure B.4 Le cyclone Indlala Tropical (2007) [Source : (à gauche) 15 mars 2007 Indlala par la NASA image par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC ; (droite) Indlala 2007 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]	176
La Figure B.5 Le cyclone tropical Gafilo (2004) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Gafilo 2004-03-06 0655 UTC par la NASA, l'image de courtoisie, Jeff Schmaltz, MODIS Land EOSDIS LANCE/équipe d'intervention rapide, à la NASA GSFC ; (droite) Gafilo 2004 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]	177
La Figure B.6 Les inondations de 2003, Madagascar. (Source : PNUD / Michel Matera)	178
La Figure B.7 (à gauche) de la nappe phréatique éruption du mont Karthala dans l'après-midi du 17 avril 2005 (Source : Daniel Hoffschir, Global Volcanism Program), et (à droite) le lac de lave formé dans le cratère du Mont Karthala Chahalé (Source : Hamid Soulé, volcan Karthala Observatory).....	190
La Figure B.8 Les restes d'une route balayée par le tsunami (photo prise à partir de la section réparée). (Source : M. de Vries, PNUE)	191
La Figure B.9 Glissement de terrain sur Anjouan, Comores, induite par le séisme modéré et le cyclone tropical Hellen (Source : Walter D. Mooney, USGS)	192
La Figure B.10 Glissement de terrain sur Mohéli, Comores, induite par le séisme modéré et le cyclone tropical Hellen (Source : Mansourou, 2014)	192

Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre d'événements de cyclone tropical consignés pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.....	14
Tableau 2 : Nombre d'événements d'inondation liée à un cyclone extratropical consignés pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.	18
Tableau 3 : Nombre d'événements de séisme important pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.	24
Tableau 4 : Mesures et unités d'intensité d'aléa communiquées pour chaque résultat de fichier de données et fichier de formes	29
Tableau 5 : Événements historiques marquants sélectionnés organisés par aléa	30
Tableau A.1. Comparaison de valeurs historiques et simulées à l'arrivée à terre - Madagascar.....	53
Tableau A.2. Comparaison de l'areal des précipitations annuelles de 10 000 ans dans l'ensemble comorien par rapport à la période historique.....	84
Tableau A.3. Comparaison des statistiques de corrélation croisée des cellules de grille TRMM sélectionnés dans chaque zone pour la période historique entre 1998 et 2013.....	89
Tableau A.4. Comparaison de l'areal des précipitations annuelles de 10 000 ans à travers Madagascar par rapport à la période historique.....	90
Tableau A.5 : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans en Australie par rapport à la période historique.....	95
Tableau A.6Areal : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans à travers les Seychelles par rapport à la période historique	98
Tableau A.7Areal : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans à Zanzibar par rapport à la période historique.....	102
Tableau A.8. Événements Tremblements Marquee	114
Tableau A.9. Zones de sources sismiques modélisées dans le Sud-Ouest de la région de l'Océan Indien	120
Tableau A.10. Classification des sols NEHRP et les vitesses des ondes de cisaillement moyen	136

Tableau A.11 Comparaison des proportions de zones à l'intérieur de haut, moyen et faible sensibilité de glissement pour les îles et les glissements de terrain	163
Tableau B.1 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	179
Tableau B.2 Résumé pour les Comores par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	180
Tableau B.3 Résumé pour Madagascar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	180
Tableau B.4 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	180
Tableau B.5 Résumé pour les Seychelles par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	181
Tableau B.6 Résumé à Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	181
Tableau B.7 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	182
Tableau B.8 Résumé pour les Comores par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	182
Tableau B.9 Résumé pour Madagascar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	183
Tableau B.10 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	183
Tableau B.11 Résumé pour les Seychelles par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.	183
Tableau B.12 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	184
Tableau B.13 Résumé pour les Comores par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	184

Tableau B.14 Résumé pour Madagascar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	185
Tableau B.15 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	185
Tableau B.16 Résumé pour les Seychelles par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	185
Tableau B.17 Résumé à Zanzibar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. <i>Décennie</i>	186
Tableau B.18 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite pour les séismes, tsunami, et les éruptions volcaniques. Pertes économiques ne sont pas de tendances.....	194

Sommaire

L'initiative d'évaluation du risque et de financement pour le sud-ouest de l'Océan indien (*South West Indian Ocean Risk Assessment and Financing Initiative*, SWIO RAFI) a été créée à la demande de la Commission de l'océan Indien (COI), au nom des Comores, de Madagascar, de Maurice, des Seychelles et de Zanzibar. L'objectif de SWIO RAFI est d'accroître la résilience et de développer les capacités des États insulaires par l'élaboration de stratégies de financement du risque catastrophique. L'une des composantes essentielles de cet effort implique la quantification d'aléa propre au site lié aux inondations, séismes et cyclones tropicaux, ainsi qu'aux aléas secondaires des marées de tempête et tsunamis.

Ce rapport décrit en détail la Composante 1 du projet, qui inclut l'élaboration de profils d'intensité d'aléa régional pour chacun des aléas étudiés. Les deux composantes principales des profils d'aléa sont (1) un catalogue d'événements (par exemple, les cyclones tropicaux et séismes) et des paramètres d'événements associés (tels que, par exemple, la pression centrale, l'amplitude de moment) ; et (2) des calculs d'intensité traduisant des paramètres d'événement en intensités d'aléa distribuées dans l'espace (par exemple, des vitesses de vent, secousses de terrain).

Les bases de données historiques d'événements sont intrinsèquement limitées en raison de la brièveté relative des archives humaines ; de ce fait, des catalogues probabilistes ou stochastiques sont simulés au moyen de statistiques dérivées du catalogue historique dans le but de développer une évaluation plus fiable des événements attendus au cours d'une quelconque année donnée. Pour la région SWIO, 10 000 ans simulés d'événements de cyclone tropical et sismiques sont générés et compilés dans un catalogue stochastique. Chaque événement des catalogues historiques et stochastiques est évalué au moyen de calculs d'intensité régionale adéquate d'aléa estimant l'importance et la gravité de l'événement. Les intensités d'aléa distribuées dans l'espace sont principalement des facteurs du calcul de perte évaluant l'impact économique de chaque événement, et elles sont prises en compte dans la Composantes 4 du projet.

Dans ce rapport, sont présentés, pour chaque nation insulaire et aléa, des profils modélisés d'intensité d'aléa attendu avec des périodicités de 25, 50, 100, 250, 500 et 1 000 ans. Sont également présentées des empreintes d'intensité d'événements historiques sélectionnés, qui sont aussi comparées à des intensités relevées. Les intensités d'aléa de périodicité sont calculées sur grille de 30 secondes d'arc (environ 1 km). Des cartes d'aléa et des fichiers de données associés sont les principaux résultats de la composante 1 et fournis en addendum numérique au présent rapport. Un résumé de chaque modèle d'aléa figure dans le corps de ce rapport ; une documentation détaillée de modèle technique et une base de données des conséquences d'événement historique figurent, respectivement, en Appendices A et B.

1 Introduction

Des catalogues d'aléas et des modules de calcul d'intensité font partie intégrante de tous les modèles développés par AIR. Chacun d'aléas modélisés requiert un catalogue d'événements historique fiable incluant toutes les catastrophes naturelles enregistrées, indépendamment du fait que ces événements aient affecté des populations humaines ou que celles-ci aient subi des dommages économiques. Des statistiques de paramètres fondamentaux des événements historiques sont extraites et utilisées pour simuler un catalogue d'événements stochastiques plus long, mais homogène d'un point de vue statistique. Ces catalogues font office de facteurs principaux de calculs d'intensité d'aléa, qui permettent à AIR d'évaluer la gravité aussi bien d'événements historiques que simulés. Pour le bassin sud-ouest de l'Océan indien, AIR a développé des catalogues historiques et stochastiques complets, ainsi que des modules de calcul d'intensité pour les événements de cyclone tropical et de séisme. Conformément au mandat de la Banque mondiale, la Composante 1 répond aux trois principaux objectifs ci-après pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien :

- créer un ensemble de couches d'aléa compatibles avec les SIG pour les cyclones tropicaux, marées de tempête, inondations, séismes et tsunamis. Les couches d'aléa devraient identifier les régions vulnérables à des événements dont la périodicité va de 25 ans à 1 000 ans ;
- créer un ensemble de couches d'aléa compatibles avec les SIG représentant les régions affectées par des événements historiques de cyclones tropical, de marée de tempête, d'inondation, de séisme et de tsunami ;
- rendre accessible l'information sur l'aléa au moyen d'un logiciel libre de SIG, tel que QGIS, et d'outils de gestion d'aléa catastrophique, comme InaSAFE.

L'approche globale adoptée pour atteindre ces objectifs comprend (1) la collecte d'informations relatives aux événements régionaux relatifs à des cyclones tropicaux, séismes et inondations, ainsi qu'aux aléas secondaires qui y sont associés ; (2) le développement d'événements simulés à l'aide de modèles paramétriques alimentés par des statistiques dérivées de l'historique ; (3) la collecte d'ensemble de données régionaux décrivant les propriétés physiques (par exemple, l'utilisation des terres, la couverture terrestre, la géologie) du domaine modélisé ; (4) le développement de modèles paramétriques permettant de calculer la distribution dans l'espace d'intensités d'aléa à partir d'événements historiques et stochastiques ; et (5) le calcul de la périodicité moyenne de l'intensité d'aléa distribuée dans l'espace.

Les catalogues stochastiques d'événements de cyclone tropical sont utilisés pour élaborer des cartes de périodicité moyenne du vent, d'inondations dues aux précipitations et des marées de tempête. De la même manière, des catalogues stochastiques de précipitations de cyclone extratropical sont utilisées pour élaborer des cartes d'inondation avec des périodicités moyennes. Des catalogues stochastiques d'événements sismiques sont utilisés pour calculer la violence de secousses sismiques, l'ampleur maximale des tsunamis étant calculées au moyen d'un modèle qualitatif hybride.

Les sections présentes ici donnent un aperçu du cadre général de développement d'aléa appliqué à la région du sud-ouest de l'Océan indien. Une discussion technique détaillée des considérations et méthodologies individuelles appliquées à chacune des nations insulaires du sud-ouest de l'Océan indien et à chaque danger figure en Appendice A. Les intensités d'aléa et les fichiers de données associés sont fournis en d'addendum numérique au présent rapport.

1.1 Limitations

Les catalogues d'aléas et les modules de calcul d'intensité résumés dans ce rapport sont destinés à être utilisés par les États des nations insulaires du sud-ouest de l'Océan indien et la Banque mondiale pour améliorer leur compréhension d'aléa résultant de catastrophes naturelles. Un emploi adéquat de ces informations exige la conscience et la compréhension des limitations à la fois de la portée et de la méthodologie de l'ensemble de l'étude.

Il est possible que le périmètre des services fournis au cours de cette évaluation ne réponde pas de manière adéquate aux besoins d'autres utilisateurs, et toute réutilisation (ou tout défaut d'utilisation) de ce rapport ou des conclusions, recommandations ou résultats présentés dans les présentes sont au aléa exclusifs de l'utilisateur. Nos conclusions et recommandations sont basées sur notre opinion professionnelle, notre expérience technique et notre jugement, sur des analyses réalisées en cours d'étude, sur des informations et données disponibles dans la documentation, et sur les éléments communiqués par la Banque mondiale et diverses autorités locales ; elles sont générées conformément à des normes d'exercice professionnel courantes.

2 Catalogue et analyse d'aléas

La section ci-après est consacrée à une présentation générale de l'élaboration de catalogues d'événements historiques et stochastiques, ainsi qu'aux calculs d'intensité locale pour chaque aléa pris examiné dans la région SWIO. Une documentation détaillée de modèle pour chaque aléa, et notamment les statistiques paramétriques et les distributions utilisées pour élaborer les catalogues stochastiques et modules d'aléa figure en Appendice A. L'impact de catastrophes naturelles historiques importantes dans la région SWIO et leur prévalence relative dans chaque pays est également résumée. Une base de données des conséquences structurée d'impacts reportés, en termes de comptes d'événement, de gravité d'événement, de nombre de victimes et de pertes économiques en liaison avec chaque catastrophe naturelle étudiée est décrite plus amplement en Appendice B et fournie en addendum numérique à ce rapport.

2.1 Cyclone tropical

Les cyclones tropicaux (CT) constituent l'aléa catastrophique le plus fréquent dans la région SWIO, et ils ont été responsables de pertes économiques et de nombre de victimes historiques importants, en particulier dans les nations insulaires de Madagascar et Maurice. En termes de formation de cyclone tropical, le bassin sud-ouest de l'Océan indien est l'une des plus actives de la planète. Non seulement les cyclones tropicaux sont-ils plus fréquents dans ce bassin océanique, mais encore y sont-ils plus intense que dans d'autres parties du monde. En moyenne, 13 cyclones tropicaux dont les vitesses des vents excèdent 63 km/h se forment ici chaque année. Dans le sud-ouest de l'Océan indien, la saison cyclonique débute le 15 novembre et s'achève le 30 avril. La fréquence modélisée, les données météorologiques et les informations de trajectoire sont analysées dans le domaine géographique représenté dans l'Illustration 1.

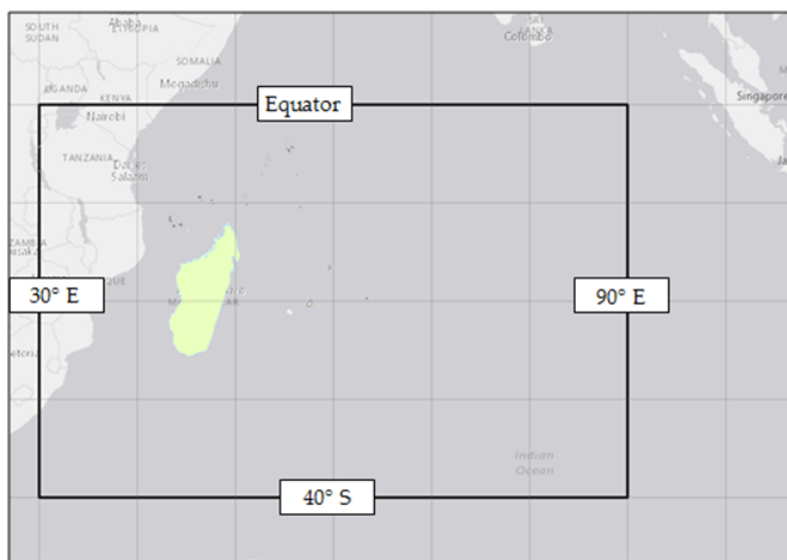


Illustration 1: Domaine du modèle de cyclone tropical d'AIR pour le bassin sud-ouest de l'Océan indien

L'historique des cyclones tropicaux dans la région sud-ouest de l'Océan indien, qui est basé sur des informations provenant d'organisations météorologiques locales (par exemple, le RSMC La Réunion, l'Australian Bureau of Meteorology (BoM) et le Joint Typhoon Warning Center (JTWC)) incluent 847 événements qui ont eu lieu entre 1950 et 2014 (Illustration 2). Des statistiques paramétriques dérivées du catalogue historique telles que la fréquence annuelle, la fréquence d'atterrissage, la saisonnalité, la localisation de genèse, la vitesse de progression, la pression centrale et le rayon des vents maximums font office de base pour le catalogue stochastique. Des modèles de distribution et autorégressifs sont étalonnés au moyen de ces paramètres, puis testés numériquement à l'aide des techniques de Monte Carlo pour élaborer un catalogue d'événements simulés conforme à l'historique d'événements. Ainsi, l'Illustration 3 et l'Illustration 4 présentent-elles des comparaisons entre, respectivement, les probabilités historiques et générées stochastiquement des nombres de tempêtes dans le bassin du sud-ouest de l'Océan indien, et la saisonnalité des tempêtes durant l'année. Une discussion détaillée de ces paramètres, des distributions de modèle et de la validation de chaque paramètre figure en Appendice A.

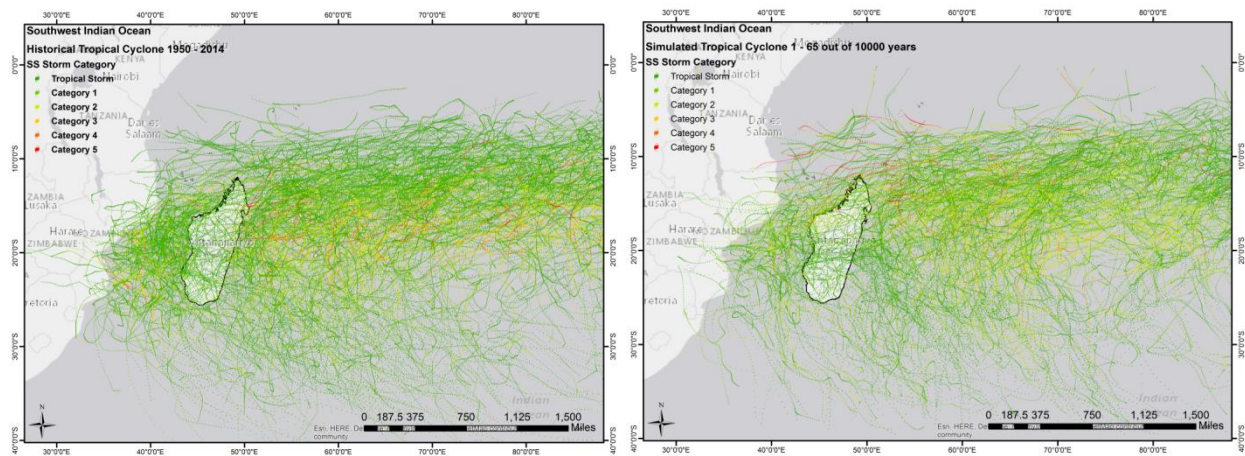


Illustration 2: Trajectoires de tempête par catégorie sur l'échelle de Saffir-Simpson pour un historique de 65 ans (à gauche) et une période de 65 ans choisie de manière aléatoire dans le catalogue stochastique (à droite)

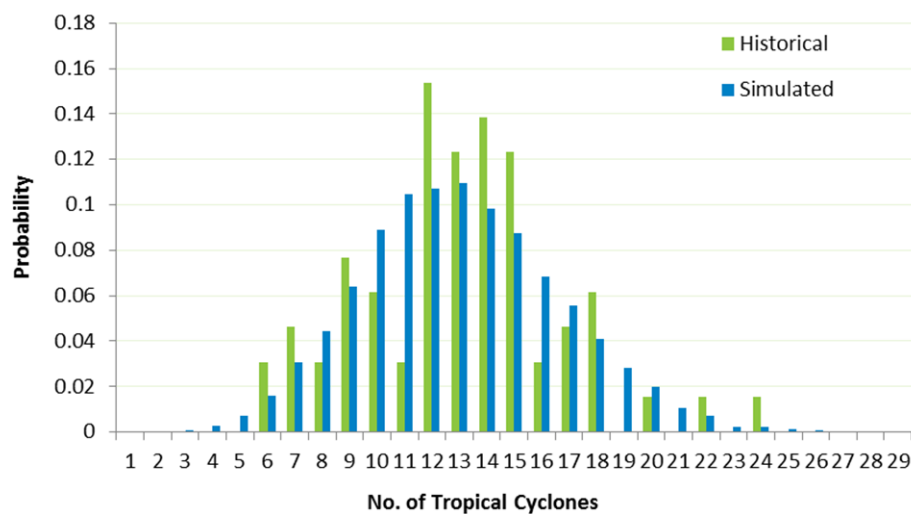


Illustration 3: Comparaison de probabilités historiques et simulées de compte annuel pour les cyclones tropicaux dans le domaine du modèle

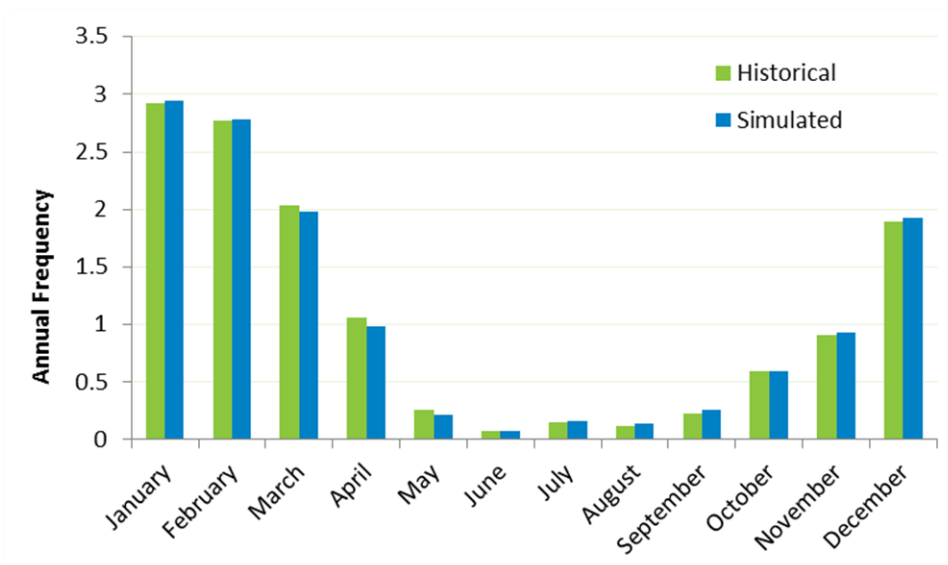


Illustration 4: Comparaison de fréquences saisonnières à la genèse historiques et simulées pour les cyclones tropicaux dans le domaine du modèle

2.1.1 Vent

Les vitesses de vent élevées inversement liées à la pression centrale (C_p) d'une tempête sont un facteur essentiel des dommages causés par les cyclones tropicaux. Les températures de la surface de l'océan dans le sud-ouest de l'Océan indien sont parmi les plus élevées de la planète, et les caractéristiques en termes de pression de l'environnement et de taille de tempête sont uniques par rapport à celles d'autres bassins. Entre autres paramètres, il est particulièrement important, pour modéliser des vitesses maximales du vent engendrées par les tempêtes dans la région SWIO, d'utiliser une relation C_p -vent spécifique à la région. Le modèle d'intensité de champ de vent employé pour le modèle SWIO implique un calcul préalable du vent du gradient en fonction de la pression centrale et de la pression périphérique. Un profil de vent du gradient est ensuite calculé sur la base des travaux de Willoughby et al. (2006), puis réduit à la surface d'un facteur de réduction du vent du gradient. Des facteurs de tempête supplémentaires, tels que l'asymétrie et l'orientation, et des effets topographiques, comme une friction de surface et des facteurs de rafale, sont alors appliqués au profil de vent pour générer une empreinte du vent plus réaliste sur la trajectoire d'une tempête. Des informations techniques détaillée du module d'intensité du vent dans le sud-ouest de l'Océan indien figure en Appendice A.

Pour valider le calcul d'aléa lié au vent, les vitesses de vent modélisées sont comparées aux observations des stations météorologiques (par exemple, (e.g., la Direction générale de la météorologie (DGM), Mauritius Meteorological Services) ou d'entités internationales auxiliaires (par exemple, NASA, NOAA). Lorsqu'elles sont disponibles, les vitesses de vent de périodicité sont également comparées aux cartes d'aléas produites par

les entités publiques aux fins de gestion d'aléa catastrophique (*Disaster Risk Management*, DRM) et de planification en vue d'aléas catastrophiques (*Disaster Risk Planning*, DRP), en relation avec les codes locaux du bâtiment. Des mesures exactes de vitesse de vent par station météorologique lors de conditions cycloniques sont fréquemment difficiles à obtenir du fait d'interruptions de l'alimentation électrique ou de défaillances d'instrument. Dans la région SWIO, les relevés de vitesse du vent sont à la fois peu nombreux, et lorsqu'ils sont disponibles, souvent anormaux ou irréalistes par comparaison aux organisations mondiales. Les vitesses de vent des cyclones tropicaux ont été comparées, pour Maurice et Madagascar, en utilisant des données d'organisations locales et des lectures de stations météorologiques automatisées alimentant le Global Summary of Day (GSOD) de l'autorité nationale américaine de l'atmosphère et de l'administration (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA). La comparaison entre vitesses de vent modélisées et relevées est présentée dans l'Illustration 5, ce qui indique qu'en dépit d'une variabilité spatiale importante, il existe une corrélation raisonnable entre vitesses de vent modélisées et relevées. Une comparaison entre vitesses de vent modélisées et relevées figure également dans l'Illustration 6 pour le cyclone tropical Hollanda (1994) à Maurice et le cyclone tropical Giovanna (2012) à Madagascar. Des données de vitesse de vent pour chaque pays devraient améliorer l'étalonnage du modèle de vent.

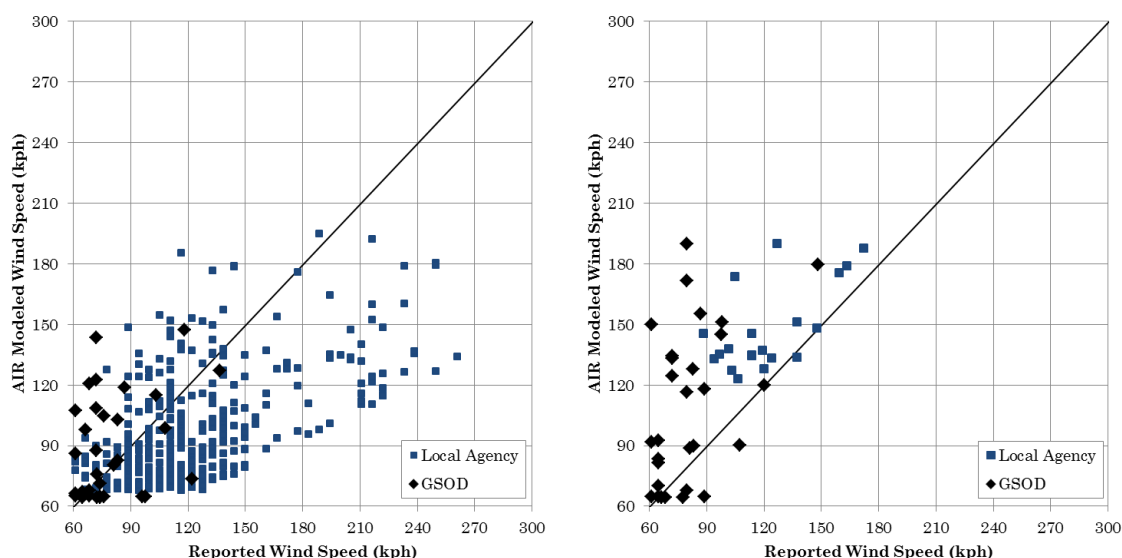


Illustration 5: Comparaison de vitesse de vent de cyclone tropical modélisée et relevée (1 minute à 10 km) pour Madagascar (à gauche) et Maurice (à droite)

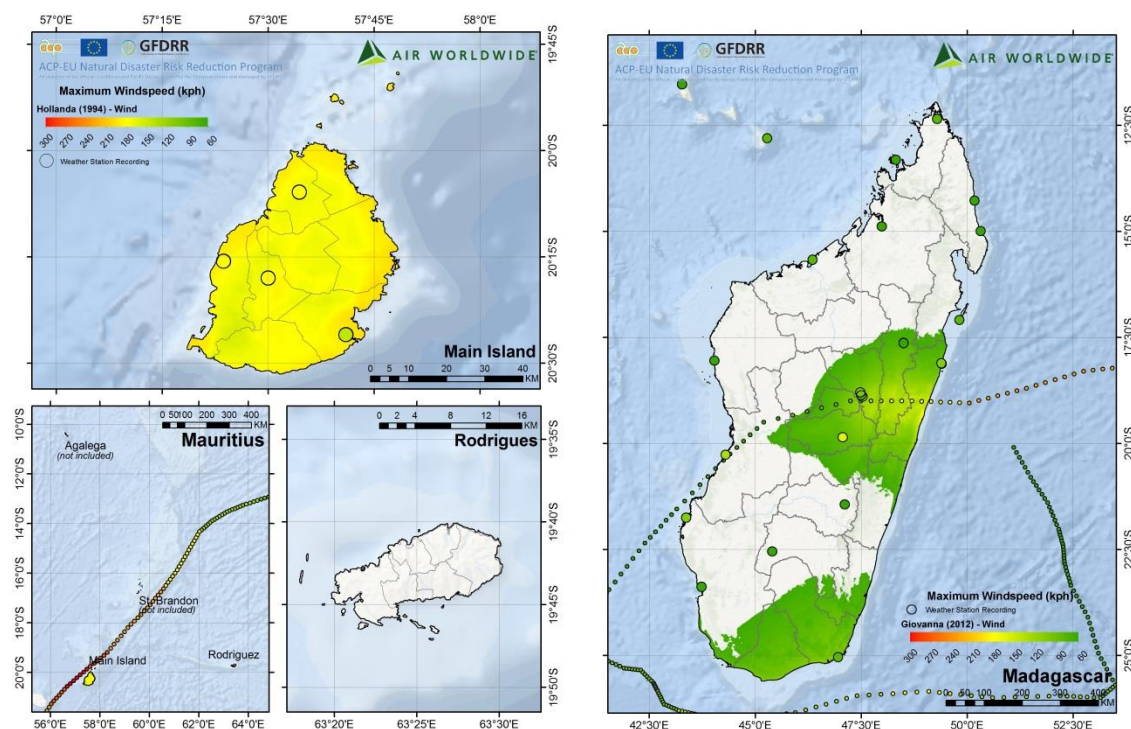


Illustration 6: Comparaison d'empreintes modélisées du vent et des relevés météorologiques (1 minute à 10 km) pour les cyclones tropicaux Hollanda (Maurice, 1994) et Giovanna (Madagascar, 2012)

2.1.2 Aléa lié aux précipitations et d'inondation

La composante inondation résultant des précipitations du modèle repose sur un modèle de précipitations paramétrique tirant partie de données de précipitations de cyclones tropicaux de qualité supérieure. La mission de mesure de précipitations tropicales (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM), conduite conjointement par l'autorité nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA) et l'agence japonaise d'exploration spatiale (*Japan Aerospace Exploration Agency*, JAXA), est l'une des sources de données de précipitations dont la qualité est la plus élevée. La TRMM est disponible de 1998 à 2014 à intervalles de trois heures, avec une résolution de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Les données TRMM sont largement validées et largement utilisées, ce qui en fait un outil idéal de développement et d'étalonnage d'un modèle de précipitations paramétrique.

Le modèle de précipitations paramétrique comporte deux paramètres : le taux maximal de précipitations (P_{max}) et le rayon extérieur de précipitations (R_{router}). P_{max} est le taux moyen de précipitations (c'est-à-dire, mm/hr) et R_{router} est la distance maximale à partir du centre de la tempête où le taux moyen de précipitations est ≥ 1 mm/hr. P_{max} et R_{router} sont dérivées de données TRMM collectés dans le domaine du bassin et modélisées au moyen, respectivement, des distributions normale et de Weibull.

Si le module de précipitations identifie les lieux où les pluies sont probables (ce qui contribue à l'identification d'aléas d'inondation), un module distinct est utilisé pour déterminer la distribution spatiale des écoulements et la hauteur maximale de l'inondation. Les inondations causées par les précipitations sont modélisées de manière dynamique sur la base du modèle bidimensionnel d'eaux de ruissellement des pluies CASC2D-SED (CASCade 2 Dimensional SEDiment) développé par l'Université d'État du Colorado (Rojas et al., 2003). La hauteur maximale de l'inondation est calculée à partir de précipitations horaires dirigées dans le modèle. Les données d'entrée pour ce modèle sont l'altitude, le sol et un masque terre/mer. Ce modèle repose sur des équations d'eau peu profonde (équations de Barré de Saint-Venant) dérivées de la conservation de la masse, de l'énergie et de l'accélération. Les équations descriptives de l'écoulement des fluides sur une surface conviennent en général à la modélisation des eaux de ruissellement ou des inondations pluviales pour lesquelles la longueur de l'échelle horizontale excède de très loin d'échelle verticale.

La validation des modèles de précipitations et d'inondation requiert des relevés spatiaux et temporels fiables des pluies et des hauteurs d'inondation lors des événements de cyclone tropical. Ainsi qu'indiqué s'agissant du danger représenté par le vent, il n'est pas rare que, dans des conditions cycloniques tropicales, les stations météorologiques tombent en panne du fait d'interruption de l'alimentation électrique ou d'autres dysfonctionnements d'équipements. Dans le cas des précipitations, la question supplémentaire de la pluie poussée par le vent peut être à l'origine d'écarts considérables entre précipitations réelles et mesurées par pluviomètre. Enfin, les régimes de précipitations sont extrêmement incertains, en particulier en relation avec la trajectoire d'un cyclone tropical ; de ce fait, un modèle paramétrique ne sera probablement pas en mesure d'appréhender pleinement l'ampleur des pluies causées par un cyclone tropical. À défaut de disponibilité de mesures d'inondation historiques fiables lors de cette enquête, le modèle de précipitations a été validé par rapport à des données satellite TRMM et à des mesures de station GSOD. Des comparaisons entre précipitations cumulatives modélisées et mesurées pour plusieurs événements cyclones tropicaux figurent en Illustration 7. Ainsi qu'attendu, le modèle fonctionne relativement bien au regard des données TRMM, qui ont été utilisées pour étalonner initialement le modèle. Ce modèle fonctionne néanmoins également bien par rapport aux mesures de précipitations de stations GSOD, ce qui constitue une évaluation indépendante. Cette comparaison est illustrée plus précisément dans l'Illustration 8 pour le cyclone tropical Giovanna (2012) à Madagascar, pour lequel la comparaison des mesures de stations météorologiques TRMM et GSOD, d'une part, et du modèle de l'autre brosse un tableau positif.

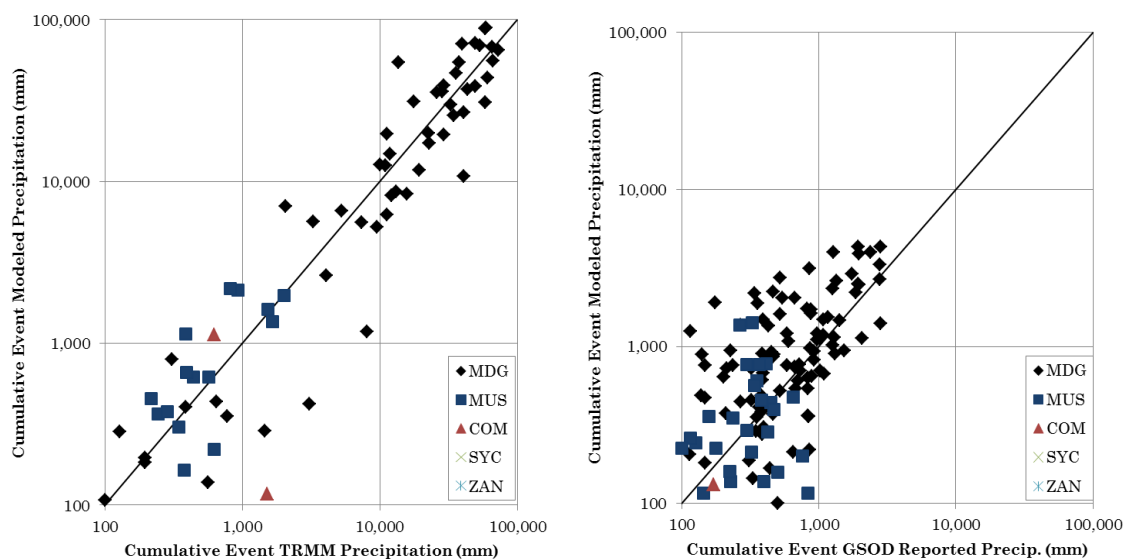


Illustration 7: Comparaison des précipitations cumulatives de la TRMM et modélisées pour les cyclones tropicaux entre 1998 et 2014 (à gauche). Comparaison des relevés pluviométriques GSOD et des précipitations modélisées pour les cyclones tropicaux entre 1979 et 2015 (à droite).

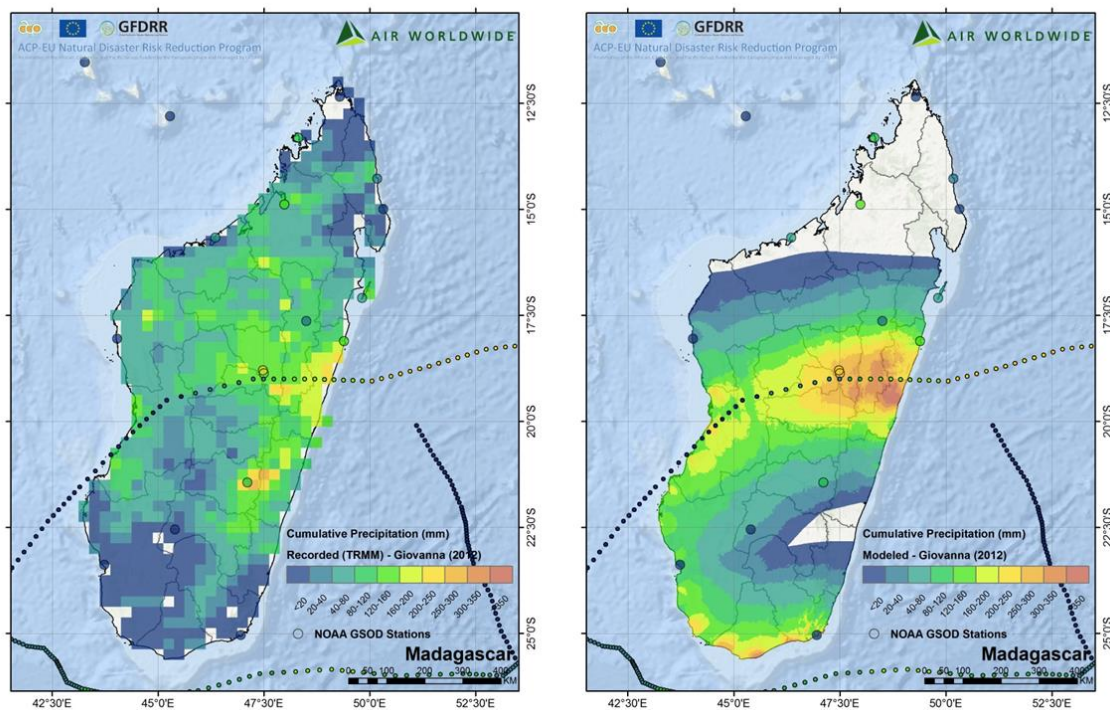


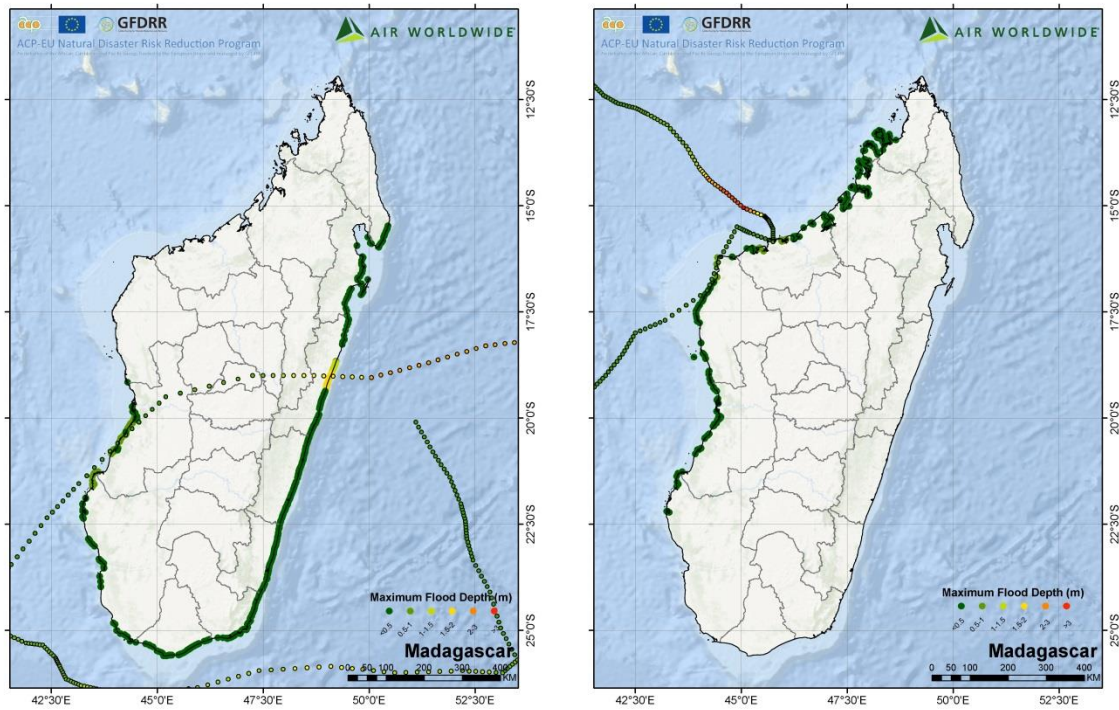
Illustration 8: Empreinte des précipitations pour le cyclone tropical Giovanna (2012) sur la base des données TRMM (à gauche) et d'après la modélisation AIR (à droite)

2.1.3 Inondation liée à une marée de tempête

Une onde de tempête causée par un cyclone tropical est une hausse anormale du niveau de la mer accompagnant des tempêtes intenses. Au cours de tempêtes intenses, la circulation des vents autour de l'œil de la tempête sur la surface engendre une circulation verticale dans l'océan. Au fur et à mesure que la tempête approche de la côte, la profondeur de l'océan diminue, et la circulation verticale de l'eau de l'océan est poussée à l'intérieur des terres. La hauteur de l'onde est la différence entre le niveau observé de la surface océanique et ce qu'il aurait été sans la tempête (par exemple, le niveau moyen de la mer). Les marées quotidiennes ne sont pas prises en compte dans le calcul de la marée de tempête.

Le modèle de marée de tempête adopté dans cette étude repose sur un modèle paramétrique proposé par Young (1998, 2007). Le modèle de marée de tempête est basé sur les variables météorologiques principales d'un cyclone tropical, et notamment la pression centrale (C_p), la vitesse du vent vers l'avant (V_{fm}), la vitesse maximale du vent (V_{max}) et le rayon du vent maximal (R_{max}). La hauteur de la marée de tempête modélisée est généralement plus sensible à l'évolution des variables météorologiques de V_{fm} et V_{max} que de C_p . Les autres quantités prises en compte sont le profil du vent, la localisation du site par rapport à la trajectoire de la tempête, l'angle d'approche de la côte et l'élévation. En utilisant l'approche de Young, le premier modèle calcule une hauteur d'onde importante (H_s), qui est définie comme la hauteur moyenne de vague du tiers des vagues les plus hautes. Pour une tempête donnée, l'empreinte de la marée de tempête distribuée dans l'espace peut être estimée à l'aide de V_{max} , de V_{fm} et le résultat H_s calculé. La distribution spatiale de H_s incorpore les effets de la profondeur de l'eau en appliquant les techniques développées par Liu (1996). Comme pour le champ de vent, le profil du champ de la marée de tempête n'est pas symétrique autour de la trajectoire de tempête. L'onde la plus élevée survient d'ordinaire à proximité du rayon des vents maximaux, ou là où soufflent les vents les plus forts. La direction du vent étant approximativement parallèle à la direction de la tempête, dans l'hémisphère sud, l'onde sera supérieure du côté gauche de la trajectoire du cyclone tropical par rapport au côté droit ; l'inverse est vrai dans l'hémisphère nord. Un exemple d'empreinte modélisée d'inondation de marée de tempête pour les cyclones tropicaux Giovanna (2012) et Hellen (2014) à Madagascar est présenté dans l'illustration 9.

En l'absence de valeurs mesurées de marée de tempête disponibles pour la région du sud-ouest de l'Océan indien, une validation est réalisée en comparant les estimations du modèle développé par AIR par rapport aux estimations du modèle du Global Disaster Alert and Coordinate System (GDACS). Les résultats du modèle GDACS pour trois tempêtes historiques à Madagascar, Giovanna (2012), Haruna (2013) et Hellen (2014), sont utilisées pour validation. L'illustration 10 compare les hauteurs modélisées de marée de tempête des modèles GDACS et AIR pour les trois tempêtes historiques. Si les modèles GDACS et AIR utilisent des méthodologies différentes de calcul de marée de tempête, les hauteurs d'onde estimées sont raisonnablement comparables, en dépit de différences attendues entre les deux modèles.



2.1.4 Résumé des conséquences des cyclones tropicaux

Si les données historiques concernent près de 850 événements de cyclone tropical, nombre de ces tempêtes demeurent au large ou ne causent que peu de dommages. Des événements sont décrits dans la base de données des conséquences lorsqu'ils ont un impact sur un centre de population ou causent des dommages physiques. Ces événements recensés sont considérés comme « catastrophiques » lorsque $\geq 10\,000$ personnes sont affectées, les dommages s'élèvent à au moins 10 m USD ou ≥ 10 décès sont causés par la tempête. La base de données des conséquences comporte des informations recueillies auprès de sources disponibles publiquement concernant l'impact de 104 événements, constituant environ 82 % des entrées d'événement catastrophique recensés pour l'ensemble d'aléas de cyclone tropical et de cyclone extratropical dans la région. La distribution des événements totaux et des événements catastrophiques (entre parenthèses) est décrite dans le Tableau 1. Entre 1950 et 2015, le Madagascar a connu le plus grand nombre d'événements de cyclone tropical (59), 48 d'entre eux constituant des événements catastrophiques. Au cours de la même période, Maurice, les Comores et les Seychelles ont connu, respectivement, 19, 7 et 1 événement catastrophique). Il n'existe pas, dans la base de données des conséquences, d'observations historiques concernant l'impact direct des cyclones tropicaux à Zanzibar. Une analyse supplémentaire des impacts des cyclones tropicaux historiques dans la région SWIO figure en Appendice B.

Tableau 1 : Nombre d'événements de cyclone tropical consignés pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.

<i>Décennie</i>	<i>Comores</i>	<i>Madagascar</i>	<i>Maurice</i>	<i>Seychelles</i>	<i>Zanzibar</i>
1950-1959	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1960-1969	0 (0)	2 (2)	6 (3)	0 (0)	0 (0)
1970-1979	0 (0)	6 (6)	4 (3)	0 (0)	0 (0)
1980-1989	5 (4)	7 (6)	11 (6)	0 (0)	0 (0)
1990-1999	1 (1)	9 (8)	5 (3)	1 (0)	0 (0)
2000-2009	1 (0)	26 (17)	4 (3)	3 (1)	0 (0)
2010-2015	1 (1)	9 (9)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
Total	9 (7)	59 (48)	31 (19)	4 (1)	0 (0)

2.2 Inondation liée à un cyclone extratropical

Les événements d'inondation résultant de précipitations ordinaires ou de pluies de cyclone extratropical sont importants dans le sud-ouest de l'Océan indien. La caractérisation d'aléa représenté par les cyclones extratropicaux est particulièrement importante pour la description d'aléa d'inondation dans les pays rarement soumis à des cyclones tropicaux, tels que Zanzibar, les Comores et les Seychelles. Pour générer un catalogue stochastique de pluies de cyclone extratropical, il est, au préalable, nécessaire de disposer d'une climatologie

des pluies de cyclone extratropical. Le même ensemble de données TRMM utilisé pour le modèle de précipitations de cyclone tropical est également employé pour dériver des statistiques relatives aux précipitations des cyclones extratropicaux. Pour les cyclones extratropicaux, les mesures de la TRMM des années 1998 à 2013 sont comparées au catalogue historique d'événements de cyclone tropical et les pluies dans un rayon de 500 km de la trajectoire centrale de chaque tempête sont supprimées des données relatives aux cyclones extratropicaux. La zone d'exclusion de 500 km est basée sur des travaux de recherche consacrés au rayon extérieur médian des tempêtes tropicales du bassin de l'Océan (Chavas et Emanuel, 2010), et, bien qu'il s'agisse d'une mesure statique, apparaît comme une meilleure solution que le paramètre médian R_{outer} utilisé pour le modèle de précipitations de cyclone tropical, et évite toute redondance par rapport à celui-ci (en d'autres termes, les précipitations ne sont pas comptées deux fois). Un exemple d'ensemble de données pour un cyclone extratropical figure dans l'Illustration 11, qui montre l'élimination des pluies causées par le cyclone tropical Eline (2000) à son atterrissage à Madagascar.

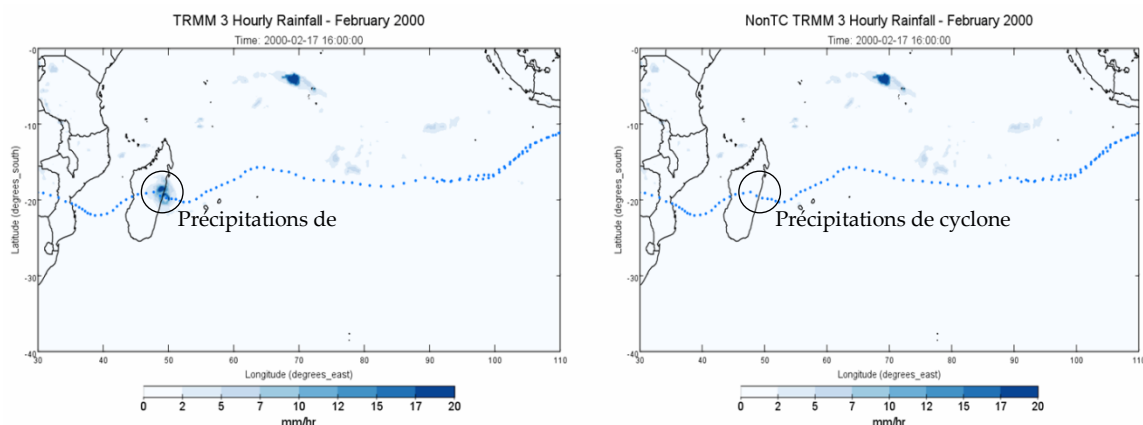


Illustration 11: Illustration de résultats d'interprétation climatologique de précipitations liées aux cyclones extratropicaux : précipitations TRMM provoquées par le cyclone Eline (à gauche) et précipitations liées aux cyclones extratropicaux correspondantes (à droite)

La climatologie peut être traitée plus complètement au moyen de modèles de circulation générale et de modèles climatiques régionaux utilisés par AIR pour d'autres régions du monde ; l'ampleur du projet et sont calendrier nécessitent néanmoins une approche scientifique mais moins complexe utilisant un générateur stochastique de données météorologiques alimenté en données TRMM.

Un catalogue stochastique de pluies journalières de cyclone extratropical pour 10 000 années indépendantes simulées a été élaboré sur la base de la climatologie des pluies de cyclone extratropical dérivée des données TRMM évoquées ci-dessus. De manière générale, les générateurs stochastiques de données météorologiques utilisent les statistiques de pluies de stations météorologiques pour construire des séries chronologiques synthétiques, mais significatives d'un point de vue physique, de précipitations sur un site préservant les statistiques de base de la station. Au cours de cette étude, un générateur stochastique de données

météorologiques (WGEN) est employé pour construire des données de précipitations synthétiques pour chaque pays du sud-ouest de l'Océan indien. WGEN utilise une chaîne de Markov de premier ordre, à deux états, humide ou sec, pour déterminer occurrence de précipitations, et une distribution gamma à deux paramètres pour modéliser la quantité de précipitations au cours d'une journée. WGEN a été utilisé largement pour de multiples études dans des conditions climatiques différentes. Il s'est, à maintes reprises, avéré un outil efficace de reproduction des statistiques climatiques de pluies. WGEN ne prend pas en compte de corrélation spatiale, de sorte qu'une sélection adéquate de « stations » de génération météorologiques est essentielle pour générer des régimes réalistes de pluies. Dans chaque pays, la sélection d'une « station » s'effectue par l'identification de la localisation du réseau TRMM correspondant le mieux (c'est-à-dire, minimisant l'erreur) à la moyenne cumulée des précipitations mesurées par la TRMM pour tous les points du réseau dans une zone de précipitations indépendante. À l'exception de Madagascar, les nations insulaires du sud-ouest de l'Océan indien sont petites au regard de la résolution des données TRMM, et ne comportent qu'une zone de précipitations ; ainsi, un point unique de génération de précipitations, représentant les statistiques de précipitations moyennes la nation insulaire dans son ensemble, est-il assigné à chacun des pays suivants : les Comores, Maurice, les Seychelles et Zanzibar. Si cette méthodologie ne tient pas compte des microclimats de chaque île, elle a été appliquée avec succès dans d'autres régions comptant de petites îles (par exemple, les Philippines) et a fait la preuve de son aptitude à simuler de manière adéquate les régimes météorologiques régionaux. L'Illustration 12 décrit la sélection du point WGEN aux Comores, qui minimise l'erreur entre les précipitations mesurées par la station et les précipitations mesurées par la TRMM moyennes pour tous les points des Comores.

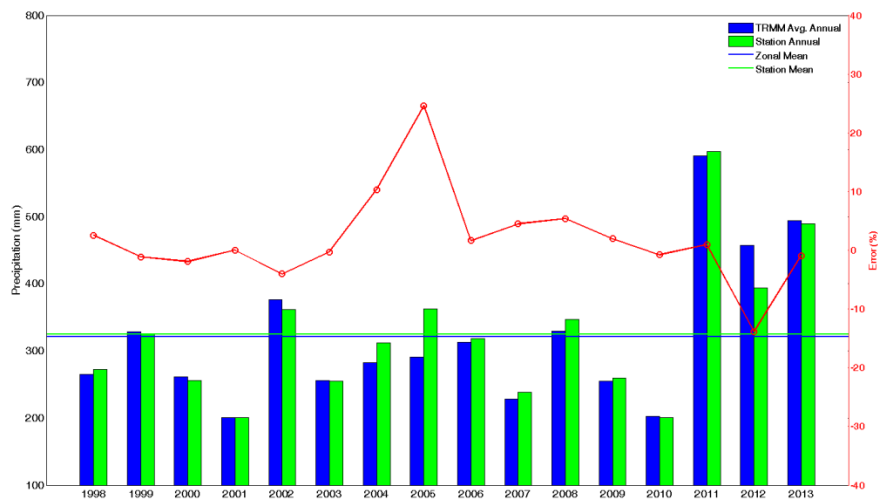


Illustration 12 : Comparaison de la moyenne historique des précipitations annuelles mesurées par la TRMM avec le point du réseau TRMM sélectionné pour les Comores. Les barres bleues représentent les précipitations annuelles moyennes pour toutes les années (1998-2013), et les barres vertes correspondent à la station TRMM sélectionnée. La ligne rouge indique le pourcentage d'erreur pour chaque année.

Un événement d'inondation causé par des précipitations de cyclone extratropical est uniquement une fonction des précipitations journalières cumulatives, mais également de la durée des pluies, ainsi que de mesures d'atténuation des inondations naturelles (par exemple, infiltration, ruissellement) et artificielles (par exemple, digues, canaux). Ainsi, en plus de précipitations journalières, une définition d'événement unique est étalonnée pour chaque pays à partir de rapports antérieurs d'inondations de cyclone extratropical importantes, puis appliquée ultérieurement pour déterminer s'il est probable qu'une configuration spatio-temporelle de précipitations sera cause inondations. Dans cette investigation, une « clause 7-5 jours » est introduire pour déterminer occurrence d'un événement de précipitations de cyclone extratropical : un seuil minimum total de pluies de sept jours et un intervalle entre deux tempêtes de cinq jours. En bref, la méthodologie de modélisation de cyclone extratropical et les définitions d'événement sont décrites plus en détail en Appendice A.

Les inondations causées par des précipitations de cyclone tropical et de cyclone extratropical sont modélisées au moyen de la méthodologie CASC2D-SED évoquée précédemment et décrite plus en détail en Appendice A. Il est présumé, pour les cyclones extratropicaux, que les événements de précipitations tombent uniformément sur l'ensemble de la région de précipitations autonome durant la période de l'événement. Le modèle CASC2D distribue ensuite les précipitations de manière dynamique dans l'ensemble de la région affectée et calcule les hauteurs d'inondation.

2.2.1 Résumé des conséquences des inondations des cyclones extratropicaux

La base de données des conséquences des inondations des cyclones extratropicaux comporte des informations recueillies auprès de sources disponibles publiquement concernant l'impact de 67 événements. La distribution des événements totaux et des événements catastrophiques (entre parenthèses) est décrite dans le Tableau 2. Entre 1970 et 2015, Maurice et les Seychelles ont connu le plus grand nombre d'événements d'inondation de cyclone extratropical, avec respectivement 20 et 22, 9 d'entre eux à Maurice et 1 aux Seychelles constituant des événements catastrophiques. Au cours de la même période, Maurice, les Comores et Zanzibar ont connu, respectivement, 9, 2 et 2 événements catastrophiques. Une analyse supplémentaire des impacts des cyclones extratropicaux historiques dans la région SWIO figure en Appendice B.

Tableau 2 : Nombre d'événements d'inondation liée à un cyclone extratropical consignés pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.

<i>Période</i>	<i>Comores</i>	<i>Madagascar</i>	<i>Maurice</i>	<i>Seychelles</i>	<i>Zanzibar</i>
1970-1979	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1980-1989	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1990-1999	0 (0)	1 (1)	3 (0)	2 (0)	0 (0)
2000-2009	3 (0)	10 (5)	11 (2)	14 (0)	2 (1)
2010-2015	2 (1)	2 (2)	6 (2)	6 (1)	2 (1)
Total	7 (2)	14 (9)	20 (4)	22 (1)	4 (2)

2.3 Séisme

Les séismes (S) sont une catastrophe naturelle fréquente dans le sud-ouest de l'Océan indien, mais les principales sources sismiques de la région sont éloignées des nations insulaires. De ce fait, aucune perte économique ni aucune victime historique n'ont été recensés dans les cinq pays inclus dans cette étude, Comores, Madagascar et Zanzibar étant les plus à aléa. En termes de formation de séismes, la région sud-ouest de l'Océan indien se trouve entre deux zones actives à haute sismicité, la dorsale centrale indienne et le système de la Vallée du Rift est-africain, qui sépare la plaque tectonique somalienne des plaques nubienne et indienne. Dans cette région, les séismes sont fréquents. Leur ampleur est, d'ordinaire, faible à modérée. En moyenne, 10 séismes d'une amplitude de moment moyenne $\geq 5,3$ surviennent chaque année. La fréquence modélisée et les données historiques sont analysées dans le domaine géographique représenté dans l'Illustration 13.

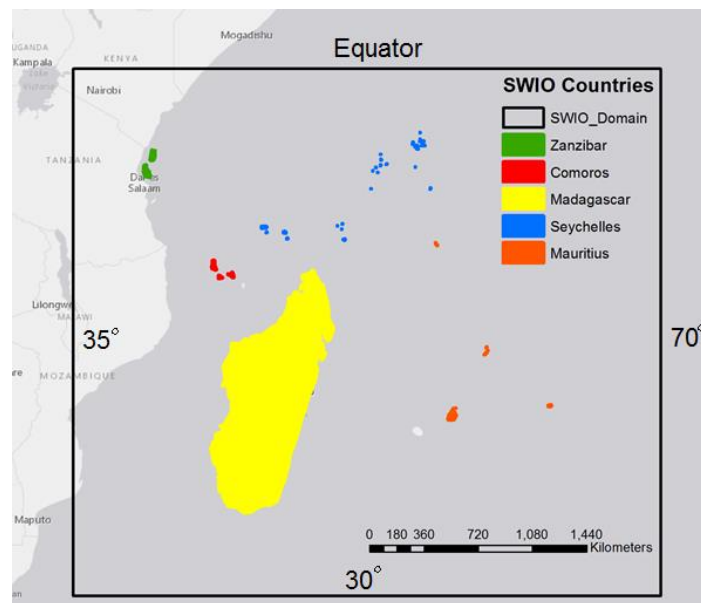


Illustration 13 : Domaine du modèle de séisme d'AIR pour la région sud-ouest de l'Océan indien

Les données historiques relatives aux séismes dans la région du sud-ouest de l'Océan indien, qui sont basées sur des informations provenant de divers catalogues de séismes locaux et régionaux historiques (par exemple, le Global Earthquake Magnitude (GEM) Historical Earthquake Catalogue, l'International Séismique Centre (ISC) EHB Bulletin, Incorporates Research Institutions for Seismology (IRIS) Earthquake Catalog, United States Geological Survey (USGS)), incluent 1 228 événements d'amplitude de moment d'au moins 5 survenus entre 1901 et 2014 (Illustration 14). Des statistiques paramétriques dérivées du catalogue historique, telles que les distributions d'amplitude-fréquence et de profondeur, les taux de glissement et la géométrie des failles connues dans la région, font office de base pour le catalogue stochastique. Les techniques de simulation de Monte Carlo sont appliquées à une combinaison des distributions de paramètres et de géométrie des failles de la croûte terrestre connue, pour élaborer un catalogue d'événements simulés statistiquement conforme à l'historique d'événements. Ainsi, l'Illustration 14 présente-telle une comparaison entre, respectivement, le catalogue historique (à gauche) et 114 années, sélectionnées de manière aléatoire, d'événements sismiques générés stochastiquement (à droite). En outre, l'Illustration 15 compare les distributions historiques et stochastiques de fréquence-amplitude et de profondeur de séisme dans la région du sud-ouest de l'Océan indien, qui permet une validation paramétrique raisonnable des résultats de génération d'événements stochastiques. Une discussion détaillée de ces paramètres, des distributions de modèle et de la validation de chaque paramètre figure en Appendice A.

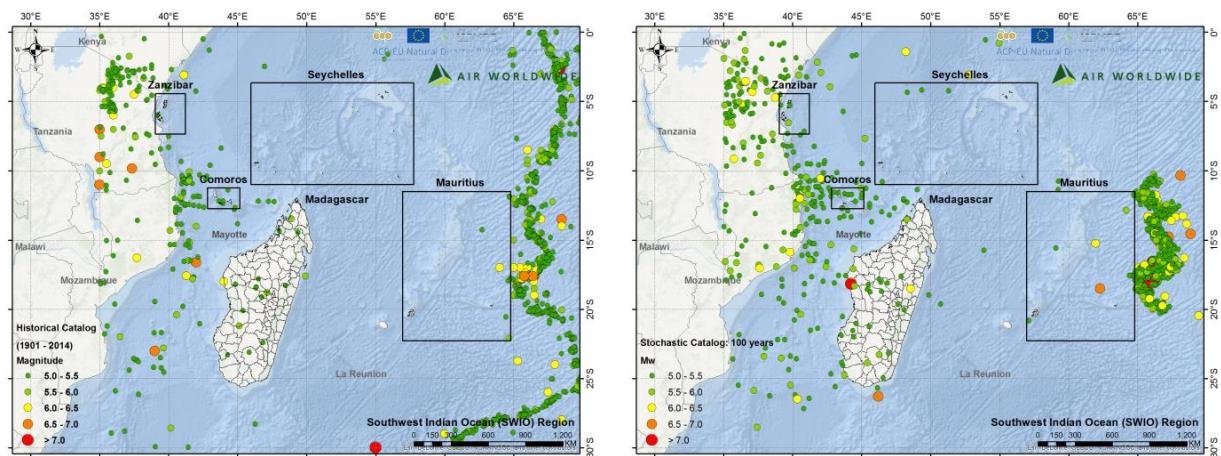


Illustration 14 : Catalogues historique (à gauche) et stochastique (à droite) d'événements sismiques sur 114 ans¹

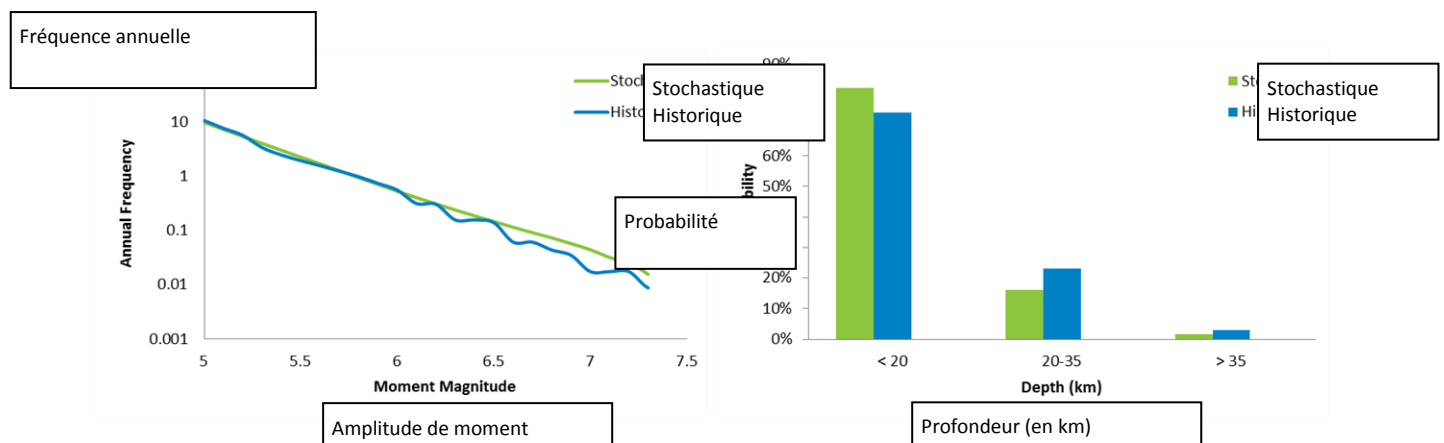


Illustration 15 : Distributions de fréquences-amplitudes modélisées et historiques dans le sud-ouest de l'Océan indien (à gauche), et distributions de profondeurs historiques et modélisées dans le sud-ouest de l'Océan indien (à droite)

2.3.1 Secousse sismique

l'intensité d'une secousse sismique générée par un séisme dans une région est fonction de la localisation de la rupture par rapport au site, des caractéristiques dynamiques de la rupture, de la voie empruntée par les ondes entre la source et le site, et de la configuration pédologique du site. La méthodologie standard d'estimation de l'intensité des secousses sismiques repose sur des données empiriques provenant de relevés de séismes historiques aux caractéristiques similaires complétés par des simulations analytiques lorsque les données sont

¹ La dorsale centrale indienne n'est que partiellement modélisée (par exemple, zone 26) du fait de son éloignement relatif d'îles habitées, d'où l'écart entre la distribution des événements historiques et simulés du côté droit de chaque image

éparses (par exemple, secousse sismique générée par des séismes important à courte distance de la rupture). À la différence de l'ouest américain ou du Japon, pour lesquels les relevés de séismes historiques abondent, les historiques de secousses sismiques sont rares pour le sud-ouest de l'Océan indien. Ainsi, les secousses sismiques du modèle de séismes pour le sud-ouest de l'Océan indien sont-elles calculés sur la base de l'hypothèse, généralement admissible, selon laquelle l'atténuation des ondes sismiques est très similaire dans les diverses régions du monde dont la configuration tectonique est la même. En l'absence de données régionales, cette investigation utilise des équations de prédiction de mouvement du sol (*Ground Motion Prediction Equation*, GMPE) élaborées à partir de données recueillies ailleurs dans le monde. Des informations supplémentaires concernant les équations de prédiction du mouvement du sol et des détails relatifs à au module d'intensité de secousse sismique utilisés dans le modèle d'aléa pour le sud-ouest de l'Océan indien figurent en Appendice A. Deux mesures d'intensité sont utilisées dans la région sud-ouest de l'Océan indien pour caractériser la violence des secousses sismiques des séismes en un point donné, soit l'accélération maximale du sol et l'intensité sur l'échelle de Mercalli modifiée. L'accélération maximale du sol est l'accélération relevée au cours d'un séisme en un point donné. L'intensité sur l'échelle de Mercalli modifiée est la violence perçue d'un séisme ; elle repose sur le jugement humain et les dommages observés après l'événement. Il existe des relations bien connues de traduction de l'accélération maximale du sol en intensité sur l'échelle de Mercalli.

Les données de mouvement violent pour la région SWIO sont minimales, en raison de la faible sismicité et du manque d'instrumentation dans cette région ; de ce fait, la validation du calcul d'intensité de secousse sismique s'effectue par comparaison avec les intensités modélisées d'autres agences dans la région, telles que celles communiquées par le United States Geological Survey (USGS). En raison de la faible sismicité historique dans le sud-ouest de l'Océan indien, les intensités modélisées similaires sont rares, ce qui complique encore la validation de modèle. La validation d'intensité est donc réalisée pour les rares événements importants pour lesquels l'USGS a également modélisé des intensités régionales. Cette comparaison est illustrée, pour un événement, dans l'Illustration 16, qui rapproche une intensité modélisée de secousse sismique calculée par les modèles AIR (à gauche) et de l'USGS (à droite) pour les séismes de 1991 à Madagascar. L'intensité de mouvement du sol est exprimée en termes d'accélération maximale du sol (PGA) ; la validation est positive tant en termes d'intensité que de distribution spatiale.

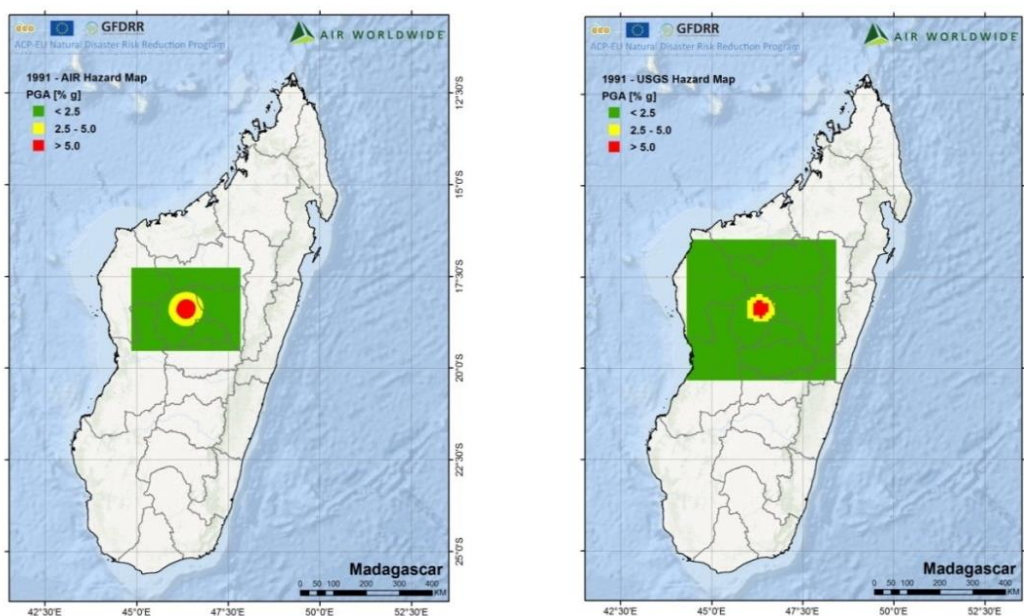


Illustration 16 : Mouvement de terrain modélisé par AIR (à gauche) et l'USGS (à droite), séisme de Madagascar de 1991

2.3.2 Tsunami (TS)

Aucun cas de tsunami important résultant d'un séisme n'a été relevé dans le sud-ouest de l'Océan indien. La raison en est que les tsunamis sont, d'ordinaire, le résultat de séisme d'amplitude élevée dans des zones de subduction, et que le sud-ouest de l'Océan indien n'a pas connu de séisme de magnitude élevée et ne contient pas de zones de subduction majeures. Le danger, dans l'ensemble de la région, réside dans les tsunamis générés par des zones de subduction ailleurs dans l'Océan indien, capables de traverser l'océan (télé-tsunamis en champ lointain). Des modèles d'événement théorique provenant du catalogue de séismes d'Asie du sud-est d'AIR ont été appliqués sur la plateforme de modélisation ComMIT, développée par la NOAA, pour produire des cartes d'aléa de « cas le plus défavorable » de télé-tsunami pour chacune des îles principales du sud-ouest de l'Océan indien. Les cartes d'aléa de tsunami n'indiquent pas la hauteur d'une inondation, non plus que la probabilité d'une inondation imputable à un tsunami. Elles ont vocation à identifier les régions qui, de par leur géographie, sont vulnérables à un tsunami en champ lointain. Des informations supplémentaires concernant la procédure de modélisation de tsunami figurent en Appendice A.

L'unique événement de tsunami en champ lointain historique ayant affecté le sud-ouest de l'Océan indien ces dernières années est le tsunami de 2004 dans l'Océan indien. L'instrumentation en place dans la région n'était pas aussi importante au moment de cet événement, et nombre de mesures d'inondation dans le sud-ouest de l'Océan indien ont été déduites d'études des dommages. Les cartes de tsunamis réalisées dans le cadre de cette étude reposaient notamment sur des relevés de ces événements, mais identifiaient également des régions

susceptibles de présenter un aléa élevé du point de vue d'événements futurs possibles. Par exemple, dans l'illustration 17, d'autres régions vulnérables aux tsunamis sont identifiées dans la comparaison entre les cas d'inondation modélisés et ceux publiés par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) pour l'île seychelloise de Mahé après l'événement de 2004.

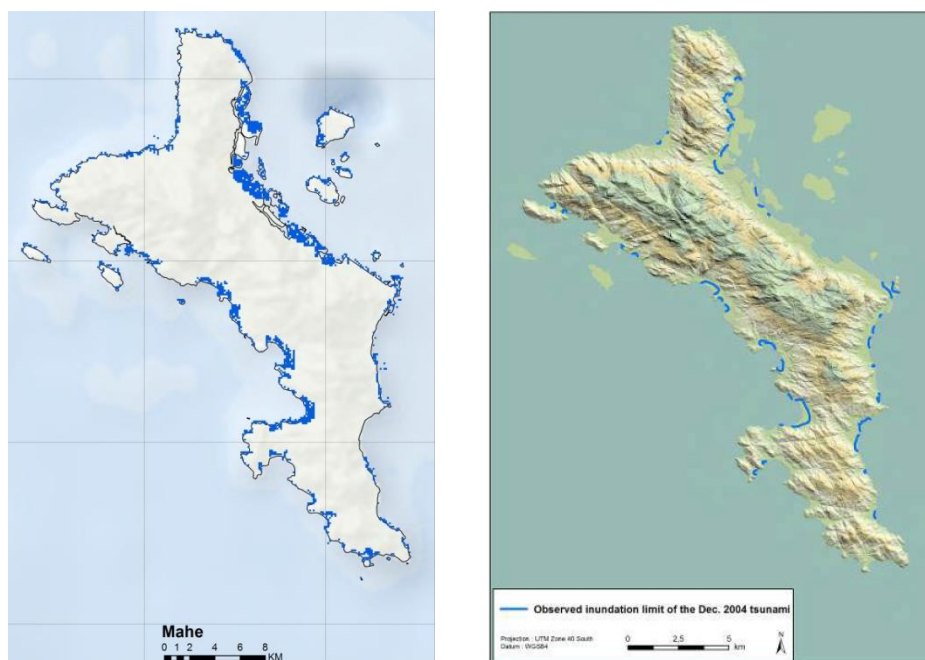


Illustration 17 : Comparaison entre la carte modélisée du tsunami des Seychelles (à gauche) et celle de l'inondation causée par le tsunami de 2004 dressée par le PNUD (à droite) pour l'île de Mahé

2.3.3 Résumé des conséquences de séisme

La base de données des conséquences des inondations des séismes et tsunamis comporte des informations recueillies auprès de sources disponibles publiquement concernant l'impact de 22 événements. La distribution des événements totaux et des événements catastrophiques (entre parenthèses) est décrite dans le Tableau 3. Entre 1883 et 2015, les Comores sont le seul pays à avoir expérimenté une intensité de secousse sismique importante, des événements importants ayant été enregistrés à Madagascar et Maurice. L'événement le plus important à avoir impacté le sud-ouest de l'Océan indien a été le tsunami de 2004, qui a affecté, dans une certaine mesure, les 5 pays examinés. Ainsi qu'indiqué précédemment, la sismicité du sud-ouest de l'Océan indien est limitée. Ainsi en témoigne l'absence d'événements liés à un séisme important dans la base de données des conséquences. Une analyse supplémentaire des impacts des séismes et tsunamis historiques dans la région SWIO figure en Appendice B.

Tableau 3 : Nombre d'événements de séisme important pour chaque nation insulaire du sud-ouest de l'Océan indien, par décennie. Les événements considérés comme « catastrophiques » sont indiqués entre parenthèses.

<i>Décennie</i>	<i>Comores</i>	<i>Madagascar</i>	<i>Maurice</i>	<i>Seychelles</i>	<i>Zanzibar</i>
Avant 1900	1 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)
1900-1909	1 (1)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
1910-1919	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
1920-1929	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1930-1939	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1940-1949	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)
1950-1959	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1960-1969	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1970-1979	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
1980-1989	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)
1991-1999	1 (0)	0 (0)	3 (0)	0 (0)	0 (0)
2000-2009	4 (2)	1 (0)	4 (0)	3 (1)	1 (0)
2010-2015	1 (0)	0 (0)	2 (0)	2 (0)	0 (0)
Total	9 (4)	1 (0)	12 (0)	8 (1)	1 (0)

2.4 Glissement de terrain (Comores)

En vertu du mandat, la susceptibilité aux glissements de terrain a été analysée pour la nation insulaire des Comores et communiquée par un rapport différent (par exemple, Composante 3). Le glissement de terrain constituant un aléa, la précédente analyse est résumée dans les présentes, et une documentation technique détaillée figure en Appendice A, aux fins d'exhaustivité. Dans cette étude, des zones de susceptibilité aux glissements de terrain ont été définies pour les Comores en établissant des corrélations entre des facteurs propices aux glissements de terrain et des zones dans lesquels ont eu lieu de tels glissements de terrain. De manière générale, les causes fondamentale de l'instabilité de pente sont bien connues et décrites dans des études de cas consacrées à des événements spécifiques. Au nombre de ces facteurs propices aux glissements de terrain figurent diverses caractéristiques géomorphologiques, hydrauliques, hydrologiques et anthropogéniques.

La méthode d'analyse de la susceptibilité aux glissements de terrain choisie pour cette étude est l'approche fondée sur le rapport des fréquences (Lepore et al. 2011). Cette méthode suppose de disposer d'informations relatives à des glissements de terrain, tels que leur localisation, la pente et la superficie totale du glissement de terrain. Chaque facteur de nature à entraîner un glissement de terrain dans une zone de glissement de terrain historique est examiné et évalué individuellement. Chaque facteur est alors reclassifié en fonction d'une série de fichiers binaires (par exemple, la pente de la superficie du terrain par incréments de fichiers de 5°), conformément à l'appréciation technique.

Les paramètres utilisés pour l'analyse sont 1) l'aspect de la pente ; 2) la pente ; 3) la courbure ; 4) l'altitude ; 5) la distance par rapport aux routes ; 6) l'occupation des sols ; 7) l'accélération maximale du sol avec une périodicité de 500 ans ; 8) les pluies accumulées résultant de précipitations de cyclone tropical avec une périodicité centennale ; et 9) la hauteur inondation résultant de précipitations de cyclone extratropical avec une périodicité centennale. La carte de glissement de terrain obtenue pour les Comores est présentée dans l'Illustration 18 ; elle décrit >80% des glissements de terrain historiques dans les zones à susceptibilité « élevée » et « intermédiaire ».

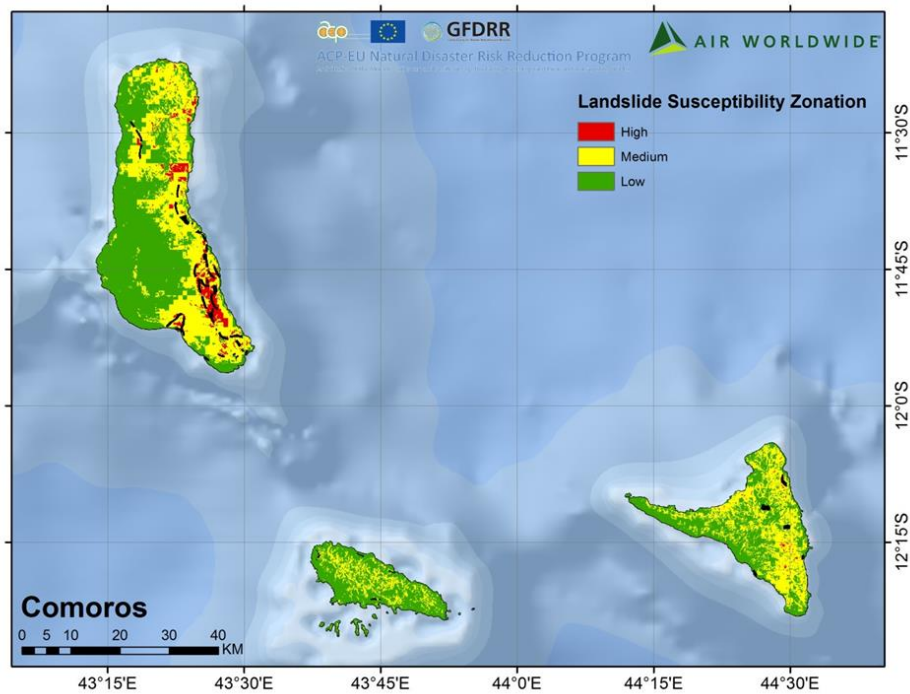


Illustration 18 : Cartographie de susceptibilité aux glissements de terrain pour les Comores, par île, sur laquelle les glissements de terrain historiques figurent en noir (résolution : 90 m x 90 m)

2.5 Résumé et limitations des données

Dans les précédentes sections figure un aperçu très général de chaque aléa modélisé pour le projet SWIO RAFI. Une documentation de modèle complète pour chaque modèle est également fournie en Appendice A.

Des catalogues et modèles d'intensité d'aléa pour le sud-ouest de l'Océan indien ont été élaborés aux fins d'une évaluation d'aléa basée sur le portefeuille à l'échelle du pays, en relation avec l'aléas naturels de cyclone tropical, de séisme et d'inondation, dans le but spécifique d'estimer les pertes économiques liées aux dommages résultant d'événements catastrophiques. Les modèles d'aléa ne correspondent pas nécessairement à la vérité ou aux éléments de fait d'aléas régionaux réels ; il s'agit plutôt d'une interprétation sur la base de données disponibles, de techniques statistiques, de méthodologies de pointe de modélisation de catastrophe et d'appréciation technique.

Les limitations inhérentes aux données, en termes d'existence, d'accessibilité, d'exactitude et de précision ont compliqué de manière significative l'élaboration de catalogues et de modèles d'intensité d'aléa. Plusieurs « insuffisances de données » ont été identifiées lors de l'élaboration de ces modèles, et des données supplémentaires dans ces catégories devraient être extrêmement utiles pour améliorer l'élaboration de futurs modèles régionaux de catastrophe. Ces « insuffisances de données » concernent notamment :

- les données météorologiques : relevés historiques concernant des événements météorologiques, et notamment à la fois des stations météorologiques et des données météorologiques régionales, et généralement médiocres dans le sud-ouest de l'Océan indien. Ainsi, les relevés historiques de cyclones tropicaux omettent fréquemment des paramètres critiques, tels que la pression centrale ou des trajectoires de tempête complètes, compliquant le développement de statistiques paramétriques. Il est apparu que les données de stations météorologiques n'étaient pas fiables, lorsqu'elles étaient disponibles, et qu'il n'était pas rare qu'elles soient, au moins en apparence, erronées par comparaison avec des données de référence d'agences internationales de droit public. D'autres impacts d'événements météorologiques, tels que des hauteurs d'inondation relevées et des empreintes d'inondation de marée de tempête, n'ont pas été communiqués par des agences locales et sont disponibles auprès de sources publiques. En conséquence, la validation d'intensité de modèle réalisée pour le vent, les précipitations, inondation et la marée de tempête est en grande partie anecdotique et repose en grande partie sur les ensemble de données limités disponibles publiquement.
- Les données sismologiques : dans la région, les données sismologiques sont, d'ordinaires, peu abondantes et de qualité médiocre. Les paramètres d'événement pour les événements de séisme historiques et les données relatives aux failles géologiques actives, tels que la géométrie de faille, le mécanisme de rupture, le taux de glissement et les amplitudes caractéristiques, ont été recueillis dans divers catalogues de séisme historique d'agences internationales de droit public et travaux de recherche publiés. Il n'existe apparemment pas de relevés historiques, et notamment de relevés d'intensité de secousse et des données GPS d'événements de séisme, pour la région du sud-ouest de l'Océan indien. La validation de l'intensité de modèle est donc un processus difficile. Elle a reposé sur

intensité de modèle calculée par des agences internationales pour un nombre limité d'événements historiques disponibles.

- Données géologiques : en particulier pour l'évaluation du glissement de terrain aux Comores, un inventaire plus complet et précis des événements de glissement de terrain historiques (par exemple, le lieu, l'ampleur, la date, etc.) devrait améliorer les résultats de la méthode de détermination du rapport des fréquences. Des cartes géologiques détaillées, caractérisations pédologiques ou profils de forage devraient également améliorer les résultats de cette analyse.
- Marée de tempête : pour élaborer un modèle solide de marée de tempête, une validation des résultats modélisés par rapport aux données mesurées est essentielle. Il n'existe pas, à ce jour, de valeurs mesurées de marée de tempête pour le sud-ouest de l'Océan indien permettant de valider les résultats modélisés. Des valeurs de marée de tempête mesurées en divers points contribueraient à l'identification de régions vulnérables aux marées de tempête et à appréhender les effets d'une marée de tempête.
- Propriétés physiques : les données utilisées pour étalonner les propriétés physiques de chaque île (par exemple, l'utilisation des sols, l'occupation des sols, le type de sol, etc.) communiquées par les agences locales diffèrent d'une île à une autre, et des ensembles de données satellitaires homogènes et mondiaux ont été utilisés en lieu et place dans l'ensemble de la région. L'utilisation de telles données de moindre résolution réduit la précision du modèle, en particulier pour les petites îles dont la taille est souvent inférieure à la résolution des mesures satellitaires.
- Impact des événements : la base de données des conséquences, qui catalogue les impacts relevés de tous les événements de catastrophe naturelle dans la région, était limitée aux événements décrits par les agences locales et publiques. En outre, les informations disponibles concernant les dommages en découlant et les pertes économiques subies du fait de catastrophes naturelles sont très limitées dans cette région. La résolution de la base de données pourrait être améliorée si des données sont distinguées par région administrative de base (par exemple, habitations endommagées ou pertes subies par province ou commune). Si des informations détaillées sont disponibles dans la base de données DesInventar en relation avec des événements historiques choisis, diverses statistiques, tels que des comptes d'habitation endommagées ou détruites, paraissent souvent faibles au regard de l'impact écrit à l'échelle nationale.

3 Profils d'aléa

Des profils d'intensité d'aléa sont produits pour les cyclones tropicaux (CT), les inondations provoquées par les précipitations de cyclone tropical, les inondations causées par les marées de tempête de cyclone tropical, les inondations provoquées par les précipitations de cyclone extratropical (CET) et les secousses sismiques de séisme pour des périodicités stochastiques moyennes de 25, 50, 100, 250, 500 et 1 000 ans. La périodicité moyenne ouvre une perspective moyenne sur l'intensité d'aléa pour chaque aléa ; il existe une incertitude importante pour chaque périodicité moyenne. Les profils d'aléa sont constitués de l'intensité maximale modélisée à chaque intervalle respectif de récurrence sur une grille d'une résolution de 30 secondes d'arc (environ 1 km). Une empreinte non probabiliste d'ampleur d'inondation causée par un tsunami provoqué par un séisme est produite, pour tous les pays, sur une grille d'une résolution de 3 secondes d'arc (environ 90 m), et une couche de susceptibilité aux glissements de terrain est produite, uniquement pour les Comores, également sur une grille de 3 secondes d'arc. Des empreintes d'intensité d'aléa pour des « événements marquants » pour l'aléas de cyclone tropical et de séisme sont également présentes et étudiées plus amplement en Appendice A et Appendice B.

Les profils d'intensité d'aléa présentés dans les sections suivantes sont destinés à illustrés une vue unique homogène (c'est-à-dire, à une échelle uniforme) des fichiers de données et de formes GIS figurant dans l'addendum numérique au présent rapport. Une version haute résolution de chaque carte figure également dans l'addendum numérique. L'échantillon de cartes d'intensité numérique présenté ici correspond à une périodicité moyenne centennale (équivalant à la probabilité annuelle de dépassement de 1 %) pour chaque aléa modélisé. Des affichages supplémentaires peuvent être créés au moyen de fichiers de données et de formes, en fonction des exigences de l'utilisateur final. Les mesures d'intensité d'aléa fournies pour chaque danger, conformément au mandat, sont énumérées dans le Tableau 4 ci-après. Des événements historiques marquants sont résumés dans le Tableau 5.

Les profils d'intensité d'aléa sont générés en tant que résultats intermédiaires de modèle, et les résultats sont destinés à être utilisés dans le contexte d'une évaluation d'aléa de catastrophe naturelle (voir Composante 3). Les résultats d'aléa n'en sont pas moins utiles pour l'identification de régions d'aléa accru ou, en combinaison avec la création d'empreintes d'exposition (voir, Composante 2), pour réaliser des agrégation de valeur à aléa.

Tableau 4 : Mesures et unités d'intensité d'aléa communiquées pour chaque résultat de fichier de données et fichier de formes

<i>Catégorie d'aléa subalterne</i>	<i>Cyclone tropical (CT)</i>	<i>Cyclone extratropical (CET)</i>	<i>Séisme (S)</i>	<i>Glissement de terrain (GT)</i>
Vent (W)	1 minute à (km/h)* ; 1 minute à (km/h) ; rafale 3 sec. à (km/h)	-	-	-
Inondation due aux précipitations (F)	mm	mm	-	-
Inondation due à marée de tempête (SS)	mm	-	-	-
Secousse(s)	-	-	PGA, MMI	-
Tsunami (TS)	-	-	m [†]	-
Indice de susceptibilité (SI)	-	-	-	SI [°]

*Les vitesses de vent durant 1 min. sont présentées dans ce rapport. Les vitesses de vent durant 10 min. et les rafales de 3 sec. figurent dans les fichiers de données.

[†]Uniquement ampleur des inondations ; aucune hauteur d'inondation associée n'est fournie.

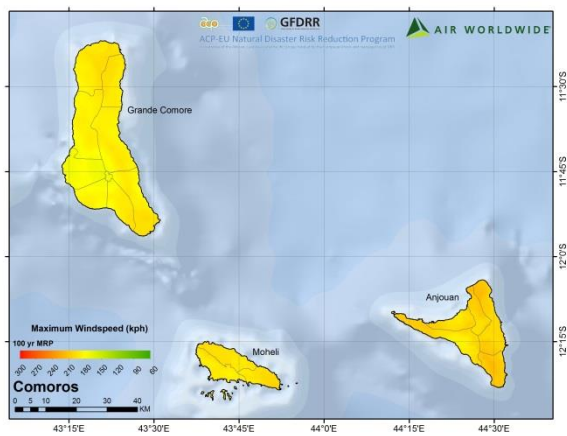
[°]L'indice de susceptibilité (SI) ne comporte pas d'unité.

Tableau 5 : Événements historiques marquants sélectionnés organisés par aléa

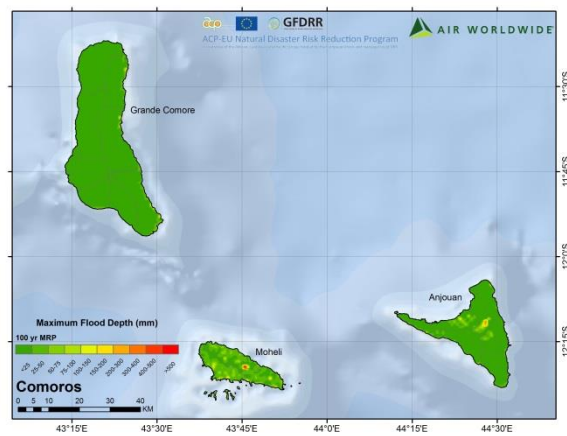
<i>Aléa</i>	<i>Catégorie d'aléa subalterne</i>	<i>Pays affecté</i>	<i>Année de l'événement</i>	<i>Dénomination de l'événement</i>	<i>Identité d'événement AIR</i>
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	1994	Geralda	590
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2000	Eline	674
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2004	Gafilo	729
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2007	Indlala	763
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2008	Ivan	775
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2012	Giovanna	821
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2013	Haruna	834
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Madagascar	2014	Hellen	846
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Maurice	1989	Firinga	517
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Maurice	1994	Hollanda	591
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Maurice	1999	Davina	665
TC	Vent, inondation, marée de tempête	Maurice	2002	Dina	697
EQ	Secousse	Comores	1985	M6.3	6858
EQ	Secousse	Madagascar	1985	M5.5	7078
EQ	Secousse	Madagascar	1991	M5.5	8783

3.1 Comores

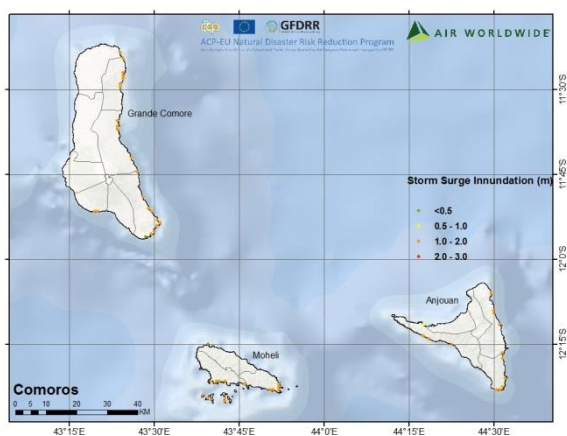
CT : Vent (périodicité centennale)



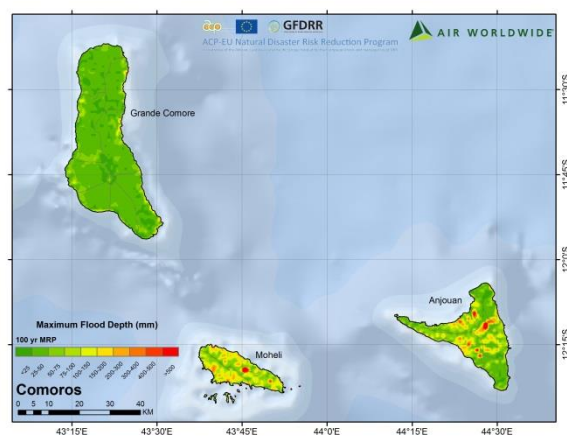
CT : Inondation (périodicité centennale)



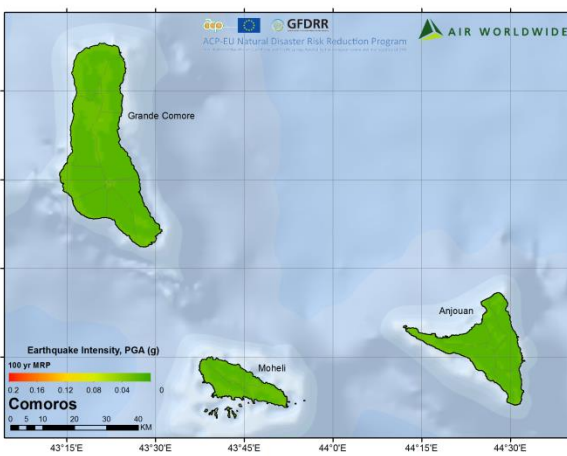
CT : Marée de tempête (périodicité centennale)



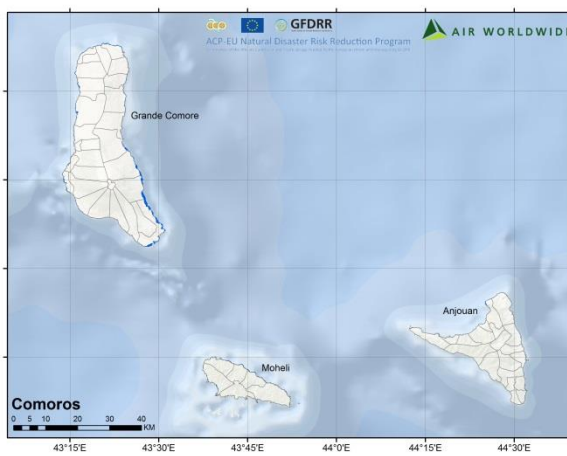
CET : Inondation (périodicité centennale)



S : Secousse sismique (périodicité centennale)

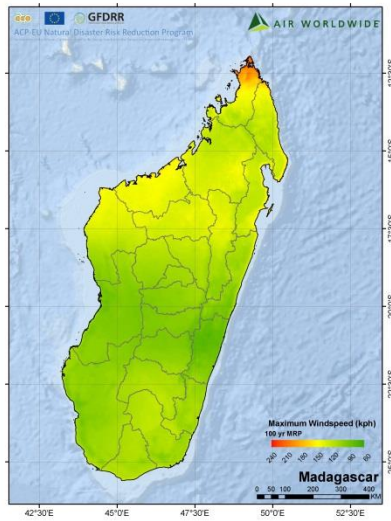


S : Hauteur de l'inondation de tsunami (TS)



3.2 Madagascar

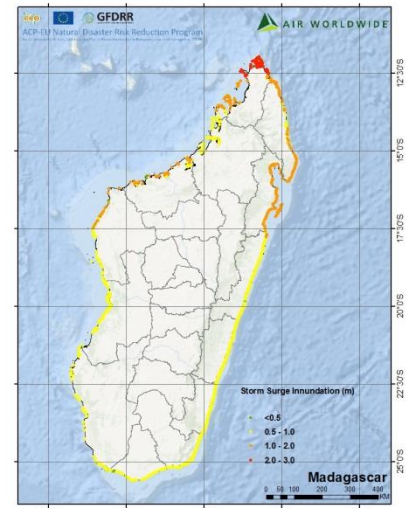
CT : Vent (périodicité centennale)



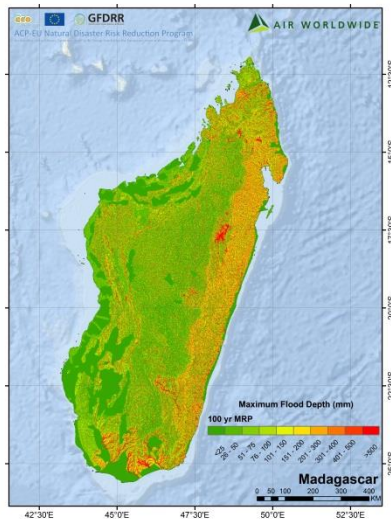
CT : Inondation (périodicité centennale)



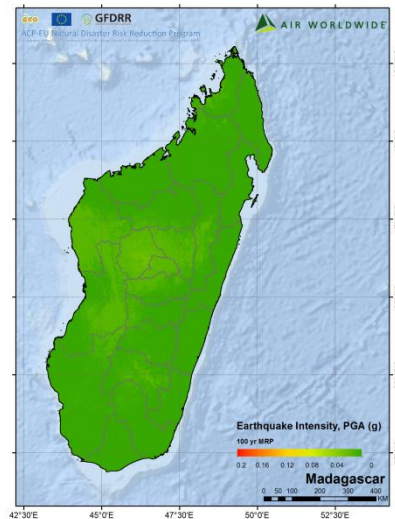
CT : Marée de tempête (périodicité centennale)



CET : Inondation (périodicité centennale)



S : Secousse sismique (périodicité centennale)

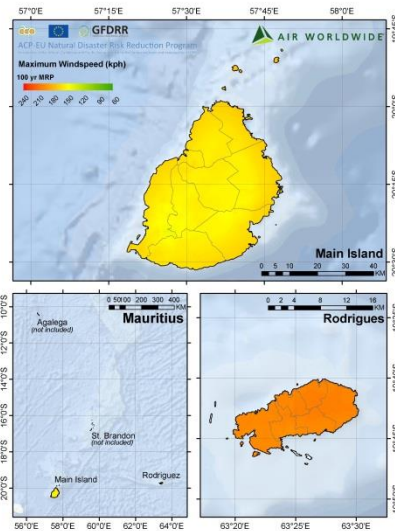


S : Hauteur de l'inondation de tsunamis (TS)

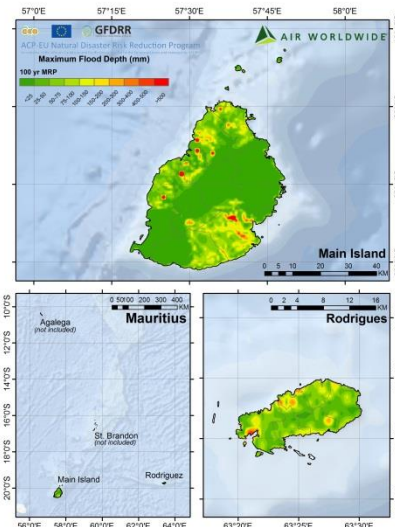


3.3 Maurice

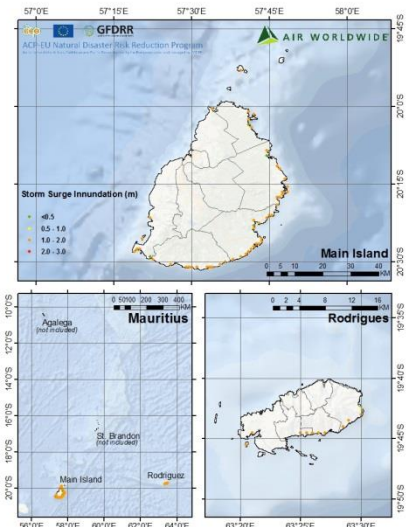
CT : Vent (périodicité centennale)



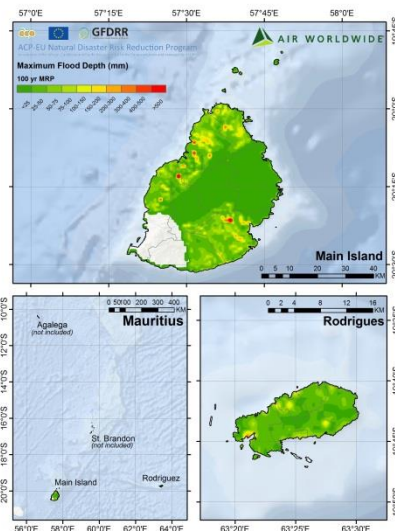
CT : Inondation (périodicité centennale)



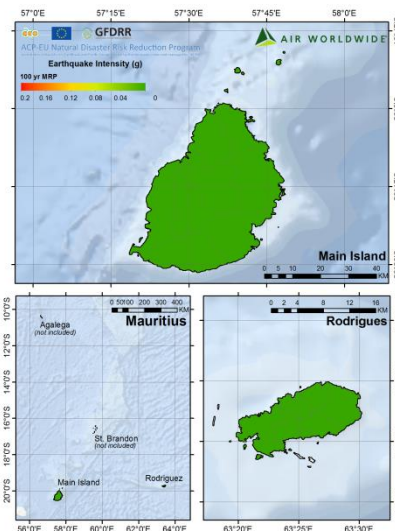
CT : Marée de tempête (périodicité centennale)



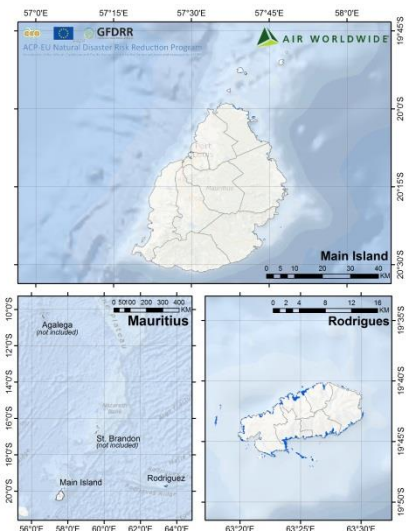
CET : Inondation (périodicité centennale)



S : Secousse sismique (périodicité centennale)

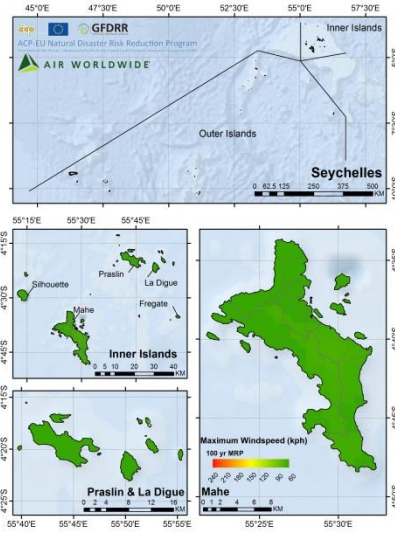


S : Hauteur de l'inondation de tsunami (TS)

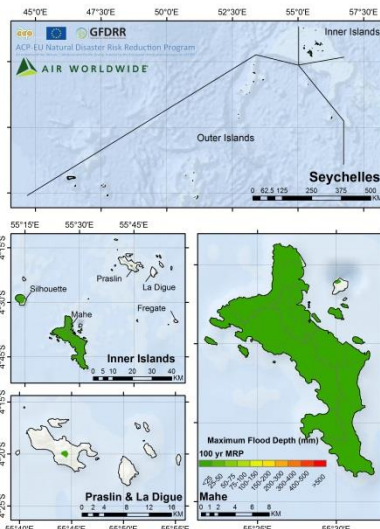


3.4 Seychelles

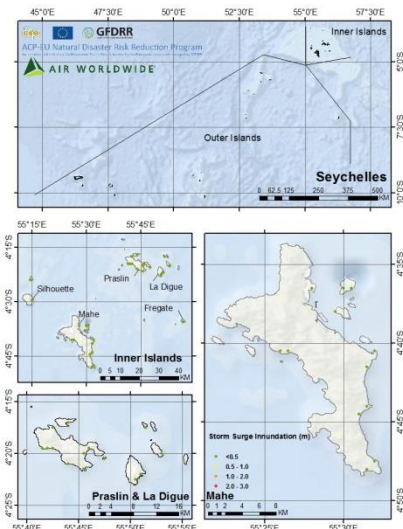
CT : Vent (périodicité centennale)



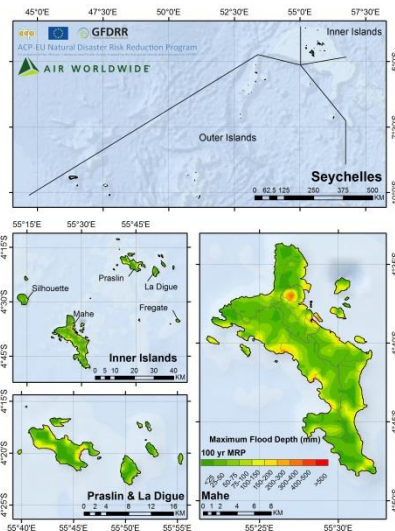
CT : Inondation (périodicité centennale)



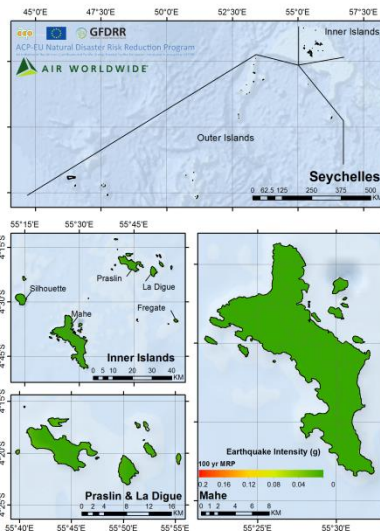
CT : Marée de tempête (périodicité centennale)



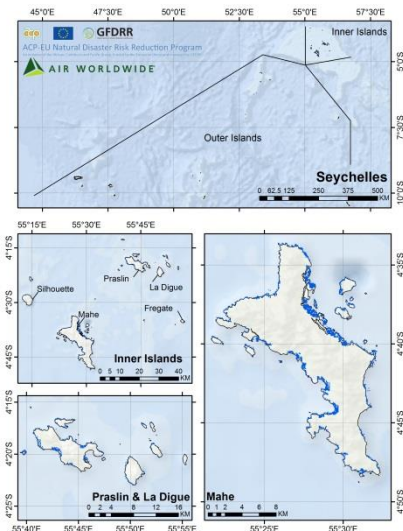
CET : Inondation (périodicité centennale)



S : Secousse sismique (périodicité centennale)

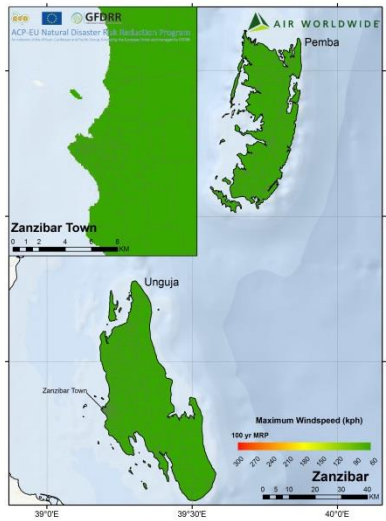


S : Hauteur de l'inondation de tsunami (TS)

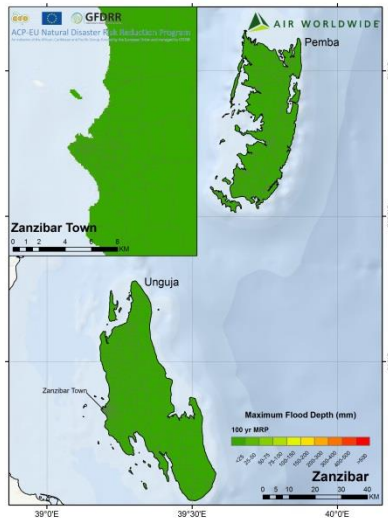


3.5 Zanzibar

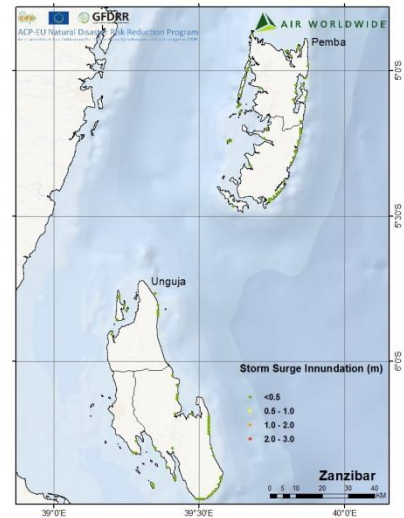
CT : Vent (périodicité centennale)



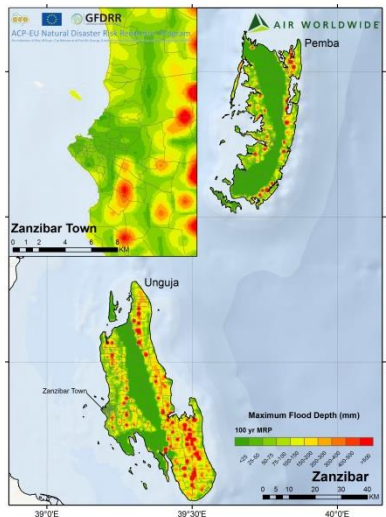
CT : Inondation (périodicité centennale)



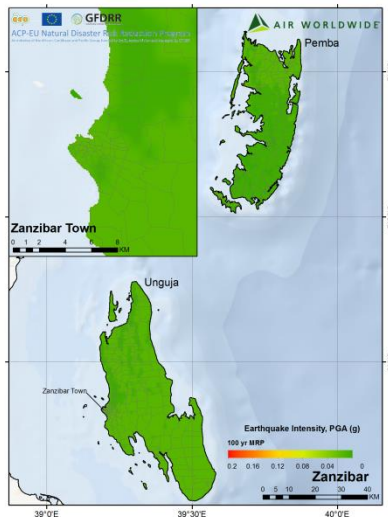
CT : Marée de tempête (périodicité centennale)



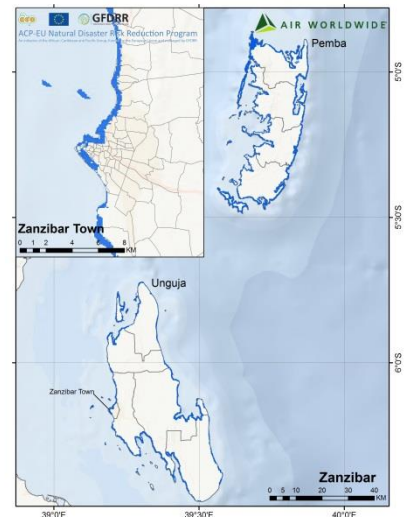
CET : Inondation (périodicité centennale)



S : Secousse sismique (périodicité centennale)



S : Hauteur de l'inondation de tsunami (TS)

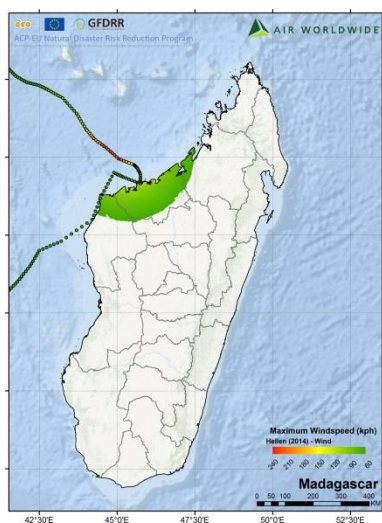


3.6 Événements marquants

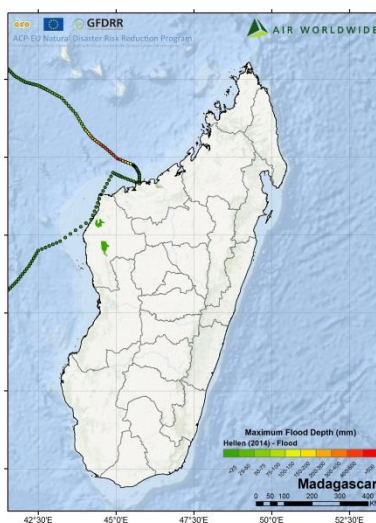
Des empreintes d'aléa pour des événements importants ou « marquants » historiquement sont fournis ici. Les catégories d'aléa subalternes incluent le vent, les inondations provoquées par les précipitations et celles résultant de marées de tempête. Des cartes haute résolution sont également fournies en pour chaque événement en addendum numérique au présent rapport.

Madagascar - Cyclone tropical Hellen (2014)

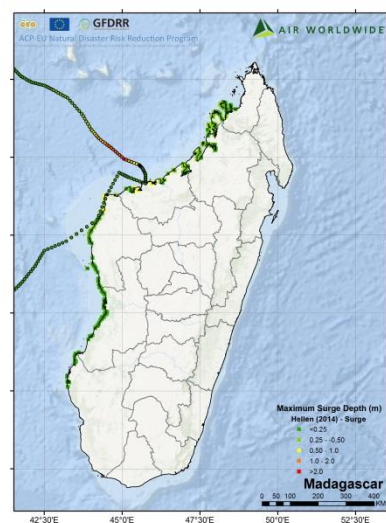
Vent



Inondation

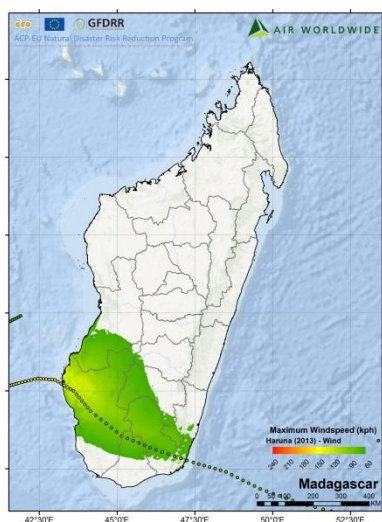


Marée de tempête

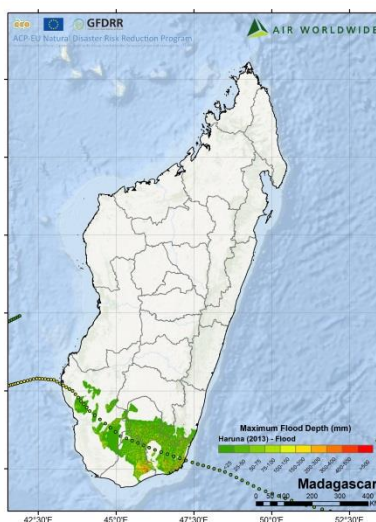


Madagascar - Cyclone tropical Haruna (2013)

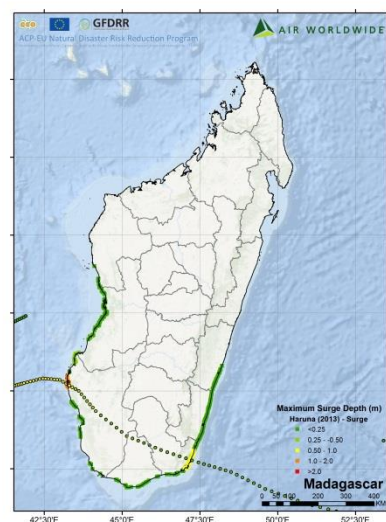
Vent



Inondation

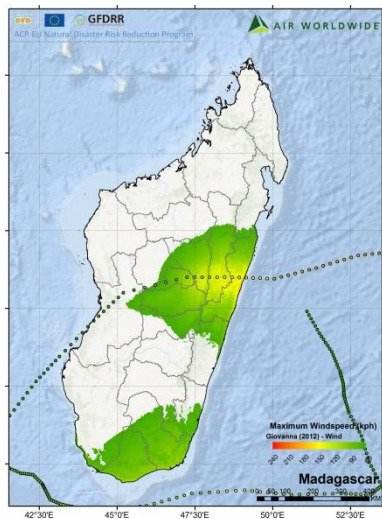


Marée de tempête

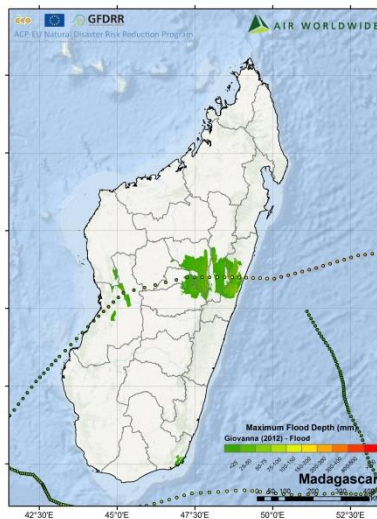


Madagascar - Cyclone tropical Giovanna (2012)

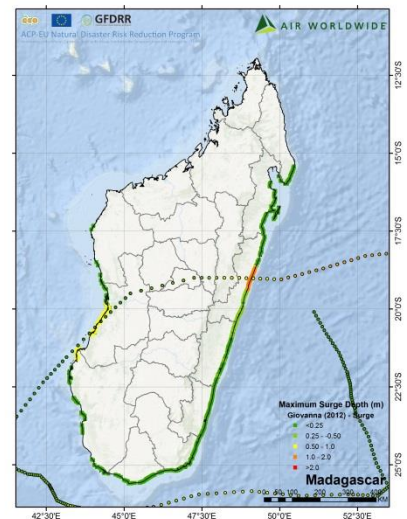
Vent



Inondation

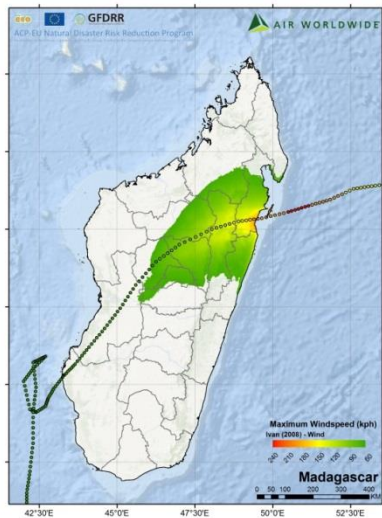


Marée de tempête

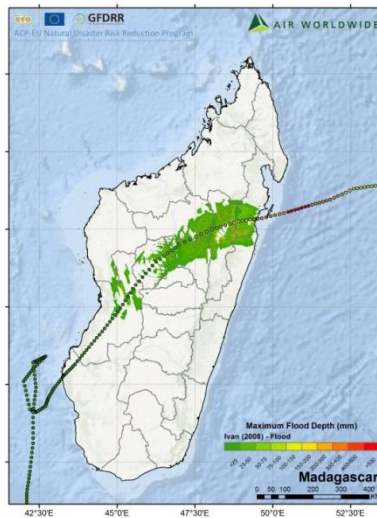


Madagascar - Cyclone tropical Ivan (2008)

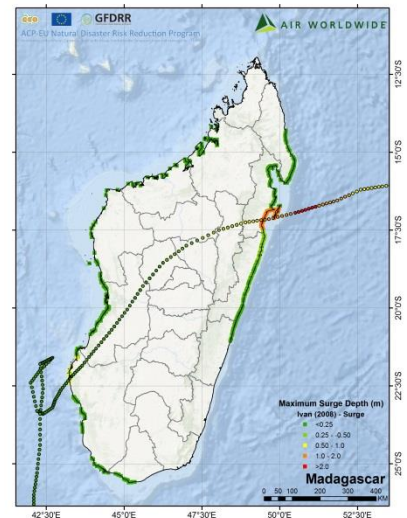
Vent



Inondation

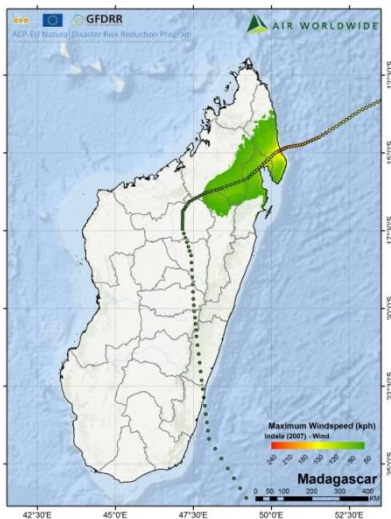


Marée de tempête

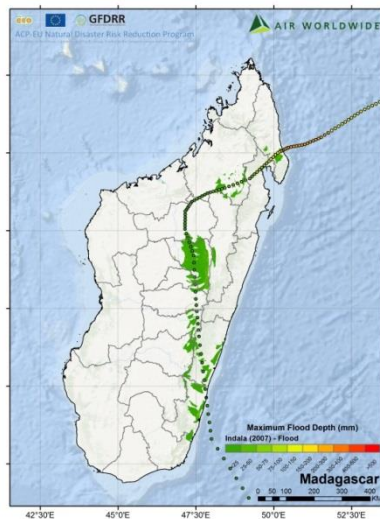


Madagascar - Cyclone tropical Indlala (2007)

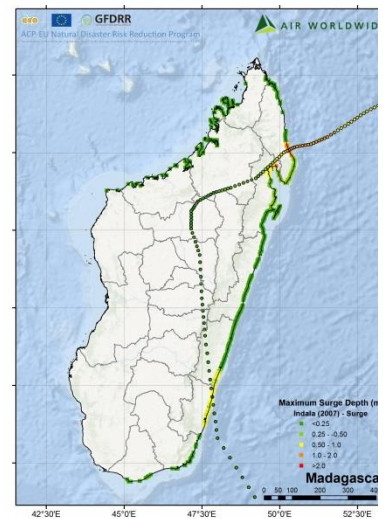
Vent



Inondation

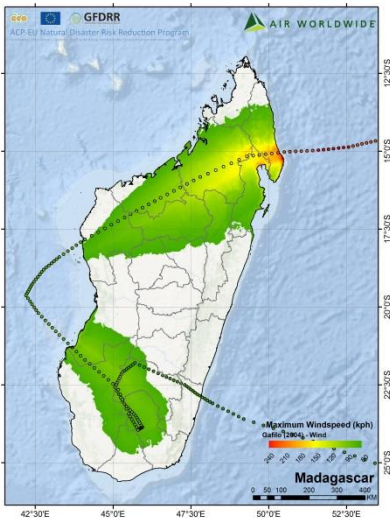


Marée de tempête

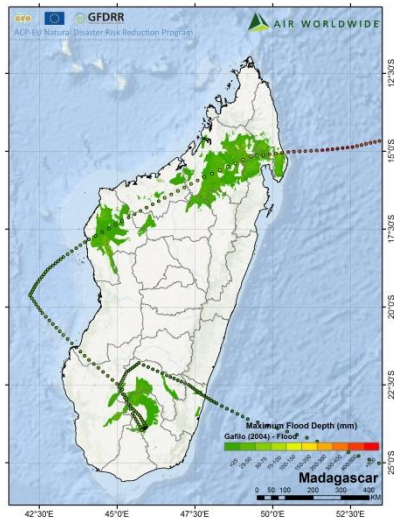


Madagascar - Cyclone tropical Gafilo (2004)

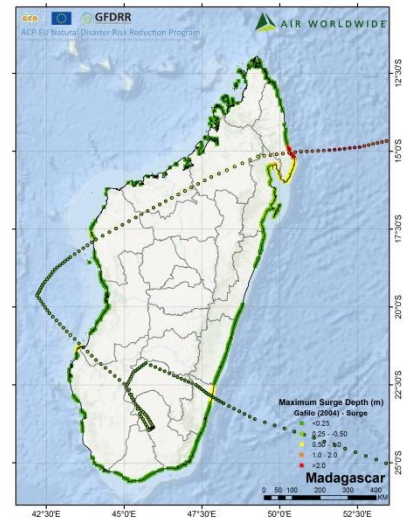
Vent



Inondation

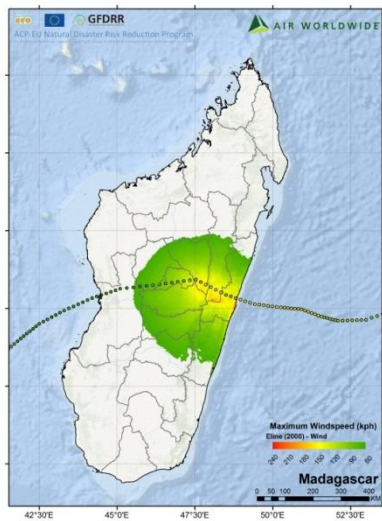


Marée de tempête

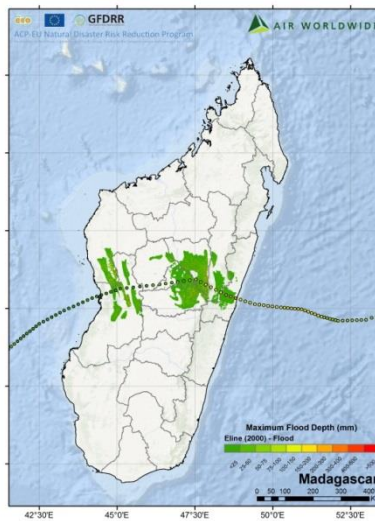


Madagascar - Cyclone tropical Eline (2000)

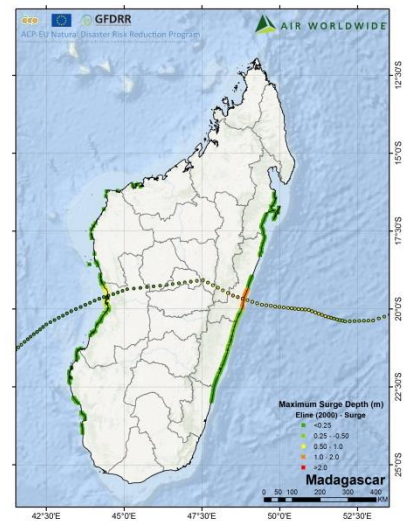
Vent



Inondation

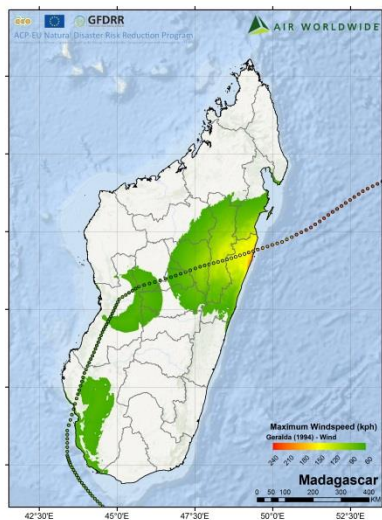


Marée de tempête

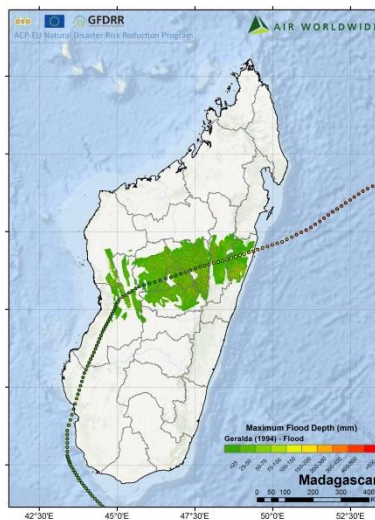


Madagascar - Cyclone tropical Geralda (1994)

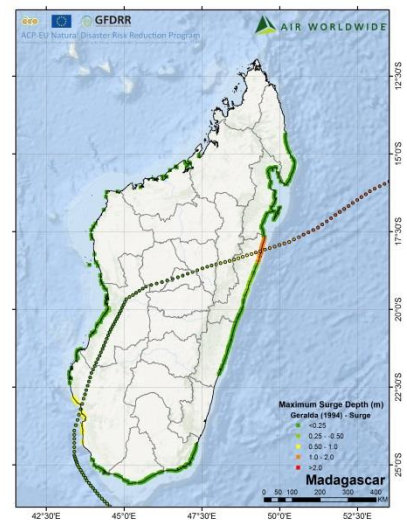
Vent



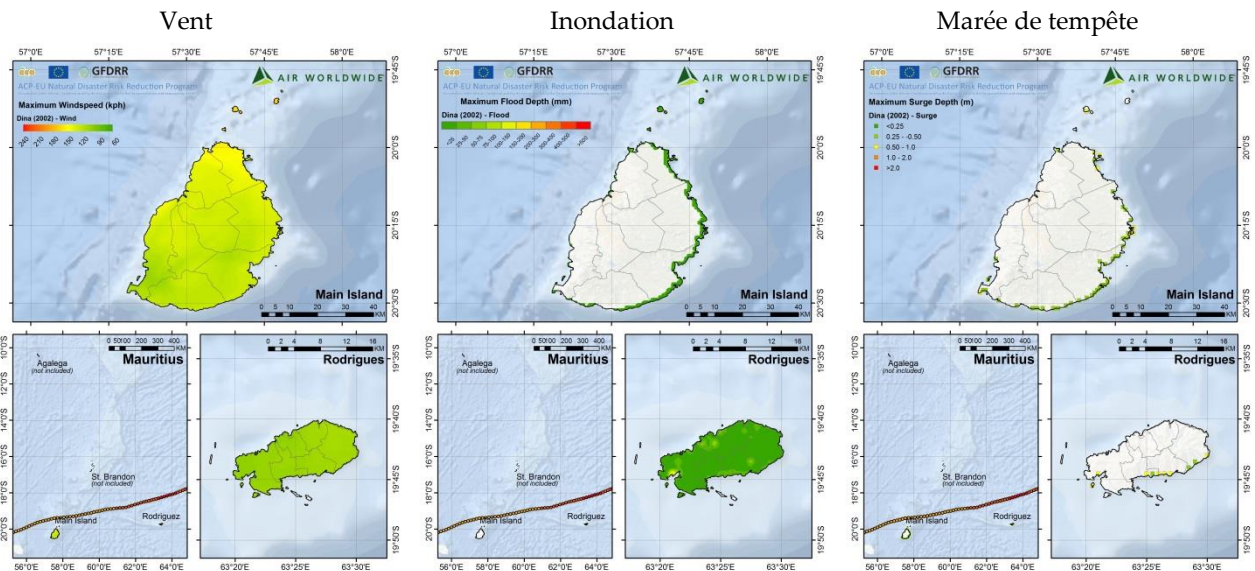
Inondation



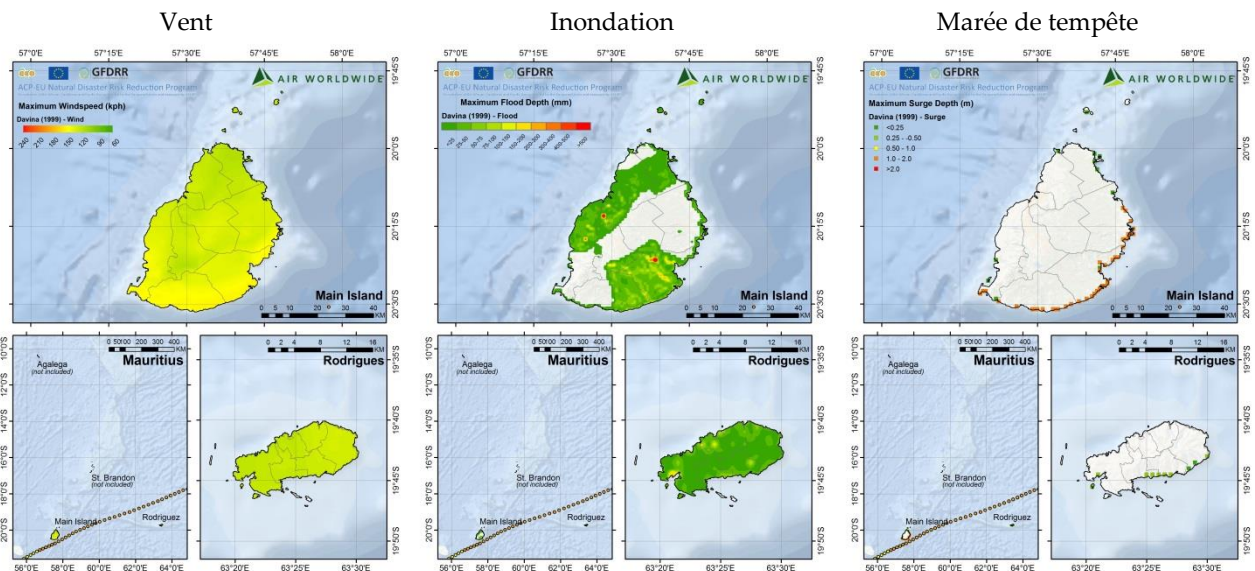
Marée de tempête



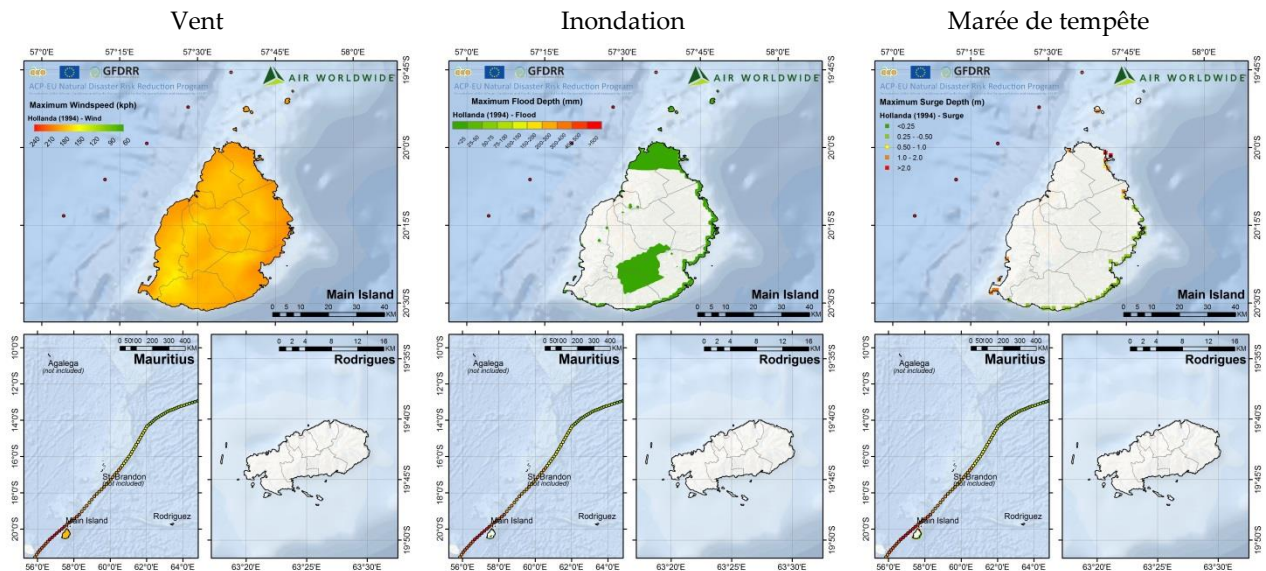
Maurice - Cyclone tropical Dina (2002)



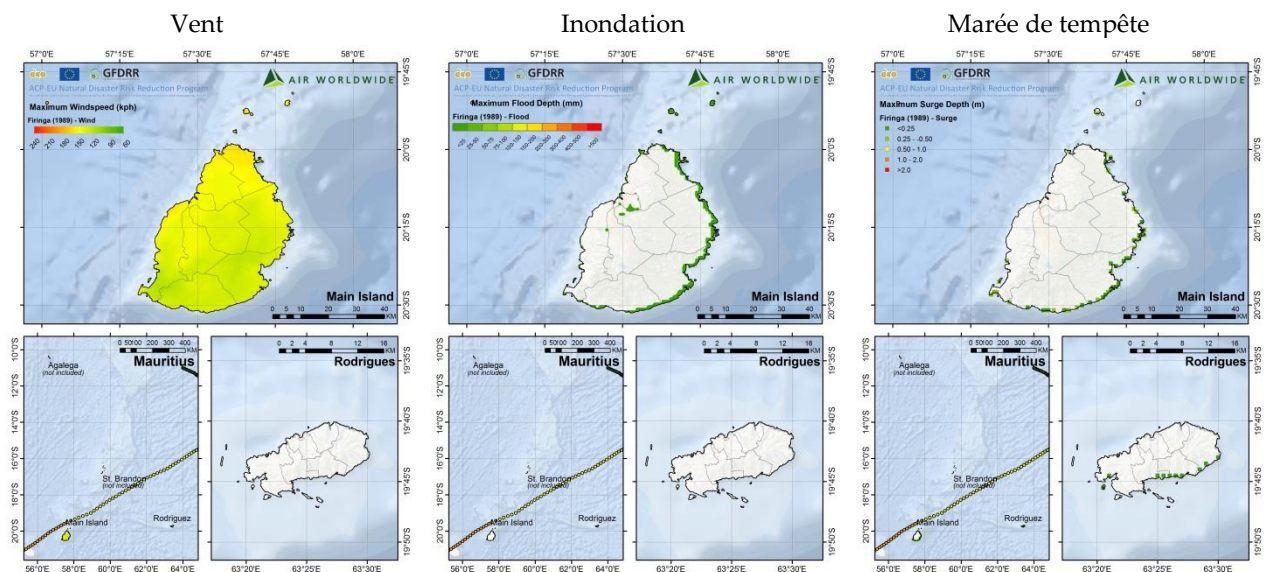
Maurice - Cyclone tropical Davina (1999)



Maurice - Tropical Cyclone Hollanda (1994)



Maurice - Tropical Cyclone Firinga (1989)



4 Annexe A – Documentation détaillée relative au modèle

L'Annexe A est fournie comme supplément technique à la liste de modèle présenté dans le corps principal du rapport. Des descriptions détaillées des données, de la méthodologie et la validation appliquée pour les modèles de cyclone tropical, cyclone extratropical, séisme et glissement de terrain sont proposées dans les sections suivantes.

4.1 Cyclone tropical

Le modèle d'aléa de cyclone tropical a été développé pour l'aléas liés au vent, aux inondations causées par des précipitations et marées de tempête inondant le sud-ouest de l'océan Indien. Une description générale des détails techniques du modèle de cyclone tropical, avec un accent sur le sud-ouest de l'océan Indien, est fournie dans la présente section. La section est structurée en trois grandes parties : (1) la description des événements et des techniques de génération d'événement (2) la simulation stochastique des événements, et (3) le module de calcul d'intensité locale.

4.1.1 Génération d'événement

L'équipe de modélisation de cyclone tropical développé par AIR a recueilli des données sur 847 cyclones tropicaux historiques qui ont eu lieu dans le sud de l'océan Indien, entre 1950 et 2014. AIR s'appuie sur des informations d'organismes qui recueillent des données originales sur les cyclones tropicaux historiques sous forme de traces de barographe provenant de stations terrestres et de navires, d'enregistrements réels de vent provenant de stations-météo, données de vol d'avions de reconnaissance, données radar, données sur les précipitations et autres enregistrements sur la pression et le vent.

Le catalogue stochastique pour le modèle est basé sur des données historiques du IBTrACs qui recueille et conserve des données à partir d'une variété de sources ; les sources primaires pour la région du SOOI comprennent :

- RSMC La Réunion ;
- Australian Bureau of Meteorology (BoM) ;
- Joint Typhoon Warning Center (JTWC).

Le catalogue des cyclones historiques, sur lequel est basé le catalogue stochastique du modèle, a été mis au point en mélangeant des informations de trajectoire des organismes mentionnés ci-dessus. Tous les cyclones historiques potentiellement ayant engendré des dégâts qui ont affecté les pays sud-ouest de l'océan Indien ont été identifiés, y compris ceux qui n'ont pas touché le continent.

De nombreux paramètres sont utilisés pour générer des événements de cyclones tropicaux stochastiques, y compris la date et le lieu de genèse. L'emplacement, la vitesse de progression et la direction de la tempête, la pression centrale, le rayon de vent maximum (RMW), et le taux de précipitation sont extraits de la base de données de l'IBTrACS toutes les 6 heures et interpolé à des intervalles d'une heure pour la durée de la tempête. Des paramètres supplémentaires sont enregistrés pour les tempêtes qui touchent terre, à savoir l'heure et l'emplacement de l'impact (par exemple, la latitude et la longitude approximative), le segment de côte concerné, l'angle de la trajectoire et la pression centrale.

Lors de l'évaluation des pertes de cyclones tropicaux, les principaux paramètres environnementaux utilisés sont la vitesse du vent et la hauteur d'inondation. La vitesse du vent est calculée en utilisant la taille, l'emplacement, la vitesse de progression et la direction de la tempête, le terrain régional, et l'occupation et l'utilisation du sol (OUS). La hauteur d'inondation quant à elle est calculée en appuyant sur des mesures de précipitations par satellite et un modèle sur les eaux de ruissellement pluviales, tel que discuté plus en détail ici.

Domaine modélisé

Parce que le modèle tient compte de l'inondation induite par les précipitations ainsi que des dégâts causés par le vent et les vagues, le domaine sur lequel l'aléas et les pertes liés aux cyclones tropicaux sont modélisés doit être beaucoup plus grand que s'il s'agissait de modéliser uniquement les dommages causés par le vent et les vagues. L'empreinte des précipitations des cyclones tropicaux peut s'étendre sur des centaines de kilomètres carrés ; même des tempêtes faibles plusieurs centaines de kilomètres au large des côtes peuvent engendrer des dommages causés par l'inondation des terres. Le domaine modélisé de cyclone tropical est illustré à la Figure A. 1. Figure A.1

En outre, des inondations locales sont souvent causées par des précipitations qui se sont produites en amont. Par conséquent, l'empreinte des dommages des inondations peut être bien plus importante que celles du vent, des vagues ou des précipitations. En outre, étant donné que les niveaux maximums d'inondations peuvent se déplacer sur le réseau fluvial en plusieurs jours, la trajectoire du cyclone tropical, son intensité et sa taille doivent être modélisées avec précision pendant plusieurs jours après la que tempête ait touché terre (ou son contournement le plus proche).

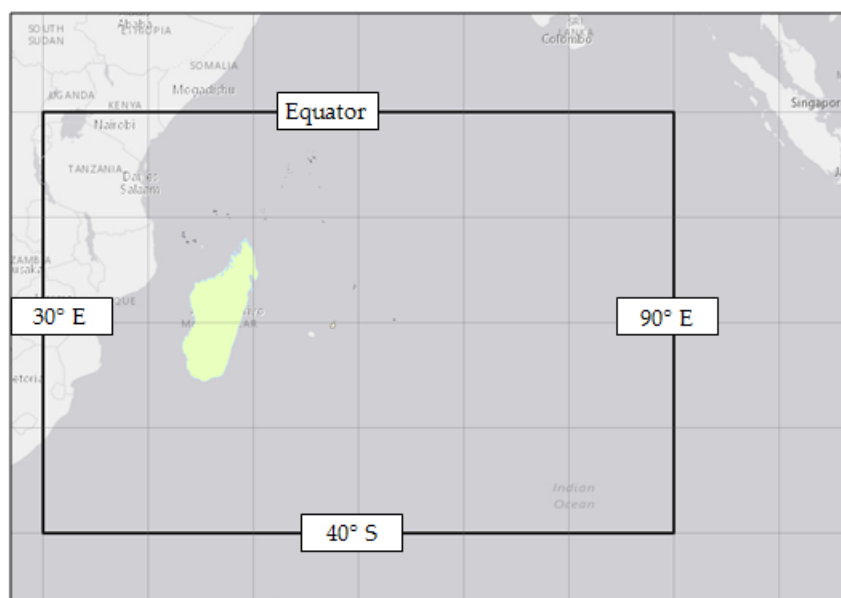


Figure A.1. Domaine du modèle Typhoon d'AIR pour le bassin du SOOI

La fréquence et l'emplacement des tempêtes annuelles

Dans la région du SOOI, la saison cyclonique commence le 15 novembre et se termine le 30 avril de l'année civile suivante. La fréquence, les données météorologiques et les informations sur la trajectoire modélisées sont analysées dans le domaine géographique décrit ci-dessus dans la **Figure A.1**.

En termes de formation de cyclone tropical, le bassin sud-ouest de l'Océan indien est l'une des plus actives de la planète. En moyenne, 13 cyclones tropicaux dont les vitesses des vents excèdent 63 km/h se forment ici chaque année. Les tests d'ajustement statistique révèlent que la fréquence annuelle de la formation de cyclones tropicaux dans le domaine modélisé est représentée de façon optimale par une distribution de Poisson. Figure A.2 indique la probabilité annuelle de cyclones tropicaux touchant terre du catalogue stochastique pour Madagascar.

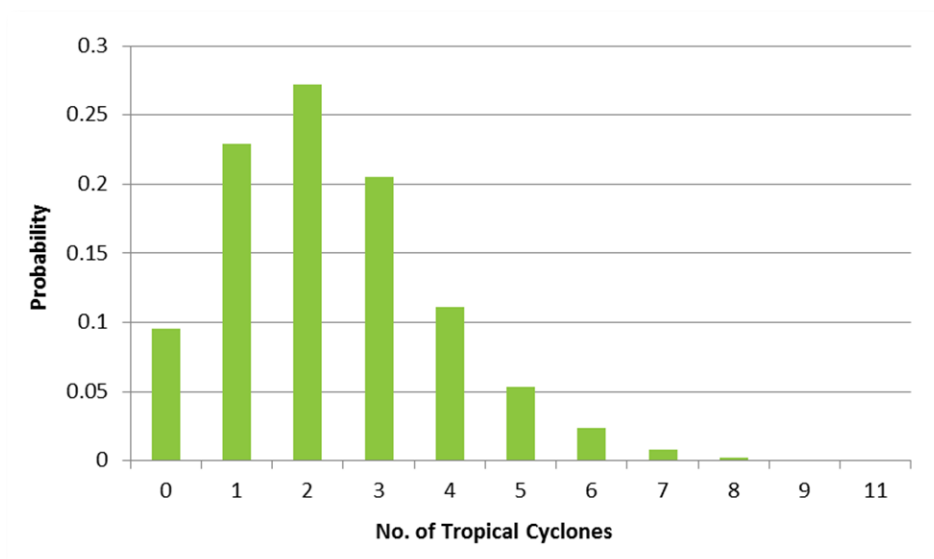


Figure A.2. La probabilité annuelle cyclones tropicaux simulés touchant terre- Madagascar

La fin de l'automne et le début de l'hiver sont les périodes les plus actives en matière de formation de cyclones tropicaux, et il existe un cycle saisonnier évident qui culmine en janvier. Le sud-ouest du bassin indien est unique car on observe la formation de cyclones tropicaux durant tous les mois de l'année. La Figure A.3 montre la répartition des cyclones tropicaux historiques par mois, à la genèse dans le domaine modélisé.

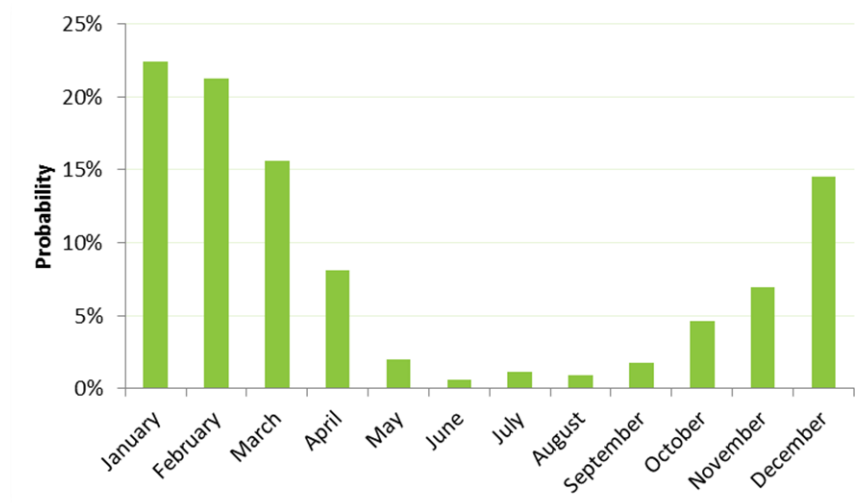


Figure A.3. Distribution des événements historiques par mois pour le domaine modélisé

Emplacement de la genèse de la tempête



Pour chaque simulation de tempête, une tempête historique correspondante est sélectionnée de façon aléatoire dans l'ensemble de tous les orages historiques pour la période 1950-2014. Tous les aspects de la genèse, tels que la date de la tempête simulée, son emplacement de départ, l'angle de sa trajectoire, sa vitesse de progression et sa pression centrale sont déterminés en perturbant stochastiquement les variables correspondantes pour la tempête historique sélectionnée. La perturbation est réalisée en ajoutant un bruit « gaussien » à chaque valeur historique. L'évolution future de la tempête stochastique est ensuite déterminée à l'aide de modèles de séries chronologiques autorégressifs décrits dans les sections suivantes. Il en résulte une zone de genèse de tempête « ajustée », comme illustrée dans la Figure A.4.

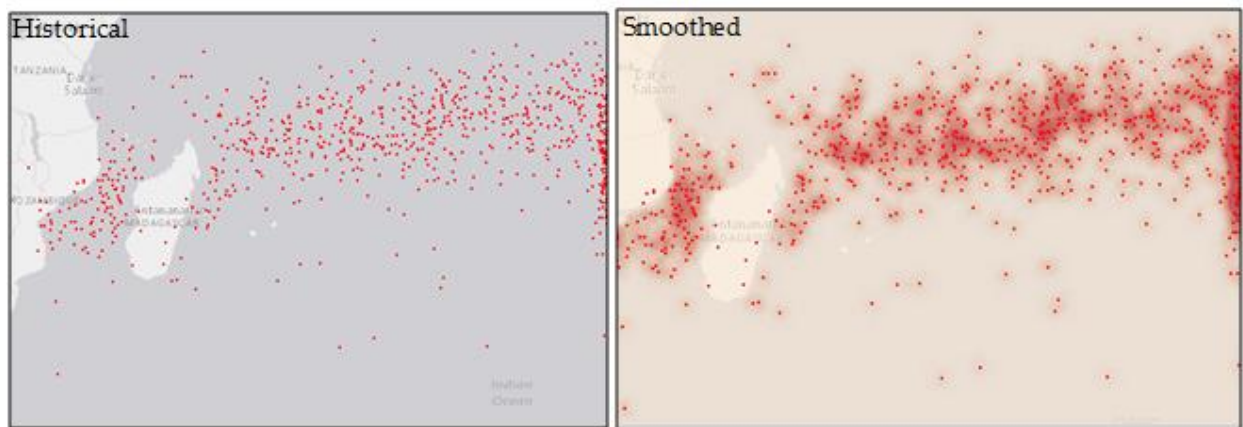


Figure A.4. Emplacements historiques de genèse de tempêtes (à gauche) et emplacements ajustés de formation de tempêtes (à droite)

Formation de trajectoire de tempête

La direction de la trajectoire à un moment donné est une fonction de la direction de la tempête à l'étape précédente. Le lien entre une période et une autre peut être mesuré par le calcul de la fonction de corrélation automatique pour les tempêtes historiques. Une analyse des trajectoires des tempêtes historiques indique qu'un modèle de marche aléatoire représente bien la dépendance à cette variable. Donc la direction de la tempête à l'étape suivante correspond à la direction actuelle de la tempête agrémentée d'une perturbation aléatoire tirée d'une distribution de probabilité permettant de varier dans l'espace sur le domaine modélisé. La simulation est mise en œuvre à l'aide d'étapes de six heures et de distributions de probabilité conditionnelle estimées pour les cellules de grille $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ en utilisant des données historiques disponibles pour chaque cellule de la grille.

L'avantage de cette approche probabiliste de la génération de trajectoire de tempête est que les trajectoires des cyclones tropicaux simulés ressemblent aux trajectoires courbes et recourbées historiquement observées. En

outre, le fait qu'elles soient entièrement probabilistes signifie qu'il est possible de générer toutes les trajectoires de tempête, pas seulement les trajectoires historiques.

Multiples tempêtes ayant touché terre

Un seul cyclone tropical peut toucher ou contourner plusieurs fois la terre. Dans le modèle développé par AIR, une tempête qui « contourner » est une tempête qui n'a pas touché terre mais qui passe suffisamment près pour provoquer une force de vents de tempête tropicale (ou supérieur) et/ou des inondations. Le modèle développé par AIR suit chaque tempête simulée de sa création jusqu'à ce qu'elle se dissipe ; la simulation intègre plusieurs cyclones tropicaux ayant touché terre et évités la terre. La simulation de la fréquence de multiples arrivées à terre et contournements de tempêtes est cohérente avec l'évolution historique de la fréquence de ces tempêtes.

Vitesse de progression, pression centrale, rayon de vent maximum

Pour chaque tempête simulée, la vitesse de progression, la pression centrale et le rayon de vent maximum peuvent également varier dans la trajectoire de la tempête.

Vitesse de progression

La vitesse de progression ou transitionnelle est la vitesse à laquelle un cyclone se déplace d'un point à un autre le long de sa trajectoire ; ce paramètre contribue à la vitesse et à la durée du vent. En général, plus la latitude d'un cyclone est faible, plus sa vitesse de progression est rapide. La vitesse de progression varie le long de la trajectoire de tempête, et les valeurs observées à chaque étape sont également en corrélation avec les valeurs observées lors des précédentes étapes.

Une analyse de la fonction de corrélation automatique pour les tempêtes historiques montre que la dépendance à la vitesse de progression peut être représentée par un modèle autorégressif de premier ordre :

$$F_{st} = \alpha_0 + \alpha_1 TVF_{-1} + \epsilon_t$$

où F_{st} est la vitesse de progression à l'instant t , α_0 et α_1 sont des paramètres estimés à partir des données historiques, et ϵ_t est un terme de bruit ou de perturbation. Pour capturer la variation spatiale de la vitesse de progression, le domaine modélisé est divisé en bandes de latitude de 10° , avec les paramètres α_0 et α_1 calculés pour chaque bande de latitude.

La combinaison de la vitesse de progression simulée et de la direction de la tempête détermine l'emplacement de chaque tempête simulée aux étapes successives. Cette méthodologie permet des transitions en douceur de la vitesse de progression à mesure que la latitude de la tempête évolue.

Pression centrale



La pression centrale est le principal déterminant de l'intensité du vent des cyclones tropicaux. En vue d'élaborer une méthode pour la simulation de la pression centrale le long de la trajectoire des tempêtes, AIR a effectué une analyse chronologique de toutes les tempêtes historiques pour déterminer la structure de dépendance présente dans les données d'intervalles de temps de six heures consécutives. Cette dépendance a été mesurée par le calcul de la fonction de corrélation automatique pour chaque tempête. Le modèle de la fonction d'auto-corrélation calculée indique que l'évolution de la dépendance au fil du temps est décrite de façon optimale à l'aide d'un modèle autorégressif de second ordre. Selon ce modèle, la pression centrale Cp_t au temps t peut être représentée comme suit :

$$Cp_t = \alpha_0 + \alpha_1 Cp_{t-1} + \alpha_2 Cp_{t-2} + \varepsilon_t$$

où Cp_t et Cp_{t-2} sont les pressions centrales au temps $t-1$ et $t-2$, les paramètres α_0 , α_1 et α_2 sont des constantes estimées à partir des données, et ε_t est un terme de perturbation aléatoire.

Pour capturer la variation spatiale dans les coefficients, les paramètres ont été estimés pour chaque cellule de grille de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ dans le domaine modélisé. Figure A.5 montre la distribution modélisée, par intensité, des cyclones tropicaux qui touche terre à Madagascar.

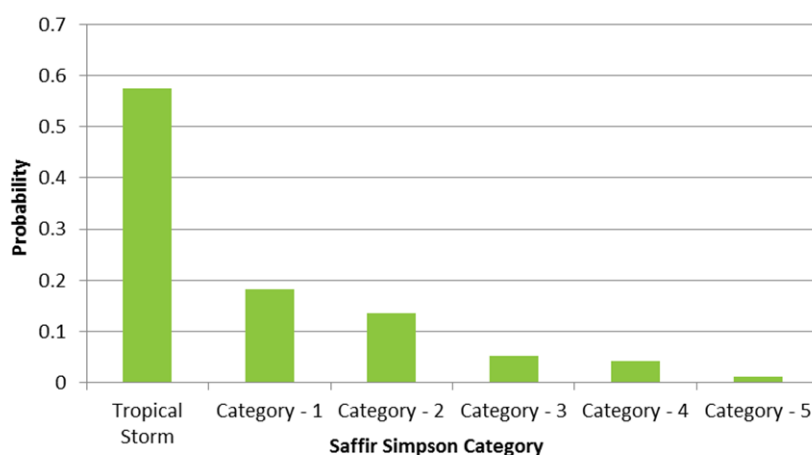


Figure A.5. Probabilité de tempête simulée par catégorie d'intensité touchant terre - Madagascar

Rayon de vent maximum

Le rayon de vent maximum (R_{max}) est la distance du centre de la tempête, ou œil, où se trouvent les vents les plus forts. En moyenne, le rayon de vent maximum tend à être plus important aux latitudes plus éloignées de l'équateur et plus faibles pour les tempêtes plus intenses. Ces relations sont explicitement prises en compte dans le modèle. Alors qu'un petit rayon de vent maximum peut correspondre à une plus grande intensité de tempête, les pertes en sont en conséquence nécessairement plus importantes. En effet, un plus petit rayon implique généralement que la zone affectée est plus petite.

Dans le modèle de cyclone tropical développé par AIR, $R_{\max}$ est calculé par une relation de régression fonction de la pression centrale et de la latitude :

$$R_{\max} = \beta_0 + \beta_1(Cp_{wt} - Cp_t) + \beta_2\phi_t + \varepsilon_t$$

où Cp_{wt} et Cp_t représentent respectivement la pression périphérique et centrale, et ϕ_t correspond à la latitude de la tempête, tout à l'instant t . Le terme de perturbation à l'instant t est une fonction linéaire de la perturbation à l'instant précédent $t-1$, et η une perturbation normalement distribuée :

$$\varepsilon_t = \alpha\varepsilon_{t-1} + \eta$$

4.1.2 Statistiques sommaires du catalogue stochastique

Le modèle de cyclone tropical développé par AIR pour le sud-ouest du bassin indien contient plus de 129 000 événements simulés dans le domaine modélisé, tel que défini précédemment. Un total de 23 152 tempêtes touchent terre à Madagascar et 3 366 à l'île Maurice. Le nombre maximum d'événements ayant touché terre en une seule année est 11 à Madagascar et 4 à Maurice.

Validation de la génération d'événements stochastiques

Les modèles de catastrophe développés par AIR sont largement validés. Chaque élément du modèle est minutieusement vérifié par rapport à des données obtenues sur des événements historiques. Cette section fournit quelques exemples illustrant les résultats de la procédure de validation.

Fréquence de validation

La fréquence annuelle de l'occurrence des cyclones tropicaux dans le domaine modélisé est représentée par une distribution de Poisson. Figure A.6 présente une comparaison entre la simulation et le caractère saisonnier historique à la genèse, tandis que Figure A.7 compare le nombre annuel de probabilités simulées et historiques.

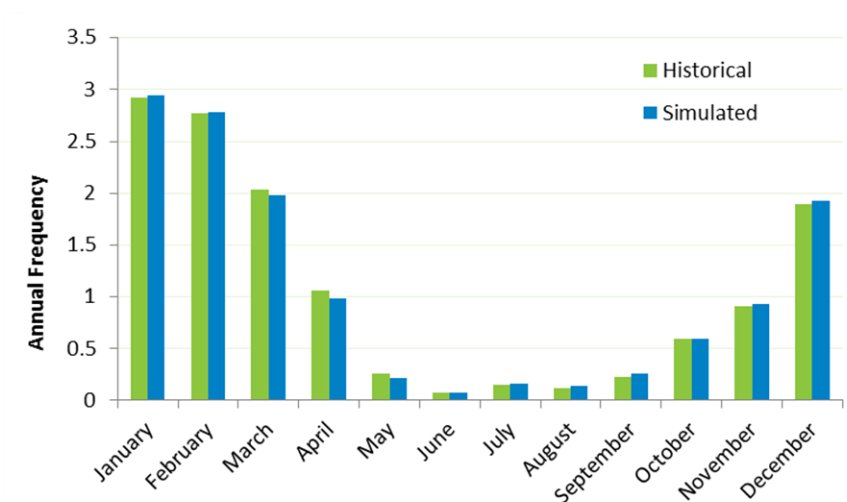


Figure A.6. Comparaison de la fréquence saisonnière historique et simulée à la genèse pour les cyclones tropicaux dans le domaine modélisé

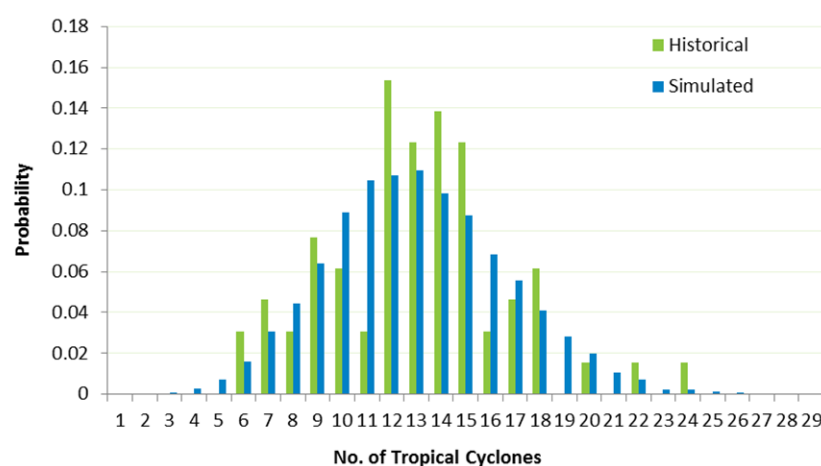


Figure A.7. Comparaison du nombre annuel de probabilités simulées et historiques pour les cyclones tropicaux dans le domaine modélisé

Les figures A.8 à A.11 comparent les probabilités simulées et historiques de cyclones tropicaux ayant touché terre à Madagascar, à Maurice, aux Comores et aux Seychelles. Zanzibar n'est pas représentée en raison du faible nombre d'événements historiques de cyclones tropicaux dans la nation insulaire.

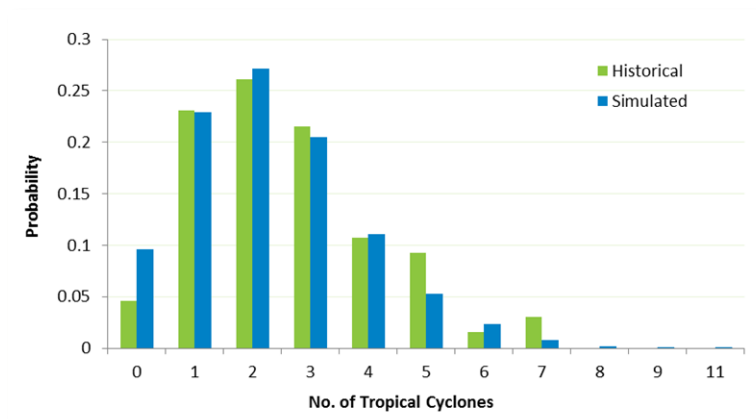


Figure A.8. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Madagascar

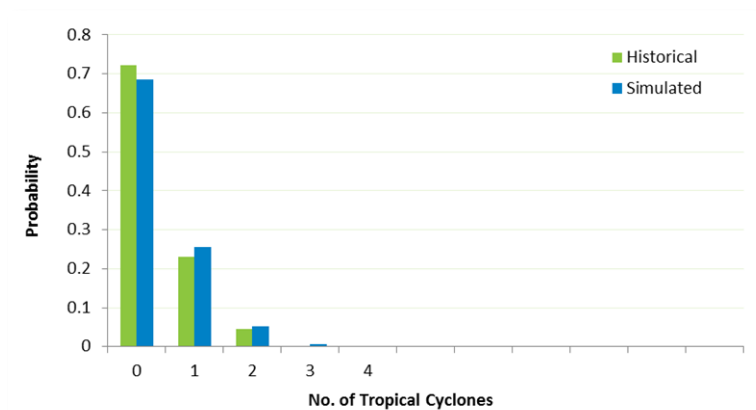


Figure A.9. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Île Maurice

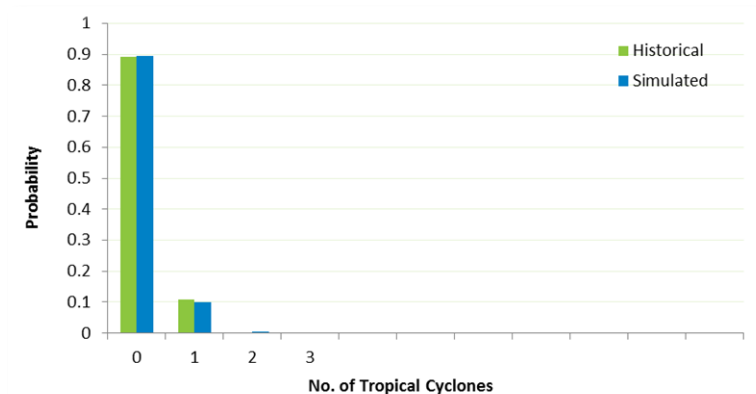


Figure A.10. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Comores

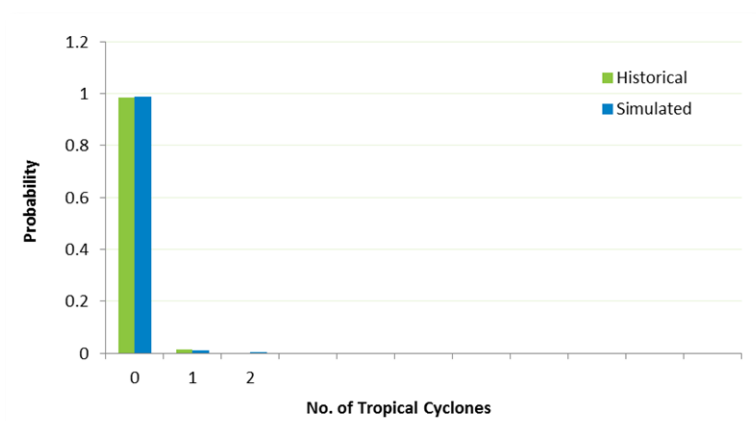


Figure A.11. Comparaison de la fréquence d'arrivées à terre historiques et simulées - Seychelles

Validation des trajectoires de tempête

Les cyclones tropicaux sont orientés par les flux environnementaux moyens et hauts environnants, qui évoluent souvent de façon saisonnière dans le bassin Indien du sud-ouest. En général, les tempêtes ont tendance à se déplacer d'est en ouest dans les zones tropicales de l'hémisphère sud et commencer à se recourber vers le sud puis le sud-est alors qu'elles s'approchent du pôle.

La Figure A.12 compare le catalogue historique (1950-2014) et d'un échantillon aléatoire de trajectoires de tempête générées stochastiquement sur une période de 65 ans de différentes catégories d'intensité dans le bassin Indien du sud-ouest. Les trajectoires modélisées illustrent la grande variété de directions que les cyclones tropicaux qui touchent le sud-ouest de l'océan Indien peuvent adopter et indiquent une cohérence raisonnable avec les données historiques.

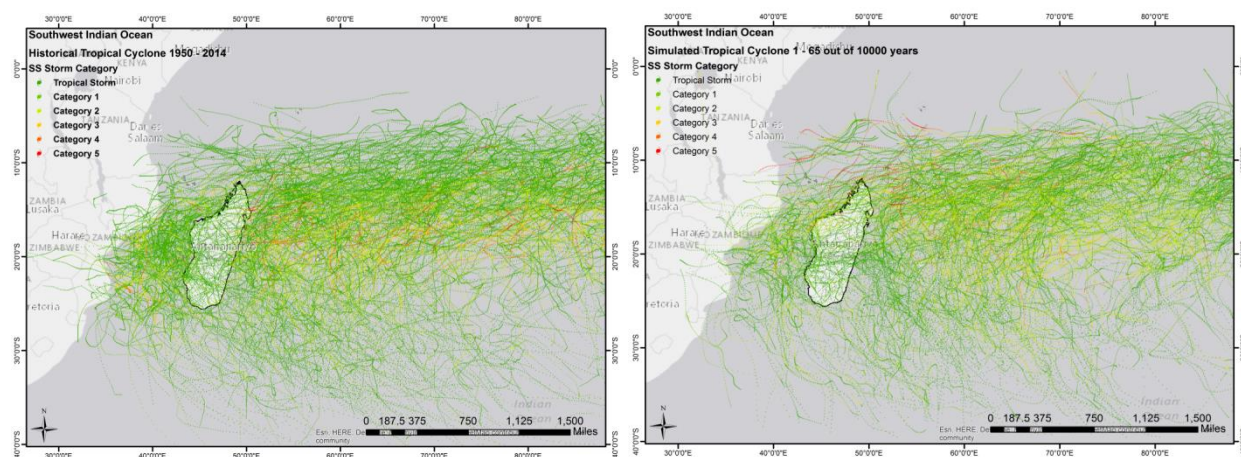


Figure A.12. Comparaison de trajectoires de tempête historiques (à gauche) et modélisées (à droite) pour une période de 65 ans

Validation des paramètres météorologiques à l'arrivée à terre

Le Tableau A.1 compare la pression centrale moyenne au moment de toucher terre, le rayon de vent maximum et la vitesse de progression des événements modélisés et historiques. La comparaison montre l'absence de biais évidents dans l'un des paramètres modélisés.

Tableau A.1. Comparaison de valeurs historiques et simulées à l'arrivée à terre - Madagascar

<i>Variable du modèle</i>	<i>Moyenne du catalogue historique (1950-2014)</i>	<i>Moyenne de catalogue stochastique (10 000 ans)</i>
Pression centrale	990 mb	990 mb
Rayon de vent maximum	54 km	56 km
Vitesse de progression	17 km/h	19 km/h

Validation de la fréquence d'arrivée à terre

Figure A.13 et Figure A.14 présentent une comparaison de l'intensité des cyclones tropicaux historiques et simulés au moment de toucher terre pour Madagascar et Maurice, respectivement.

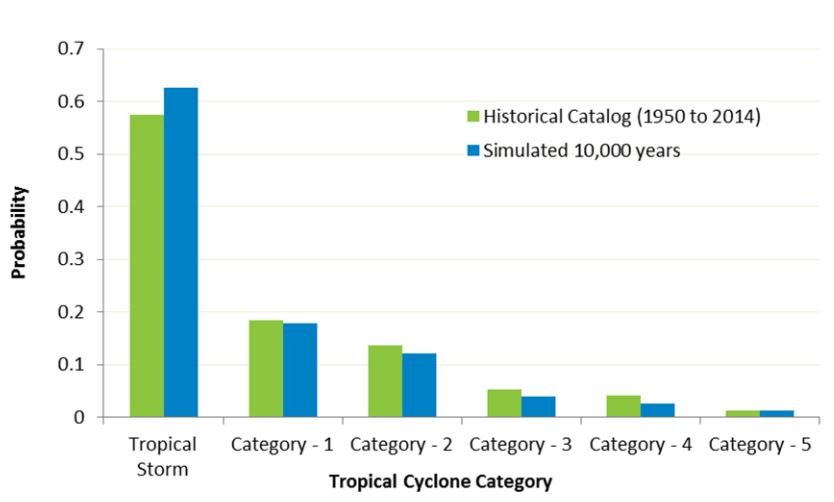


Figure A.13. Comparaison de l'intensité historique et simulée au moment de toucher terre - Madagascar

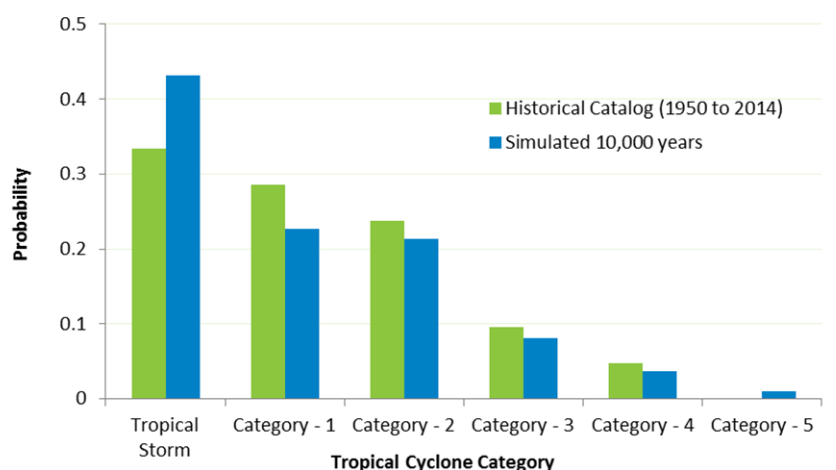


Figure A.14. Comparaison de l'intensité historique et simulée au moment de toucher terre – Maurice

Validation de la densité de la tempête

Toutes les tempêtes générées pour le catalogue stochastique servent à valider le nombre de tempêtes qui affectent le domaine modélisé. Pour déterminer la densité de tempête dans la région, le nombre de tempêtes dont la trajectoire passe à travers chaque ° cellule de grille de 2,5 x 2,5 a été déterminée pour les données historiques, et par rapport au même numéro dans le catalogue stochastique. La densité annuelle de la trajectoire des tempêtes pour les tempêtes historiques est comparée à la densité pour les tempêtes de stochastique dans Figure A.15, qui montre une bonne cohérence et la distribution spatiale similaire de la fréquence des tempêtes.

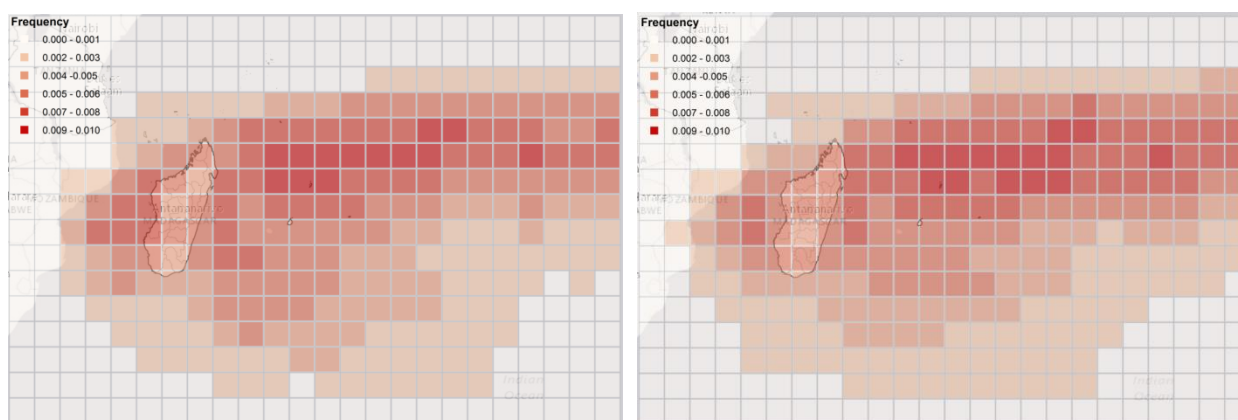


Figure A.15. Densité de la trajectoire des tempêtes en fonction des événements historiques (à gauche) et simulés (à droite)

4.1.3 Calcul de l'intensité locale

L'intensité des mesures utilisées dans le modèle de cyclone tropical développé par AIR pour les pays du SOOI sont :

- 10 mètres, 1 minute de vents soutenus
- Hauteur d'inondation (eaux de ruissellement accumulées) en millimètres

L'élaboration et la mise en œuvre de ces paramètres d'intensité dans le modèle sont décrites ci-dessous.

Modélisation de l'intensité des vents locaux

Pour générer le champ de vent local, il faut d'abord calculer le vent du gradient² en tant que fonction de la pression centrale et de la pression périphérique. Un profil de vent du gradient est appliqué, sur la base des travaux de Willoughby et al. (2006), puis réduit à la surface d'un facteur de réduction du vent du gradient. L'asymétrie et les effets topographiques sont ajoutés, et des facteurs de friction et de rafale sont appliqués.

Relation entre la vitesse du vent et la pression centrale

La vitesse maximale du vent du gradient, V_{gr_max} (en mètres par seconde), est calculée à partir d'une relation Cp-vent dérivée à l'aide des meilleures données de trajectoire spécifiques au bassin du sud-ouest de l'océan Indien. Un facteur de réduction du vent du gradient constant (GWRP) de 0,90 est utilisé pour tous les événements historiques et stochastiques. Obtenues auprès de l'International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS), les données couvrent la période allant de 1950 à 2014. Les relations Cp-vent sont comme suit :

$$V_{gr_max} = \left((a)_1 (P_{env} - P_{(c)})^2 + (a)_2 (P_{env} - P_{(c)}) + (a)_3 \right) / GWRP \quad (P_{env} - P_{(c)}) < 60$$

$$= \left((a)_4 (P_{env} - P_{(c)}) + (a)_5 \right) / GWRP \quad (P_{env} - P_{(c)}) \geq 60$$

Figure A.16 compare les meilleures données de trajectoire de l'IBTrACS avec la relation utilisée dans le modèle de cyclone développé par AIR pour les pays du sud-ouest de l'océan Indien, affichant une bonne cohérence.

²Le vent du gradient est le vent à l'altitude de vol, ou le vent au-dessus de la couche limite atmosphérique, qui est le point où la surface terrestre n'a plus d'effet sur le vent. Le vent du gradient est le champ de vent à grande échelle qui s'équilibre entre la force de pression et les forces de Coriolis et centrifuges, en l'absence d'effets de friction.

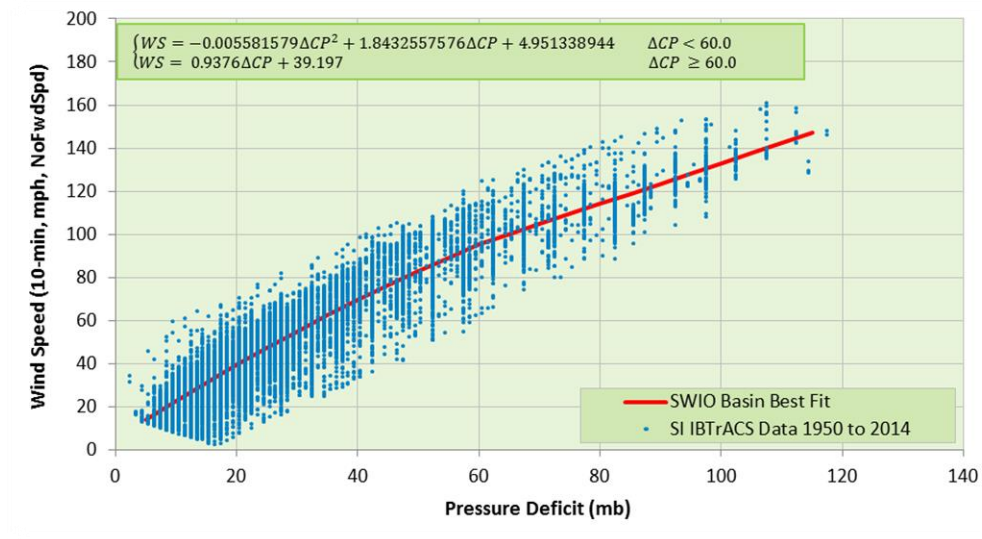


Figure A.16. Relation entre la vitesse du vent et la pression centrale

Pression périphérique

Le périphérique, ou de l'environnement, la pression (P_{env}) est la pression au niveau de la mer lors de la dernière de l'isobare fermée la circulation des cyclones tropicaux. Parce que le rayon à l'isobare fermée extérieur varie généralement entre 500 et 1 000 km, une autre définition est l'azimuthally-était en moyenne de pression au niveau de la mer à une distance fixe de la tempête. Les scientifiques de l'AIR a analysé le projet de réanalyse NCEP-NCAR (NNRP) 2,5 ° jeu de données global (1981-2010) et a calculé la pression au niveau de la mer azimuthale-moyenne. Une moyenne de ces valeurs pour l'ensemble des points dans les 10° de la zone d'intérêt a entraîné une pression périphérique valeur de 1012.50 mo.

Profil du vent du gradient

Le profil du vent du gradient, ce qui est empiriquement et basée sur le travail de Willoughby et al. (2006), est définie par trois équations: une pour la région intérieure de la eyewall, une pour la région eyewall et un pour la région à l'extérieur de la eyewall. La formulation utilise deux paramètres variables ($X1$, $X2$ dans les équations ci-dessous), de définir les taux de décroissance des vents de l'œil vers l'extérieur. Cela fournit un haut degré de flexibilité pour mieux correspondre aux taux de décroissance du vent rapide observé près de l'œil ($X2$) et la décroissance plus modéré, plus loin de l'œil ($X1$). Le résultat est un profil de vent du gradient qui se compare bien aux données d'observation.

Le profil du vent du gradient incorporée dans le modèle de l'air est comme suit :

$$V_{gr}(r, R_{max}, \theta, V_{gr_max}) = V_{gr_inner} = V_{gr_max} \left(\frac{r}{R_{max}} \right)^n \quad (0 \leq r \leq \leq_1)$$

$$V_{gr}(r, R_{max}, \theta, V_{gr_max}) = V_{gr_inner}(1 - w) + V_{gr_outer}(w) \quad (R_1 \leq r \leq R_2)$$

$$V_{gr}(r, R_{max}, \theta, V_{gr_max}) = V_{gr_outer}$$

$$= V_{gr_max} \left[(1 - A) \cdot \exp\left(-\frac{r - R_{max}}{X_1}\right) + A \cdot \exp\left(-\frac{r - R_{max}}{X_2}\right) \right] \quad (R_2 \leq r)$$

où

V_{gr} = La vitesse du vent du gradient d'un cyclone tropical stationnaire

V_{gr_max} = Vitesse du vent maximale du gradient d'un cyclone tropical stationnaire

V_{gr_inner} = La vitesse du vent du gradient d'un cyclone tropical en stationnaire à l'intérieur de R_{max}

V_{gr_outer} = La vitesse du vent du gradient d'un cyclone tropical en stationnaire à l'extérieur R_{max}

R = Distance du centre de la tempête

R_{max} = rayon de vent maximum

θ = Latitude

w = Fonction rampe pour faciliter la transition de l'intérieur de l'espace extra-profile

R_1 = Rayon intérieur mur de l'œil

R_2 = Rayon extérieur mur de l'œil

A = Paramètre à proportion les deux exponentielles dans le profil

X_1, X_2 = Paramètres longueur de désintégration

N = Exposant pour la dépendance en loi de puissance à l'intérieur de l'oeil

X_2 représente une distance fixe égale à 25 km, et w est une fonction de R_1 et R_2 . X_1 , n et A sont des fonctions de V_{gr_max} , R_{max} et θ de la manière suivante

$$X_1 = 287.6 - 1.942V_{gr_max} + 7.799\ln(R_{max}) + 1.1819\theta$$

$$N = 2.1340 + 0.0077V_{gr_max} - 0.4522\ln(R_{max}) - 0.0038\theta$$

$$A = 0.5913 + 0.0029V_{gr_max} - 0.1361\ln(R_{max}) - 0.0042\theta \quad (A \geq 0)$$



Effet de l'asymétrie

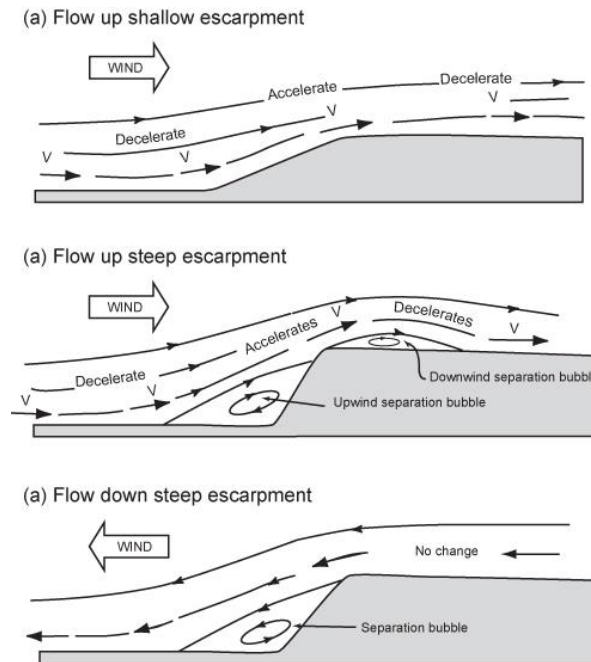
Dans l'hémisphère sud, les cyclones tropicaux les vents tournent dans le sens horaire. Les effets combinés du cyclone tropical winds et l'avancement (ou vitesse de translation) permettrait d'augmenter la vitesse du vent sur le côté gauche de la tempête. Le modèle saisit cette *Fasym* via l'expression dans l'équation ci-dessous (rapport technique de la NOAA NWS-23). Ce faisant, le modèle tient compte de l'interaction dynamique des vitesses de translation et de rotation, ainsi que les flux d'angle.

$$F_{asym} = 1.5(T^{0.63})(T_0^{0.37})\cos(\beta)$$

Où T est la vitesse de progression en nœuds, T0 est la conversion de noeuds en kilomètres par heure, et β est l'angle entre la direction de la trajectoire et la direction du vent de surface.

Effets topographiques

La vitesse du vent augmente sur les pentes exposées au vent des montagnes, collines et escarpements en raison de l'amplification créée par le changement d'élévation ou de la topographie. Ces caractéristiques limitent le passage du vent, ce qui entraîne une compression des lignes de courant, ou les zones par lesquelles l'énergie éolienne doit voyager. Que la vitesse du vent est inversement proportionnelle à l'espacement des lignes de courant, le vent accélère comme il se déplace vers le haut (La Figure A.17).



La Figure A.17. Effets de la topographie sur le vent

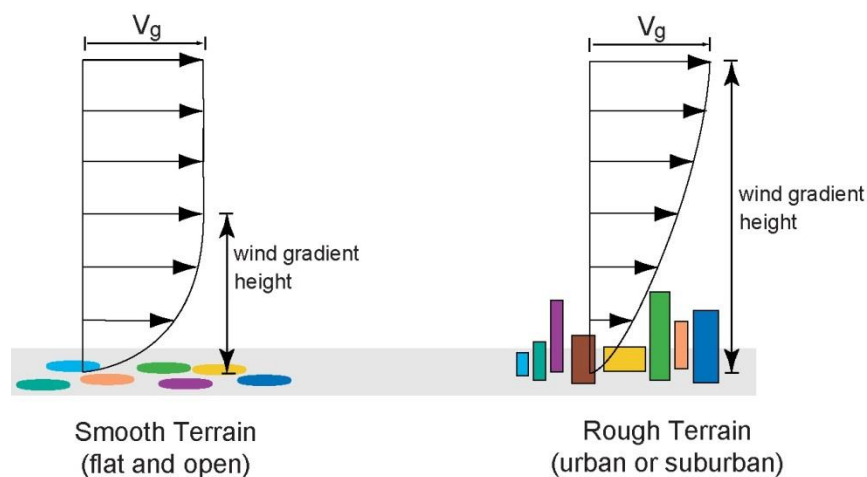
La pente de la pente détermine le degré de compression, de sorte que l'effet d'amplification est accentué sur des collines. En outre, si l'angle de pente est forte, l'écoulement du vent se sépare parce que l'élan près du sol est insuffisante pour contrer le gradient de pression en haut. Une «bulle de séparation» turbulent est établie, ce qui provoque des tourbillons locaux et des charges élevées d'aspiration / contraintes, ce qui augmente les dommages potentiels.

Dans le cas de vents en descente, la pente sous le vent offre une protection. Si, toutefois, la pente est forte, une bulle de séparation similaire se manifeste sous le vent et compense, dans une certaine mesure, la protection prévue par la colline ou escarpement.

En utilisant les données topographiques à haute résolution, qui est dérivée à partir des données d'élévation, l'AIR cyclone tropical pour l'océan Indien Sud nations insulaires calcule coup, la friction, et les valeurs topographiques pour chaque cellule de la grille. L'angle de la pente et les distances entre chaque cellule centroïde sont calculés et l'amplification du vent et de la turbulence sont établis.

Effets de frottement sur la vitesse du vent

Les différences de terrain en surface sur une plus petite échelle affectent également les vitesses de vent. profils de vitesse du vent (Figure A. 18) présentent généralement des vitesses de vent supérieures à des altitudes plus élevées. La Figure A.18 Vents se déplacent plus lentement au niveau du sol en raison de la force de traînée horizontale de la surface de la terre, ou de la surface de friction. L'ajout d'obstacles tels que des bâtiments permettra de réduire davantage la vitesse du vent.



La Figure A.18. Effets du terrain sur les profils de vitesse du vent (adapté de Cook)

Le vent du gradient se produit 1-2 km au-dessus du niveau du sol et est donc indépendant de la surface sous-jacente, à l'exception du fait que l'intensité des tempêtes après avoir touché terre ne compte pour l'effet de remplissage. Génération du champ de vent local continue en modulant le gradient de vent pour l'altitude, à

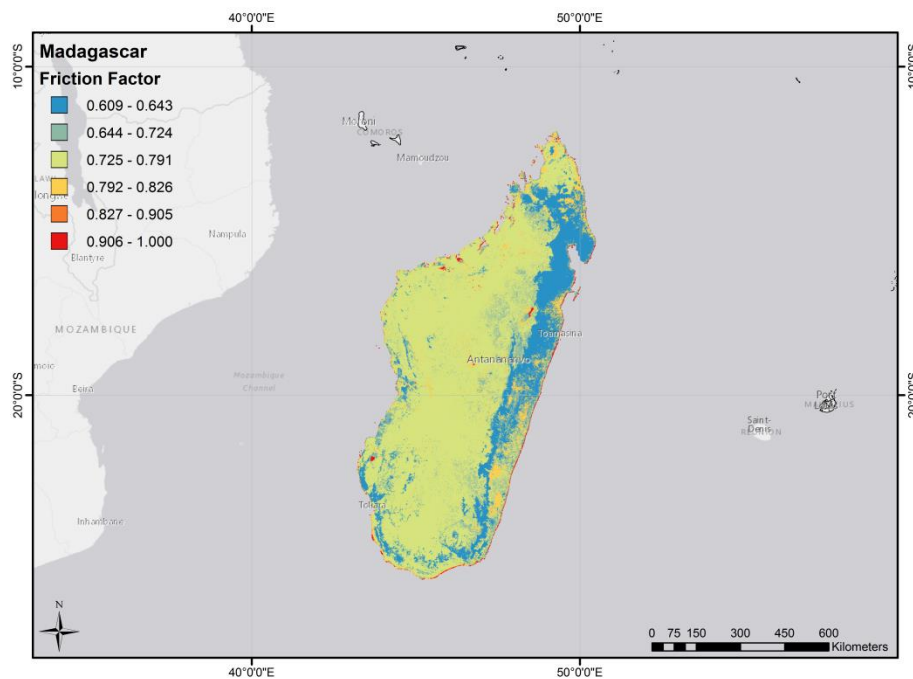
l'abri, et des effets de frottement, de rafales. Le modèle s'applique un coefficient de frottement à chaque emplacement d'intérêt pour tenir compte des dépenses de la rugosité de surface provenant de l'utilisation des terres/numérique de couverture des terres (OUS) des données. Les données utilisées dans le modèle est basé sur l'information climatologique mondial. La résolution native est de 500 m et 1 km, les données ont été obtenus par rééchantillonnage. L'ensemble de données contient 17 catégories. Un fetch longueur de 10 km a été considérée comme la distance le vent se déplace dans une direction unique sur une surface relativement lisse avant d'atteindre un lieu donné. Plus le fetch sur l'eau par exemple, plus le vent va prendre pour ralentir lorsqu'il atteint la rive. Ainsi, fetch affecte la vitesse du vent à un endroit donné.

Dans la pratique, le vent doit souffler sur une certaine distance avant de la couche limite planétaire (PBL)³ se met en équilibre avec la surface sous-jacente. Sous le vent d'un changement dans l'irrégularité du terrain, tels que le bord d'une zone urbaine, une nouvelle couche de limite commence à croître. Au sein de cette nouvelle couche l'écoulement ne sont pas en équilibre, et le profil du vent ajuste.

Pour tenir compte de l'ajustement de la couche limite, le facteur de friction est réglé selon une rugosité effective. La rugosité effective est défini comme la moyenne de la rugosité de surface pour une zone allant de l'emplacement d'intérêt vers l'extérieur à un rayon de 10 km et est représentative de la moyenne de la surface terrestre agissant sur le champ de vent à cet endroit.

Les facteurs de friction utilisé pour le modèle de cyclone tropical AIR Madagascar sont indiquées dans La Figure A.19. Notez que les facteurs de friction sont beaucoup plus élevées le long de la côte.

La couche Inférieure de l'atmosphère (comprennent verticalement between surface altitude et de juin comprennent Entre 300 m et 600 m), juin difficile de surface Ayant non sur les vitesses effet du vent.³ Cette altitude, au-delà de laquelle la difficulté de la surface n'affecte plus les vitesses du vent, est appelée gradient de l'altitude.

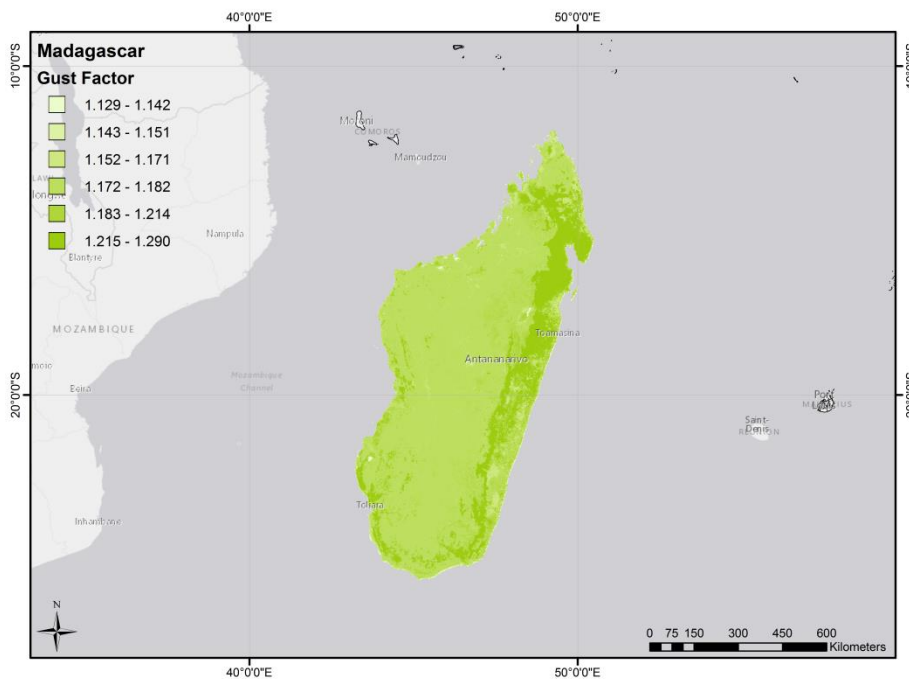


La Figure A.19. Exemple de facteurs de friction de l'air utilisés dans le modèle de bassin Indien du sud-ouest de Madagascar

Effets des rafales sur les vents de surface

Tout comme la rugosité de surface exerce une résistance de frottement sur les vents près de la surface, donc trop peut améliorer la rugosité de surface, qui gustiness est une mesure de la manière dont la vitesse du vent près de la surface varie en fonction du temps. En règle générale, les vents près de la surface, même ceux d'un cyclone tropical qui n'est ni l'intensification ni affaiblir, sont soumis à des oscillations qui sont le résultat des tourbillons de différentes tailles, qui sont générés à partir de différents d'utilisation des terres et de l'occupation du sol et peut entraîner une augmentation ou diminution de la vitesse du vent.

Les nombreux remous qui existent à un moment donné lieu à différentes concentrations et durées de rafales. Ces rafales vont de l'extrême qui ne durent que quelques secondes de plus faibles qui peuvent durer plusieurs minutes. En général, les surfaces très rugueuses peuvent augmenter l'gustiness, tandis que les surfaces lisses ont tendance à être associées à de faibles niveaux d'gustiness. Les scientifiques de l'air ont représenté la rafale effets sur le cyclone tropical winds non seulement entre les différents types de surfaces, mais aussi de directions différentes dans l'ensemble de ces surfaces. La rafale de vent facteurs sont présentés dans La Figure A.20.



La Figure A.20. Exemple de facteurs des rafales d'air utilisé dans le modèle de bassin Indien du sud-ouest de Madagascar

Vent Champ Directionality

Le modèle AIR inclut explicitement les effets directionnels de la rugosité de surface sur la vitesse du vent estimé localement. Plutôt que d'utiliser un seul facteur de friction qui tient compte de la surface moyenne des terres entourant l'emplacement, le modèle de champ de vent utilise l'utilisation des sols, de la couverture des données pour estimer la rugosité dans huit directions du vent : Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, ouest et nord-ouest.

Un vent venant de l'Océan Indien sera relativement dégagé. D'autre part, un vent de terre fera l'objet d'ajustements de réduction du vent. Dans le modèle de l'air, l'influence de l'environnement maritime sur la transition du vent est explicitement quantifié, ce qui donne un champ de vent réalistes au niveau local pour la durée de l'événement.

Spécification complète du champ de vent

Comme décrit ci-dessus, une fois que la relation entre la pression centrale et la vitesse du vent est établie, de nombreux autres aspects de la zone de vent sont pris en considération. Le profil du vent du gradient est déterminée, et des ajustements sont apportés pour l'asymétrie, effets de friction de surface, et des effets topographiques. Une fois le profil de la vitesse du vent est ensuite élaboré et les effets des rafales sont pris en

compte. L'expression suivante prend en compte toutes ces variables, et peut être utilisée pour calculer la vitesse du vent sur un site spécifique.

$$V_{10M, 1min}(\text{lat}, t, r, z_0, \phi) = ff(z_0, \phi) \cdot \text{Adjelev} \cdot \text{Adjterrain} \cdot \{V_{gr_rMAX}(C_p(t, Tlf)) \cdot \text{Adj}_{10m} \cdot \text{Adjrad_decay} \cdot gf(z_0, \phi) + F_{asym}(\phi, r)\}$$

où:

$V_{10m,1min}$ = surface de 10 m, la vitesse du vent de 1 min

V_{gr_max} = vitesse maximale gradient de vent au niveau du rayon de vent maximum

Adj_{elev} = facteur d'ajustement pour l'altitude

$\text{Adj}_{terrain}$ = facteur d'ajustement pour le relief

$ff(z_0, \phi)$ = facteur de friction de la direction du vent ϕ

$gf(z_0, \phi)$ = facteur de rafales de vent ϕ

Adj_{10m} = facteur d'ajustement pour 10 mètres (0,90)

Adj_{rad_decay} = ajustement pour le vent loin de la vent maximum de radium

$F_{asym}(\phi, r)$ = Effet de la vitesse de mouvement de l'avant

Inondations Precipitation-Induced Modélisation

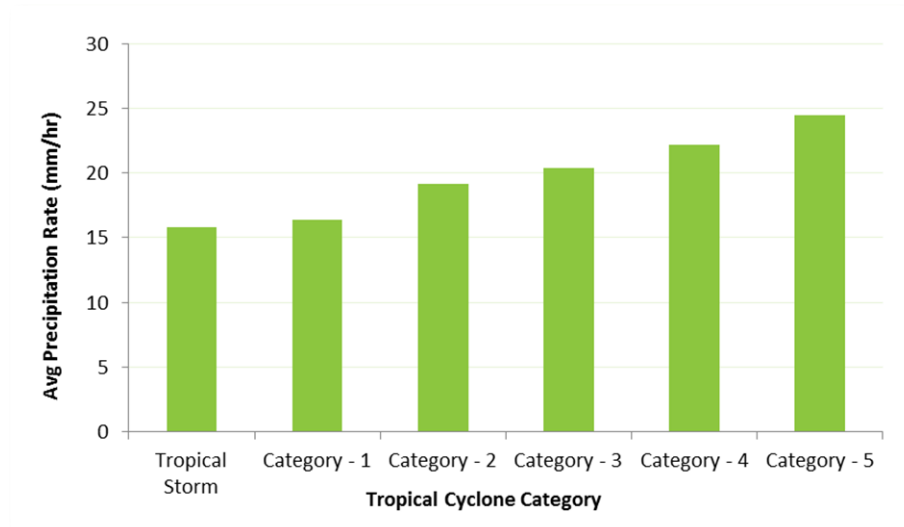
L'inondation composante du modèle s'appuie sur un modèle paramétrique qui exploite des précipitations de grande qualité des données sur les précipitations produites par les cyclones tropicaux. La mission de mesure de précipitations tropicales (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM), conduite conjointement par l'autorité nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA) et l'agence japonaise d'exploration spatiale (*Japan Aerospace Exploration Agency*, JAXA), est l'une des sources de données de précipitations dont la qualité est la plus élevée. TRMM a été lancé en 1997 dans le but de fournir des données fiables, de haute qualité des données sur les précipitations pour les centres de prévision des intempéries. TRMM fait usage de cinq mesures à l'aide de radar de précipitations TRMM, Imagerie micro-ondes visibles et infrarouges, les scanners, les études des nuages et le système d'énergie de rayonnement de la Terre, et un capteur d'imagerie de la foudre. TRMM est disponible à un intervalle de temps de trois heures et de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de résolution. Données TRMM est largement validé et largement utilisé, le rendant idéal pour l'élaboration du modèle de précipitations paramétrique.

Les précipitations modélisation



Le modèle de précipitations paramétrique comporte deux paramètres : le taux maximal de précipitations (P_{max}) et le rayon extérieur de précipitations (R_{outer}). P_{max} est la valeur maximale moyenne-azimutally taux de précipitations, plus une déviation standard, évaluée à moins de 250 km du centre, à 25 km de cercles concentriques de l'autre. Les comptes de façon prudente d'un écart-type pour les éventuels associés à l'échantillonnage dans le cadre de résolution temporelle et spatiale. P_{max} est le taux moyen de précipitations (c'est-à-dire, mm/hr) et R_{outer} est la distance maximale à partir du centre de la tempête où le taux moyen de précipitations est ≥ 1 mm/hr. Les valeurs de chaque paramètre sont extraites à partir des données collectées dans TRMM le domaine modélisé.

La relation entre l'intensité des tempêtes et des taux de précipitations TRMM est dérivé de données à l'aide de l'échelle Saffir-Simpson d'intensité intensité catégories subdivisées en bacs. Les résultats sont en accord avec les études antérieures (p. ex., Lonfat et al., 2004, 2007) et de démontrer que le taux de précipitations moyenne augmente avec l'augmentation de l'intensité des tempêtes (La Figure A.21) et diminue avec l'augmentation de la distance de l'œil.



La Figure A.21. Les taux de précipitation moyenne modélisée par l'intensité des tempêtes

Les limites inférieure et supérieure de P_{max} 1 mm/h et 100 mm/h, respectivement. R_{outer} est modélisée à l'aide d'une distribution de Weibull, avec limites inférieure et supérieure de 100 km et 750 km, respectivement ; R_{outer} est rééchantillonné si la valeur tirée se situe en dehors de ces limites. Des comparaisons avec des données TRMM sont favorables et de démontrer la rationalité des distributions.

À chaque pas de temps horaire, une empreinte de pluie symétrique circulairement est calculé en fonction de P_{max} , r_{outer} , et la distance entre le centre de la trajectoire de la tempête. Comme la tempête à terre et

approches après le débarquement, les changements d'intensité des précipitations en raison de plusieurs facteurs, y compris le remplissage, le terrain et la convergence côtière, comme indiqué dans l'équation :

$$P_{\text{hourly}} = P_{\text{base}} + P_{\text{coastal}} + P_{\text{topo}}$$

où P_{hourly} est la précipitation horaire à un endroit donné, P_{base} est la précipitation de base sans aucune amélioration et est fonction de P_{max} , routeur, l'intensité et la distance du centre, P_{coastal} est la précipitation associée à la convergence côtière, et P_{TOPO} est la précipitation contribution de la topographie. Toutes les quantités de précipitations sont fournis en millimètres.

Comme les cyclones tropicaux vers l'intérieur des terres et à l'écart de l'eau chaudes de l'océan, ils affaiblissent, ou le remplissage. En conséquence, les précipitations diminuent, et cette diminution est capturé par la relation entre l'intensité stochastique et le pic de taux de pluie.

La modélisation d'aléa d'inondation.

Bien que les précipitations module identifie où la pluie est susceptible de tomber, ce qui permet d'identifier où l'aléa d'inondation existe - un module séparé est utilisé pour déterminer la distribution spatiale de l'écoulement et la profondeur de la crue maximale.

Les inondations causées par les précipitations sont modélisées de manière dynamique sur la base du modèle bidimensionnel d'eaux de ruissellement des pluies CASC2D-SED (CASCade 2 Dimensional SEDiment) développé par l'Université d'État du Colorado (Rojas et al., 2003). La hauteur maximale de l'inondation est calculée à partir de précipitations horaires dirigées dans le modèle. Les données d'entrée pour ce modèle sont l'altitude, le sol et un masque terre/mer.

Ce modèle est basé sur l'eau peu profonde des équations (c.-à-d., les équations de Saint Venant) dérivés de la conservation de la masse, de l'énergie et de momentum (c.-à-d) équations primitives. Les équations descriptives de l'écoulement des fluides sur une surface conviennent en général à la modélisation des eaux de ruissellement ou des inondations pluviales pour lesquelles la longueur de l'échelle horizontale excède de très loin d'échelle verticale. La généralisation des équations aux dérivées partielles fournies ci-dessous sont mises en œuvre dans le modèle pour calculer la continuité de la masse et de l'élan de l'eau.

La continuité de masse :

$$e = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}$$

La dynamique :

$$x - \text{direction} \quad g \left(S_{0x} - S_{fx} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}$$



$$y - \text{direction} \quad g \left(S_{oy} - S_{fy} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}$$

où

- (e) = L'excès de pluie (précipitations - interception - l'infiltration ; m)
- G = Accélération de la pesanteur (m/s²)
- H = Profondeur de surface (m)
- q_x, q_y = Les taux de débit dans les directions x et y (m/s)
- x, y = La taille de la cellule (m)
- $S_0(x,y)$ = Bed pentes dans les directions x et y (sans dimension)
- $S_f(x,y)$ = Pentes de friction dans les directions x et y (sans dimension)
- U, V = La vitesse moyenne dans les directions x et y (m/s).

L'utilisation de ces formulations, le modèle a été construit autour d'un explicite centré aux différences finies, régime d'onde diffusante pour le routage de l'écoulement de surface. La méthode de l'onde diffusive convection et néglige l'élan d'entrée latérale (indiqué par le côté droit de l'élan équations), et ce qui suppose que l'écoulement de l'eau est tirée principalement par la gravité. L'avantage en utilisant une telle méthode est la capacité de tenir compte des effets de remous. Un droit de résistance peut être établi à partir de la continuité de masse et l'élan des équations, en supposant des conditions turbulentes, concernant le débit à la profondeur et de la rugosité de surface, étant donné que

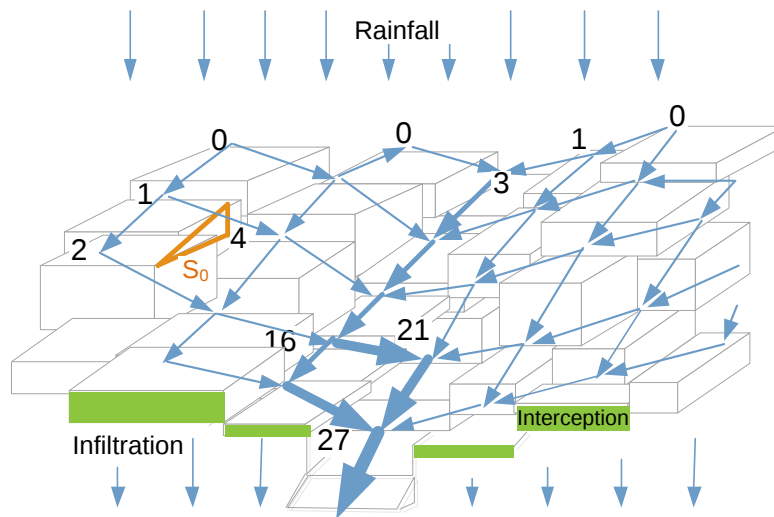
$$q_{x,y} = \frac{\sqrt{S_{f(x,y)}}}{n} h^{5/3}$$

où n est le coefficient de Manning (sans dimension) et est une mesure de la résistance au frottement par rapport à l'écoulement de l'eau.

Le modèle tient explicitement compte de la pluviométrie varie spatialement, l'infiltration, l'évaporation et la végétation l'interception, l'écoulement de surface, et de routage de flux. En raison de la résolution de la grille (30-secondes d'arc), d'écoulement et le transport des sédiments ne sont pas inclus. Comme la pluie tombe, les précipitations horaires variables dans l'espace s'infiltre dans le sol jusqu'à saturation est atteinte. Une fois que cela se produit, l'écoulement de surface et commence l'accumulation commence.

La Figure A.22 illustre le modèle d'écoulement à la surface du routage. Les numéros de la Figure indique le nombre de cellules pour quelques grilles et indiquer le débit d'eau en fonction de la pente.





La Figure A.22. Représentation de l'écoulement de surface (Routage Rojas et al. 2003)

Précipitations horaires est fourni par le module des précipitations alors que le taux d'infiltration et la profondeur est calculée à l'aide du Green et Ampt (1911) modèle d'infiltration. L'évaporation et l'interception de la végétation est maintenue constante, à un taux de conservateur 1 mm/h, qui est basé sur la moyenne quotidienne des taux d'évaporation pan dans les mois d'été d'un climat tropical et la végétation moyenne des taux d'interception (Rutter et coll., 1975 et 1977 ; Gash et al., 1995 ; Klingaman et coll., 2007).

Le ruissellement est calculé à partir de l'équation de Manning (en supposant des conditions turbulentes pour l'ensemble du domaine), alors que le routage est basé sur la conservation de la masse. Afin de satisfaire les Courant-Friedrichs-condition Lewy (Courant et al., 1967) et produire des résultats stables, l'inondation module utilise une 15-deuxième pas de temps. Toutes les conditions initiales et les conditions aux limites sont mis à zéro pour chaque événement, un cyclone donc saturation initiale du sol avant l'apparition d'un cyclone tropical event n'est pas pris en compte.

La profondeur d'inondation modèle représente la profondeur d'inondation maximale relative à une résolution de 30 arc-secondes (environ 1 km), la principale contribution à la perte et peut être utilisé pour identifier les régions d'intense aléa d'inondation.

4.1.4 Inondation liée à une marée de tempête

Une onde de tempête causée par un cyclone tropical est une hausse anormale du niveau de la mer accompagnant des tempêtes intenses. Pendant les tempêtes de vent, la circulation autour de l'oeil de la tempête souffle la surface de l'océan et produit circulation verticale dans l'océan. Tandis que la tempête se déplace vers la côte, l'océan devient moins importante, et par conséquent la circulation verticale de l'eau des océans est poussé à l'intérieur des terres. La hauteur de l'onde est la différence entre le niveau observé de la surface

océanique et ce qu'il aurait été sans la tempête (par exemple, le niveau moyen de la mer). Les marées quotidiennes ne sont pas prises en compte dans le calcul de la marée de tempête.

Le phénomène d'onde de tempête est illustré dans **Error! Reference source not found..** Tempête Maximum observations enregistrées au cours de plusieurs cyclones tropicaux qui ont touché les États-Unis depuis 1900 sont présentés dans **Error! Reference source not found..** La plus grande valeur de l'onde de tempête jamais enregistrée dans le monde entier a été produit par le Cyclone Mahina, qui a provoqué un 43 pieds (13 mètres) de tempête à Bathurst Bay, Australie en 1899.

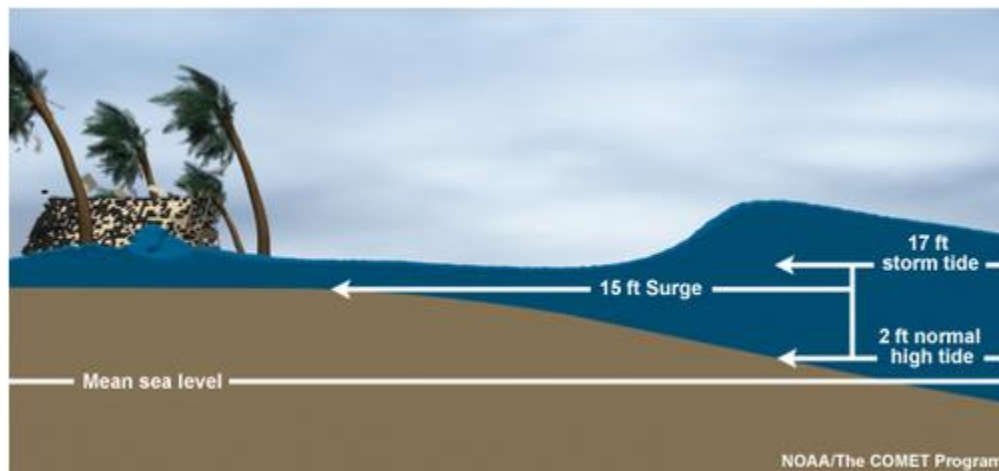


Figure A. SEQ Figure * ARABIC 23. Illustration de marée de tempête (source : <http://www.nhc.noaa.gov/surge/>) 62

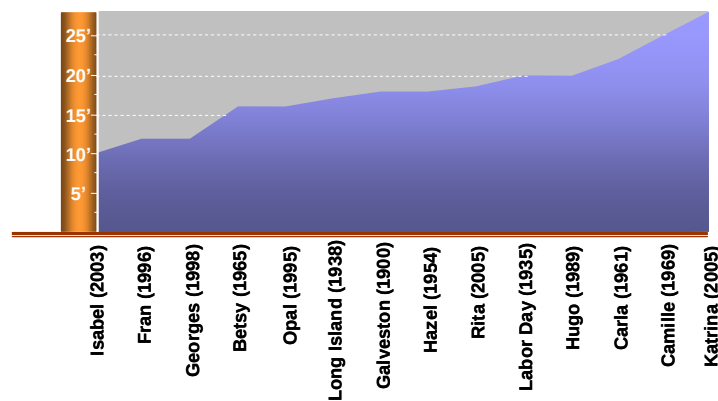


Figure A. SEQ Figure * ARABIC 24. Marée maximale enregistrée pour divers cyclones tropicaux aux États-Unis62

Le modèle d'onde de tempête a adopté dans cette étude est basée sur un modèle paramétrique proposée par Young (1998, 2006). Le modèle de marée de tempête est basé sur les variables météorologiques principales d'un

cyclone tropical, et notamment la pression centrale (C_p), la vitesse du vent vers l'avant (V_{fm}), la vitesse maximale du vent (V_{max}) et le rayon du vent maximal (R_{max}). De ces variables météorologiques, le CP a le moins d'impact sur les hauteurs d'ondes de tempête. Les autres quantités prises en compte sont le profil du vent, la localisation du site par rapport à la trajectoire de la tempête, l'angle d'approche de la côte et l'élévation. En utilisant l'approche de Young, le premier modèle calcule une hauteur d'onde importante (H_s), qui est définie comme la hauteur moyenne de vague du tiers des vagues les plus hautes. **Error! Reference source not found.** Montre un exemple de l'facteurs sans dimension appliquée pour estimer la répartition spatiale de l'hs en fonction de V_{max} et V_{FM} . Pour une tempête donnée, l'empreinte de tempête spatialement distribué peut être estimé à l'aide de la V_{max}, v_{fm} , et calculés hs . La distribution spatiale de l'HS, intégré les effets de la profondeur de l'eau par l'application de techniques développées par Liu (1996). Dans l'élaboration du modèle d'onde de tempête pour la région du SOOI, la tempête est d'abord calculé le long d'un littoral à haute résolution, et la tempête le long de la côte est atténuée à l'intérieur des terres de la propriété physique des endroits qui sont jusqu'à 2 km de la côte la plus proche. L'atténuation de l'onde de tempête à l'intérieur des terres dépend en grande partie du terrain et profils d'élévation. Dans cette étude, le taux de décroissance de l'onde de tempête est supposé être 0.3m pour chaque 1km (Nicholls et al., 2007). Comme pour le champ de vent, le profil du champ de la marée de tempête n'est pas symétrique autour de la trajectoire de tempête. L' onde la plus élevée survient d'ordinaire à proximité du rayon des vents maximaux, ou là où soufflent les vents les plus forts. La direction du vent étant approximativement parallèle à la direction de la tempête, dans l'hémisphère sud, l'onde sera supérieure du côté gauche de la trajectoire du cyclone tropical par rapport au côté droit ; l'inverse est vrai dans l'hémisphère nord.

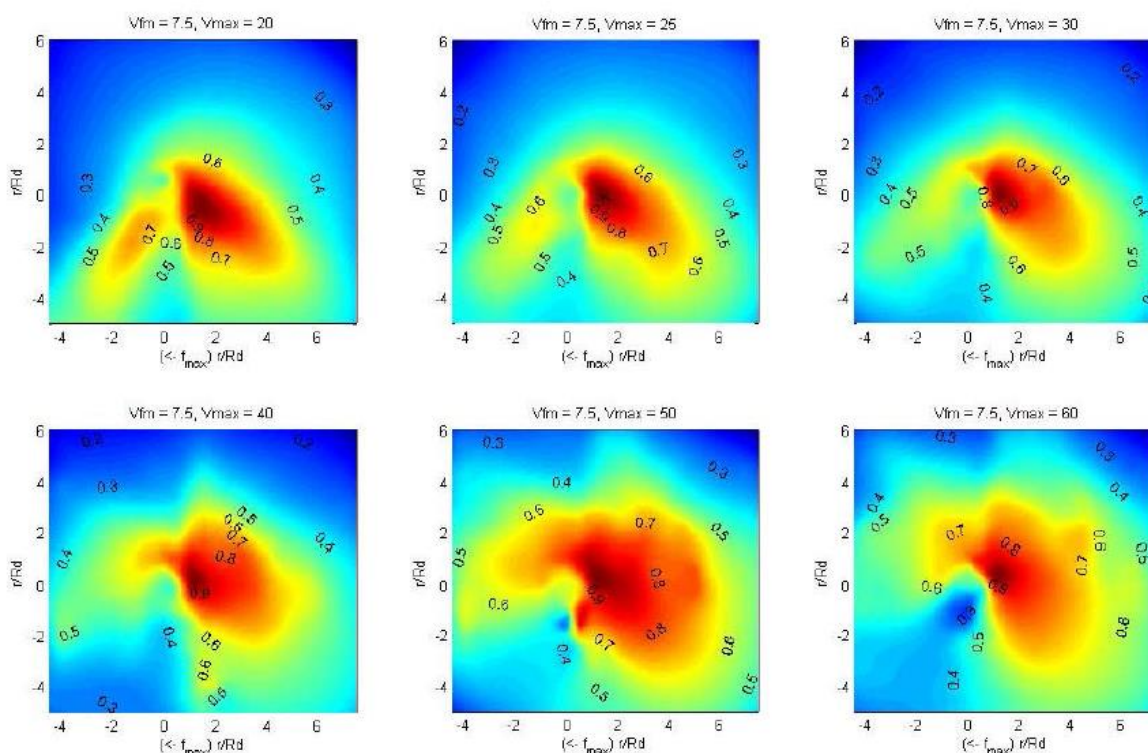
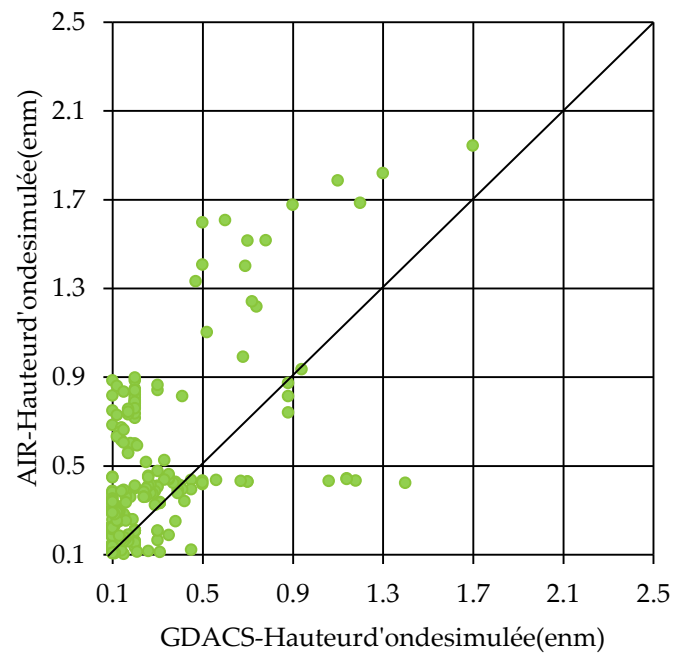


Figure A. SEQ Figure * ARABIC 25. distribution spatiale des Hs pour différents Vfm et Vmax

- Validation du modèle

En l'absence de valeurs mesurées de marée de tempête disponibles pour la région du sud-ouest de l'Océan indien, une validation est réalisée en comparant les estimations du modèle développé par AIR par rapport aux estimations du modèle du Global Disaster Alert and Coordinate System (GDACS). Les résultats du modèle GDACS pour trois tempêtes historiques à Madagascar, Giovanna (2012), Haruna (2013) et Hellen (2014), sont utilisées pour validation. La Figure A.23 Montre la comparaison entre le modèle de tempête des hauteurs entre GDACS et l'air de modèles pour les trois tempêtes historiques. Le GDACS ET AIR modèles appliquent différentes méthodes de calcul d'onde de tempête, ce qui conduit à certaines différences entre les deux modèles. Par exemple, la tempête de l'air modèle est principalement fonction de l'empreinte du vent, tandis que GDACS utilise un code hydrodynamique numérique pour évaluer les équations d'eau peu profonde sur le littoral (HyFlux2). Malgré ces différences, les hauteurs de surtension estimée raisonnablement bien comparer entre les deux modèles.



La Figure A.23: Comparaison de hauteurs modélisées de marées de tempête des modèles GDACS et AIR

4.1.5 Références

American Society of Civil Engineers (ASCE), charges minimales de conception pour les bâtiments et autres structures, ASCE-7, 650 pp.

Courant, Friedrichs, R. K. et H., 1967, Lewy sur les Équations aux Différences partielles de la physique mathématique, IBM Journal, 215-234 à l'origine dans Mathematische Annalen 100, 32-74 (1928)

Farr, T., P. Rosen, E. Caro, R. Crippen, R. Duren, S. Hensley, M. Kobrick, M. Rutten, E. Rodriguez, L., D. Roth, Joint S. Shaffer, J. Shimada, J. Umland, M. Werner, M. Oskin, D. Burbank, et D. Alsdorf, 2007, "Le Shuttle Radar Topography Mission," critiques de la géophysique, 45, 1-33.

Gash, J.H.C., C.R. Lloyd, et G. Lachaud 1995, "l'estimation de l'interception de la pluie Forêt clairsemée avec un modèle analytique", Journal of Hydrology, 170, 79-86.

Green, W., H. et Ampt G.A 1911, "Études sur la physique des sols - Partie I. La circulation de l'air et l'eau dans les sols," le Journal of Agricultural Science, 4, 1-24.

Grimmond, C. S. B., T. et R. Oke, 1999, "les propriétés aérodynamiques des zones urbaines issues de l'analyse de forme de surface," Journal of Applied Meteorology, 38, 1262-1292

Harper, B.A. 1999, "Modélisation numérique de l'extrême le Cyclone tropical Winds", Journal de l'ingénierie du vent et de l'industrie de l'aérodynamique, 83, 35-47.

Holland, G. J., 1980 : un modèle d'analyse du vent et la pression adulte dans les ouragans. Monthly Weather Review, 108, 1212-1218.

Holmes, J. 2007, charge de vent sur les structures, 2e édition, presse, 392 pp.

Kaplan, J., et M. DeMaria, 1995, "un modèle empirique simple pour prédire la désintégration du cyclone tropical Winds après avoir touché terre," Journal of Applied Meteorology, 34, 2499-2512.

Klingaman, N.P., D.F. Levia et E.E. Frost, 2007 : une comparaison de trois modèles d'interception pour un stand sans feuilles forêt décidue mixte de l'Est des États-Unis. Comparaison des modèles Trois Canopy Interception pour une forêt mixte feuillu Leafless Stand dans l'Est des États-Unis. Journal of Hydrometeorology, 8, 825-836.

Kuleshov, Y., L., R. Qi Fawcett, et D. Jones, 2009 "sur le développement d'un cyclone tropical d'archivage, de la climatologie et la prévision saisonnière pour l'Inde du Sud et le Pacifique Sud, Centre national sur les changements climatiques", de l'Asie du Sud-Est

Lonfat M., F.D. Marks Jr., and S.S. Chen, 2004: Précipitations Distribution dans les cyclones tropicaux Utilisation de la Mission de mesure des précipitations tropicales (TRMM) Micro-ondes Imager: Une perspective mondiale. Monthly Weather Review, 132, 1645-1660.



- M. Lonfat, R. Rogers, T., Marchok et F.D. 2007 marques Jr., "un modèle paramétrique pour la prévision des précipitations, de l'ouragan" *Monthly Weather Review*, 135, 3086-3097.
- Mahendran, M., 1995, "résistant au vent des bâtiments de faible hauteur dans les tropiques, l'ASCE" *Journal officiel de performance des installations construites*, 9, 330-346.
- Centre national de données géophysiques, 2006, données bathymétriques. Disponible à : http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html
- Nicholls, M. 2007, l'examen d'aléas de Cyclone NT, groupe communautaire pour l'examen d'aléas de Cyclone NT Inc., 79 p.
- Eiken, L-Y 2005, "un système de mouillage et de séchage pour POM," la modélisation de l'océan, 9, 33-150.
- Eiken, L-Y 2006, "Un mobile avec MCGO Frontières terre-mer", la modélisation de l'océan, 13, 176-195.
- Rojas, R., P. Julien, et B. Johnson 2003, CASC2D-SED c. 1.0 Manuel de référence, un 2-dimensionnel de pluie et le ruissellement et de sédiments, modèle Colorado State University, juillet 2003, 45 pp.
- Rutter, A.J., A.J. Morton et P.C. Robbins, 1975 "un modèle prédictif de l'interception de la pluie dans les forêts. II. La généralisation du modèle et comparaison avec les observations de certains peuplements de feuillus et conifères," *Journal of Applied Ecology*, 12, 367-380.
- Rutter, A.J. et A.J. Morton, 1977 : un modèle prédictif de l'interception de la pluie dans les forêts : III. Sensibilité du modèle de paramètres et variables météorologiques. *Journal of Applied Ecology*, 14, 567-588.
- Simpson, J., C. Kummerow, W.K. Tao, et R.F. Adler 1996, "sur la Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)," *la météorologie et physique de l'atmosphère*, 60, 19-36.
- Vickery, PJ 2005, "Les modèles empiriques simples pour estimer l'augmentation de la pression au centre de cyclones tropicaux après Landfall le long du littoral des États-Unis," *Journal of Applied Meteorology*, 44, 1807 à 1826.
- Willoughby, HE, RWR Darling et ME Rahn 2006, «Représentation Parametric de l'ouragan Vortex primaire. Partie II : une nouvelle famille de Sectionally adulte continue", *Monthly Weather Review*, 134, 1102-1120.
- Banque mondiale, World Databank, World Development Indicators (WDI) & Global Development Finance (GDF), <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do>

4.2 Non-Tropical Inondations Cyclone

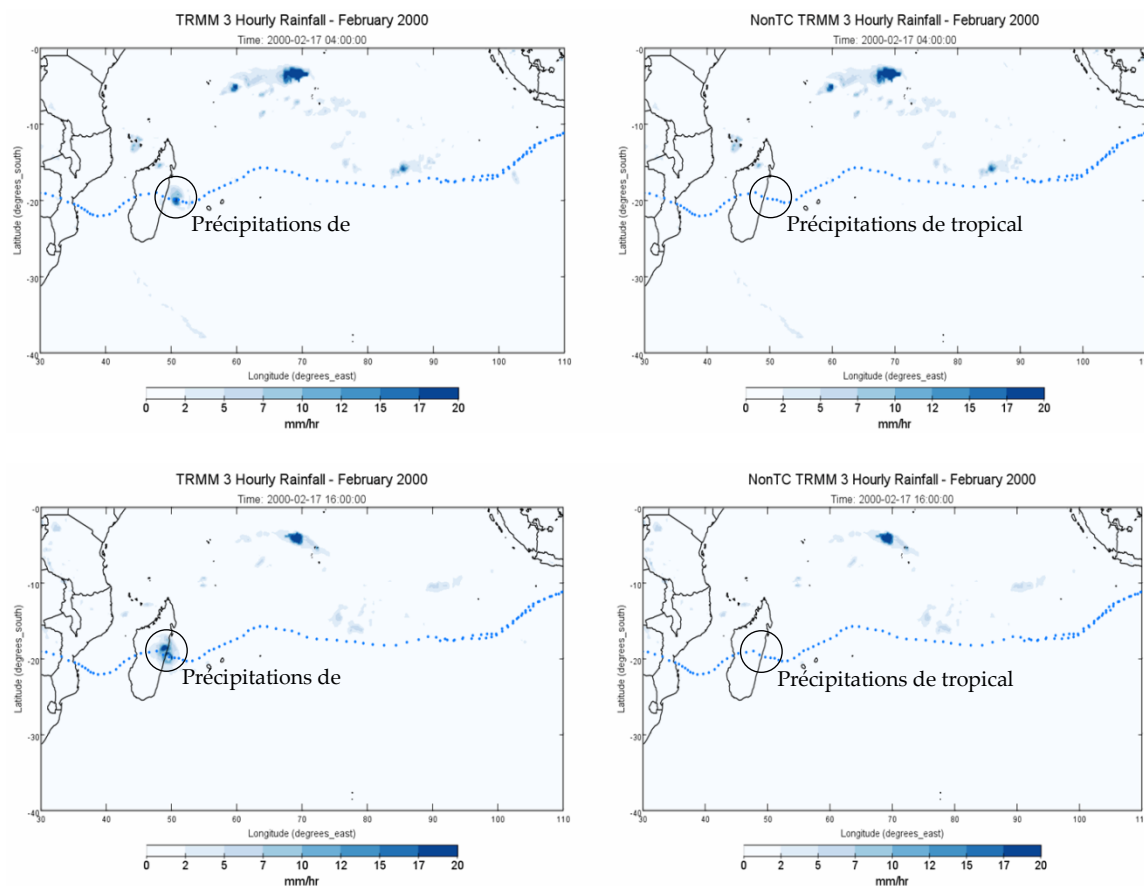
Dans tout le sud-ouest de l'Océan Indien (SWIO) et d'un cyclone tropical (NTC) induite par les précipitations inondations présente un danger régional important. Par conséquent, il est judicieux de tenir compte de ces types d'événements lors de la modélisation des précipitations le danger pour les pays du SOOI. Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), Southwest Indian (SI) bassin à de l'Afrique à environ 100 E (NOAA, 2015).

Afin de générer un catalogue stochastique de la non-pluie cyclone tropical, la climatologie de non-cyclone tropical de pluie doit être construit. Ici, le Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) précipitations multi chaînes 3B42 v7 produit est utilisé (Huffman et al 2007). Ce jeu de données maillées, continu s'appuie sur les deux satellites radar de précipitations, ainsi que l'ensemble de l'imagerie micro-ondes pour obtenir trois les mesures horaires de précipitations à $0,25 \times 0,25$ degré de résolution spatiale de latitudes 50N et 50S. Dans cette étude, les mesures effectuées par le satellite TRMM les années de 1998 à 2013 sont utilisées pour l'analyse. Un traitement plus complet de la climatologie peut être mise en œuvre à l'aide de modèles de circulation générale et les modèles climatiques régionaux comme effectué par Air pour diverses autres régions du monde ; cependant, la portée du projet de travail et le calendrier a nécessité une approche plus simple à l'aide d'un générateur de temps stochastiques avec l'apport de données TRMM. Cet aspect peut encore être améliorée dans les études futures.

Afin d'isoler les non-cyclone tropical, les précipitations induite par une approche qui est courant dans la littérature (p. ex. Adler, 2000, Jiang et Zipser, 2010) est de définir le rayon autour de la trajectoire des cyclones tropicaux dans laquelle les précipitations. La recherche a montré que la médiane le rayon extérieur de tempêtes tropicales du bassin de l'Océan Indien est d'environ 500 km (Chavas et Emanuel, 2010). Par conséquent, l'utilisation de l'IBTrACS données discutées précédemment pour le modèle, tous les cyclones tropicaux des précipitations dans les 500km de chaque emplacement du centre du système tropical est retiré de l'ensemble de données TRMM. Pour tenir compte de la différence temporelle entre l'IBTrACS (6-h) et TRMM (3-h), le IBTrACS des données Les données ont été interpolés de manière linéaire pour préciser l'emplacement de la tempête à trois heures d'intervalle (p. ex., 03Z, 09Z, 15Z, 21Z).

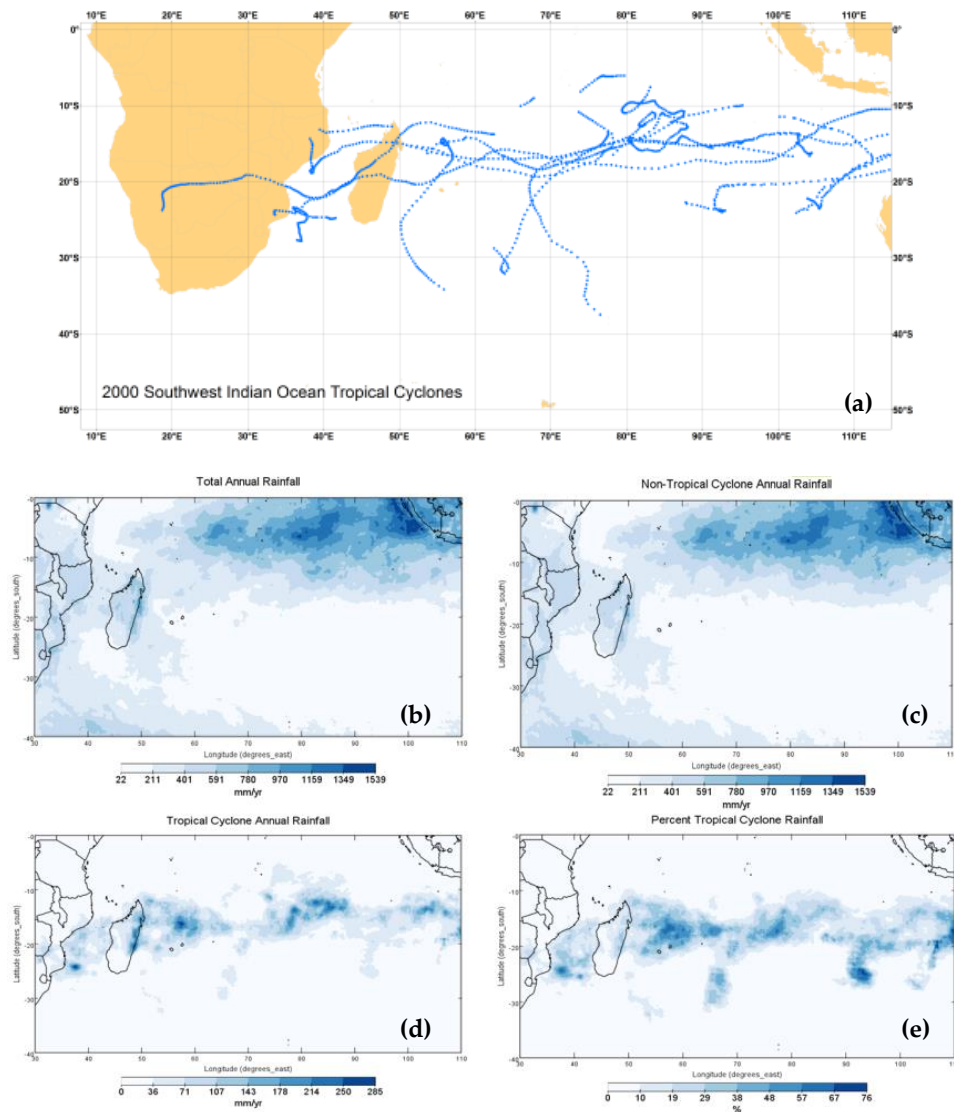
Un exemple de la non-cyclone tropical résultant de données est présenté ci-dessous dans La Figure A.24. Comme on le voit, la méthodologie est capable de déposer pluviométrie associée avec le cyclone tropical Eline (2000) car il rend les côtes de Madagascar, tout en laissant le CNT près de précipitations dans le nord du Madagascar intact. Sont également indiqués les résultats satisfaisants de l'utilisation d'une interpolation linéaire pour les trois-heures données TRMM à 03Z et 15Z.





La Figure A.24. Illustration des résultats à partir de la climatologie des précipitations NTC construction à deux pas de temps : 2-17-03Z (en haut) et 2-17-15Z (en bas). Total des précipitations TRMM, y compris celle du cyclone Eline (à gauche), et les précipitations connexes NTC (droite)

Les résultats de la climatologie des précipitations TRMM NTC pour une année d'échantillonnage sont indiquées dans La Figure A.25. En 2000, une tempête tropicale active setup saison sur tout l'est de la région de Madagascar. Comme indiqué, la méthodologie est en mesure de reprendre cette région active où près de 250mm de pluie au cours de l'année est causée par l'activité tropicale. Ces résultats valident bien avec de nombreuses études que trouver 20 à 40 % de la pluviométrie annuelle dans cette région peut être attribuée au cyclone tropical rainfall (Jiang et Zipser, 2010). Compte tenu du grand total des précipitations dans cette région, près de 200-400 mm de précipitations annuelles reste non induits par les cyclones tropicaux, en particulier dans la région de l'Est de Madagascar. Par conséquent, la comptabilité des NTC précipitations induites par la pluie devient nécessaire dans toute la région.



La Figure A.25. L'activité des cyclones tropicaux dans le bassin du SOOI pour 2000 (a) et que le total des précipitations TRMM (b), (c) précipitations NTC, cyclone tropical rainfall (d), et le pourcentage de contribution de cyclone tropical rainfall (e)

4.2.1 Génération de catalogue stochastiques pour Non-Tropical Pluie Cyclone

Un catalogue de stochastique des précipitations NTC quotidienne pendant 10 000 ans a été élaboré en fonction de la climatologie des précipitations NTC dérivée de la données TRMM discuté ci-dessus. Pour ce faire, une météo stochastique générateur est utilisé pour construire des données de précipitations synthétiques pour Madagascar, Zanzibar, les Seychelles, Maurice et les Comores. Ici, la valeur du point de grille cellulaire de TRMM est traitée comme les données du site de la station pour l'entrée dans le générateur stochastique. De

manière générale, les générateurs stochastiques de données météorologiques utilisent les statistiques de pluies de stations météorologiques pour construire des séries chronologiques synthétiques, mais significatives d'un point de vue physique, de précipitations sur un site préservant les statistiques de base de la station.

Générateur de pluie Espace-temps

Pour cette étude, le développement de la stochastique catalogue commence par la production de l'espace-temps de pluie, qui est la force motrice dans le processus de simulation d'inondation. Un modèle de simulation par ordinateur pour Météo GENERATION (WGEN) est utilisé pour générer des événements de précipitations toutes les 3 heures. simulation de pluie pour une modélisation des inondations événementielle doit satisfaire aux exigences suivantes:⁴

- Produire encore non observée, mais réaliste les tempêtes sur une longue période de temps (c.-à-d., âgés de 10 000 ans) à haute résolution spatiale et temporelle, et sur l'ensemble du domaine modélisé
- Préserver l'occurrence des précipitations et du montant des distributions à chaque emplacement (p. ex. précipitations, accumulations)
- Préserver les dépendances spatiales et temporelles des précipitations (p. ex., distribution spatiale des zones qui reçoivent des précipitations par rapport à des domaines qui ne sont pas)
- Préserver le caractère saisonnier de l'occurrence d'événements de tempête et distributions Montant

Afin de répondre aux exigences ci-dessus, le processus de simulation de pluie est divisée en zones hydrologiques pour la génération d'événements et de validation préliminaire d'aléas. Ces deux processus sont discutés dans les sections suivantes.

Génération d'événements basée sur Hydro-Climatology

En hydrologie, il est bien connu que les champs de précipitations sont par nature hétérogène, ce qui signifie que les moments statistiques de précipitations (p. ex., la moyenne et la variance) changent d'un endroit à un autre. Moments statistiques des précipitations à long terme caractéristiques varient dans les différentes régions (zones climatiques). Taux d'événements de précipitations et les montants doivent être simulés avec précision afin de tenir compte de la variabilité des précipitations au cours de la zone de pluie génération stochastique. Une étude menée par Smith et de Schreiber (1973) affirme qu'une chaîne de Markov de premier ordre est plus précis qu'un modèle de Bernoulli (c.-à-d'indépendance séquentiel) pour décrire l'occurrence d'incrément de temps sec ou humide. Pour cette étude, une chaîne de Markov de premier ordre avec seulement deux états,

⁴ Le modèle WGEN is basée sur la procédure décrite par Richardson (1981). La composante de précipitations de WGEN est un modèle gamme de chaîne de Markov. Une chaîne de Markov de premier ordre, à deux états, humide ou sec, pour déterminer les probabilités de transition, est utilisée pour générer événement de jours humides ou secs. Les probabilités de transition sont définies en fonction de $P_i(W|W)$, $P_i(W|D)$, et l'état humide ou sec le jour $i - 1$. Lorsqu'un jour humide est généré, la distribution gamma à deux paramètres est utilisée pour obtenir la quantité de précipitations.

mouillées ou sèches a été utilisé. Un intervalle est défini comme le total des précipitations humides si est supérieur à 0,2 mm. Soit $P_i(W|W)$ la probabilité d'une augmentation du temps humide sur l'intervalle i donné un incrément de temps humide sur augmentation du temps $i - 1$; soit $P_i(W|D)$ la probabilité d'une augmentation du temps humide sur l'intervalle i donné un incrément de temps sec sur l'intervalle $i - 1$. Puis :

$$P_i(D|W) = 1 - P_i(W|W) \quad (1)$$

$$P_i(D|D) = 1 - P_i(W|D) \quad (2)$$

où $P_i(D|W)$ et $P_i(D|D)$ sont les probabilités d'un incrément de temps sec donné un incrément de temps humide sur incrément de temps et un incrément de temps sec donné un incrément de temps sec sur incrément de temps, respectivement. Par conséquent, les probabilités de transition sont entièrement définies étant donné $P_i(W|W)$, $P_i(W|D)$, et l'état sec ou humide sur l'intervalle $i - 1$.

Plusieurs des fonctions de densité de probabilité ont été utilisés pour décrire la distribution des quantités de précipitations (Smith, 1974 ; Schreiber et Woolhiser et Roldan, 1982). Richardson (1982) a montré la distribution gamma à deux paramètres d'être supérieure pour décrire des quantités de précipitations que le paramètre d'une distribution exponentielle. La fonction de densité de la distribution gamma à deux paramètres est donnée par :

$$f(p) = \frac{p^{\alpha-1}(e)^{-p/\beta}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}, p, \alpha, \beta > 0 \quad (3)$$

où $f(p)$ est la fonction de densité de quantité de précipitations (p), et α et β sont les paramètres de forme et d'échelle, respectivement, e est la base du logarithme naturel, et $\Gamma(\alpha)$ est la fonction gamma incomplète de α , et est donnée par :

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} p^{\alpha-1}(e)^{-p/\beta} dp \quad (4)$$

Les valeurs de $P_i(W|W)$, $P_i(W|D)$, α et β varient continuellement au cours de l'année pour la plupart des endroits. Dans WGEN, chacun des quatre paramètres de précipitations sont maintenue constante pour un mois donné sont variées mais de mois en mois. WGEN a été largement utilisé dans diverses études dans différentes conditions climatiques et a été trouvé d'avoir d'excellents succès en imitant les précipitations climatiques statistiques.

4.2.2 Non-Tropical précipitation induite par le Cyclone

Dans cette section, le processus de détermination qui déclenchent une tempête NTC précipitation dommageable est expliquée à l'aide du produit de façon stochastique des précipitations NTC discutées précédemment.

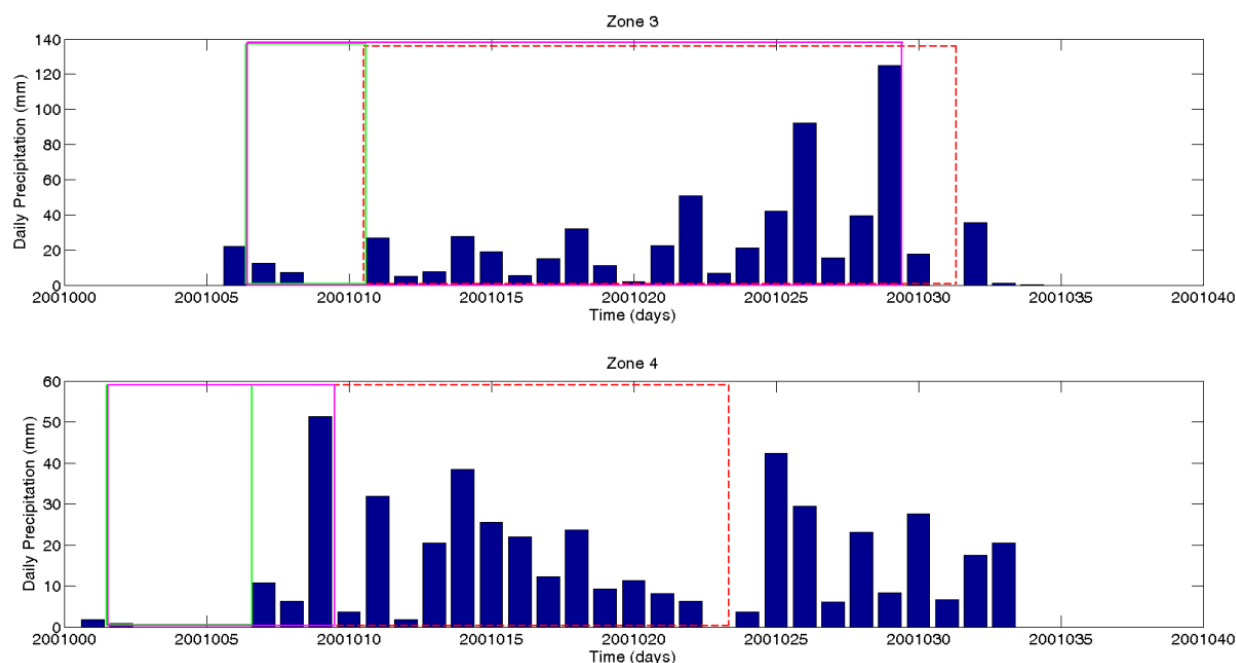


Pour tenir compte de la nature non triviale de la NTC, une pluie "7-5 jours clause" est utilisé pour déterminer l'apparition d'un événement de précipitation NTC - un minimum de sept jours de pluie totale et un seuil de cinq jours de tempête inter-période. L'article reflète la durée observée des précipitations extrêmes associés aux systèmes météorologiques comme la mousson et les précipitations, la valeur de seuil peut représenter le point de bascule d'un événement dommageable.

Dans le modèle de l'air, les règles de la constitution de tempête et des événements de précipitation sont les suivants :

- Un événement démarre lorsqu'une tempête se produit n'importe où dans le pays si au moins 5 jours après le pic de la pluie de l'événement précédent ;
- Un événement se termine si la période de tempête, la période de temps entre le pic de la dernière tempête de pluie (ITS) et le début de la prochaine tempête (STj), soit au moins 5 jours ;
- Si la période de tempête est de moins de 5 jours, mais le temps depuis le début de l'ITS est plus de 7 jours, puis la fin de l'événement et le début d'une autre est mis en place au point de précipitation entre minimum et STi STj ;
- En revanche, si la période de tempête est inférieure à 5 jours, et l'heure du début de l'ITS est également à moins de 7 jours, puis deux (ou plus) événements sont considérés comme un seul événement avec plusieurs pics de pluie. La fin de cet événement est mis en place à la fin de STj (ou le dernier événement), ce qui implique que les événements peuvent durer plus de 7 jours ;
- L'événement est considéré comme dommageable si le cumul des précipitations pendant la période de tempête dépasse un seuil pour chaque pays ;
- Si deux événements se produisent dans des dates de début différentes mais se chevauchent dans leurs 7 jours (ou durée réelle) la couverture, puis ils sont considérés comme un seul événement, indépendamment de l'emplacement spatial.

La Figure A.26 illustre l'événement-processus de composition, en utilisant l'exemple de deux événements de précipitations NTC identifiés à partir d'une série de précipitations station (Zone 3 et Zone 4) pour Madagascar. Les barres bleues de la Figure indiquent les précipitations journalières provenant de la NTC données TRMM aux deux zones. Le fort en vert fixe indique que lors de la concaténation de deux tempêtes est déclenché en fonction de l'article règles ; c'est la durée du pic précédent au début de la prochaine tempête, c'est moins de 5 jours. La boîte solide rose indique quand l'heure du début de pic précédent événement pour le prochain événement de pointe est de plus de 7 jours. La ligne de tirets rouges fort entoure événements définis sur la base des précipitations cumulées valeur de seuil.



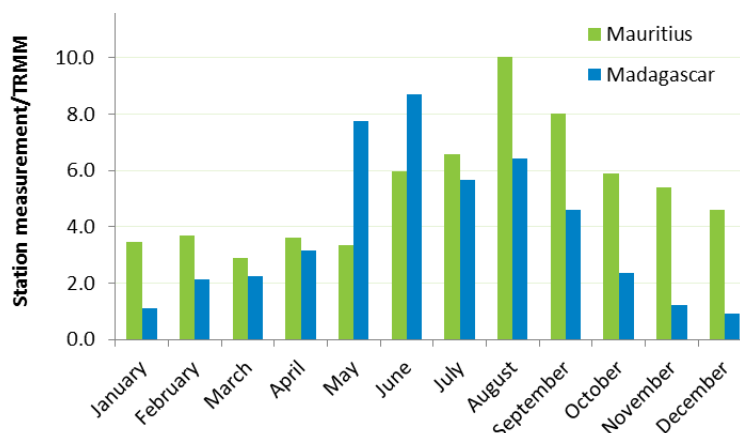
La Figure A.26. Composition des événements de précipitations pour les 7-5 jours article. Barres bleues sont tous les jours de pluie, NTC dash rouge représentent le cumul des précipitations pendant la période de tempête, magenta solides représentent le moment du début de l'événement précédent sommet à l'autre événement pic vert et fort solide représente la durée du pic précédent au début de la prochaine tempête

4.2.3 Non-Tropical Inondations Cyclone

TC et NTC inondation par les précipitations sont modélisées à l'aide de l'ACCS2D-SED donna un aperçu de la méthodologie précédemment et discutés en détail dans "Cyclone tropical" de l'Annexe A. Pour le CNT et les précipitations de l'événement est supposé tomber uniformément sur l'ensemble de la région de précipitations indépendant pour la durée de l'événement. Le modèle CASCD2D distribue ensuite les précipitations de manière dynamique dans l'ensemble de la région affectée et calcule les hauteurs d'inondation.

Avant de calculer la profondeur d'inondation, un facteur de correction est appliqué à l'TRMM 3-données sur les ressources humaines pour tenir compte des incertitudes liées à la multi-satellite TRMM estimations des précipitations. Le facteur de correction est calculé en comparant les totaux mensuels historiques pluviomètre à partir de plusieurs stations météorologiques dans toute la région de TRMM totaux au cours de la même période. Les précipitations mensuelles ont été fournis par les données de la station météorologique locale des organismes. **Error! Reference source not found.** Illustre le rapport des précipitations mensuelles entre station et les mesures données TRMM pour Madagascar et Maurice. données TRMM dans la région a été jugée

systématiquement plus faible que les données de jauge locales, donc le facteur de correction appliqué pour tous les pays est > 1 .



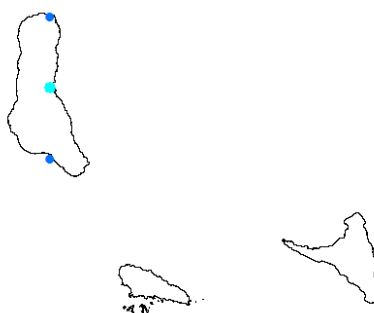
Station de mesure/TRIMM **Rapport mensuel : de station météo pluviomètre de mesures données TRMM pour stations météorologiques de Madagascar et Maurice.**

4.2.4 L'analyse d'aléas de précipitations

L'analyse des données historiques et la génération TRMM stochastique des catalogues de précipitations pour chaque nation insulaire dans la région du SOOI sont présentés dans les sections suivantes. En outre, des seuils d'événements spécifiques par pays et statistiques des précipitations sont discutées.

4.2.4.1 Comores

Compte tenu de l'étendue spatiale et la variabilité climatique de la région du SOOI, et le territoire relativement petit des îles des Comores, la variabilité climatique à l'échelle du pays d'îles de l'archipel des Comores est considéré comme minime. Par conséquent, il est supposé que la variabilité du climat est étroitement capturé par un seul nœud, qui TRMM est utilisé pour représenter le profil des précipitations et les caractéristiques à travers les îles. Le nombre de points de grille TRMM couvrant l'île principale des Comores, de la Grande Comore, est montré dans La Figure A.27.



La Figure A.27. TRMM points de grille couvrant la grande île des Comores. Le point mis en évidence en cyan représente la cellule de grille TRMM sélectionné

Avant de la génération de précipitations stochastique, historique de validation pour la modélisation des précipitations TRMM période historique entre 1998 et 2013 est réalisée pour le point sélectionné TRMM (**Error! Reference source not found.**). On voit que le point sélectionné TRMM à long terme représentent la climatologie et les caractéristiques des précipitations des Comores avec erreur minimum obligatoire dans la période de 1998-2013. Génération stochastique de 10 000 ans des précipitations quotidiennes est réalisée à l'aide d'WGEN pour l'emplacement de la cellule de grille TRMM sélectionné pour les Comores.

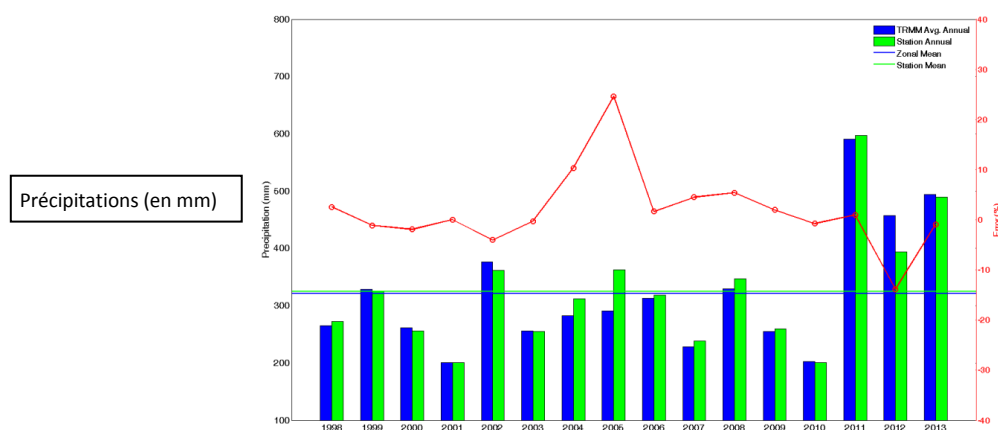
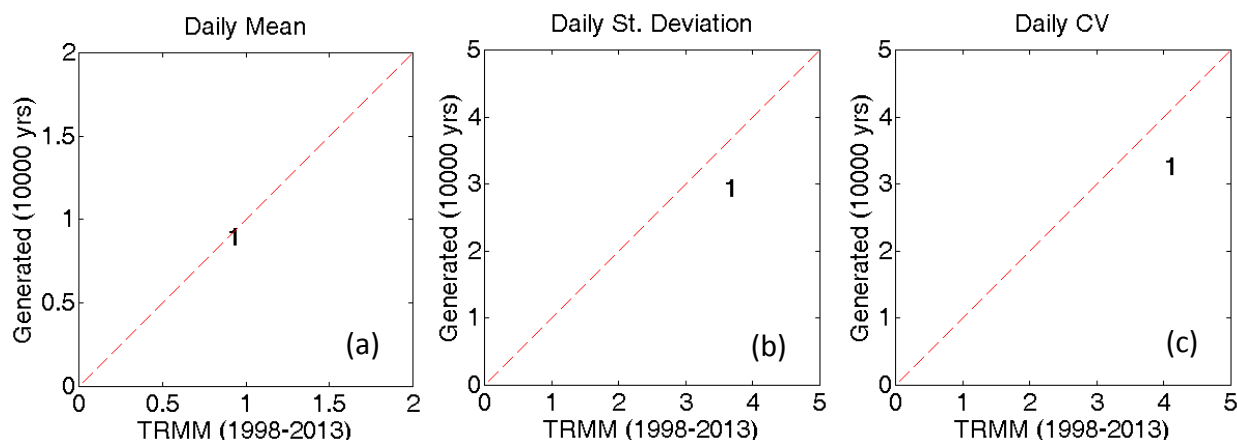


Figure A. SEQ Figure 1 32. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique le TRMM sélectionné. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.

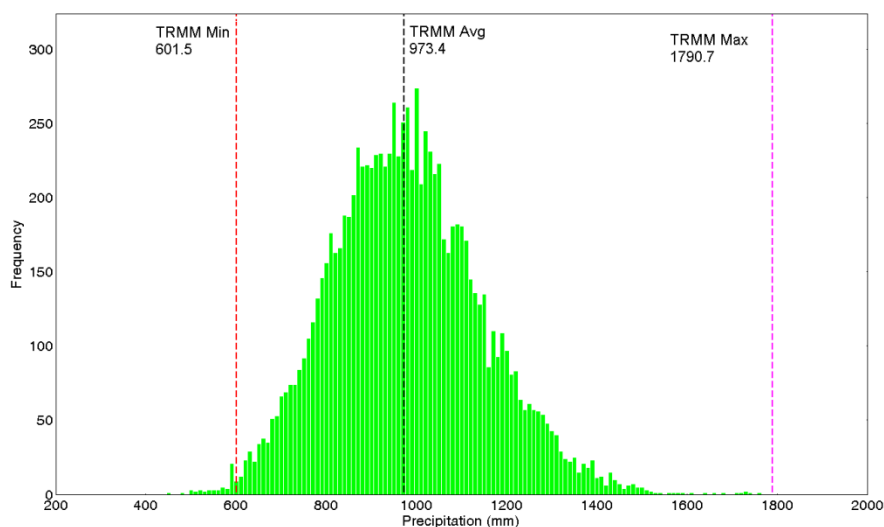
Les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes, à savoir la moyenne, écart-type, coefficient de variation de l'historique (TRMM, 1998-2013) et généré de manière stochastique (10 000 ans) sont comparés en La Figure A.28. Les résultats montrent que le modèle de précipitation conserve les propriétés statistiques des

précipitations quotidiennes et le cycle saisonnier des précipitations dans les Comores. Les quantités de précipitations quotidiennes moyennes sont bien conservés (La Figure A.28A) et la dispersion des quantités de précipitations quotidiennes à partir de l'écart-type moyenne quotidienne est relativement préservé (La Figure A.28B).



La Figure A.28. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le point sélectionné TRMM

WGEN généré 10.000 ans catalogue stochastique de précipitations quotidiennes est comparée à la précipitation zonale observée pour les Comores à la Figure A. 34 et le tableau A. 2. La Figure A.29 Tableau A.2 Il est à noter que la répartition spatiale des précipitations moyennes et maximales minimales de la simulation stochastique de 10 000 ans diffèrent légèrement par rapport à la période historique TRMM. Cette légère différence est prévu et est principalement attribuable à la sous-estimation de l'écart type quotidien et la durée relativement brève de la catalogue historique.

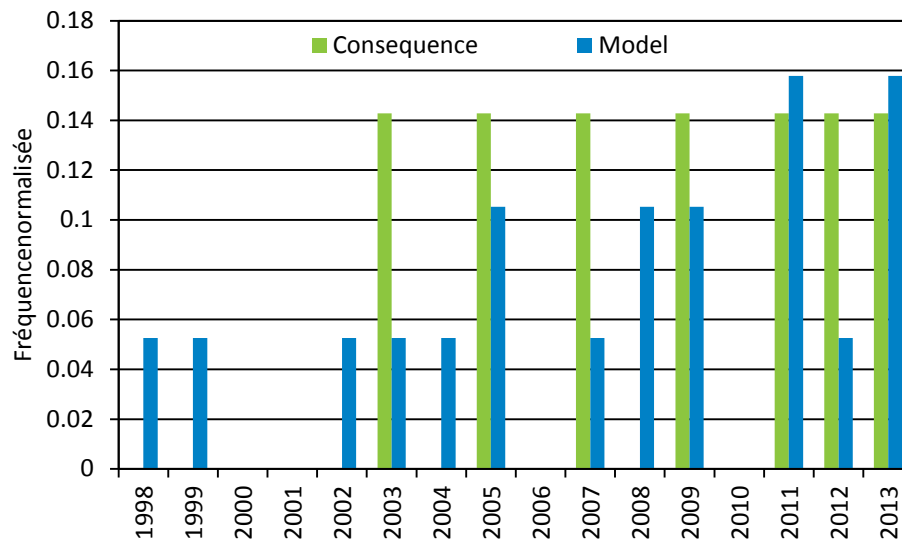


La Figure A.29. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles au Comores areal

Tableau A.2. Comparaison de l'areal des précipitations annuelles de 10 000 ans dans l'ensemble comorien par rapport à la période historique

<i>Statistique</i>	<i>10 000 ans Précipitations (mm)</i>	<i>TRMM (1998-2012) précipitations (mm)</i>
Dire	979	973
Au moins	446	602
Maximum	1 757	1 791

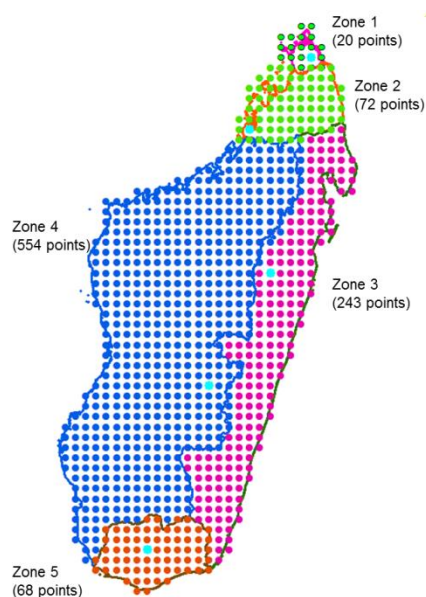
Les 7-5 jours clause est appliquée à la fois l'unité NTC données TRMM et le catalogue stochastiques pour les Comores. Notez que quelques années ; il n'y a pas d'inondation des NTC enregistré dans la base de données de conséquence. La fréquence annuelle de précipitations NTC basé sur la base de données conséquence est complété contre celui qui découle des données TRMM le CNT dans La Figure A.30, qui montre que les variations inter-annuelles des deux ours données ressemblance élevée.



La Figure A.30. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM
NTC Événements par an pour les Comores

4.2.4.2 Madagascar

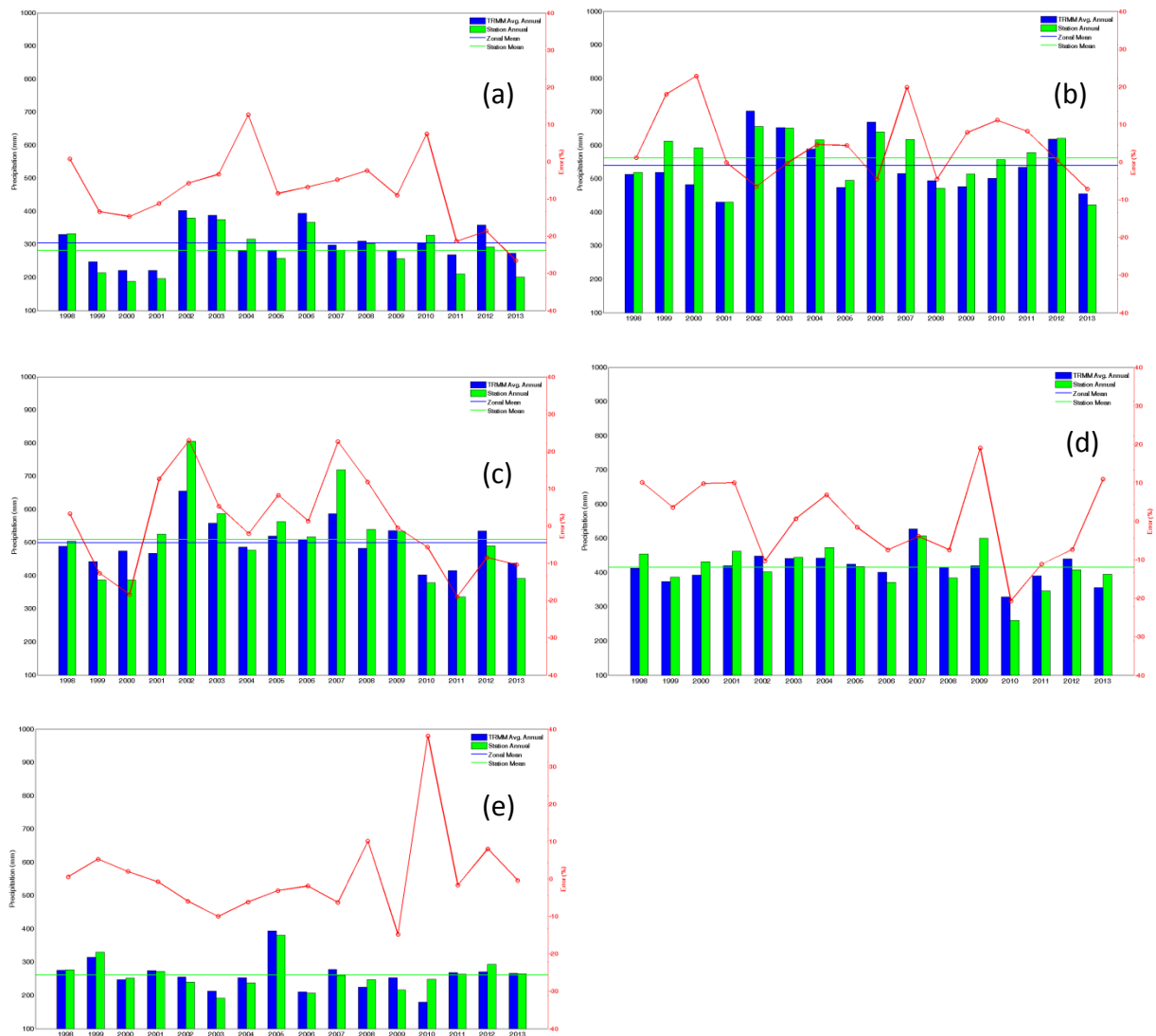
Madagascar est divisé en cinq zones climatologiques hydroélectrique qui reflètent l'Hydro-climatologie de la région. Le nombre d'endroits couvrant chaque grille TRMM hydro-zones climatologiques du Madagascar est montré dans ⁵La Figure A.31. En dehors de ces, représentant cinq endroits grille TRMM sont sélectionnés pour chacune des zones hydrologiques pour générer l'année 10 000 catalogue stochastique des précipitations. La grille avec les emplacements TRMM précipitations minimum erreur dans chaque zone sont sélectionnées pour la production de catalogue. Les valeurs d'erreur pour cette comparaison sont obtenus en soustrayant les précipitations annuelles à chaque grille emplacement dans la zone correspondante la précipitation annuelle moyenne pour la période historique de TRMM mesures (1998 à 2013).



La Figure A.31. Hydroclimatologie D'après la représentation de zone de points de grille TRMM dans Madagascar. Les points mis en évidence en cyan représentent le TRMM sélectionné les cellules de la grille.

Avant la génération de précipitations stochastiques, historique la validation de la modélisation des précipitations TRMM pour la période historique entre 1998 et 2013 est réalisée pour le TRMM points (La Figure A.32). On voit que chaque point représente le TRMM sélectionné long-terme climatologie et caractéristiques des précipitations de Madagascar avec le minimum des statistiques d'erreur dans l'ensemble de la période allant de 1998-2013. Génération stochastique de 10 000 ans des précipitations quotidiennes est réalisée à l'aide d'WGEN pour l'emplacement de la cellule de grille TRMM sélectionné pour chaque zone à Madagascar.

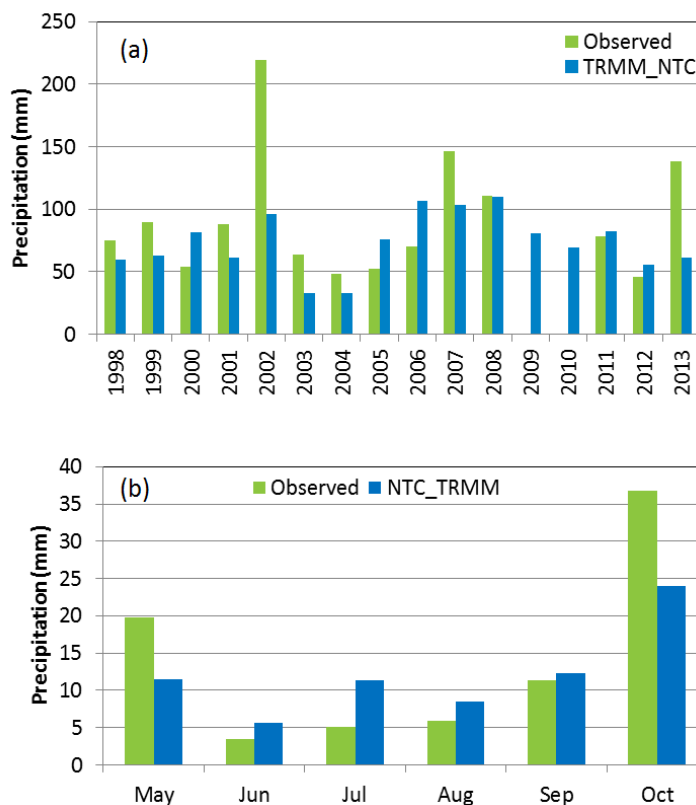
⁵ Le rapport Indique Que Madagascar is divisée en zones Cinq hydro-climatologiques, définies en fonction du relief: (i) les pentes de la Montagne d'Ambre; (I) les pentes du Tsaratanana; (Iii) les versants orientaux plongeant Dans l'Océan indien; (Iv) les versants ouest et nord-ouest Dont les eaux s'écoulent Dans le canal du Mozambique; et (v) le versant sud (Aldegheri, 1972).



La Figure A.32. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique la station de TRMM sélectionné pour chaque zone ; (a) zone 1, (b) la zone 2, zone 3 (c), (d) la zone 4, et (e) zone 5. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.

Afin de valider le TRMM provenant des précipitations les précipitations observées avec NTC pendant la période NTC (c.-à-d. de mai à octobre), une station de jaugeage de pluie situé à l'aéroport d'Anatananvario l'emplacement est utilisé. Les effets des cyclones tropicaux précipitations induite par l'actif sont minimisés en omettant les précipitations enregistrées au cours de la période de novembre à avril, ce qui coïncide avec la saison des cyclones tropicaux. Les résultats de cette comparaison sont présentés dans La Figure A.33 Et

démontrer un bon accord entre les mesures et les précipitations NTC satellite dérivés utilisés pour calibrer le modèle.



La Figure A.33. Comparaison des précipitations TRMM NTC observée avec les données historiques pour la jauge de pluie NTC période de mai à octobre. Barres bleues indiquent les précipitations TRMM NTC de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique les précipitations observées ; (a) Comparaison du total annuel des précipitations de la période historique à partir de 1998-2013, et (b) Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations pour la même période historique.

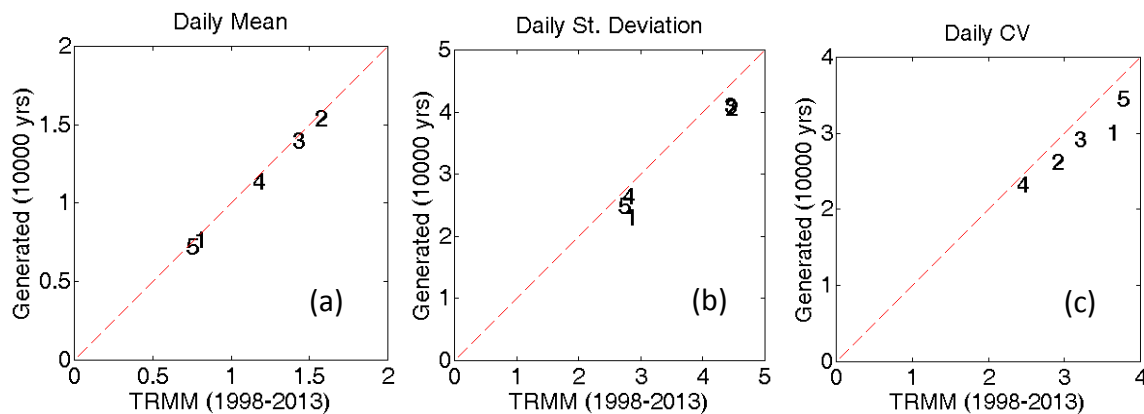
Chaque zone hydrologique est supposé avoir une indépendance de la configuration des pluies et les caractéristiques. Cette hypothèse est validée par l'exécution d'une analyse de corrélation croisée pour les précipitations TRMM à les stations sélectionnées pendant la période historique entre 1998 et 2013. Comme montré dans Tableau A.3, les corrélations croisées entre chaque paire de zones hydrologiques sont relativement faibles, ce qui suggère que l'hypothèse d'indépendance est raisonnable.

Génération stochastique de 10 000 ans des précipitations quotidiennes pour les cinq zones hydrologiques à Madagascar est réalisée à l'aide d'WGEN pour les emplacements de cellules de grille TRMM sélectionné pour chaque zone. En outre, un modèle de simulation stochastique des précipitations quotidiennes est effectué afin de préserver le caractère saisonnier des précipitations.

Les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes, telles que la moyenne, écart-type, coefficient de variation et de la saisonnalité, de l'historique (TRMM, 1998-2013) et généré de manière stochastique (10 000 ans) sont comparés en La Figure A.34. Les résultats révèlent que la modélisation des précipitations conserve les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes et le cycle saisonnier des précipitations à travers toutes les zones hydrologiques du Madagascar. Les quantités de précipitations quotidiennes moyennes sont bien conservés dans les cinq zones hydrologiques (La Figure A.34A) et, comme prévu, le minimum et le maximum des valeurs de précipitations quotidiennes sont observées dans les zones hydrologiques 1 et 4, respectivement. La dispersion des quantités de précipitations quotidiennes à partir de la moyenne journalière l'écart-type est aussi préservé (La Figure A.34B).

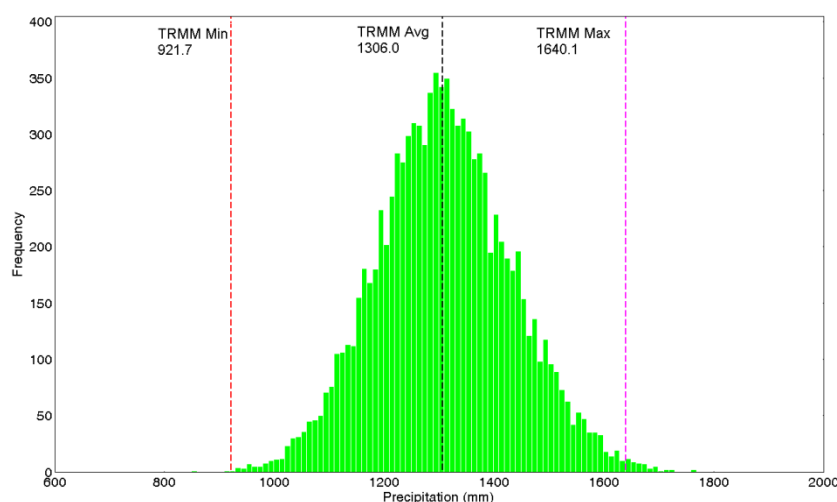
Tableau A.3. Comparaison des statistiques de corrélation croisée des cellules de grille TRMM sélectionnés dans chaque zone pour la période historique entre 1998 et 2013

Zone A	Zone B	La corrélation croisée (ρ_{AB})
1	2	0,27
1	3	0,16
1	4	0,10
1	5	0,04
2	3	0,22
2	4	0,16
2	5	0,07
3	4	0,27
3	5	0,07
4	5	0,20



La Figure A.34. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour chaque numéro de zone

simulation stochastique basée sur WGEN de précipitations depuis 10.000 ans préserve le caractère saisonnier des précipitations événement survient et les montants (Figure A. 40). La Figure A.35 La variabilité des précipitations mensuelles est aussi bien dans l'ensemble des zones hydrologiques simulés. Enfin, l'WGEN-généré 10 000 ans de précipitations quotidiennes stochastique est comparé avec le catalogue areal observée des précipitations pour le pays de Madagascar en La Figure A.35 Et Tableau A.4. Comme prévu, la répartition spatiale des précipitations minimales et maximales de la simulation stochastique de 10 000 ans sont différents par rapport à la période historique TRMM en raison de la durée limitée du catalogue historique (c.-à-d, 16 ans) et La distribution gamma sans bornes pour simuler des précipitations.



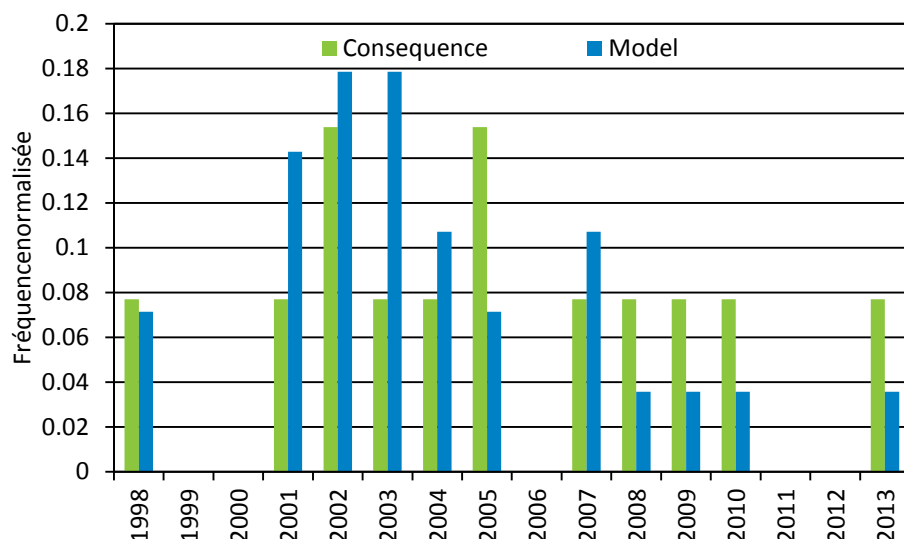
La Figure A.35. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles à travers Madagascar areal

Tableau A.4. Comparaison de l'areal des précipitations annuelles de 10 000 ans à travers Madagascar par rapport à la période historique

<i>Statistique</i>	<i>10 000 ans Précipitations (mm)</i>	<i>TRMM (1998-2012) précipitations (mm)</i>
Dire	1 310	1 306
Au moins	849	922
Maximum	1 764	1 640

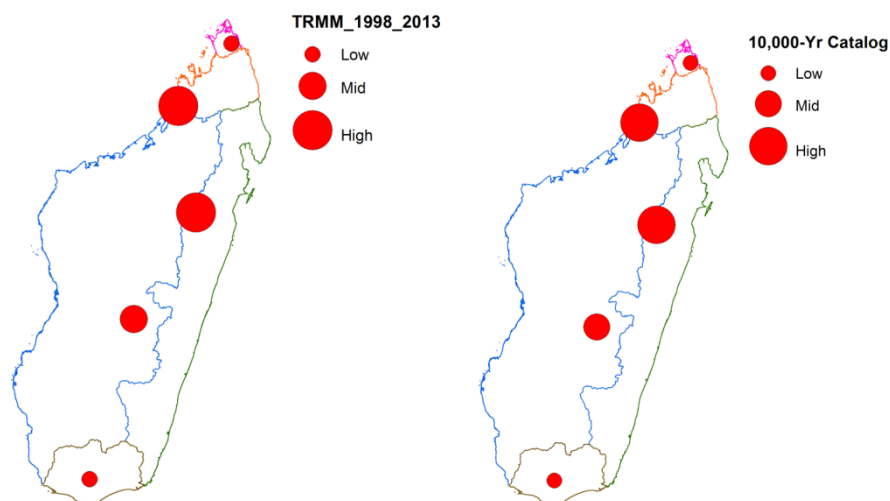
Les 7-5 jours clause est appliquée à la fois l'unité NTC données TRMM et le catalogue stochastiques pour Madagascar. D'examiner si la CNT les inondations présentent une fréquence de présence réaliste, la conséquence Base de données présentée dans l'annexe B, qui consiste en une liste de perte significative des événements historiques, est comparée à la définition de l'événement demandé à l'histoire (TRMM) pluie catalogue. Plusieurs filtres (par exemple, pas de tempêtes nommées et aucun cyclone tropical annotations

connexes) sont utilisés pour la première fois d'identifier les événements de précipitations NTC dans la base de données, et par conséquent le nombre total de ces événements est calculé pour chaque année de 1998 à 2013. La fréquence annuelle de précipitations NTC basé sur la base de données conséquence est complété contre celui qui découle des données TRMM le CNT dans La Figure A.36, qui montre que les variations inter-annuelles des deux ours données ressemblance raisonnable.



La Figure A.36. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC événement événement par année pour Madagascar

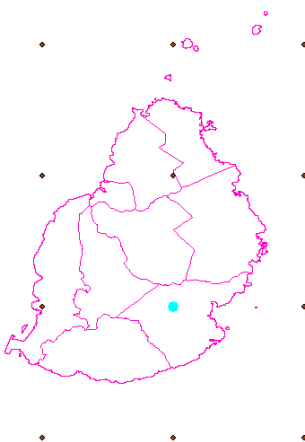
La fréquence spatiale des précipitations NTC occurrences est approfondi à la grille de points sur TRMM sélectionné de Madagascar. Le nombre total d'occurrences d'NTC à chaque station est classée en trois taux d'événements (p. ex., haute, moyenne et faible) basée sur la précipitation des quartiles de l'ensemble du pays, et la comparaison des taux d'événements stochastiques et historiques sont présentés dans La Figure A.37. Les résultats de cette comparaison similaires indiquent des zones sujettes aux précipitations NTC dans le centre historique et catalogue stochastique, à savoir l'Est et du nord du pays.



La Figure A.37. Comparaison entre le CNT La fréquence d'apparition des événements de précipitation du NTC données TRMM (à gauche) et celui de la stochastique le catalogue (à droite)

4.2.4.3 Maurice

La variabilité climatique à travers l'île principale de l'île Maurice est relativement minime, il est donc présumé que la variabilité du climat peut être capturée par un seul nœud TRMM. Le nombre de points de grille TRMM couvrant l'île principale de l'île Maurice est montré dans La Figure A.38.



La Figure A.38. TRMM points de grille couvrant les principales îles de l'île Maurice. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.

Une comparaison entre les précipitations TRMM historique pour le pays et la moyenne des points de grille TRMM sélectionné durant la période de 1998 à 2013 est illustré dans **Error! Reference source not found.** On voit que le point sélectionné TRMM étroitement représente la climatologie à long terme et caractéristiques des

précipitations de l'île Maurice avec erreur minimum obligatoire dans la période de 1998-2013. Génération stochastique de 10 000 ans de la précipitation quotidienne est effectuée à l'aide d'WGEN pour l'emplacement de la cellule de grille TRMM sélectionné pour l'île Maurice.

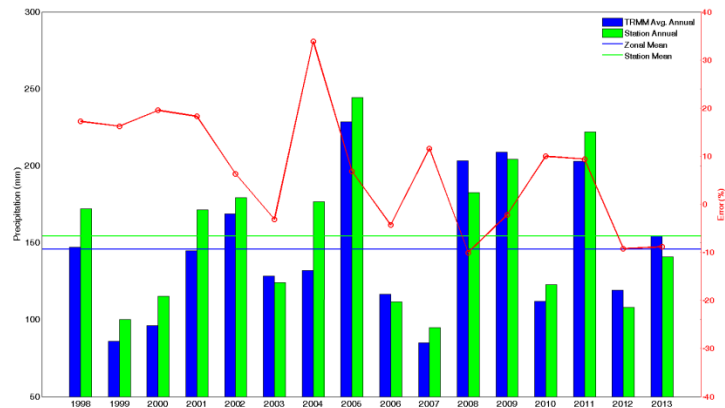
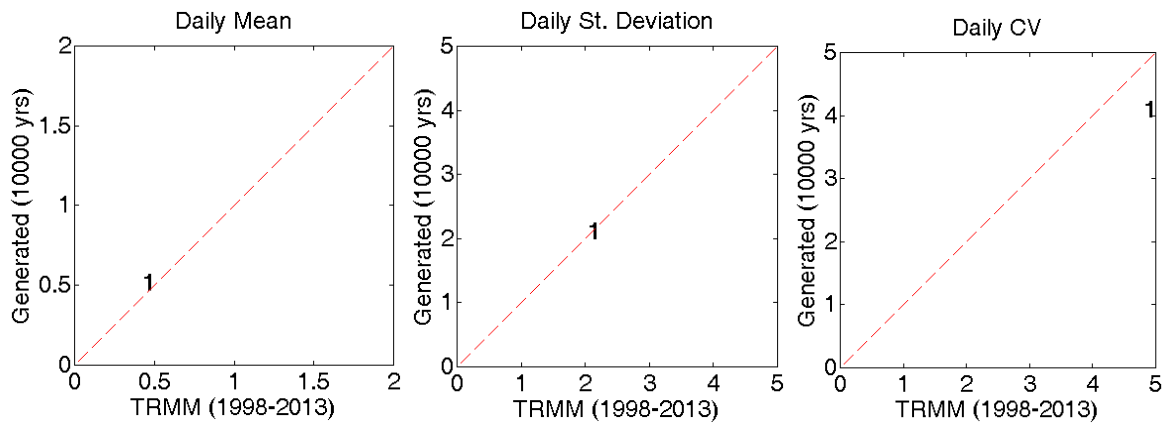


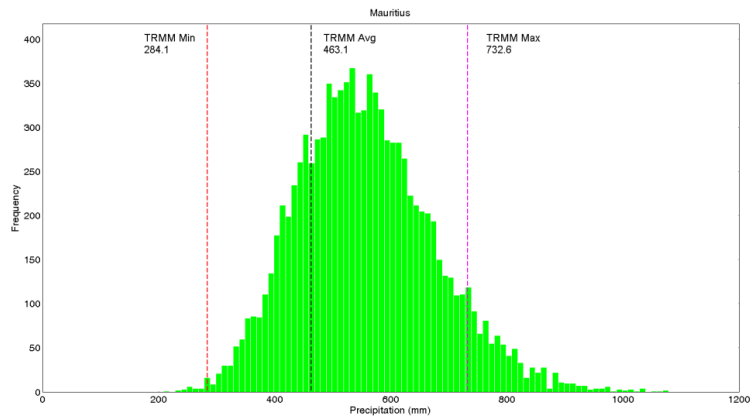
Figure A.39. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique le TRMM sélectionné. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.

Les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes, telles que la moyenne, écart-type, coefficient de variation de l'historique (TRMM, 1998-2013) et générée de manière stochastique (10 000 ans) sont comparés en La Figure A.39. Les résultats révèlent que les précipitations modélisées conserve les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes et historiques le cycle saisonnier des précipitations en France. Les quantités de précipitations quotidiennes moyennes sont bien conservés (La Figure A.39A), et la dispersion des quantités de précipitations quotidiennes à partir de l'écart-type moyenne quotidienne est relativement préservé (La Figure A.39B).



La Figure A.39. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.

WGEN généré 10.000 ans catalogue stochastique de précipitations quotidiennes est comparée à la précipitation zonale observée pour l'île Maurice dans la Figure A. 46 et le tableau A. 5. La Figure A.40 Tableau A.5 Il est à noter que la répartition spatiale des précipitations maximales de la simulation stochastique de 10 000 ans sont différents par rapport à la période historique TRMM. Cette différence est principalement due aux précipitations d'événement et le montant des distributions de 10 000 ans de simulations stochastiques au point sélectionné TRMM.

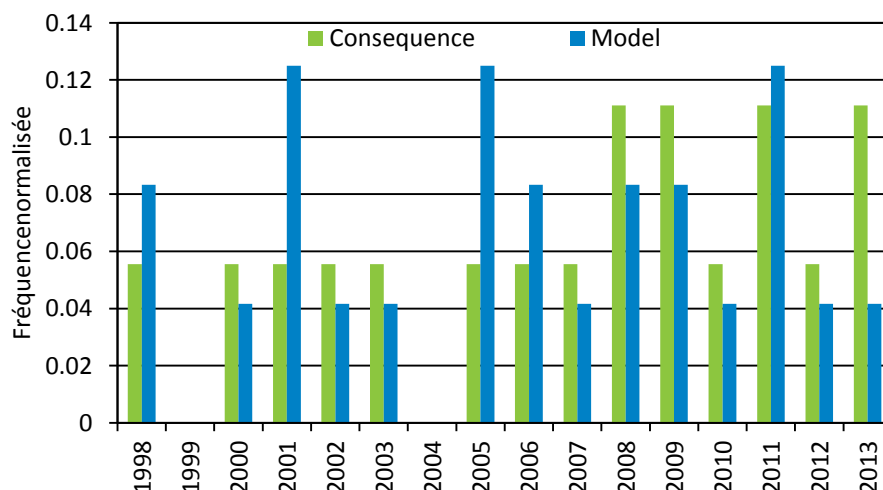


La Figure A.40. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles en Australie areal

Tableau A.5 : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans en Australie par rapport à la période historique

<i>Statistique</i>	<i>10 000 ans Précipitations (mm)</i>	<i>TRMM (1998-2012) précipitations (mm)</i>
Dire	557	463
Au moins	209	284
Maximum	1 078	733

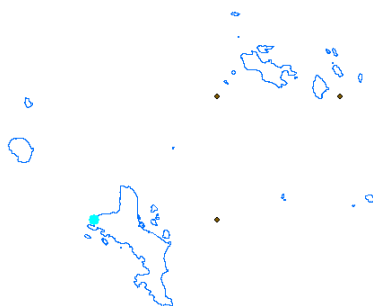
La clause 7-5 jours est appliqué à la fois les données NTC TRMM et le catalogue stochastique pour Maurice. Pour examiner si les événements d'inondation NTC identifiées présentent une fréquence réaliste de l'événement, la base de données de Conséquence développé à l'annexe B, qui consiste en une liste des événements historiques déficitaires causant d'importantes, est comparée à la définition d'événement appliqué à l'historique (TRMM) précipitations catalogue. Plusieurs filtres (par exemple, pas de tempêtes nommées et aucun cyclone tropical annotations connexes) sont utilisés pour la première fois d'identifier les événements de précipitations NTC dans la base de données, et par conséquent le nombre total de ces événements est calculé pour chaque année de 1998 à 2013. La fréquence annuelle de précipitations NTC basé sur la base de données conséquence est complété contre celui qui découle des données TRMM le CNT dans La Figure A.41, qui montre que les variations inter-annuelles des deux ours données ressemblance élevée.



La Figure A.41. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM NTC événement événement par année pour l'Ile Maurice

4.2.4.4 Seychelles

Semblable à d'autres pays insulaires de la région du SOOI, les variations climatiques à travers les îles intérieures des Seychelles est minime. Par conséquent, il est supposé que la variabilité du climat peut être capturé par un seul nœud TRMM, qui représente le profil des précipitations et les caractéristiques à travers les îles principales. Le nombre de points de grille TRMM couvrant les Seychelles est montré dans La Figure A.42.



La Figure A.42. TRMM points de grille couvrant les îles intérieures des Seychelles. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.

La validation de la modélisation des précipitations historiques pour le TRMM période historique entre 1998 et 2013 est illustré dans **Error! Reference source not found.**. On voit que le point sélectionné TRMM à long terme représentent la climatologie et les caractéristiques des précipitations des Seychelles avec erreur minimum obligatoire dans la période de 1998-2013. Génération stochastique de 10 000 ans des précipitations quotidiennes est réalisée à l'aide d'WGEN pour l'emplacement de la cellule de grille TRMM sélectionné pour les Seychelles.

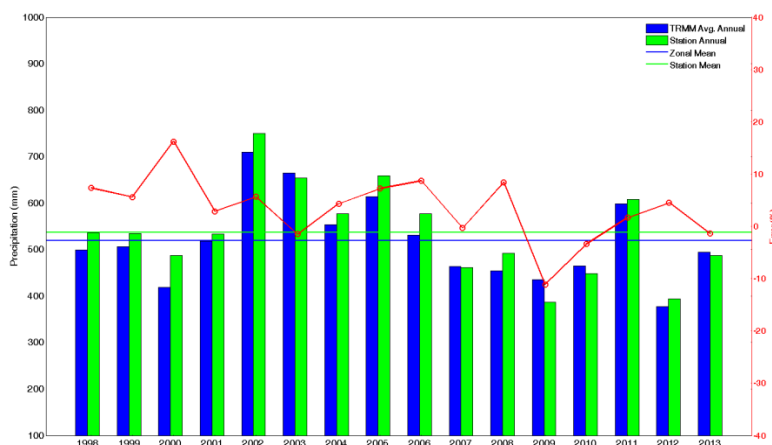
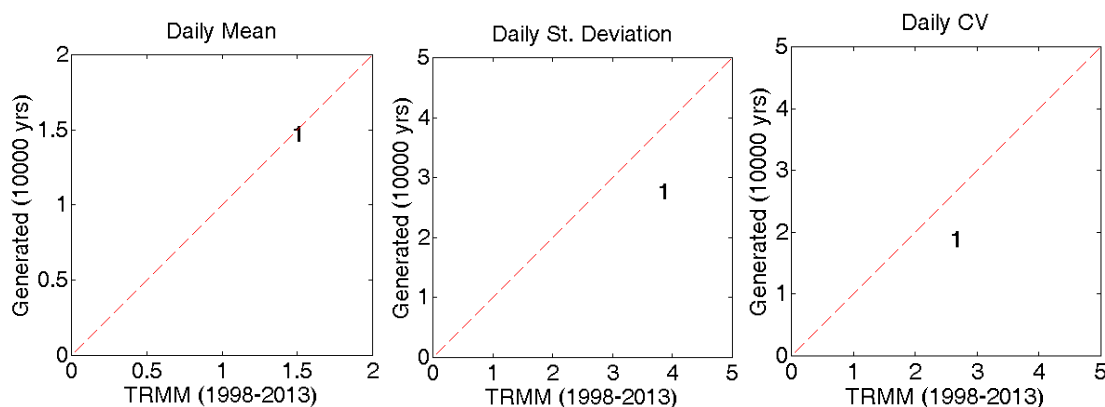


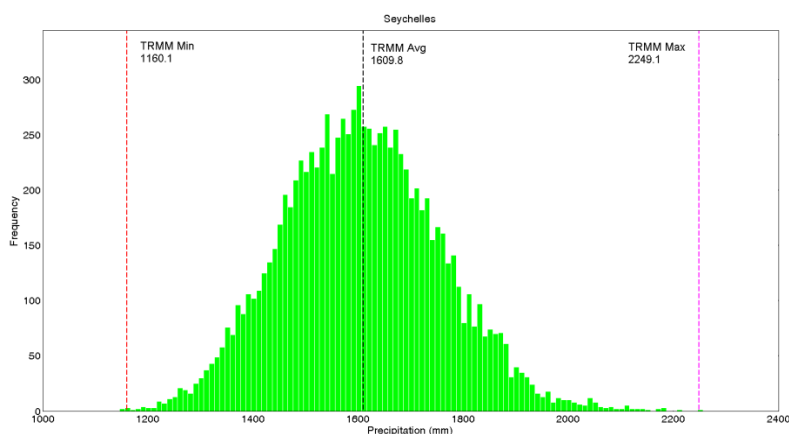
Figure A. SEQ Figure 1* ARABIC 49. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique le TRMM sélectionné. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.

Les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes, telles que la moyenne, écart-type, coefficient de variation de l'historique (TRMM, 1998-2013) et généré de manière stochastique (10 000 ans) sont comparés en La Figure A.43. Les résultats révèlent que la modélisation des précipitations conserve les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes et le cycle saisonnier des précipitations aux Seychelles. Les quantités de précipitations quotidiennes moyennes sont bien conservés (La Figure A.43A), et la dispersion des quantités de précipitations quotidiennes à partir de l'écart-type moyenne quotidienne est relativement préservé (La Figure A.43B).



La Figure A.43. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.

WGEN généré 10.000 ans catalogue stochastique de précipitation par jour est comparée à la précipitation zonale observée pour les Seychelles dans la Figure A. 51 et A. Tableau 6. La Figure A.44 Tableau A.6 Il est noté que l'areal minimum, moyenne et maximum de précipitations à partir de la simulation stochastique de 10 000 ans sont similaires par rapport à la période historique TRMM. Cette similitude est due principalement à la capture des précipitations d'événement et le montant des distributions de 10 000 ans de simulations stochastiques au point sélectionné TRMM.

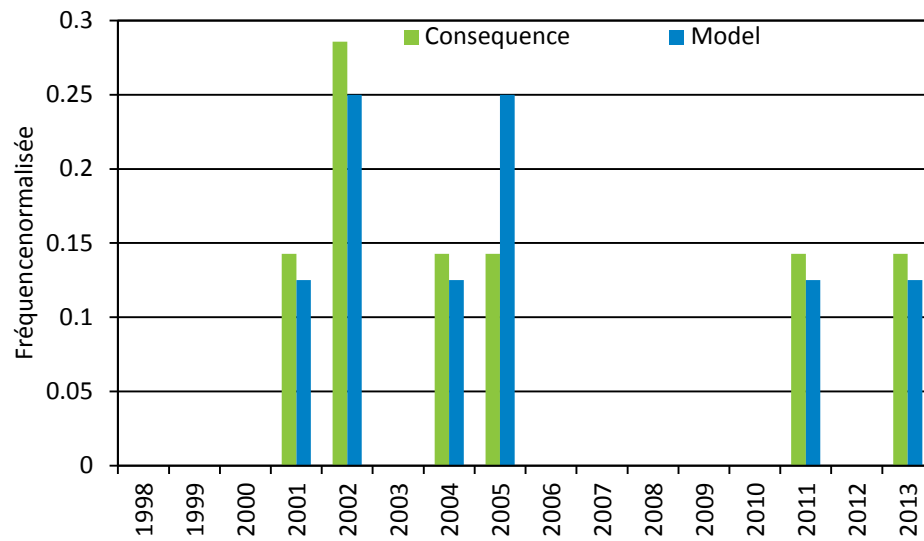


La Figure A.44. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles dans les Seychelles areal

Tableau A.6Areal : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans à travers les Seychelles par rapport à la période historique

<i>Statistique</i>	<i>10 000 ans Précipitations (mm)</i>	<i>TRMM (1998-2012) précipitations (mm)</i>
Dire	1 606	1 610
Au moins	1 147	1 160
Maximum	2 249	2. 249

Les 7-5 jours clause est appliquée à la fois l'unité NTC données TRMM et le catalogue stochastique pour les Seychelles. D'examiner si la CNT les inondations présentent une fréquence de présence réaliste, la conséquence Base de données élaborée à la composante 1, qui consiste en une liste de perte significative des événements historiques, est comparée à la définition de l'événement demandé à l'histoire (TRMM) pluie catalogue. Plusieurs filtres (par exemple, pas de tempêtes nommées et aucun cyclone tropical annotations connexes) sont utilisés pour la première fois d'identifier les événements de précipitations NTC dans la base de données, et par conséquent le nombre total de ces événements est calculé pour chaque année de 1998 à 2013. La fréquence annuelle de précipitations NTC basé sur la base de données conséquence est complété contre celui qui découle des données TRMM le CNT dans La Figure A.44, qui montre que les variations inter-annuelles des deux ours données ressemblance élevée.



La Figure A.45. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM
NTC Événements par an pour les Seychelles

4.2.4.5 Zanzibar

Vu la taille du pays et de la variabilité climatique de la région du SOOI, la variabilité climatique à Zanzibar est minime. Par conséquent, on peut supposer que la variabilité du climat peut être capturé par un seul nœud TRMM pour représenter le profil des précipitations et les caractéristiques à travers les îles principales. Le nombre d'endroits couvrant la grille TRMM deux principales îles de Zanzibar est montré dans La Figure A.46.



La Figure A.46. TRMM points de grille couvrant principales îles de Zanzibar. Le point mis en évidence en cyan représente le TRMM sélectionné des cellules de la grille.

La validation de la modélisation des précipitations historiques pour le TRMM période historique entre 1998 et 2013 est illustré dans **Error! Reference source not found..** On voit que le point sélectionné TRMM à long terme représentent la climatologie et les caractéristiques des précipitations de Zanzibar avec erreur minimum obligatoire dans la période de 1998-2013. Génération stochastique de 10 000 ans des précipitations quotidiennes est réalisée à l'aide d'WGEN pour l'emplacement de la cellule de grille TRMM sélectionné pour Zanzibar.

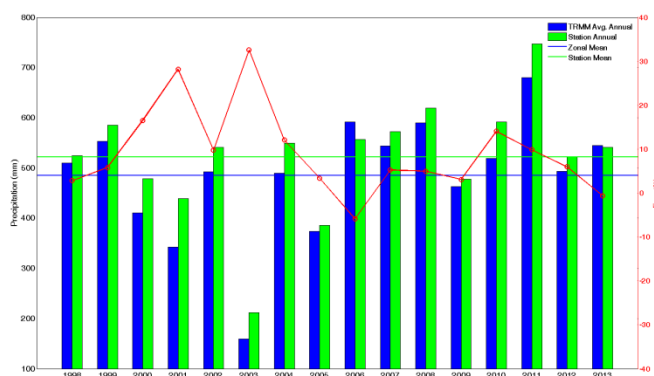
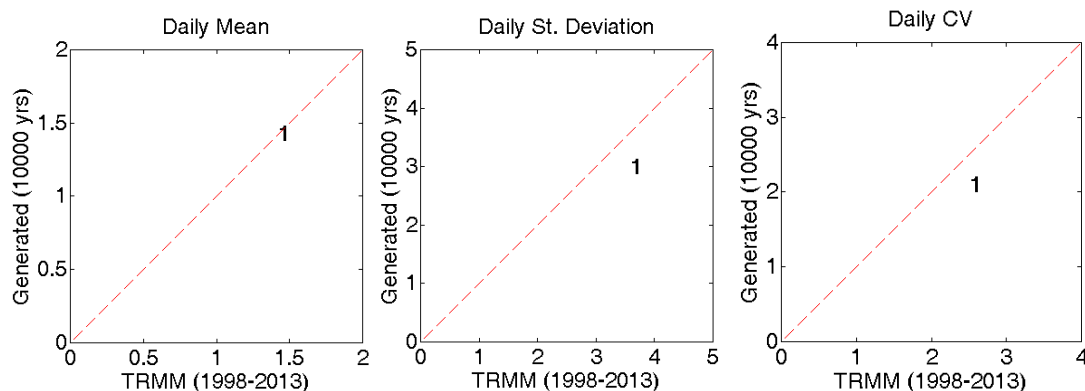


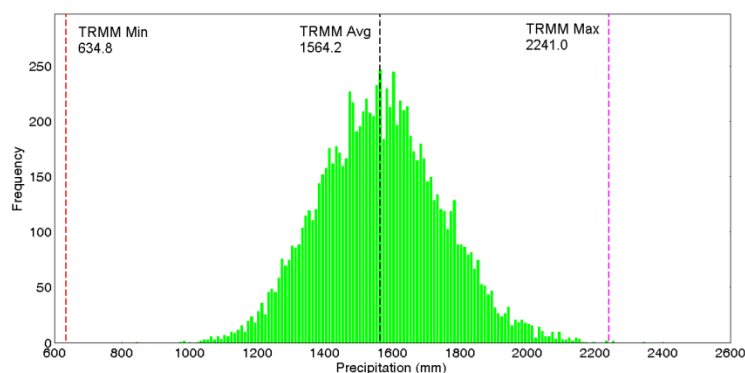
Figure A. SEQ Figure 1* ARABIC 54. Comparaison de la moyenne annuelle des précipitations TRMM historique avec le TRMM point de grille. Les barres bleues indiquent la précipitation annuelle moyenne de toutes les années (1998-2013) et de barres vertes indique le TRMM sélectionné. Ligne rouge montre le pourcentage d'erreur pour chaque année.

Les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes, telles que la moyenne, écart-type, coefficient de variation de l'historique (TRMM, 1998-2013) et générée de manière stochastique (10 000 ans) sont comparés en La Figure A.47. Les résultats révèlent que la modélisation des précipitations conserve les propriétés statistiques des précipitations quotidiennes et le cycle saisonnier des précipitations à Zanzibar. Les quantités de précipitations quotidiennes moyennes sont bien conservés (Figure 21a), et la dispersion des quantités de précipitations quotidiennes à partir de l'écart-type moyenne quotidienne est relativement préservé (Figure 21b).



La Figure A.47. Comparaison des propriétés statistiques quotidiennes de précipitations TRMM historique et 10 000 années de simulations stochastiques pour le TRMM point.

WGEN généré 10.000 ans catalogue stochastique de précipitation par jour est comparée à la précipitation zonale observée pour Zanzibar sur la Figure A. 56 et A. Tableau 7. La Figure A.48 Tableau A.7 Il est à noter que la répartition spatiale des précipitations moyennes et maximales de la simulation stochastique de 10 000 ans sont similaires par rapport à la période historique TRMM. Cette similitude est due principalement à la capture des précipitations d'événement et le montant des distributions de 10 000 ans de simulations stochastiques au point sélectionné TRMM.

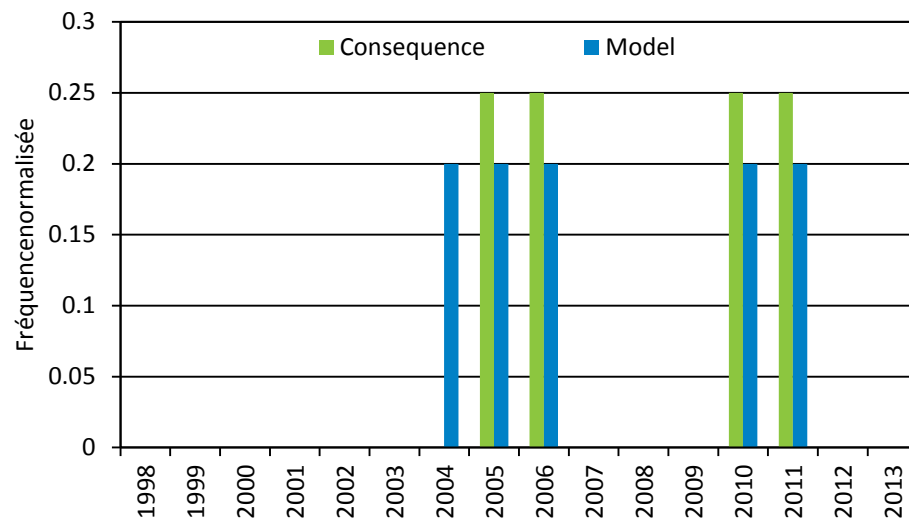


La Figure A.48. Répartition de la fréquence générée de manière stochastique et historiques des précipitations annuelles areal à Zanzibar

Tableau A.7Areal : Comparaison des précipitations annuelles de 10 000 ans à Zanzibar par rapport à la période historique

<i>Statistique</i>	<i>10 000 ans Précipitations (mm)</i>	<i>TRMM (1998-2012) précipitations (mm)</i>
Dire	1 567	1 564
Au moins	839	635
Maximum	2 343	2 241

Les 7-5 jours clause est appliquée à la fois l'unité NTC données TRMM et le catalogue stochastiques pour Zanzibar. D'examiner si la CNT les inondations présentent une fréquence de présence réaliste, la conséquence Base de données élaborée à la composante 1, qui consiste en une liste de perte significative des événements historiques, est comparée à la définition de l'événement demandé à l'histoire (TRMM) pluie catalogue. Plusieurs filtres (par exemple, pas de tempêtes nommées et aucun cyclone tropical annotations connexes) sont utilisés pour la première fois d'identifier les événements de précipitations NTC dans la base de données, et par conséquent le nombre total de ces événements est calculé pour chaque année de 1998 à 2013. La fréquence annuelle de précipitations NTC basé sur la base de données conséquence est complété contre celui qui découle des données TRMM le CNT dans La Figure A.49, qui montre que les variations inter-annuelles des deux ours données ressemblance élevée.



**La Figure A.49. Comparaison entre la base de données et conséquences sur les précipitations TRMM
NTC événement événement par année pour Zanzibar**

4.2.5 Références

- Adler, R.F., et coll. (2000) "Les distributions des précipitations tropicales TRMM déterminés à l'aide combinée avec d'autres chaînes et le pluviomètre Informations," Journal of Applied Meteorology, Vol. 39, 2007-2023.
- Aldegheri, M. (1972). Rivières et cours d'eau de Madagascar. (Dans R. Battistini et G.Richard-Vindard (Eds.), La biogéographie et l'écologie à Madagascar, le Dr W.Junk, BV Publishers La Haye, 1972.
- Chavas, D. R., K. et A. Emanuel (2010), un satellite QuikSCAT climatologie de cyclone tropical taille, Geophys. Res. Lett., 37, L18816.
- Huffman, G.J., et coll. (2007) "Multi-satellite TRMM L'analyse des précipitations (TMPA) : Quasi-Global Combined-Sensor, pluriannuel, des estimations de précipitations à fines écailles," Journal officiel de l'hydrométéorologie, 8, 38-55.
- Jiang, H. et E.J. Zipser (2009) "Contribution des cyclones tropicaux à l'échelle mondiale à partir de huit saisons de précipitation TRMM Données : Variations régionales, saisonnières et interannuelles," Journal of Climate, Vol. 23, 1526-1543.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), (2015). Central Pacific Hurricane Center, (consulté, 2015 : <http://www.prh.noaa.gov/cphc/pages/FAQ/Forecasting.php>)
- Richardson, C. O. (1982). Une comparaison de trois distributions pour la génération de tous les jours de pluie. Dans V.P. Singh (Ed.), *l'analyse statistique des précipitations et du ruissellement*. Document présenté lors du Symposium International sur la modélisation Rainfall-Runoff (pp. 67-78), de l'eau Ressources Publications, 700 p.
- Smith, R. E., H. et A. Schreiber (1973). Les processus de point de pluie orage de saison : 1 La distribution des précipitations. Water Resources Research, Vol. 9 (4), pp. 871-884
- Smith, R. E. et H. A. Schreiber (1974). Les processus de point de pluie orage de saison : 2 Profondeur de pluie probabilités. La recherche des ressources en eau, Vol. 10 (3), pp. 418-423
- Woolhiser, DA, et J. Roldán (1982), S modèles de précipitations quotidiennes tochastic: 2 Une comparaison des distributions des montants, des recherches sur les ressources en eau, 18 (5), 1461-1468

4.3 Tremblement de terre

Un modèle d'aléa sismique, composé d'un catalogue historique, stochastique, catalogue et de l'intensité, le module a été développé pour la région du SOOI. Ce modèle est un séisme dans le cadre d'un modèle plus large de la région subsaharienne de l'Afrique. Documentation technique pour le modèle de séisme, avec un accent sur la région du SOOI, est prévue dans le présent chapitre. Le chapitre est structuré en trois parties principales : (1) Description des tremblements de terre et sismicité dans l'océan Indien Sud-Ouest, (2) le processus stochastique de génération d'événements, et (3) le module de calcul d'intensité locale.

4.3.1 Les tremblements de terre dans le sud-ouest de l'Océan Indien

Cette section donne un aperçu des tremblements et introduit plusieurs concepts importants dans la modélisation sismique.

Tremblements de terre : Un Aperçu

Un séisme résulte d'un déplacement brusque rock le long d'une faille. Il accompagne un dégagement rapide de l'énergie sous forme d'ondes sismiques, qui se propagent vers l'extérieur de l'accent.

Le processus commence lorsque des pierres situé le long d'une faille dans l'accumulation de l'expérience d'un stress, et par conséquent commencer à se déformer. Lorsque la contrainte est supérieure à la résistance de la roche et surmonte le frottement qui résiste au mouvement relatif des côtés opposés de la défaillance, le rompt et libère l'énergie de défaut. Une partie de l'énergie libérée se dissipe comme la friction le long de l'incident ; le reste est transférée en tant que les ondes sismiques qui rayonnent à partir du premier point de rupture et de provoquer des mouvements du sol à la surface de la Terre.

Les défauts sont rarement trouvés dans l'isolement ; au lieu de cela, ils ont tendance à former des zones de failles composé de nombreux défauts de différentes tailles et d'orientations. Défauts longue peut être segmenté, chaque segment ayant une personne de l'histoire et le mécanisme de rupture. Ruptures associées à un séisme modéré à faible sont généralement contenues dans un segment d'un problème, alors que plus puissants séismes manifestent souvent eux-mêmes le long de plusieurs segments. Les zones de failles varient en profondeur, la largeur et l'orientation.

Problème avion peut être verticale ou inclinées par rapport à la surface de la terre. En pente douce des défauts, le volume de roche au-dessus de la démarche de plan est connu sous le toit, et le volume de roche en dessous de la démarche de plan est l'éponte inférieure. Un type de mécanisme de failles du séisme est de dip, qui peut être sous-classés comme des failles normales ou en marche arrière. Failles normales se produit lorsque le toit glisse vers le bas par rapport à l'éponte inférieure, ce qui se traduit par une extension de la question. Failles inverse se produit lorsque l'éponte ascenseurs par rapport à l'éponte inférieure, ce qui provoque une réduction de la matière crustale. Des failles ont une surface presque verticale ; leur mouvement est horizontale, parallèle

à la direction de la démarche de surface. Des failles de décrochement oblique est une combinaison d'une grève et de failles normales ou en marche arrière.

Alors que les défauts peuvent former une trace visible sur la surface de la Terre, certains restent enterrés. Ces défauts aveugle constituent un grand aléa sismique, car ils sont souvent difficiles à détecter avant la rupture. L'évaluation des défauts aveugle est très difficile et souvent en proie à l'incertitude.

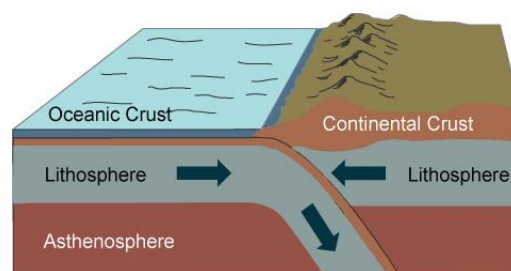
En général, les failles actives sont celles qui ont fait preuve d'activité au cours des 10 000 dernières années, ou au cours de la période de l'Holocène. Défauts potentiellement actifs sont ceux qui ont fait preuve d'activité au cours des années, ou 1,65 million au cours de la période quaternaire.

La tectonique des plaques

La théorie de la tectonique des plaques a été développée pour expliquer les éléments de preuve pour les grands de la terre des continents. La croûte et le manteau supérieur rigide sous forme solide, la lithosphère, qui est divisé en grandes plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Les plaques les plus importantes sont le Pacifique, d'Amérique du Nord, Amérique du Sud, d'Afrique, d'Eurasie, et plaques d'Australie.

Ces plaques lithosphériques se déplacent sur l'asthénosphère, un bain, couche visqueuse de la faiblesse de la roche qui est sans cesse en mouvement et de transférer la chaleur de l'intérieur de la Terre à la surface. Les frontières entre les plaques sont où la plupart de l'activité volcanique et sismique se produit.

Il y a plusieurs types de frontières entre les plaques voisines. Frontières convergentes se produire lorsque deux plaques se déplacent vers l'autre. Lorsqu'une plaque océanique entre en collision avec une plaque continentale, les puits océaniques plus dense de la plaque, ou subducte, sous le bord de la plaque continentale plus légère; ce qu'on appelle une zone de subduction (Figure A.58). La Figure A.50 L'activité sismique est particulièrement élevé dans les zones de subduction.



La Figure A.50. Les couches de la Terre à une zone de subduction

Petit-collision se produit limites où deux des bords de tôle de faible densité se déplacer vers l'autre. Ce processus résulte de la croûte terrestre vers le haut, la poussée étant rock qui est une manière de montagne peuvent former des systèmes linéaires. Frontières divergentes se produire où déplacer les plaques l'une de l'autre ; cela permet la formation de nouveaux matériaux de la croûte.

Transformer les frontières se produire où l'on se déplace au-delà de la plaque d'une autre. En raison de l'énorme quantité de friction, cependant, les plaques ne glissent pas simplement les uns les autres. Plutôt, le stress s'accumule dans les rochers le long de l'incident jusqu'à ce que la souche est trop grand. À ce moment, l'énergie potentielle est libéré sous la forme d'un séisme.

Bien que la majorité des tremblements de terre se produisent aux limites des plaques, des tremblements de terre intraplaques peuvent se produire le long des zones de failles à l'intérieur d'une plaque. Un grand séisme intraplaque a généralement un long temps de récurrence, ce qui rend difficile d'estimer l'aléa associé.

Des ondes sismiques

Les ondes sismiques tectoniques transmettre l'énergie à travers la terre à des vitesses approchant plusieurs kilomètres par seconde. Les ondes sismiques produisent des mouvements du sol à la surface de la Terre qui peuvent endommager les bâtiments, arbres, voitures, routes, et autres structures. Les propriétés du sol, les caractéristiques géologiques locales, et d'autres facteurs jouent un rôle dans l'atténuation ou l'amplification des ondes sismiques dans un endroit donné.

Il y a plusieurs types d'ondes sismiques. Les vagues de corps voyage à travers la terre, alors que les ondes de surface voyage le long de sa surface. Tremblements de générer deux types de vagues corps : primaires, ou P, vagues, et secondaire, ou S, les vagues. Les ondes P voyager plus vite et sont capable de voyager dans les deux cas. Ces ondes présentent une amplitude de mouvement de compression-dilatation dans la direction de propagation d'ondes. Ondes S sont plus lents et qu'à travers les matières solides. Ces ondes produisent un mouvement de côté-cisaillement perpendiculaire à la direction de propagation d'ondes.

Les ondes de surface, qui sont responsables de la majorité des dégâts causés par le tremblement de terre, l'amour : des vagues et des ondes de Rayleigh. Amour vagues se déplacent horizontalement, perpendiculairement à la direction de propagation d'ondes. Ondes de Rayleigh se déplacer lentement dans un vélo elliptique, ou du matériel roulant, motion. Notez que l'amplitude de l'onde sismique, qui correspond à la hauteur d'une courbe, cycle ou le déplacement maximal, diminue avec l'augmentation de la profondeur dans la terre pour ces ondes de surface. L'amplitude d'une onde sismique est une mesure de son potentiel de destruction.

En plus d'amplitude, il y a plusieurs façons de décrire mathématiquement activité des vagues. La fréquence de l'onde est le nombre de cycles par seconde passant un point de référence. Une période de l'onde est le temps écoulé, en secondes, entre les sommets, ou le temps qu'il faut un cycle complet de l'onde d'adopter un point de référence. L'onde est la distance entre les unités répétées d'une onde se propageant d'une fréquence donnée à un instant donné.

La mesure de l'ampleur et l'intensité du séisme



La gravité d'un séisme peuvent être mesurés par les dégâts qu'il inflige aux structures à la surface de la terre ou par l'énergie libérée lors de sa mise au point, qui est l'endroit où la rupture s'est originaire. L'ampleur du séisme total caractérise l'énergie libérée par un tremblement de terre, tandis que l'intensité des tremblements de terre se réfère à la niveau de secousse à un endroit particulier et les effets observés d'un tremblement de terre sur les personnes, les bâtiments, et d'autres caractéristiques. Alors que la magnitude d'un séisme est une caractéristique du tremblement de terre dans son ensemble, l'intensité varie d'un endroit à l'intérieur d'une région touchée.

L'intensité d'un tremblement de terre à différents endroits peut être décrite semi-quantitative à l'aide de l'intensité de Mercalli modifiée (MMI) Echelle⁶, qui a été développé dans sa forme originale en 1902 et est basée sur les observations de la secousse de la gravité et ses effets à différents endroits. La MMI dans un emplacement particulier est basée sur le jugement humain et de l'observé des dommages post-événement. Aujourd'hui, l'intensité de mouvement peut être directement mesurée à l'aide de sismographes-motion. Les caractéristiques de l'intensité de mouvement peuvent être quantifiés par des paramètres physiques, tels que l'accélération maximale du sol (PGA) et de l'accélération spectrale (Sa). L'intensité d'agitation à un endroit donné dépend non seulement de l'ampleur du séisme, mais aussi sur la géologie de surface locale et la proximité de l'emplacement de la source sismique.

L'ampleur est une mesure de la taille d'un séisme. Il y a plusieurs types d'ampleur du séisme, y compris l'instant l'ampleur (MW), Richter magnitude (ML), corps-onde grandeur (M_b), et l'ampleur des ondes de surface (M_S). Les échelles de grandeur sont généralement de nature logarithmique ; c'est, une augmentation d'un point sur une échelle de magnitude représente une environ dix fois plus d'amplitude et trente fois plus de la quantité d'énergie libérée lors du séisme. Les modèles d'air utiliser le moment échelle de magnitude, qui est basé sur moment sismique. Le moment sismique d'un séisme est défini comme :

$$M_0 = \mu AD, \text{ où}$$

μ = le module d'élasticité de cisaillement de

A = la zone de rupture

D = la moyenne glisser par-dessus la zone de rupture

L'instant l'ampleur est reliée à la moment sismique comme indiqué ci-dessous :

$$M_w = (2/3) \log M_0 - 6.0,$$

où M_0 est en Newton-mètres (Nm).

Le moment de l'ampleur est considérée comme supérieure à d'autres échelles de grandeur parce qu'elle est basée sur les paramètres de la source sismique. C'est contrairement aux échelles basées sur un type particulier

Voir <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php> verser Description juin, plus détaillée de this échelle d'intensité.⁶

d'onde sismique, comme la surface ou de l'onde de l'onde du corps, échelles de magnitude ou échelles fondée sur un type particulier d'instrument, comme l'échelle de magnitude de Richter.

Le type et l'amplitude des ondes sismiques qui sont enregistrées par un instrument dépendent de l'ampleur du séisme, le diagramme de rayonnement des ondes sismiques en raison de différents mécanismes de rupture, et les structures complexes le long de la voie de propagation les ondes sismiques qui sont entre la source et les stations sismiques. Le type d'ondes sismiques créées par un tremblement de terre est fonction de la taille de l'événement. De petits séismes génèrent des ondes sismiques avec de courtes périodes alors que des tremblements de terre peuvent générer des ondes sismiques avec des périodes plus longues.

La plupart des ondes sismiques sature au delà d'une certaine ampleur, c'est l'amplitude de l'onde, n'augmenteront pas au-delà de cette ampleur. Échelles de magnitude donc basé sur l'amplitude d'un type particulier d'onde sismique connaîtront aussi la saturation. Moment de l'ampleur n'a pas une telle limitation.

Eodetic Paleoseismic et G DATA

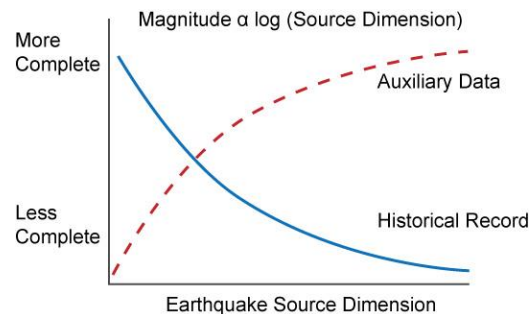
La modélisation des séismes nécessite des données historiques. Pour de grands tremblements de terre, le catalogue est complet plus loin dans le temps par rapport à de plus petits événements, parce que ces événements sont plus susceptibles d'avoir été observé et documenté. Cependant, l'amélioration de la sensibilité de l'instrument et la couverture ont entraîné une augmentation des enregistrements de plus petits événements. L'intégralité d'un catalogue historique est donc une fonction du temps et de l'ampleur.

Palaeoseismology et données géodésiques sont souvent utilisés pour compléter le plan instrumental enregistré catalogues séisme afin d'estimer l'aléa sismique en cours. Palaeoseismology est l'étude de l'emplacement, le calendrier, et la taille des séismes préhistoriques. Les tremblements de terre préhistoriques sont mis en évidence par les décalages dans les formations géologiques trouvées dans des zones de failles exhumées, signes de soulèvement ou d'affaissement rapide près de zones côtières, décalée latéralement les vallées des cours d'eau, et la liquéfaction des artefacts, tels que le sable les furoncles.

La mesure géodésique de défaut taux de glissement est une autre source d'information qui est utilisé pour compléter les données historiques. Le système de positionnement global (GPS) est aujourd'hui le plus largement utilisé pour mesurer les taux de défaut des déformations de la croûte dans une région. La déformation de la croûte terrestre représente l'accumulation de déformation élastique dans la croûte. En calculant le taux de déformation élastique s'accumule le long d'une faille ou zone d'activité sismique, l'estimation peut être faite quant à la fréquence de grands tremblements de terre peuvent se produire.

Paleoseismic et données géodésiques aider à estimer la fréquence des séismes de grande ampleur ; les événements de petite taille, les données sur les séismes historiques est généralement suffisant pour estimer le taux de récurrence parce qu'ils se produisent beaucoup plus fréquemment que les grands tremblements de terre. En cas de tremblements de terre au-dessus une certaine ampleur, qui est dépendante de la région, des

données géodésiques et paleoseismic deviennent plus fiables par rapport aux données sur les séismes historiques, comme La Figure A.51 L'illustre bien.



La Figure A.51. L'intégralité des données d'enregistrement historique et auxiliaire, en fonction de la dimension de la source sismique

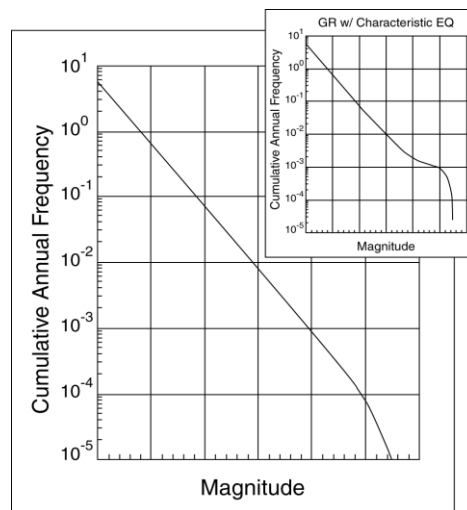
La relation de Gutenberg-Richter

La relation de Gutenberg-Richter exprime l'association entre l'ampleur et l'incidence du séisme sur un défaut ou dans une zone donnée, à ou au-dessus de chaque grandeur. La relation peut être utilisée pour donner une image plus complète de la sismicité dans les régions où il manque des données sur l'historique, qu'il détient sur une large variété de grandeur et l'emplacement.

La relation de Gutenberg-Richter est paramétré par la valeur, qui est le logarithme du taux d'occurrence séisme de magnitude supérieure à une référence, et la valeur b, qui est le taux que le logarithme de la fréquence cumulative annuelle diminue à mesure que l'amplitude augmente. Généralement les scientifiques tronquer cette relation à une magnitude limite au-delà duquel la probabilité d'un séisme est survenue est zéro (La Figure A.52).

Notez que la valeur a est le logarithme de l'ordonnée à l'origine, et la valeur b représente la pente de la ligne. La présence de grands séismes de magnitude provoque la forme caractéristique de la fréquence-amplitude distribution à être une courbe non linéaire.

La sismicité historique et de données déterminé géodésique modèle à vitesse de déformation sont utilisées pour estimer l'ampleur de la limite supérieure de la distribution Gutenberg-Richter.



La Figure A.52. La distribution de l'échantillon Gutenberg-Richter

Les tremblements caractéristiques

La caractéristique-séisme théorie dit que les failles actives ont tendance à générer des tremblements de terre d'environ la même grandeur à des intervalles de temps. Ce concept est utilisé pour simuler l'activité sismique le long des failles actives. Afin de modéliser à l'aide de la sismicité séisme caractéristique-méthode, le séisme et l'ampleur de la période de retour doit être spécifié. L'ampleur peut être estimé à partir des données historiques, des paléo-données sismologiques, et longueur. La période de retour est estimée à partir de données sismologiques, paléo-taux de défaut, ou de moment sismique comme taux estimé à partir des taux de défaut.

4.3.1.1 Aléa sismique dans le sud-ouest de l'Océan Indien

Le danger

Le sud-ouest de l'Océan Indien (SWIO) earthquake model a été étudié dans le cadre d'une plus grande portée, c.-à-d., l'Afrique subsaharienne earthquake model. La région du SOOI fait partie de la Plaque Africaine et est délimitée à l'ouest par la crête de Central Indien, à l'Est par le biais de l'East-African Plaque Nubienne Ridge, au nord, par la plaque d'Arabie, et au sud par la plaque antarctique, via la Southwest Indian Ridge. Les cinq pays de l'île que sont la cible principale de ce projet, notamment les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar, sont situés à l'intérieur de cette zone, et sont pour la plupart soumis à l'aléa sismique à partir de la télécommande limites de cette région. Figure A.53 Présente le cadre tectonique de l'ensemble de la région subsaharienne.

La partie occidentale de l'SWIO région est exposée à un niveau significatif de la sismicité en raison de la rift Est africain, qui est un système d'environ 5 000 km de long entre la frontière divergente (Nubie) et de l'Afrique de

l'ouest de l'Afrique de l'Est (Somalie). Il est composé d'une série de bassins par des failles et des centres volcaniques s'étendant à travers l'Afrique de l'est à peu près dans une direction nord-sud, avec la sismicité, failles actives, et le volcanisme généralement localisés le long aseismic ceintures étroites séparant des domaines largement (Saria et al., 2014). L'étirement entre plaques nubienne et somalienne s'étend entre la mer Rouge et du golfe d'Aden au Malawi et continue au sud jusqu'à la Southwest Indian Ridge. Le rift Est africain est doté d'une activité sismique deux principales branches du rift : Est du rift, situé entre le golfe d'Aden et le centre du Kenya, caractérisée par de nombreux volcans, et de l'ouest de rift qui s'étend entre la limite est du Kenya au Malawi, caractérisé par des lacs profonds et moins de volcans (Midzi et al., 1999 ; Chu et Gordon, 1999 ; Chorowicz Saemundsson, 2005, 2010, Mulwa, 2013).

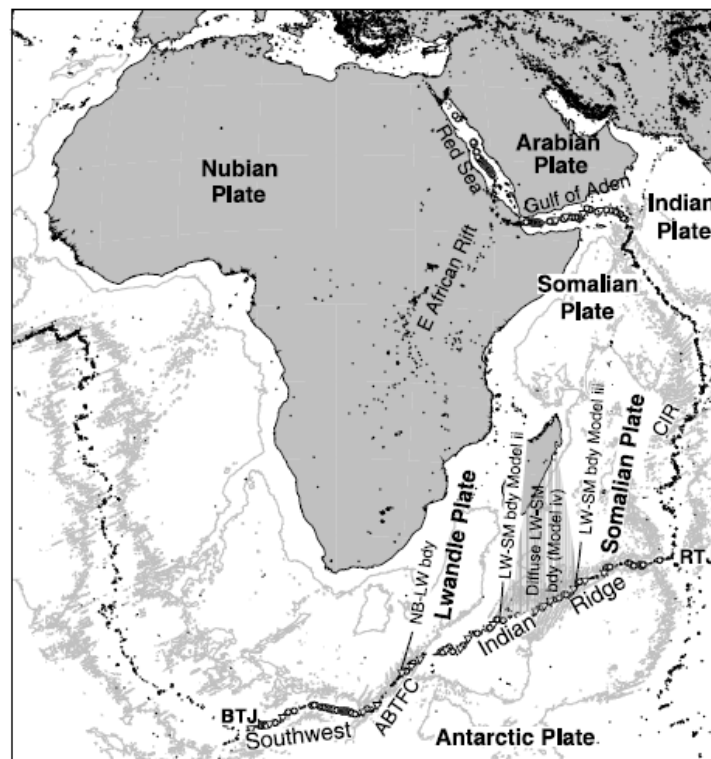


Figure A.53. Plaques tectoniques dans l'Afrique subsaharienne et le Sud-Ouest de l'Océan Indien
(source : Horner-Johnson et coll., 2007)

La région de lithosphère africaine le long de la Southwest Indian Ridge peut être interprétée comme une micro-plaque dans la plaque composite de l'Afrique. Cette plaque, la plaque micro-Lwandle se trouve entre les plaques nubienne et somalienne le long de la Southwest Indian Ridge. La plupart des tremblements de terre dans l'Afrique de l'Est ont des mécanismes de convergence extensionnelle Ridge, à quelques exceptions près, comme les événements de patinage à l'extrémité sud de la branche ouest, et une grappe de failles inverse des événements à l'extrémité sud de la crête de Madagascar. Ces événements, ainsi que des événements d bien

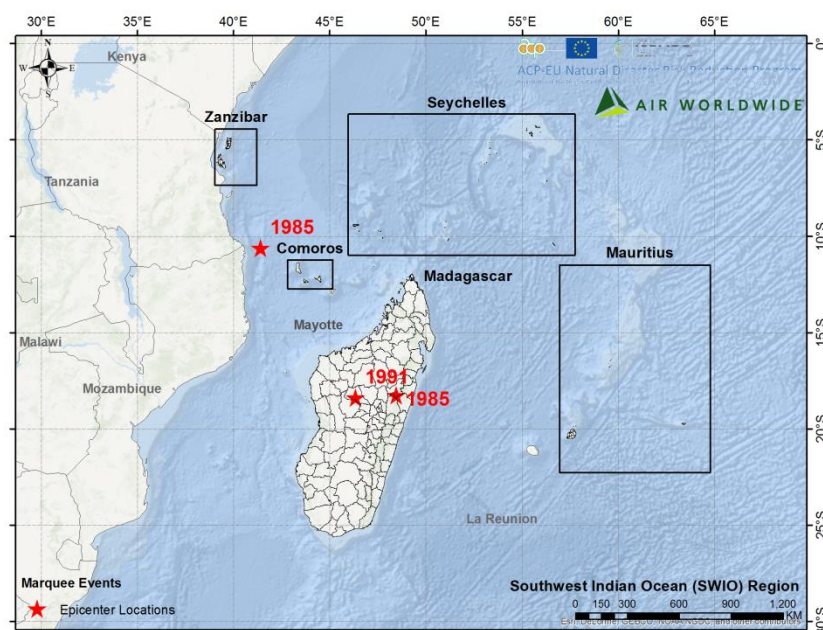
documentés à Madagascar, impliquent une rotation anti-horaire de la plaque Lwandle à l'égard de la Somalie (Saria et coll., 2014).

Madagascar a un régime tectonique d'. De multiples indications pour cette extension est-ouest peuvent être observées sur les hauts plateaux du centre de l'île : la séparation de Madagascar de l'Afrique avec l'ouverture du canal de Mozambique et le développement de l'Mahajunga et Morondava bassin ; le mouvement vers le nord de la séparation de l'Inde à partir de Madagascar, ce qui a entraîné une très droite et côte escarpée sur la marge orientale de l'île ; la présence d'une zone de fracture profonde ou une zone de faiblesse de la croûte et récente étude signalait la présence de failles actives dans la région Itasy. Les modèles tectoniques du sud de Madagascar se caractérise par des plis et des orientations au niveau de la croûte supérieure, alors qu'aux niveaux les plus profonds par des zones de cisaillement avec une forte composante de décrochement et plié domaines (Lardeaux et al., 1999 ; Andrianaivo et Ramasiarino, 2015).

Le long de la limite est de la région du SOOI, la crête, l'indienne et la crête de Carlsberg zone de fracture d'Owen séparée discrètement la plaque indienne de l'Arabie et de Somalie à travers une série de plaques et transformer les défauts. La plaque indienne est séparée de la plaque somalienne le long de la crête médio-océaniques, qui est dans le sud de la zone de fracture d'Owen. Cette frontière est complètement sous-marin et est défini par la sismicité de la Carlsberg et de la crête crête indien central. L'arabe, indien, et la plaque somalienne répondre à une jonction appelée jonction triple-Aden-Owen Carlsberg. Dans son ensemble, la motion de la plaque indienne et la plaque somalienne interagir en trois classes :(1) propagation océanique, (2) oceanic (3) transformation et convergentes océanique (DeMets et al., 2010 ; , Pasupuleti Ramancharla, 2014 et).

4.3.1.2 Les séismes historiques importants dans le sud-ouest de l'Océan Indien

Les séismes historiques de pertes sont rares dans la région du SOOI et pas de tremblements de terre ont causé des événements ont déclaré des pertes pour l'une des cinq nations des îles dans la région du SOOI Trois des principaux séismes historiques, de magnitude 5 ou plus, avec des épicentres dans les environs de la cinq nations considérées dans le région du SOOI sont représentés dans La Figure A.54. Ces trois événements ont été sélectionnés par le United States Geological Survey (USGS), qui a signalé la non-zéro d'intensité d'agitation dans les Comores et Madagascar. Les détails de ces trois événements sont résumés dans Tableau A.8.



La Figure A.54. Les manifestations des événements dans le séisme au Sud-Ouest de l'Océan Indien

Tableau A.8. Événements Tremblements Marquee

<i>Pays</i>	<i>Date</i>	<i>Grandeur</i>	<i>Profondeur (km)</i>	<i>Location</i>
Comores	14 mai 1985	6.3	30	Près de la côte du Mozambique et de la Tanzanie
Madagascar	Le 4 octobre 1985	5.5	26	Ouest du chef port du pays Toamasina et à environ 100 km au nord-est de la capitale Antananarivo
Madagascar	21 avril, 1991	5.5	19	Environ 150 km au nord-ouest de la capitale Antananarivo, dans la région de Bongolava

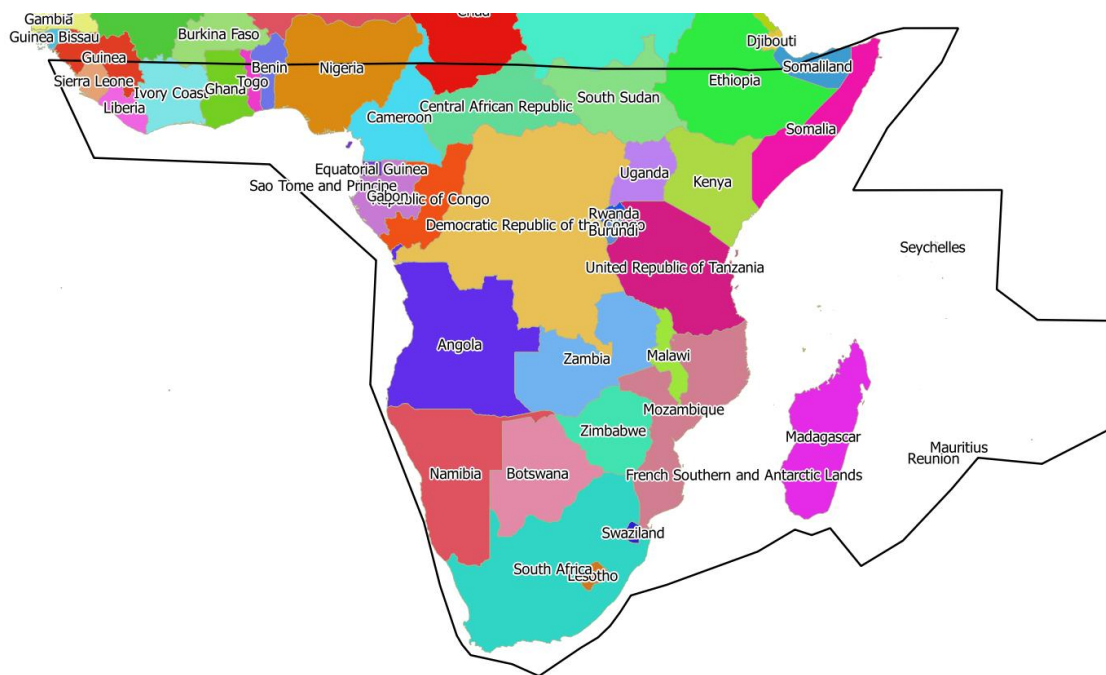
Génération d'événement

Le tremblement de l'air Modèle pour Sub-Sahara saisit l'effet de dégâts sur les propriétés agiter dans 33 pays, y compris les cinq îles de la nation dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien. L'AIR est basé sur le modèle de la sismicité de la sismicité historique, géologique et données géodésiques, et la tectonique des plaques. Le domaine géographique du séisme subsaharienne modèle est illustré dans La Figure A.55.

Dans le modèle de l'air, la fondation de sismique et l'analyse de la perte pour l'océan indien sud-ouest est un séisme stochastique catalogue. Ce catalogue contient des stochastiques 100 000 années simulées de la sismicité

régionale⁷. Le noyau de la stochastique catalogue est un modèle qui représente la sismicité à long terme aux niveaux régional et local sismique dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien. Pour réduire l'incertitude épistémique associée à ce modèle de la sismicité, de la collecte de l'information sur les tremblements de sources multiples, y compris les données de divers séisme et tremblement de terre local historique régional catalogues, ainsi que les taux de glissement et les géométries de failles connues dans la région.

Plus précisément, un séisme historique catalogue est construit par l'examen et l'intégration des divers catalogues locaux et régionaux, et la conversion de l'ampleur du séisme dans le dernier catalogue historique de unified instant magnitudes. Les données sur les défauts connus et les grands systèmes, y compris le défaut défaut géométries, sens du mouvement, et les taux de défaut, si elles sont fiables, sont obtenus, en grande partie de publications récentes.



La Figure A.55. Pour le domaine modélisé Modèle de tremblement de l'air et sub-saharienne au sud-ouest de l'Océan Indien

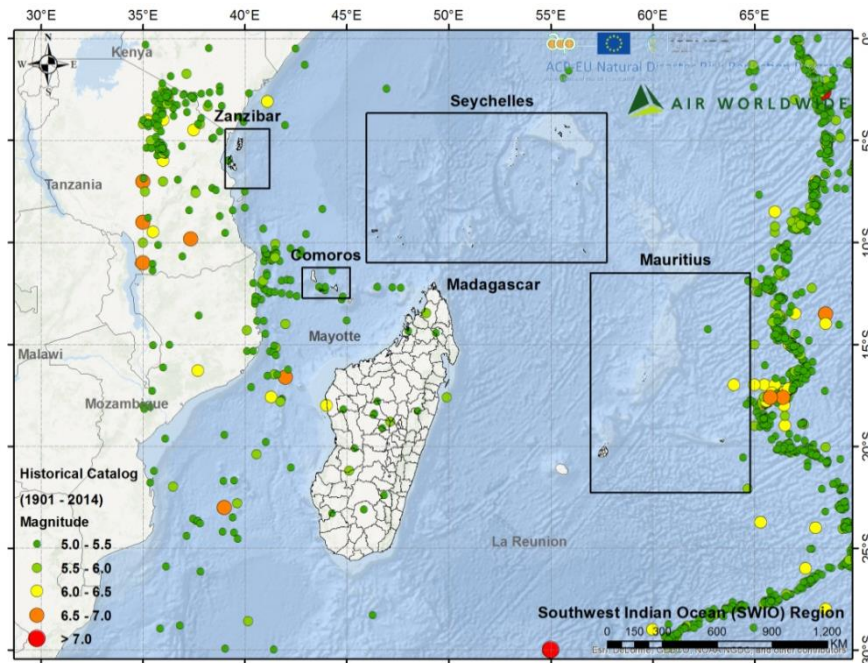
⁷ Catalogue Un stochastique optimisé sur 10 000 ans is Alors Généré à partir du catalogue original de 100 000 ans.

4.3.1.3 Sources des données

AIR s'appuie sur une variété d'informations, y compris les données GPS, faille géologique et historique des données, les enregistrements du séisme pour mettre au point le modèle historique du tremblement de catalogue. Les principales sources pour l'HISTORIQUE DU SOOI catalogue séisme comprennent :

- Global Earthquake Magnitude (GEM) Séisme Historique Catalogue
- Sismique International Centre (ISC) EHB Bulletin
- ISC-catalogue tremblement Instrumental GEM global
- Centroïde tenseur de moment catalogue global
- United States Geological Survey (USGS) Centenaire Catalogue tremblement
- USGS Système sismique nationale avancée (ANSS) Tremblement de terre Catalogue
- Les institutions de recherche constituée de Séismologie (IRIS) Catalogue tremblement
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Catalogue tremblement
- Programme d'évaluation de l'aléa sismique mondial (GSHAP) Catalogue tremblement

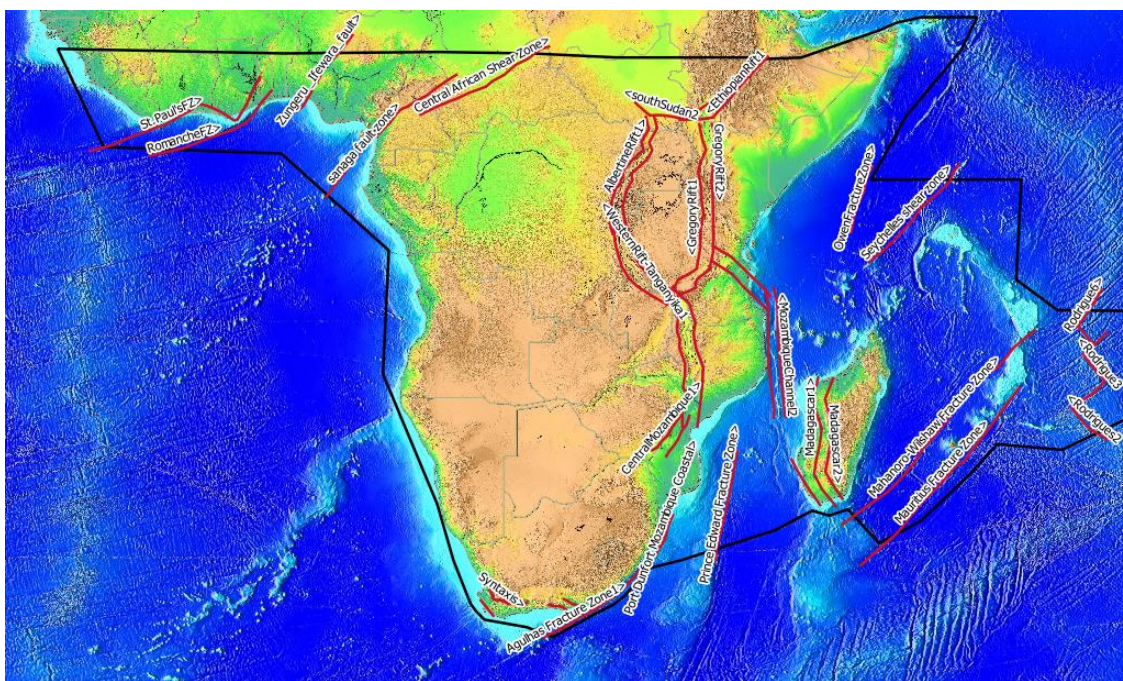
L'information de chacune de ces sources a été examiné et a fusionné, en tenant compte de la qualité globale et l'intégralité des dossiers. Informations supplémentaires sur l'emplacement et l'ampleur des séismes historiques importants de la région obtenue à partir de la documentation publiée et des rapports a également été incorporées dans la version définitive du catalogue. La Figure A.56 Affiche les données sismiques historiques dans et autour du Sud-Ouest de l'Océan Indien, par l'ampleur.



La Figure A.56. La sismicité historique par l'ampleur

Des failles géologiques et segments de la zone de subduction

Le modèle tient compte des tremblements de terre sur les défauts de la croûte active. Pour les défauts de la croûte, la démarche de géométrie - y compris la démarche de longueur, profondeur, azimuth, et dip angle - mécanisme de rupture, taux de glissement, et caractéristique de l'ampleur ont été obtenues à partir de recherches publiées. Les erreurs décrites dans ces documents ont été numérisés, et le taux de récurrence et de fois ont été appliqués dans le modèle. La Figure A.57 Présente les principales failles connues dans la région subsaharienne. Une attention plus soutenue aux failles actives dans la région est donnée à chaque zone de sources sismiques. Par exemple, La Figure A.59 Affiche les failles actives dans deux des zones incluses dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien.



La Figure A.57. Des erreurs dans le Sud-Ouest de l'Afrique sub-saharienne et Océan Indien

Le modèle utilise les paramètres d'erreur plus détaillés, tels que l'angle, le dip facteur de couplage sismique, taux de glissement, et la limite supérieure du taux de caractéristique-tremblement de magnitude pour toutes les zones de subduction et des failles actives. Ces paramètres sont basés sur un examen approfondi de la littérature publiée et le Système mondial de localisation (GPS) des études. Les données géodésiques incorporées dans le modèle est basé sur les résultats de mesure GPS recueillies à partir d'études géodésiques locales et régionales. La Figure A.61 (à gauche) montre la répartition des données GPS disponibles dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien (timbres et al., 2015).

4.3.1.4 La Sismicité régionale de modélisation

La sismicité régionale de modélisation consiste à utiliser toutes les données, y compris l'aléas de tremblements de terre, catalogue de terre historique, faille d'informations (e.g. localisation de l'erreur, la géométrie et les taux de glissement), paleoseismic et données géodésiques pour formuler le séisme régional potentiel.

La région modélisée est divisée en un certain nombre de zones, en fonction de divers éléments de données sismotectonique, notamment des données sur les séismes, les failles actives, arbre de segmentation, et les déformations de terrain. Données GPS, les taux de défaut, et le mouvement des plaques, les vitesses sont utilisés pour calculer la viabilité à long terme du taux d'accumulation moment sismique dans chaque zone au moyen d'un modèle cinématique. Le moment sismique à long terme taux d'accumulation détermine le montant de l'énergie sismique disponible à l'intérieur d'une zone source sismique. L'énergie sismique totale limite les moments sismiques publiés par les tremblements de terre de tous les types de sources sismiques dans une zone, y compris les failles actives, les zones de subduction, et l'arrière-plan la sismicité.

Une combinaison de la caractéristique et le modèle séisme Gutenberg - Richter grandeur relation fréquence (GR-relation) est utilisée pour estimer la fréquence des tremblements de diverses magnitudes. Les paramètres pour le GR-relation sont déterminées à partir des données de la sismicité historique. Pour les failles actives et des zones de subduction avec soit des données paléo-sismologiques ou de défaut, le taux de glissement les périodes de retour des séismes sont estimées sur la base de la caractéristique earthquake model. Les tremblements de terre sont distribués dans l'espace à l'intérieur de chaque zone en fonction de la distribution tridimensionnelle d'événements historiques, la répartition et la géométrie des failles de la croûte, et la géométrie des zones de subduction. Plus de détails concernant cette procédure sont fournis ci-dessous.

Tremblements de terre importants associés aux défauts de la croûte active sont modélisés comme étant une caractéristique des événements. De petits séismes modérés qui se produisent dans des zones de subduction de la croûte et le long des failles, aussi bien que la sismicité de régions non capturés par ces sources, sont représentés par la sismicité historique. Une distribution lissée est mise en œuvre sur une grille tridimensionnelle et utilisés pour saisir l'arrière-plan la sismicité.

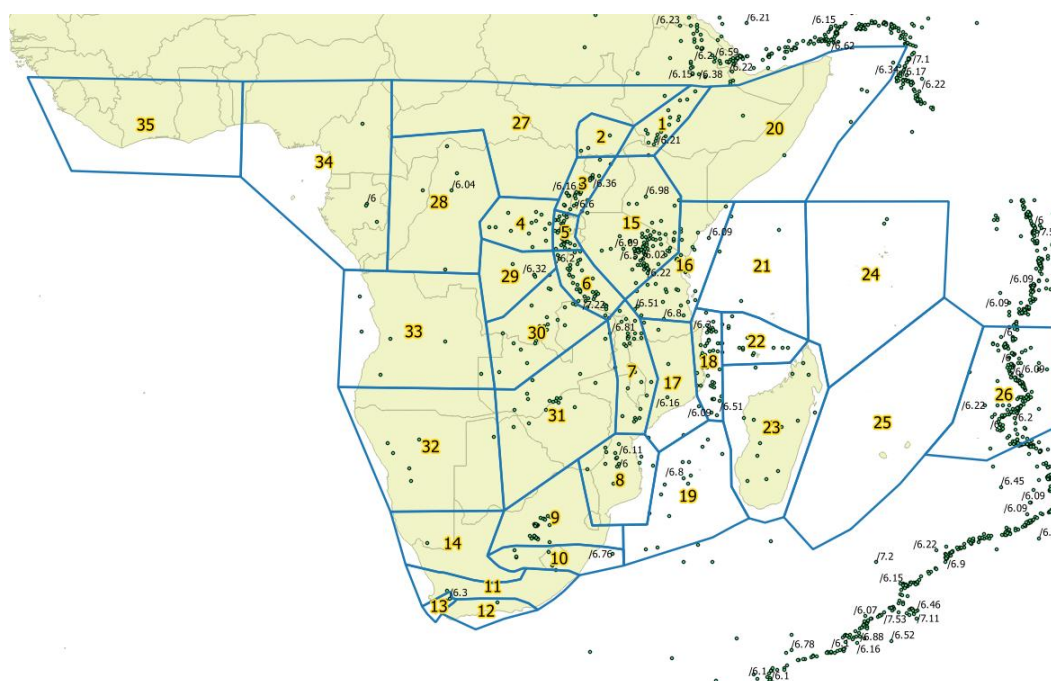
Dans le tremblement de terre Modèle pour le sud-ouest de l'Océan Indien, le domaine modélisé est divisé en plusieurs couches de profondeur basée sur la répartition en profondeur des événements historiques. La profondeur la plus haute couche est appelée la couche supérieure, qui se compose de la croûte seismogenic, et les couches sont appelées couches profondes. La couche supérieure s'étend de la surface du sol à une profondeur qui varie de 15 à 35 km pour seismogenic croûte. Au-dessous de la couche supérieure de la sismicité est modélisée à l'aide d'une approche de la sismicité-grille.

Zones de sources sismiques



Sub-saharienne le Sud-Ouest de l'Océan Indien et les régions sont divisées en zones sources, en fonction de l'historique des données sur les séismes, sismotectonique, la distribution des failles actives, cartographiés et géodésiques des estimations des taux de déformation de la croûte terrestre.

L'ensemble de la région est divisé en 35 zones de sources sismiques sur la base de la géométrie des failles majeures et la distribution des séismes historiques. La Figure A.58 Montre ces zones sources. Les lignes bleues indiquent les limites de zones et les marqueurs verts représentent des événements historiques. En particulier, La Figure A.59 Montre la Zone 23 (à gauche) et Zone 8 (droit), correspondant aux régions autour de Madagascar et le centre du Mozambique, respectivement. Les lignes noires représentent les limites, les lignes rouges indiquent les failles actives dans cette région, et les segments bleus indiquent les vecteurs vitesse de déformation calculée à partir de données GPS. Une courte description de chaque zone de sources sismiques dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien est donné en Tableau A.9.



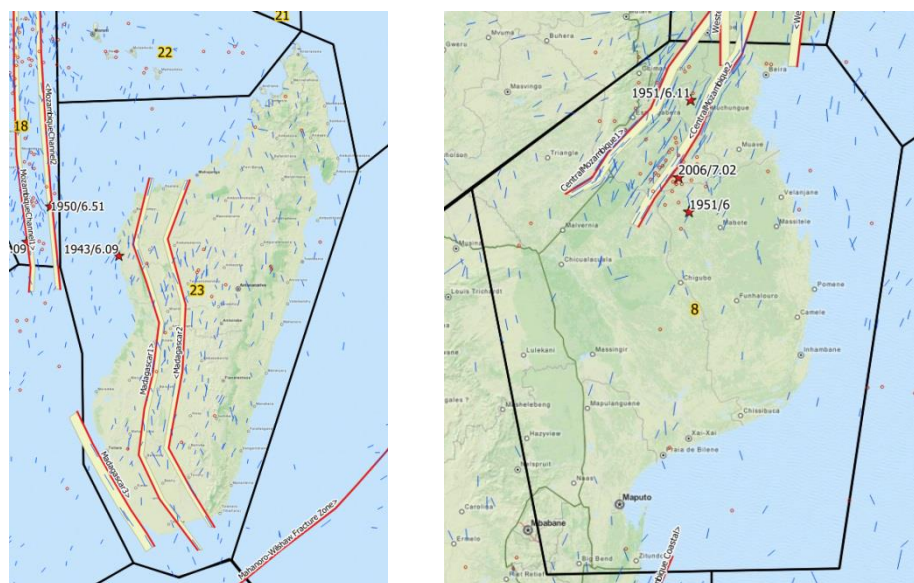
La Figure A.58. Zones de sources sismiques modélisées dans le Sud-Ouest et subsaharienne Océan Indien

Pour chaque zone source sismique, tous disponibles sismique les données sont transformées en un moment sismique élevé, offrant un moment sismique de budget pour cette zone. Puis, le moment sismique total budget dans chaque zone source est représenté par la génération d'événements stochastiques en utilisant une combinaison de l'approche (tremblement caractéristique pour les séismes sur failles connues) et la périphérie (méthode tremblement de séismes sur inconnu ou raisonnable défauts défaut majeur et systèmes). Dans le

modèle de l'air, distribué des tremblements de terre et la sismicité historique sont modélisées à l'aide de l'ampleur Gutenberg-Richter taux-relation, qui suppose une fois l'indépendance.

Tableau A.9. Zones de sources sismiques modélisées dans le Sud-Ouest de la région de l'Océan Indien

<i>Zone Source sismique</i>	<i>Description de la zone Source sismique</i>
8	Le centre du Mozambique
16	La divergence de la Tanzanie du nord
17	Plaine de la côte du Mozambique
18	Canal du Mozambique
19	Bassin du Mozambique
21	Bassin somalien
22	Comores island
23	Madagascar
24	Seychelles, Bains de Mascarene et du Plateau
25	Reunion Bassin Ile Maurice, Madagascar
26	L'île Rodrigues, Central Indian ridge



La Figure A.59. Zones de sources sismiques 8 (droit) et 23 (à gauche) dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien

Les taux de moment sismique régionale de modélisation

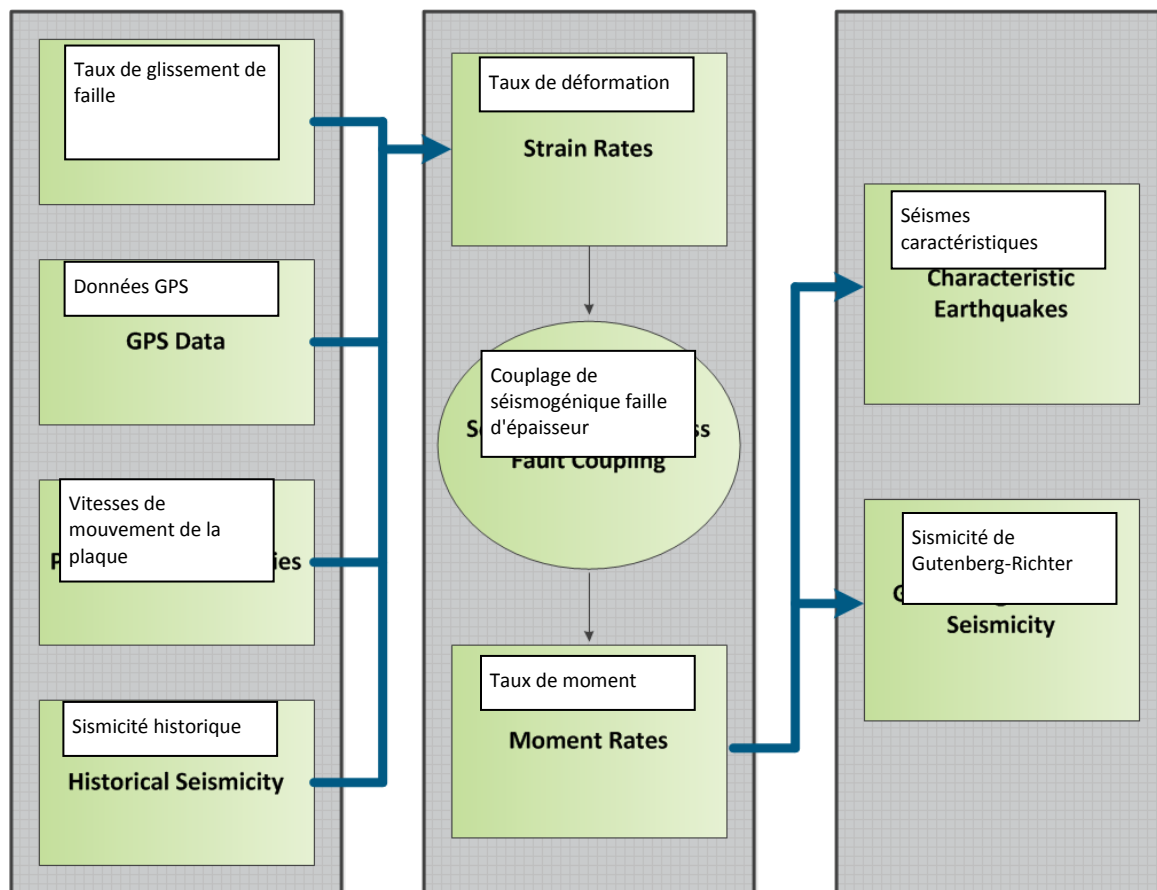
Séisme Historique et données paleoseismic sont largement utilisés pour l'analyse d'aléas sismiques, mais les deux types ont des limites. Données Paleoseismic est généralement limitée et les catalogues historiques peut être trop courte pour limiter la répétition avec précision les périodes de grands tremblements de terre. Le

mouvement des plaques, les tarifs et les données géodésiques, en particulier les données GPS, peuvent combler ces lacunes dans les données et de fournir les vitesses de déformation à long terme pour une région. Ces taux fournissent une contrainte sur le taux d'accumulation de moment sismique, qui, à son tour, fournit une contrainte sur le taux d'importants tremblements de terre lorsque le tremblement de terre de magnitude supérieure peut être déterminé.

Emploie un modèle cinématique de l'air basé sur des données GPS publiée et les taux de défaut d'obtenir le moment sismique pour chaque zone source. Les vitesses de déplacement des plaques, les données GPS, et les taux de défaut sont utilisés pour déterminer le champ de vitesse de déformation. L'épaisseur de seismogenic est déterminé pour chaque zone de sources sismiques à l'aide de données historiques sur la profondeur de la distribution. Le taux de déformation sont alors appliqués à la moment tectonique taux pour chaque zone de sources sismiques. Le moment tectonique taux détermine le budget de l'énergie supérieure pour tous les tremblements dans chaque zone source. S'il n'y a pas de preuve d'un aseismic rampante, il est généralement supposé que les tremblements de terre va libérer l'énergie totale disponible. Si le défaut de données de fluage est disponible, l'énergie libérée par ce glissement n'est comptabilisée, et un facteur de couplage sismique de moins d'un est affecté à la zone source.

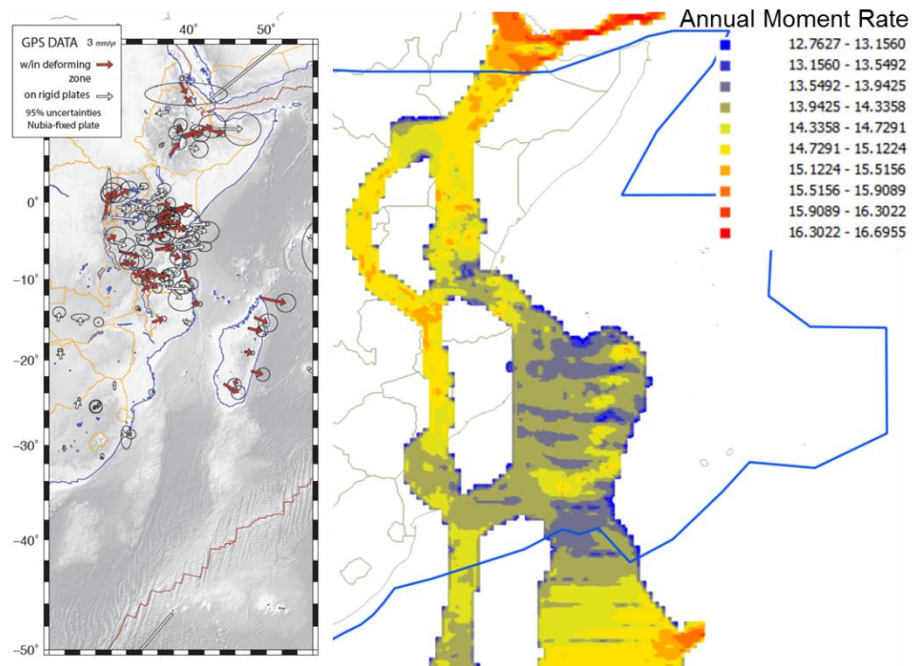
Le produit de la moment tectonique et le coefficient de couplage sismique est le moment sismique total budget taux pour chaque zone source. Ce budget est consommée par les tremblements caractéristiques des pannes et des zones de subduction et par les tremblements de terre modelée selon un GR distribution. Une caractéristique modèle est appliqué pour estimer le taux de défauts de la croûte caractéristique sur les séismes de subduction et segments, et un modèle de grille-sismicité servant de modèle GR les tremblements de terre. La Figure A.60 illustre ce processus.





La Figure A.60. Schéma de la procédure utilisée pour modéliser le taux de moment sismique

La Figure A.61 La récente montre les données GPS (panneau de gauche) et les données modélisées en fonction de la vitesse de déformation (panneau de droite) pour la région subsaharienne développée par GEM (*Stamps et al, 2015*). Dans le panneau de gauche, chaque station GPS est marquée par un point, et la flèche à partir du point indique la vitesse horizontale relative en mm/an. Le cercle ou une ellipse autour de la flèche indique l'incertitude de mesure. Dans le panneau de droite, le moment annuel modélisé taux est indiqué sur l'échelle log10 dans Newton*m/an.



La Figure A.61. Vitesse GPS Observations provenant de l'Afrique subsaharienne 1,0 Modèle de déformation géodésiques (Stamps et al, 2015) et calculé les taux annuels de moment dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien

La sismicité historique maillées

La sismicité historique capture l'activité sismique qui n'est pas explicitement le modèle de failles connues ou des zones de subduction. Dans le modèle de l'air, la sismicité historique est basé sur le modèle de la sismicité évidente dans les données historiques, en plus d'avoir un certain degré d'aléatoire imposé. Cela permet aux séismes simulés de se produire n'importe où dans une zone source avec la probabilité annuelle appropriée à chaque emplacement. Ainsi, séismes simulés ne sont pas limités à l'emplacement d'anciens tremblements de terre. L'ampleur et le rythme de la sismicité historique maillées dans le tremblement de l'air sud-ouest de l'océan Indien pour le modèle est basé sur les distributions Gutenberg-Richter pour chaque zone de sources sismiques.

Les données historiques sont utilisées pour quantifier l'ampleur et de la fréquence, la distribution spatiale de l'arrière-plan la sismicité. Pour chaque zone d'activité sismique dans le modèle, la fréquence-amplitude distribution basée sur une formulation GR est déterminée à partir de l'historique et des données instrumentales pour la zone.

Pour paramétrer la distribution spatiale des tremblements de terre, 3 dimensions, fonctions de densité régionale pour les tremblements de terre sont construits en utilisant l'ampleur, épicerne, et la profondeur

historique des tremblements de terre. La contribution de chaque séisme à ces fonctions de densité est calculée à l'aide de type Gaussien d'une distribution de probabilité spatiale, avec des paramètres définis par l'ampleur, l'épicentre, et profondeur focale du séisme, ainsi que l'intégralité du catalogue. La fonction de densité de 3 dimensions pour chaque zone est construite sur une grille de 10 km de large avec une distance de corrélation de 30 km pour la région Sud-Ouest de l'Océan Indien.

La fonction de densité est échantillonnée pour obtenir l'emplacement et la profondeur des séismes simulés en fonction de la fréquence-amplitude GR distribution pour chaque région. Le résultat est un lissé, mais non uniforme, la sismicité régionale de fond qui est compatible avec la répartition régionale et les tarifs de l'historique des tremblements de terre.

Le tremblement de l'air sud-ouest de l'océan Indien pour modèle simule séismes de magnitude 5,0 et plus, que des dommages importants ne devrait pas entraîner de petites manifestations. Cependant, les événements du moment grandeur 4.0 et supérieure sont utilisées pour élaborer le modèle parce qu'elles fournissent une information plus complète d'estimation de paramètres de tremblement. Sismotectonique régionale et l'ampleur des plus grands séismes historiques dans chaque zone ont été utilisées pour estimer l'ampleur de la limite supérieure pour chaque zone sismique.

Des études montrent que les différents séismes génèrent différents types de mouvement du sol dû aux variations dans la propriétés physiques à l'origine du séisme. Dans les régions dominées par la subduction de la plaque tectonique des plaques, la plupart des grands séismes sont associés à la subduction d'une plaque océanique. La subduction peut également avoir des répercussions sur la croûte de l'assiette, la création de failles actives et générer des tremblements de la croûte superficielle, catastrophique.

Dans les zones de subduction, grande, peu profonde interplate séismes se produisent généralement à l'interface de la plaque, où les deux plaques convergentes glissent l'un contre l'autre. Ces séismes d'interface sont relativement peu profondes et d'inclure les plus grandes manifestations dans des zones de subduction.

Le temps de modélisation de la sismicité indépendant

Le tremblement de l'air Modèle pour simuler des tremblements de terre de l'océan Indien du Sud-Ouest par zone source, avec apparition du séisme déterminé par un poisson stationnaire (indépendantes du temps) pour la plupart des processus du modèle de domaine. La sismicité historique est d'aborder l'aléas de tremblements de terre dans des régions qui ne présentent pas de défauts connus.

Pour chaque zone source, le minimum de paramètres qui doivent être déterminés : la limite supérieure de l'ampleur du séisme, le taux d'événements de tremblements de terre au-dessus de la grandeur minimum ($M \geq 5.0$), et la valeur a et la valeur b du Gutenberg-Richter grandeur-fréquence (la relation empirique GR relation). La méthode utilisée pour évaluer chaque paramètre dépend des données disponibles dans la zone.



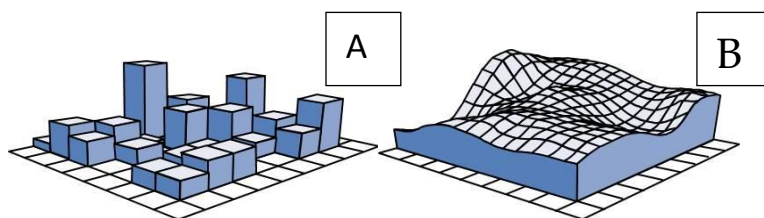
Selon la méthode indépendante du temps, séisme d'ampleur et de fréquence de distribution sont déterminés par la loi Gutenberg-Richter. Plus précisément, les données historiques, y compris l'ampleur du séisme et de l'intégralité du catalogue, le temps se traduit en taux de moment sismique, et que le problème des taux de défaut et d'autres données sont utilisées pour estimer les taux de moment spécifique à l'intérieur de chaque zone. Les résultats de modélisation cinématique en utilisant les données géodésiques sont convertis dans la souche et moment sismique taux de chaque zone. Ces estimations sont intégrées dans un seul moment sismique de budget pour chaque zone, ce qui est traduit dans les taux sismiques à l'aide du moment sismique de l'équilibre.

Dans les cas où le moment sismique budget est inférieur au moment de se conformer aux exigences d'une zone source sismique étant donné les paramètres de modèle supposé, la borne supérieure de l'ampleur de la GR distribution est réduite à équilibrer le moment. Cependant, un seuil plus bas pour GR grandeur est appliquée. Dans les cas où le moment budget dépasse le moment requis pour la zone, le moment est très caractéristique par défaut définis comme des tremblements de terre sur les défauts de zone pour caractériser l'emplacement des défauts potentiellement actifs.

Séismes simulés sont spatialement réparties à l'intérieur de chaque zone en fonction de la distribution tridimensionnelle d'événements historiques, la répartition et la géométrie des failles de la croûte, et la géométrie des zones de subduction.

La distribution de la sismicité d'arrière-plan

Arrière-plan de la sismicité lissé ce qui permet au modèle de l'air pour capturer la sismicité dans le domaine modélisé le long de comme-encore-inconnu ou non attribué défauts-est mis en œuvre dans le modèle en lissant les données sur les séismes historiques d'assurer la pleine couverture spatiale régionale dans le catalogue stochastique. Cette procédure est illustrée schématiquement dans La Figure A.62.



La Figure A.62. A) représentation schématique de la distribution spatiale des séismes historiques dans le domaine modélisé ; et b) la distribution spatiale de la sismicité sur grille lissée

C'est, dans chaque zone source, une certaine proportion de la sismicité historique est autorisé à être distribué de manière uniforme, de sorte que les zones dépourvues d'événements historiques ont également de la sismicité potentielle pour tenir compte de l'incertitude à l'avenir de la distribution de l'événement. Cette

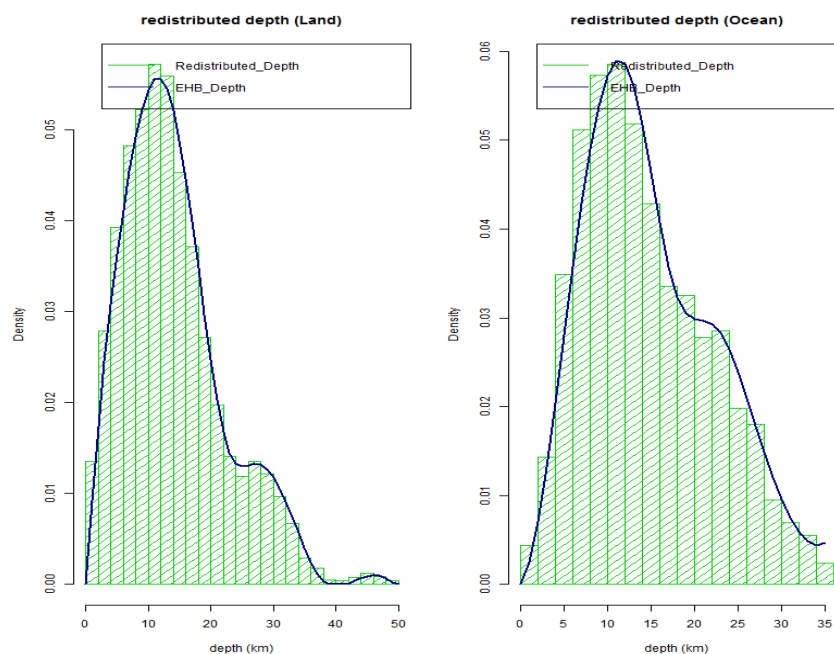
procédure génère un modèle réaliste de la sismicité historique qui soit compatible avec le catalogue historique, mais permet aux tremblements de se produire là où il n'a été enregistré dans le passé.

Toutefois, les emplacements des grandes ampleur historique événements sismiques ne sont pas réparties de façon aléatoire. Au contraire, ces événements sont répartis le long de la zone source de défauts, qui sont définis pour caractériser l'emplacement des grandes structures tectoniques connus.

Répartition en profondeur des séismes dans le catalogue stochastique

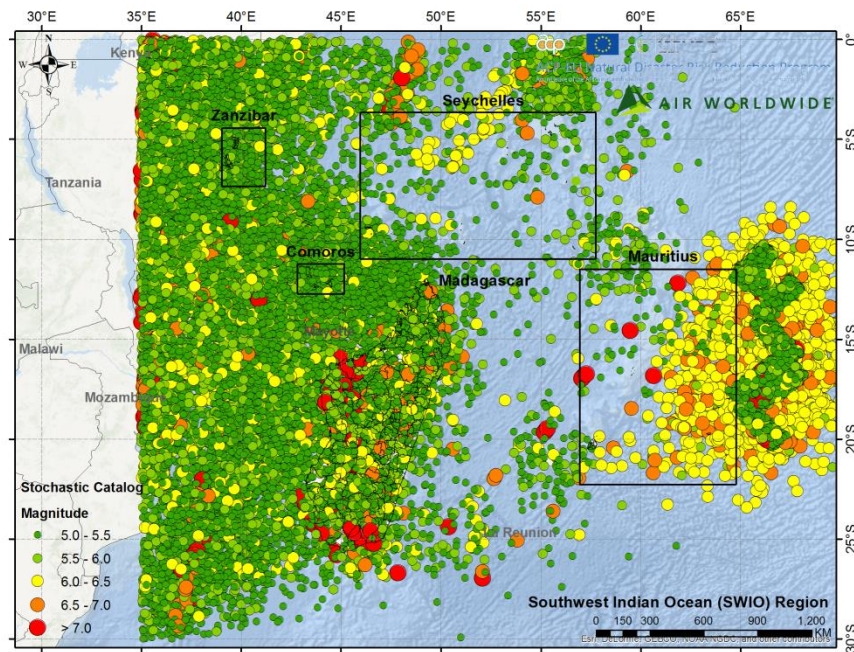
La répartition en profondeur des séismes dans le catalogue stochastique suit une fonction de densité tridimensionnelle développés à partir des centres de distribution de la sismicité historique, ainsi que la connaissance de la tectonique régionale et la profondeur et la géométrie de la plaque subduite. Les tremblements caractéristiques sont contraintes de faible profondeur qui sont compatibles avec le modèle de géométries, et les lignes de contour de zone Benioff sont utilisés pour définir la répartition en profondeur des grandes dalles et de subduction intra-séismes de l'interface. Notez que, dans chaque zone de sources sismiques, modélisé profondeur focale maximale est cohérente avec les observations historiques.

Un problème courant parmi les nombreux catalogues historique est que l'information de profondeur sont souvent oubliés ou limitée en raison d'un défaut (p.ex. : 0, 10, 30, 33 km). Afin de minimiser l'impact des valeurs de profondeur par défaut dans le catalogue simulé, nous avons redistribué les profondeurs pour les événements liés à l'aide de l'EHB catalogue (*Guyotat et al.*, 1998), ce qui est un global earthquake catalogue avec précision relativement élevée en profondeur. Les événements de l'EHB catalogue dans le domaine modélisé sont utilisés pour former des fonctions de densité de profondeur de référence qui compte de intérieures et en mer les tremblements de terre. Pour chaque groupe, la profondeur anormale sont identifiés en comparant la fonction de densité de profondeur donnée par le catalogue commun et l'EHB catalogue. Une partie d'événements choisis au hasard avec des profondeurs anormaux sont alors affectés d'une nouvelle profondeur qui est échantillonné à partir de la fonction de densité de la profondeur dans l'EHB catalogue (La Figure A.63).



La Figure A.63 La redistribution dans les profondeurs . Au sud-ouest de l'océan Indien pour l'intérieur des terres (à gauche) et de l'océan (à droite) les tremblements de terre à l'aide de l'EHB (1998) catalogue.

À la suite des procédures susmentionnées, a stochastic catalogue pour la région du SOOI est générée. Le catalogue se compose de 100 000 stochastique réalisations indépendantes d'une année donnée. Pour la présente enquête, un sous-ensemble de 10 000 ans, qui contient environ 90 000 événements du M5 et plus grands, qui correspond étroitement à la statistique de tout le catalogue est extrait d'efficacité de calcul et permet de générer des cartes des aléas sismiques probabilistes pour la région. La Figure A.64 Illustre la répartition des événements dans le séisme de l'année sélectionné 10,000 indépendante du temps, catalogue, stochastique par l'ampleur, dans la région du SOOI.



La Figure A.64. 10 000 ans dans le catalogue stochastiques indépendants au Sud-Ouest de l'Océan Indien

4.3.1.5 Variables tremblement de modèle

Épicentre

L'épicentre d'un tremblement de terre est l'endroit sur la surface de la terre directement le point de rupture initiale. Pour les séismes, épicentres peut être déterminée par la collecte d'informations à partir d'un réseau d'intérêt local, régional ou mondial, des sismomètres. Avant l'utilisation d'instruments pour les tremblements de terre, la détermination de l'épicentre du séisme endroits est grandement facilitée lorsque les défauts sont visibles sur la surface. Dans le cas de défauts aveugle, épicentre endroits doit être déduite de l'activité sismique de la région ou par des techniques de sondage du sous-sol. De nombreux défauts restent à découvrir, cependant.

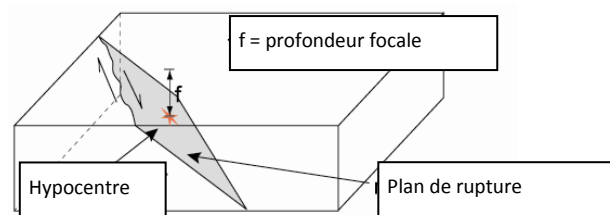
Grandeur

L'ampleur, une mesure de l'énergie libérée lors d'un tremblement de terre, est un moyen utile de comparer les événements sismiques. Comme décrit précédemment, une variété de grandeur échelles ont été utilisées pour décrire les tremblements de terre. Le tremblement de l'air Modèle pour Southwest Indian Ocean utilise l'instant (échelle de magnitude M_w), qui est considérée comme supérieure à d'autres échelles de grandeur parce qu'elle est basée sur les propriétés physiques de la source sismique et est plus précis pour les tremblements de terre.

Moment de l'ampleur s'applique sur une plus vaste gamme de tailles de rupture que d'autres tels que les échelles de magnitude Richter ou échelles de magnitude de l'onde du corps.

Profondeur focale

La profondeur focale est la distance verticale entre le point où le défaut provient de la rupture et la surface de la Terre (La Figure A.65). La plupart des séismes qui ont lieu à l'extérieur des zones de subduction se produisent dans les 20 km de la croûte, alors que les séismes qui se produisent à plus de 30 km sont généralement liées à la zone de subduction. Cependant, la profondeur focale de séismes dans les zones de subduction peut varier de quelques kilomètres à 700 km. profondeur focale est un paramètre important car les ondes sismiques sont atténués comme ils voyagent à travers la terre, loin de leur source, et plus profonde des tremblements de terre d'une ampleur donnée entraînent généralement moins de dégâts que ceux à faible profondeur. Par conséquent, les événements de la croûte en général, peut causer plus de dommages que les événements plus profonde non seulement parce qu'elles se produisent souvent à l'intérieur des terres, mais aussi parce qu'ils sont moins profonds et donc plus près de la surface de la Terre.



La Figure A.65. Profondeur focale

Profondeur focale est modélisée par une approche statistique basée sur l'historique des tremblements de terre et par une approche physique en utilisant des caractéristiques tectoniques.

Longueur de rupture

Longueur de rupture est l'espace de la faille qui se rompt lors d'un tremblement de terre. Dans le tremblement de l'air Modèle pour le sud-ouest de l'Océan Indien, longueur de rupture est modélisée comme une fonction de l'ampleur de l'événement, avec les relations entre la rupture et l'ampleur de la longueur déterminée par analyse de régression empirique. La rupture de longueurs différents types de séismes sont déterminés à l'aide de différentes grandeur-rupture des relations longueur appropriée pour un type particulier de tremblement de terre.

L'azimut et l'angle de rupture Dip

L'azimut et l'angle de rupture dip sont des paramètres qui définissent l'orientation d'une faute. La rupture s'azimut est l'angle entre le nord vrai et la ligne d'intersection entre le plan de rupture et à la surface de la

Terre, mesurée dans le sens horaire à partir de Nord comme vu du dessus. Dans le tremblement de l'air Modèle pour le Sud-Ouest de l'Océan Indien, le plan de rupture est aligné avec les principales orientations de failles pour la région. Pour les séismes simulés sur la base du modèle de tremblement caractéristique, azimuths sont alignés avec les orientations de défaut basée sur des cartes et faille géologique récent séisme plan faute de solutions.

Le dip azimut est l'angle entre le nord géographique et la direction dans laquelle le plan de rupture de trempettes. Par convention, le dip est l'azimut de 90 degrés dans le sens horaire à partir de la rupture en azimut. Le dip angle est l'angle entre l'horizontale et le plan de rupture. Dans le modèle, tremper les angles sont estimées sur la base de données, la sismotectonique de paramètres de rupture des séismes, historique et recherches publiées. Puisque l'énergie est distribuée à travers le plan de rupture, un défaut d'orientation spatiale de l'est important pour l'estimation des dommages.

Un mécanisme de rupture

Voir la section 4.3.1 pour une description des mécanismes de rupture des défauts. Dans ce modèle, le défaut de mécanismes de rupture pour les tremblements de terre sont en fonction de l'historique des séismes, faille géologique, et la déformation des données prédites à partir de styles de modélisation cinématique des données GPS.

4.3.1.6 Statistiques sommaires Catalogue stochastique

Domaine du modèle de séisme d'AIR pour la région sud-ouest de l'Océan indien 99.090 événements stochastiques incluses dans le modèle sont de magnitude 5,0 et plus. La distribution des événements par ordre de grandeur est indiqué dans La Figure A.64. Notez que tous ces événements sont la perte-génération d'événements et qu'un seul événement pourrait générer des pertes dans plusieurs pays.

4.3.1.7 Validating Stochastic Generation Event

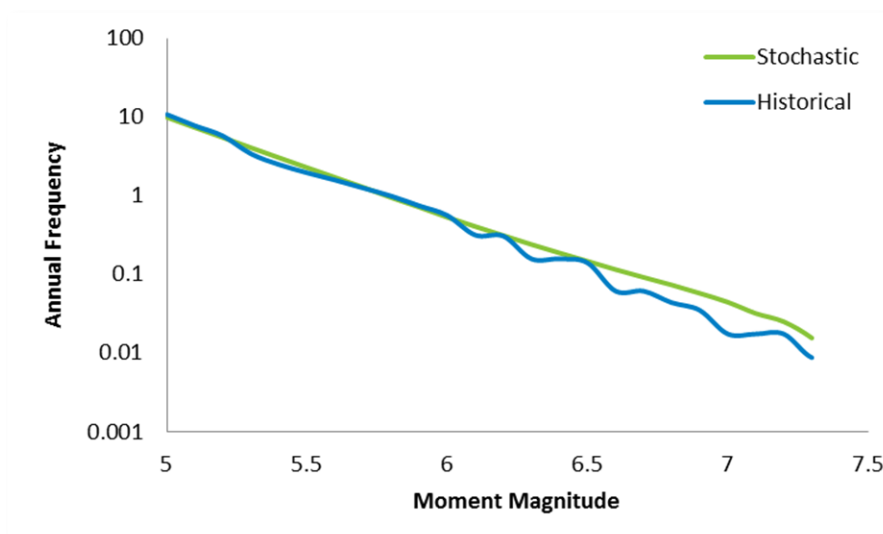
Catastrophe aérienne modèles sont largement validé ; chaque élément du modèle est soigneusement vérifiée par rapport aux données historiques. Cette section fournit quelques expositions qui valider la procédure de génération d'événements stochastiques.

Validation de la fréquence des tremblements de terre Simulations

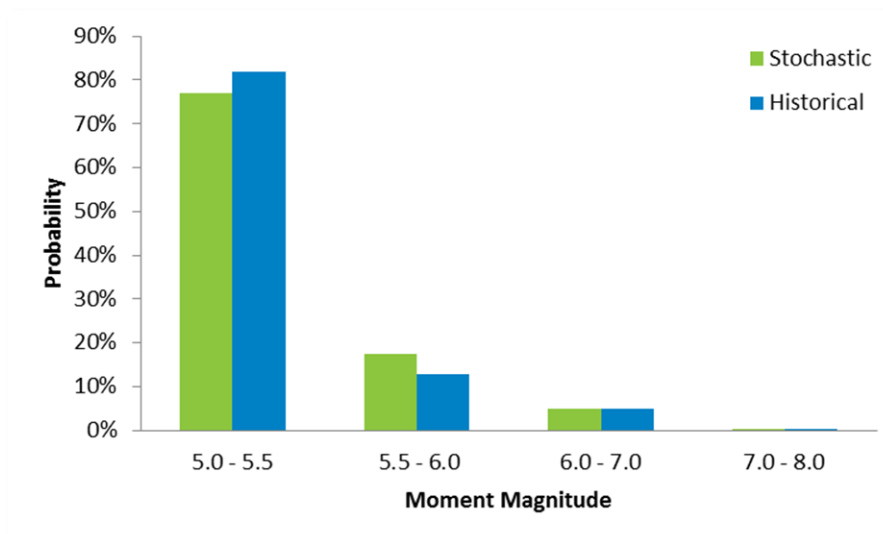
En raison du faible sismicité dans la région et le faible nombre d'événements enregistrés dans le passé environ 100 ans, la validation de la stochastique contre le Catalogue historique est fait pour l'ensemble de la région, et non pour chaque pays.



La Figure A.66 Compare la fréquence historique et modélisé grandeur pour la distribution au Sud-Ouest de l'Océan Indien, indépendamment de la profondeur. . Notez que la fréquence-amplitude répartition des séismes historiques n'est pas toujours harmonieux. C'est parce que les tremblements de terre historiques avec des magnitudes sont assez rares dans la région et l'incertitude est plus élevée dans cette partie de la distribution. La Figure A.67 Compare les distributions de probabilité stochastique et historique de l'ampleur dans la région, qui souligne également la rareté des tremblements de terre $\geq M6.0$ dans la région.



La Figure A.66. Historique Frequency-Magnitude modélisés par rapport aux distributions dans le sud-ouest de l'Océan Indien



La Figure A.67. Le modèle par rapport à l'ampleur historique les répartitions dans le sud-ouest de l'Océan Indien

Validation de l'emplacement des tremblements de terre Simulations

Error! Reference source not found. Montre une comparaison entre les 114 ans de l'historique des événements enregistrés par rapport à un échantillon aléatoire de 114 ans extraites de la stochastique catalogue, distribué par grandeur dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien. Comme prévu, les événements stochastiques ne reflète pas l'histoire, mais au lieu de fournir une distribution réaliste des événements dans les régions de forte sismicité (c.-à-d., caractéristique des événements) et à faible sismicité (c.-à-d., l'arrière-plan ou GR-événements).

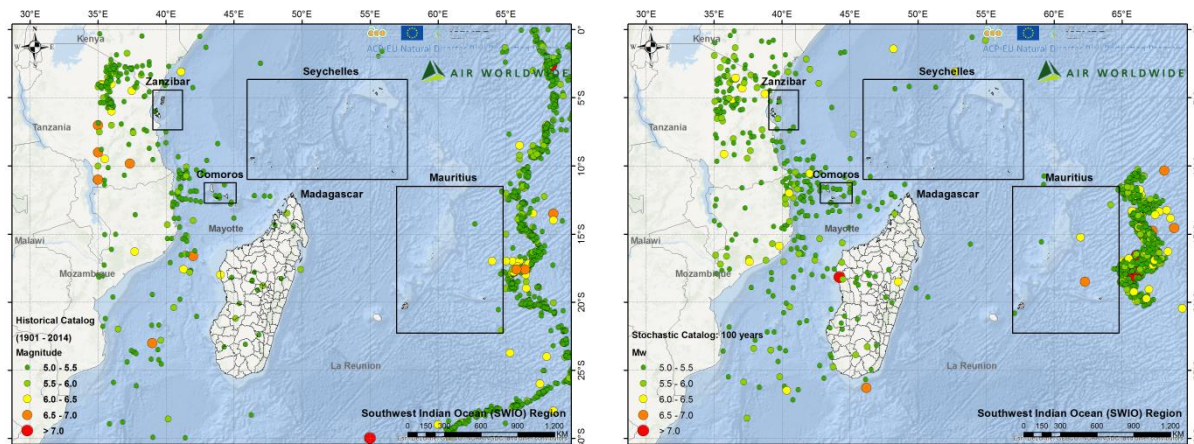
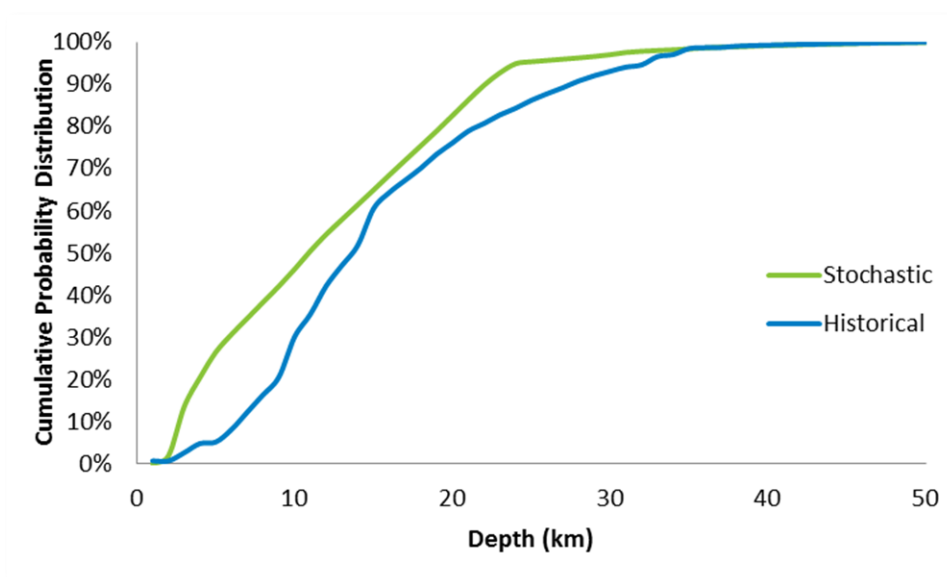
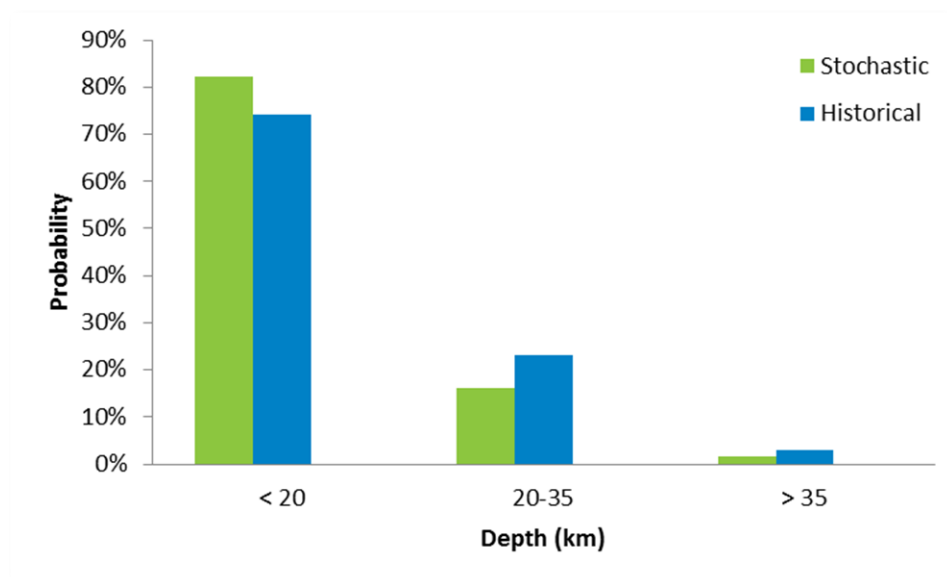


Figure A. SEQ Figure * ARABIC 76. (à gauche) Historique (à droite) stochastique par rapport à l'année 114 catalogues d'événements sisme (Note : Le Mid-Indian ridge n'est que partiellement modélisé (par exemple, Zone 26) en raison de son éloignement par rapport aux îles peuplées, résultant en l'écart entre l'événement simulé et historique des distributions sur le côté droit de chaque image)

La Figure A.68 Compare les pourcentages cumulés d'événements historiques et modélisées en fonction de la profondeur dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien. Notez que la répartition en profondeur des séismes historiques n'est pas toujours harmonieux. C'est parce que les profondeurs d'un grand nombre de tremblements de terre historiques ne sont pas bien limitée et, par conséquent, ces séismes sont affectées les valeurs de profondeur par défaut, tel que discuté précédemment dans la section 4.3.1.4. La Figure A.69 Montre la distribution des probabilités de profondeurs dans la région.



La Figure A.68. Le modèle par rapport à la profondeur historique des distributions de probabilité cumulative



La Figure A.69. Le modèle vs profondeur historique les répartitions dans le sud-ouest de l'Océan Indien

4.3.2 Calcul de l'intensité locale

Après des événements stochastiques ont été générés, l'intensité des secousses dans un emplacement particulier doit être calculé. La géologie de surface, d'atténuation, le type de sol, et d'autres sont considérés comme facteurs d'amplification site dans cette composante du modèle.

Les effets d'un séisme en un lieu donné sont souvent le résultat de multiples dangers liés aux tremblements de terre. Alors que le choc initial affecte la génération et la plupart des caractéristiques de ces périls, leur intensité sur un site dépend souvent de facteurs qui ne sont pas liés à l'ampleur du tremblement de terre. Si l'événement génère un tsunami, puis la bathymétrie côtière et la topographie locale sont également pris en considération pour déterminer la profondeur de l'inondation tsunami efficace.

L'intensité de Ground-Shaking

Afin d'analyser les dommages et pertes pour chaque simulation de tremblement de terre, le sol- motion intensité à chaque emplacement surface touchée doit être calculé. Ce mouvement du sol peut varier de tremblement à peine perceptible pour les secousses violentes, en fonction non seulement de l'ampleur de l'événement, mais aussi sur la distance de la rupture pour le site affecté, les caractéristiques géologiques de la région, et des conditions locales.

Rez-de-serrant l'intensité est généralement mesurée en termes d'accélération maximale du sol (PGA) et de l'accélération spectrale (Sa). L'accélération maximale du sol est la valeur maximale de l'accélération au sol et est généralement appelé motion dans le sens horizontal. L'accélération spectrale est la réponse maximale d'une construction simple, avec une seule fréquence naturelle de vibration, de secousses sismiques. Sa se rapproche de l'intensité d'agitation d'un bâtiment d'expériences pendant un séisme.

Les équations de prédiction du mouvement du sol

Les équations de prédiction du mouvement du sol empirique, ou GMPEs, sont des outils pratiques utilisées pour estimer l'intensité d'agitation du sol en fonction de l'ampleur, l'emplacement et le mécanisme de rupture d'un séisme. Ces équations, qui sont plus communément appelées lois d'atténuation dans le passé, de décrire la vitesse à laquelle certains paramètres de mouvement du sol évoluer comme les ondes sismiques se propagent vers l'extérieur de la source de rupture. En général, les déplacements du sol diminuent en raison de l'épandage et géométrique l'absorption et la diffusion de l'énergie comme les vagues voyage à travers la terre. Cependant, selon le type de sol présent à un endroit précis, le mouvement du sol peuvent connaître ainsi l'amplification.

La forme générale de la GMPEs utilisé dans le tremblement de l'air Modèle pour modèle sud-ouest de l'Océan Indien est comme suit :

$$S_a = f(M, D, d, C, F, T)$$

où:

S_a = accélération spectrale ou l'accélération maximale du sol (m/s²)

M = magnitude du séisme

D = distance du plan de rupture (km)



d = profondeur focale (km)

C = état du site

F = mécanisme de failles

T = Période (inverse de la fréquence) (s)

La région Sud-Ouest de l'océan Indien n'a que peu de données de mouvements forts résultant de la sismicité faible et de la rareté de l'instrumentation dans la région. Ce déficit de données fournit un défi pour la validation du modèle des équations de prédiction du mouvement du sol (GMPEs). Heureusement, le Sud-Ouest de l'océan Indien ont des caractéristiques tectoniques comme pays de l'Asie du sud-est, pour laquelle GMPEs ont été validées pour le tremblement de l'air modèle dans cette région. En conséquence, le tremblement de l'air Modèle pour la région Sud-Ouest de l'Océan indien utilise GMPEs semblables à ceux appliqués pour l'air modèle Séisme en Asie du sud-est.

Pour les événements de la croûte, une combinaison de l'atténuation d'Abrahamson et al. (2014), Boore et al. (2014), Campbell et Borzorgnia (2014), Chiou et Youngs (2014) et Idriss (2014) sont utilisés avec des facteurs de pondération appropriés.

Pour des événements d'interface, une combinaison de l'atténuation de l'Addo et al. (2012), Atkinson et Boore (2003), Zhao et al. (2006), et Atkinson et Macias (2009) sont utilisés, avec des facteurs de pondération appropriés dépendant de l'ampleur.

Pour des événements intraslab, une combinaison les relations d'Addo et al. (2012), Zhao et al. (2006) et Atkinson et Boore (2003, Global et Cascadia) sont utilisés.

Classifications et Amplification Ground-Motion Site

Comme les ondes sismiques traversent la terre à partir de la source de rupture à la surface de la terre, séisme rez-de-motion, l'intensité peut être amplifié ou de-amplifié, en raison de la configuration du site. Le degré d'amplification dépend du niveau des mouvements du sol, les propriétés matérielles du site, et la fréquence ou la période de composition des vagues qui arrivent. Si le travail d'ondes sismiques sont de faible à modérée de l'intensité, un site avec une géologie de surface peuvent être confrontés beaucoup plus élevés des mouvements du sol qu'un rock site. C'est particulièrement vrai pour les ondes sismiques à basse fréquence, qui sont les plus préjudiciables à la mi- et immeubles de grande hauteur. D'autre part, si les mouvements du sol est très élevée (p. ex. près de 1 g), un site avec des sols mous peuvent connaître rez motion qu'un site composé d'un sol ferme ou rock.

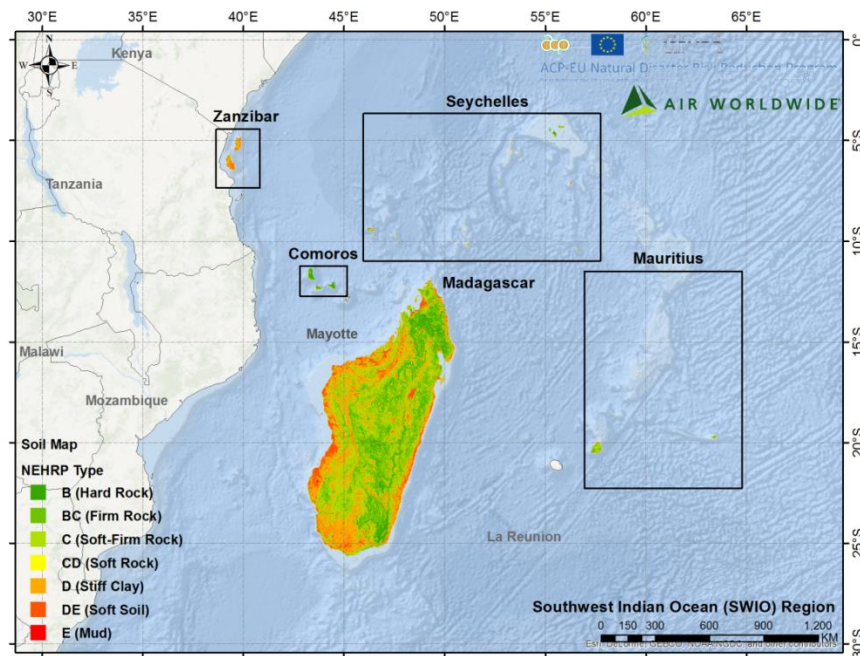
Les conditions du site peuvent être classés en fonction des propriétés physiques des matériaux géologiques superficiels. Dans le tremblement de l'air Modèle pour le sud-ouest de l'Océan Indien, des cartes géologiques



locales à différentes échelles sont utilisées pour élaborer l'état des sites de cartes. Les unités géologiques sont regroupés en neuf catégories selon leurs similitudes dans les propriétés physiques, telles que les vitesses des ondes de cisaillement. Ces neuf catégories comprennent des cinq National d'origine sismique (Programme de réduction) NEHRP classes site (A - B - hard rock, rock, C - sol ferme, D - sol mou, E - très sol mou) et quatre classes intermédiaires entre ces cinq classes. La vitesse des ondes de cisaillement moyenne pour chacune des neuf classes de site est utilisé pour calculer les facteurs d'amplification de mouvement. Tableau A.10 Montre ces classifications et leur vitesse de l'onde de cisaillement moyenne associée en mètres par seconde. Cartes détaillant la vitesse des ondes de cisaillement moyen dans les premiers 30 mètres de sol (les 30 mètres juste au-dessous de la surface de la terre) sont utilisées pour estimer l'amplification du site. Ceux-ci sont connus comme des cartes et vs30 sont construites pour la région du SOOI 400m à l'aide de données topographiques et d'appliquer une pente topographique, Vs30 méthodologie de calcul proposée par Wald et Allen (2007). La Figure A.70 Ce qui montre la carte du sol dans la région du SOOI avec la classification des sols NEHRP définis dans Tableau A.10.

Tableau A.10. Classification des sols NEHRP et les vitesses des ondes de cisaillement moyen

<i>Classes de sol</i>	<i>Description</i>	<i>La vitesse de l'onde de cisaillement moyenne (m/s)</i>
A	roche très dure	1620
AB	Hard rock	1150
(b)	Entreprise d'hard rock	1050
BC	Rocher solide	760
(c)	Légère à forte rock (sol graveleux et soft rock)	540
CD	Soft rock (sol graveleux et rigide)	370
(d)	Le sol de sable et d'argile raide	330
DE	Sol meuble de sol ferme (limono-argileux et de sable)	280
(e)	Sol meuble (inclut la boue)	160



La Figure A.70. Classification NEHRP Carte du sol dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien

Corrélation stochastique et Mouvement du sol Domaines

Il est nécessaire de reconstruire le mouvement du sol des champs pour certains événements historiques pour rendre le champ de mouvement du sol modélisés comme conforme à l'intensité observée de données possible. C'est un défi, car la réalité sur le terrain les données de mouvement pour ces événements sont souvent limitées à : (1) une poignée d'enregistrements à différents sites et; (2) une carte d'intensité MMI régionale. Dans tous les cas dans la région du SOOI, insuffisance de l'information existe pour construire des mouvements du sol régional unique pour les séismes historiques de l'entreprise.

Pour relever ce défi, une série de champs de mouvement du sol stochastiques sont simulés à l'aide des GMPes et mouvements du sol disponible pour chaque événement de l'information. Ces simulations envisager site-to-site mouvement du sol (Mahdyiar effets corrélés et al. 2010) comme décrit ci-dessous.

Le calcul de l'intensité du mouvement du sol a toujours été décrite comme une fonction de l'ampleur de l'événement, la source à site, distance et les conditions locales du sol. Ces calculs tiennent également compte de la variabilité dans le mouvement du sol, basé sur les écarts observés au cours de séismes historiques. La variable d'intensité du mouvement du sol sont incluses dans les équations à l'aide d'un terme d'erreur distribué-lognormally, également connu sous le nom de "résidus".

Des études récentes de ces résidus de mouvement du sol montrent que, plutôt que d'être distribuées de façon aléatoire dans une zone pendant un tremblement de terre, il y a une corrélation évidente entre les droits de suite à un site et les droits de suite à des sites voisins. C'est, les observations ont montré que si le mouvement du sol est plus élevé que prévu dans un site particulier, il est plus probable qu'un site voisin augmentera, elle aussi que prévu.

Pour l'analyse d'aléas et des dangers, il est habituel d'estimer le mouvement du sol sur les sites utilisant les GMPEs. GMPEs fournir des estimations du *mouvement du sol médian* en fonction de l'ampleur, la distance, et les mécanismes, et fournir une estimation de l'incertitude de mouvement du sol due à des radiations source, le chemin et les effets de site local. Un GMPE typique est souvent formulé comme :

$$\ln(Y) = \ln(\bar{Y}) + (e)_{\text{Inter}} + (e)_{\text{Intra}}$$

où Y est le logarithme de l'estimation ponctuelle du mouvement du sol (GM), est la médiane du logarithme de l'estimation ponctuelle de GM, et et sont les inter et intra-événement erreurs aléatoires qui reflètent la source et le chemin et le site incertitudes connexes, respectivement. et et sont supposés indépendants. $(e)_{\text{Inter}}(e)_{\text{Intra}}$ La composante de l'événement conduit à une corrélation spatiale régionale globale pour les deux sites :

$$\rho_{\text{GM}} = \frac{\sigma_{\text{Inter}}^2}{\sigma_{\text{Inter}}^2 + \sigma_{\text{Intra}}^2}$$

où ρ_{GM} est la corrélation de mouvement du sol. Cependant, les études sur les similitudes de mouvement du sol pour différents événements, après avoir retiré l'estimation médiane des valeurs de mouvement du sol, indiquent que la corrélation du mouvement du sol pour les sites proches l'une de l'autre est statistiquement plus importante que celle prédite par l'équation ci-dessus. Cette corrélation intra-site, ce qui n'est pas dépendante, peut avoir un impact important sur la distribution des pertes régionales, ce qui rend les dégâts de certains tremblements de terre très coûteux (Bazzurro et Park, 2007). La motion générale au sol, y compris de corrélation corrélation intra-site, peut être formulé comme suit :

$$\rho_I = \frac{\sigma_{\text{Inter}}^2 + \rho(d)\sigma_{\text{Intra}}^2}{\sigma_{\text{Inter}}^2 + \sigma_{\text{Intra}}^2}$$

où ρ_I est la corrélation intra-site et $\rho(d)$ représente la distance entre les stations (Boore et al., 2003, Park et al., 2007).

L'estimation des pertes attendues pour chaque tremblement de calibrage nécessite la simulation de séries de mouvements du sol stochastique des domaines qui reflètent l'événement inter-et intra-site la corrélation spatiale limitée par les données de mouvement du sol observée, lorsque disponible. C'est, lorsque la motion les enregistrements sont disponibles, l'information peut être utilisée pour contraindre la simulation sur des sites près de la stations d'enregistrement. En cas de tremblements de terre avec seulement des données MMI ou

cartes de contours, l'intensité d'informations peuvent être traduits en valeurs de mouvement du sol qui sont de nouveau utilisés pour contraindre la simulation, tout en tenant compte de l'incertitude dans l'intensité-sol-motion conversion. Ainsi, l'approche adoptée par AIR prend explicitement en compte la qualité des données disponibles.

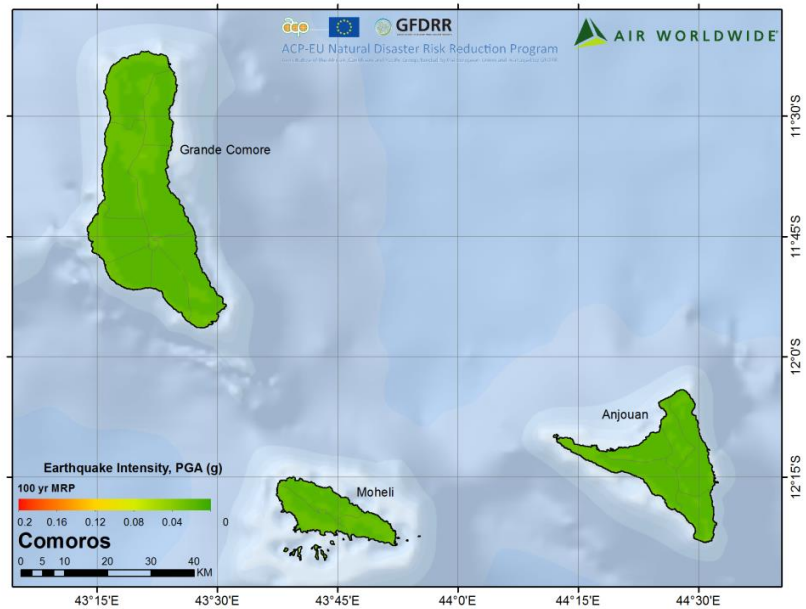
En résumé, il est important d'élaborer une procédure de simulation stochastique mouvement du sol qui est : (1) en se basant sur les équations régionales d'atténuation; (2) capture la nature stochastique du mouvement du sol et les effets de corrélation intra-sites, et; (3) comporte des contraintes imposées par les différents types d'observations.

Une approche pratique consiste à simuler une série de mouvements du sol résiduel stochastique, par rapport au mouvement du sol, sur des sites d'intérêt qui est conforme aux contraintes de mouvement du sol imposées. Les nombreux ensembles de champs résiduels de la capture de l'événement inter-régional, les échanges à l'événement, et les effets de corrélation intra-site. Étant donné que les valeurs résiduelles sont simulés pour la référence du site, de l'ancrage régional peut être construit à l'aide d'informations sur le sol peu profond sur les conditions du site.

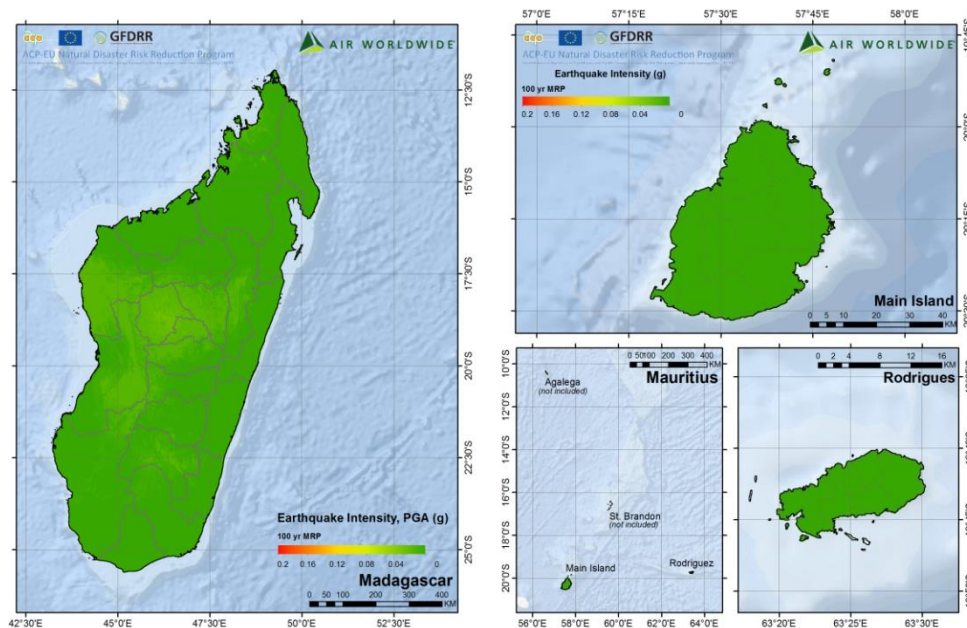
Par l'ajout de résidus simulés de manière stochastique à la médiane de mouvement du sol et l'application de la réaction du site peu profond, différentes réalisations de l'empreinte du mouvement du sol pour un tremblement de terre sont créés.

Carte d'aléas dans la région Sud-Ouest de l'Océan Indien

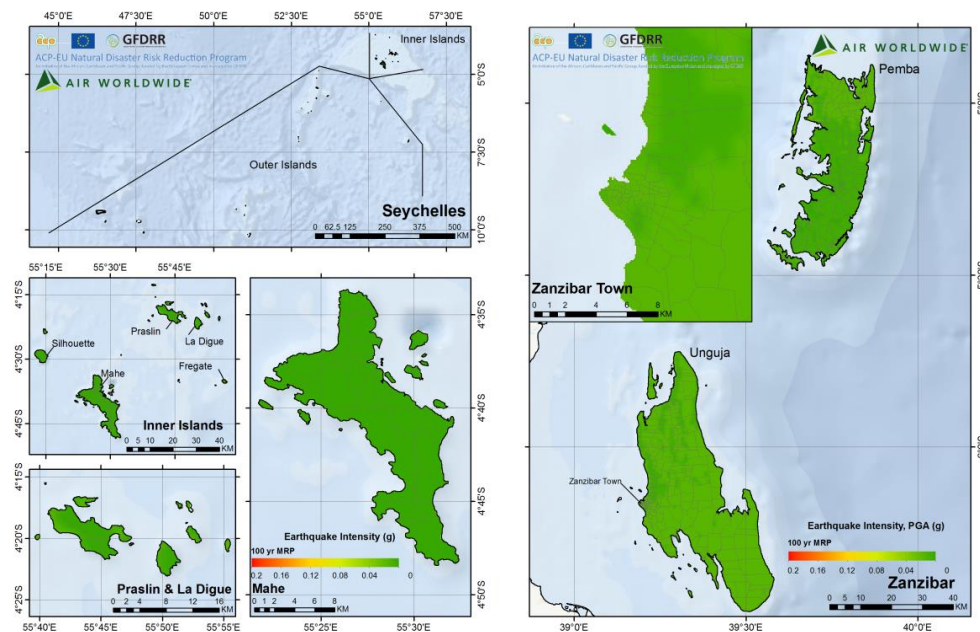
Suivant la procédure décrite ci-dessus, l'intensité des mouvements du sol, en termes d'accélération maximale du sol exprimées en accélération de la gravité (g) ont été calculés pour chaque événement dans le catalogue stochastique, à 1 km de résolution de grille. La Figure A.71, La Figure A.72, et La Figure A.73 Afficher les niveaux de secousse dans les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar, respectivement, en raison de tremblements de terre qui ont une période de retour de 100 ans, ce qui équivaut approximativement à 40 % de chances d'être dépassé au moins une fois au cours des 50 prochaines années.. Les accélérations du sol maximale supérieure à environ 0,05 g sont capables de générer des dommages causés aux bâtiments, ce qui entraîne des pertes économiques.



La Figure A.71. Comores : la masse maximale à l'accélération horizontale de 100 ans de la période de retour.



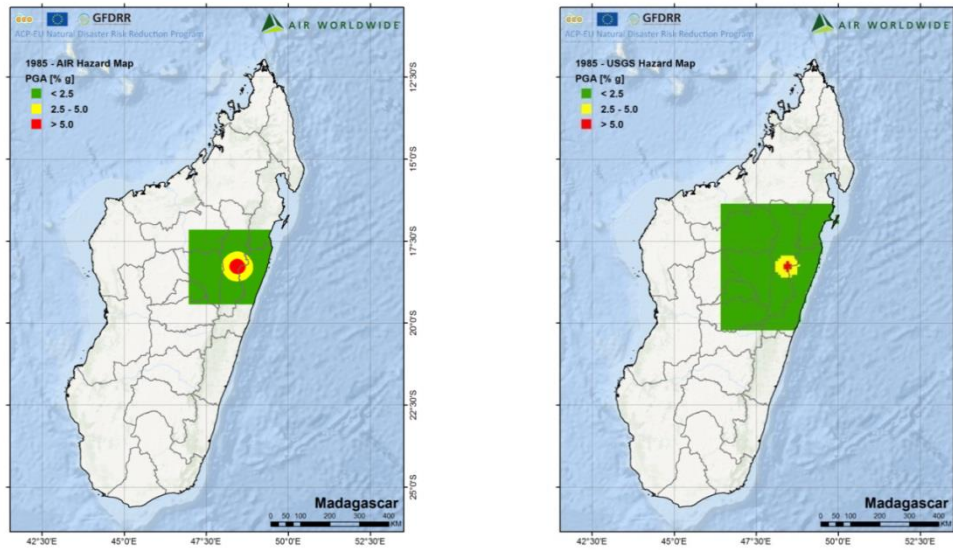
La Figure A.72. Madagascar (à gauche) et Maurice (à droite) à l'accélération au sol horizontal 100 ans de la période de retour.



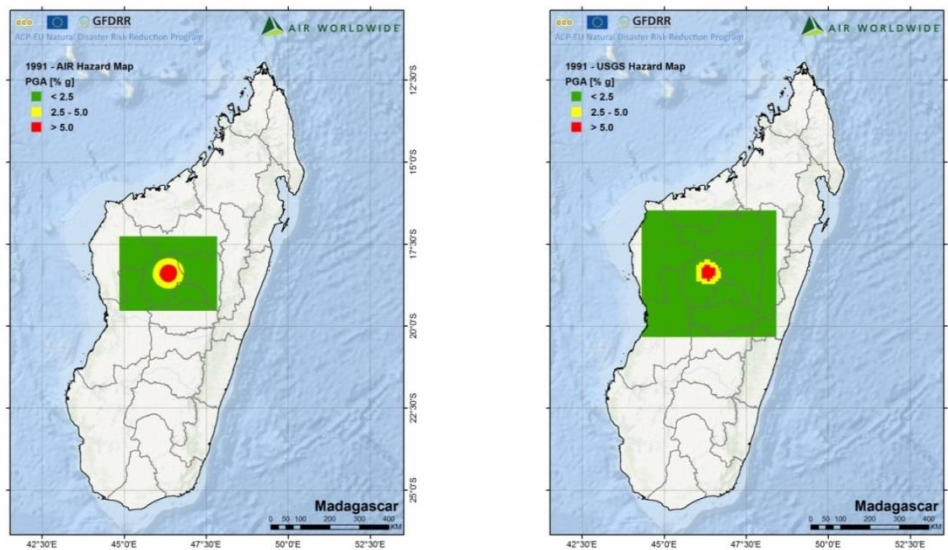
La Figure A.73. Seychelles (à gauche) et de Zanzibar (à droite) un sol horizontal pointe l'accélération au 100 ans de la période de retour.

Validating intensité locale

La région du SOOI a très peu de données de mouvements forts résultant de la sismicité faible et de la rareté de l'instrumentation dans la région, donc la validation de l'intensité du mouvement du sol calcul est effectué en comparant à d'autres intensités modélisées de l'agence dans la région, tels que ceux rapportés par le United States Geological Survey (USGS). En raison du faible sismicité historique dans la région du SOOI, il y a de même quelques intensités modélisés, ce qui complique encore la validation des modèles. Par conséquent, l'intensité validation est effectuée pour les quelques événements importants pour lesquels l'USGS a aussi modélé les intensités régionales. Cette comparaison est illustrée de deux événements en La Figure A.74 Et La Figure A.75, qui le contraste de l'intensité du mouvement du sol modèle calculé par l'air (à gauche) et de l'USGS (à droite) pour les modèles 1985 et 1991 séismes à Madagascar, respectivement. Le rez-de-motion montre les intensités sont exprimés en termes de PGA (g) et valider ainsi en termes d'intensité et la distribution spatiale.



La Figure A.74. AIR (à gauche) vs USGS (droite), le mouvement du sol Modèle 1985 Madagascar tremblement de terre



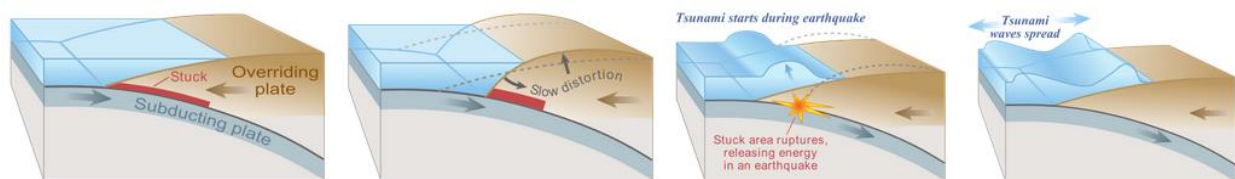
La Figure A.75. AIR (à gauche) vs USGS (droite), le mouvement du sol Modèle 1991 Madagascar tremblement de terre

4.3.3 Les tsunamis dans l'océan Indien du Sud-Ouest

Cartes identifiant les zones d'aléa de tsunami ont été élaborées pour chaque grande île dans tous les pays du SOOI. Ces cartes caractérisent le "pire scénario" des zones à aléa de tsunami du SWIO îles et intégrer un ensemble de télé-modélisé les tsunamis générés par les séismes qui ont lieu ailleurs dans l'Océan Indien. La rupture caractéristique des séismes modélisées sont utilisés conjointement avec la bathymétrie locale et les données d'élévation pour calculer la propagation des tsunamis et d'exécuter à l'aide de la modélisation plus cadre et la plate-forme de validation, développé par la NOAA. Les cartes qui en résultent représentent un maximum d'inondation, de l'empreinte qui sont construits par superposition des empreintes de l'inondation tsunami modélisé chaque événement.

Sommaire

En raison du nombre relativement faible de l'intensité des tremblements de terre dans la région du SOOI, l'aléa des tsunamis provoqués par des séismes locaux est mineur. Cependant, la région est à aléa d'avoir des télé-tsunamis générés par les défauts de subduction ailleurs dans l'Océan Indien, comme observé en 2004 dans l'Océan Indien. Les tsunamis sont générés lors de séisme au large d'événements déformation brusque du fond de la mer, qui déplace l'eau au-dessus de la zone de déformation résultant dans le mouvement de l'eau, comme illustré dans La Figure A.76. Les plus grands tsunamis sont générés par les séismes de subduction megatectonique sur les failles, ce qui peut entraîner des déformations du plancher océanique verticale.



La Figure A.76. Une illustration du mécanisme de la formation du tsunami dans les zones de subduction (source : Wikipedia)

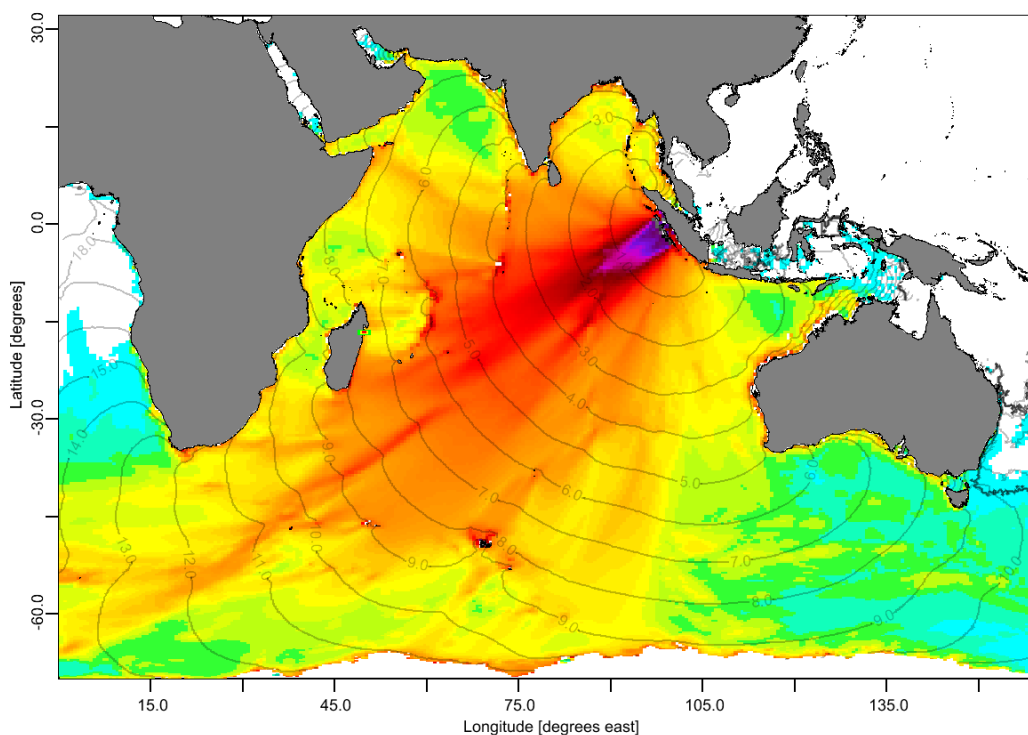
Bien qu'il n'y a pas de grandes zones de subduction dans la région du SOOI, tsunamis générés par les zones de subduction ailleurs, connu sous le nom de télé-tsunamis, sont capables de se déplacer sur de longues distances dans l'eau de l'océan profond. Ces ondes peuvent être amplifiées et re-dirigé par caractéristiques bathymétriques sur le fond marin, tels que dorsales océaniques, des creux, et des bassins, ce qui peut compliquer la prédiction de leur répartition régionale et locale d'intensité.

Modèle de propagation et d'inondations

Le ComMIT (Modèle Communautaire) pour les victimes du tsunami de l'interface de l'outil logiciel, développé par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a été utilisé pour calculer la propagation des tsunamis télé-au-dessus de l'Océan Indien, ainsi que l'approche et à l'inondation le long des côtes de l'île du

SOOI. Commettre exploite la méthode largement utilisée de scinder les tsunamis (plus) approche développée par Titov et Synolakis (1996) et a été développé à la demande du Groupe intergouvernemental de coordination pour l'Océan Indien système alerte aux tsunamis et d'atténuation (GIC/IOTWS) afin de fournir une plate-forme conviviale pour la construction de cartes inondation tsunami.

En commettre, trans-océanique est la propagation de l'onde pour précalculées un certain nombre de segments de défaut majeur dans le monde entier. L'amplitude de l'onde résultant d'un ou plusieurs segments séisme de subduction événements sont à l'échelle et combinés pour simuler la condition initiale de tsunami, comme montré dans La Figure A.77. Pour calculer plus précisément la propagation d'onde et à l'inondation près des côtes, le modèle considère en outre l'élévation et la bathymétrie détaillée des données.



La Figure A.77. Un exemple d'un tsunami pré-calculé sur la simulation de panne de la sonde dans l'interface de validation

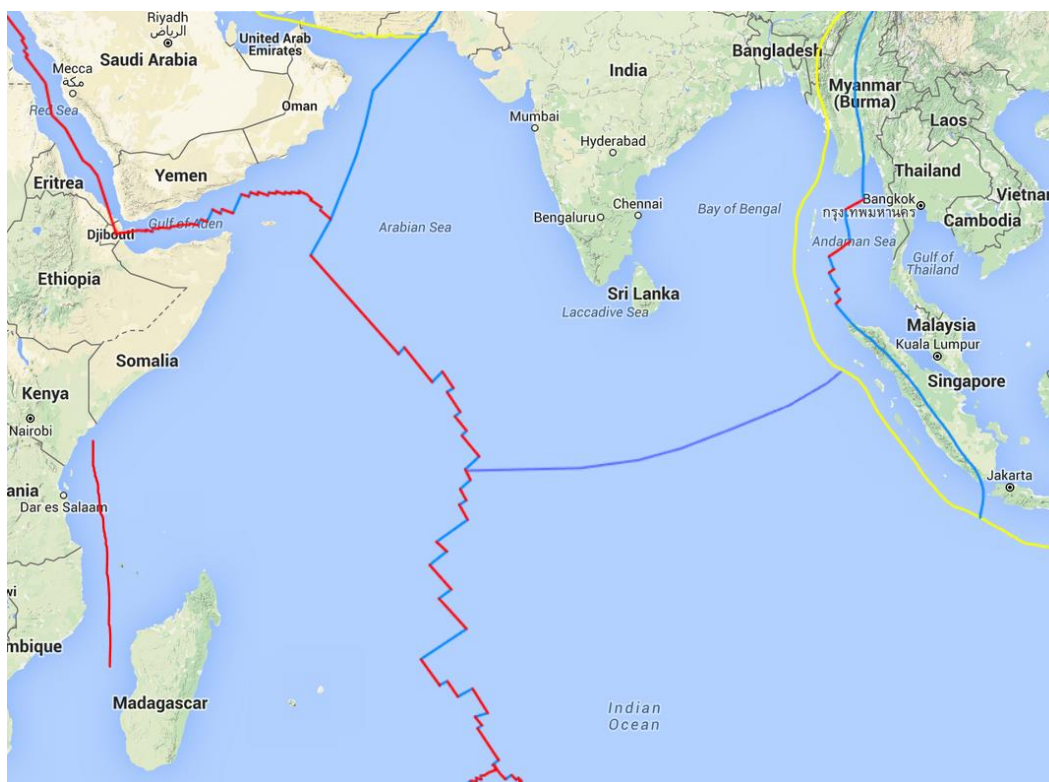
Les modèles numériques d'élévation et la bathymétrie

Le modèle numérique d'altitude (MNA) mis en œuvre à sa validation et utilisée pour calculer la propagation des tsunamis et d'approche s'inspire d'un certain nombre de sources de données, y compris des cartes d'élévation fournie par les gouvernements locaux, le Shuttle Radar Topography Mission jeu de 90 mètres (SRTM 90m), l'Advanced Spaceborne réflexion et des émissions thermiques de 30 mètres de Radiometer dataset (ASTER), et la carte générale bathymétrique des océans 30 arc-second dataset (GEBCO). En général, les

données GEBCO est interpolée de 3 arc-secondes (environ 90 mètres) et a fusionné avec SRTM 90m. L'agence locale a fourni de données d'élévation et de l'ASTER dataset sont ensuite utilisés pour affiner les zones d'intérêt avec des caractéristiques topographiques. Cette amélioration est particulièrement important pour les petites nations insulaires, tels que les Seychelles, où la résolution de la plupart des données mondiales est trop grossier pour saisir avec précision la côte. L'aléa de tsunami cartes indiquent les zones d'inondation à une résolution de 3 arc-secondes.

Sélection d'événements Tsunamigenic

Les principales zones de faille dans l'océan Indien sont illustrés dans La Figure A.78. Parmi ces régions, l'aléa le plus élevé d'émissions de télé-tsunamis vient de la zone de subduction Makran, situé au nord de l'ÎLES DU SOOI, et le problème serait produit Sunda, situé au nord-est de l'ÎLES DU SOOI près de l'Indonésie. Ces deux zones de subduction sont en jaune. D'autres sites d'intérêt incluent la Davie Ridge, situé dans la partie ouest de l'SWIO domaine et le Mid-Indian Ridge, situé à l'Est de l'ÎLES DU SOOI. Les deux de ces frontières divergentes sont indiqués en rouge ci-dessous. Bien que ces divergences de limites n'ont pas produit un tsunami important dans l'histoire, elles sont capables de produire des tsunamis, quoique rarement, aucune de ces zones sismiques a produit un tsunami important dans l'histoire enregistrée. De plus, aucun événement dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien AIR Séisme stochastique catalogue sont assez grandes pour produire un important tsunami, indiquant qu'il est peu probable pour la tectonique locale conditions de la région Sud-Ouest de l'océan Indien pour produire des séismes susceptibles de générer de grands tsunamis.



La Figure A.78. Cadre tectonique de la région du SOOI (source : IRIS, Google)

Par conséquent, le principal aléa de tsunami qui a été considéré pour l'ÎLES DU SOOI est l'effet d'un champ télé-tsunamis générés par la subduction de Makran, au sud de l'Iran et le Pakistan, et le problème, megatectonique Sunda qui longe le sud-ouest et le Sud de la côte de l'archipel indonésien. Les grands événements tsunamigenic qui sont caractéristiques de chaque grande section de la panne de la sonde ont été sélectionnés à partir de l'Asie du sud-est de l'air Catalogue tremblement et modélisé en commettre. Bien qu'il n'y ait pas d'histoire enregistrée des tremblements de terre au niveau du défaut Makran production télé-tsunamis qui ont atteint la région SWIO, le plus grand tremblement de terre théoriquement possible dans cette région a été modélisée sur cette faille ainsi. Les effets de tous les événements modélisés sur chaque île ont été superposées pour produire les cartes d'aléas d'inondation tsunami final.

Les résultats et l'analyse

Les zones d'aléa de tsunami identifier les zones à haut aléa provenant d'événements modélisés et des observations historiques. Les régions côtières de faible élévation, des zones présentant des amplitudes des ondes en mer dans le modèle, et les régions avec d'importantes inondations historiques ont été utilisés pour identifier ces zones. Y compris les zones inondables permet l'identification des zones sensibles par le tsunami qui n'étaient pas inondés dans les événements modélisés en raison des limites de la méthode de plus, les

données disponibles, ou le nombre limité d'événements sélectionnés. Les zones d'aléa qui en résultent sont distribuées comme prévu, basées sur les observations de l'événement 2004. Le littoral en direction de la source du tsunami, les côtes basses, et les baies sont à aléa élevé, même si certains résultats peuvent être contre-intuitif. Par exemple, les zones d'aléa de tsunami pour Zanzibar, comme montré ci-dessous dans la Figure A.79, semblent indiquer l'inondation tsunami répandue sur toutes les côtes des deux îles Unguja et Pemba. Cependant, la carte devrait être considérée comme une superposition de plusieurs événements graves inondations tsunami, avec des empreintes qui vont bien à l'intérieur des terres, dans certaines régions, en raison d'un terrain plat. En outre, les tsunamis peuvent "envelopper" îles, côtes touchant qui ne sont pas dans la voie directe de la vague du tsunami.



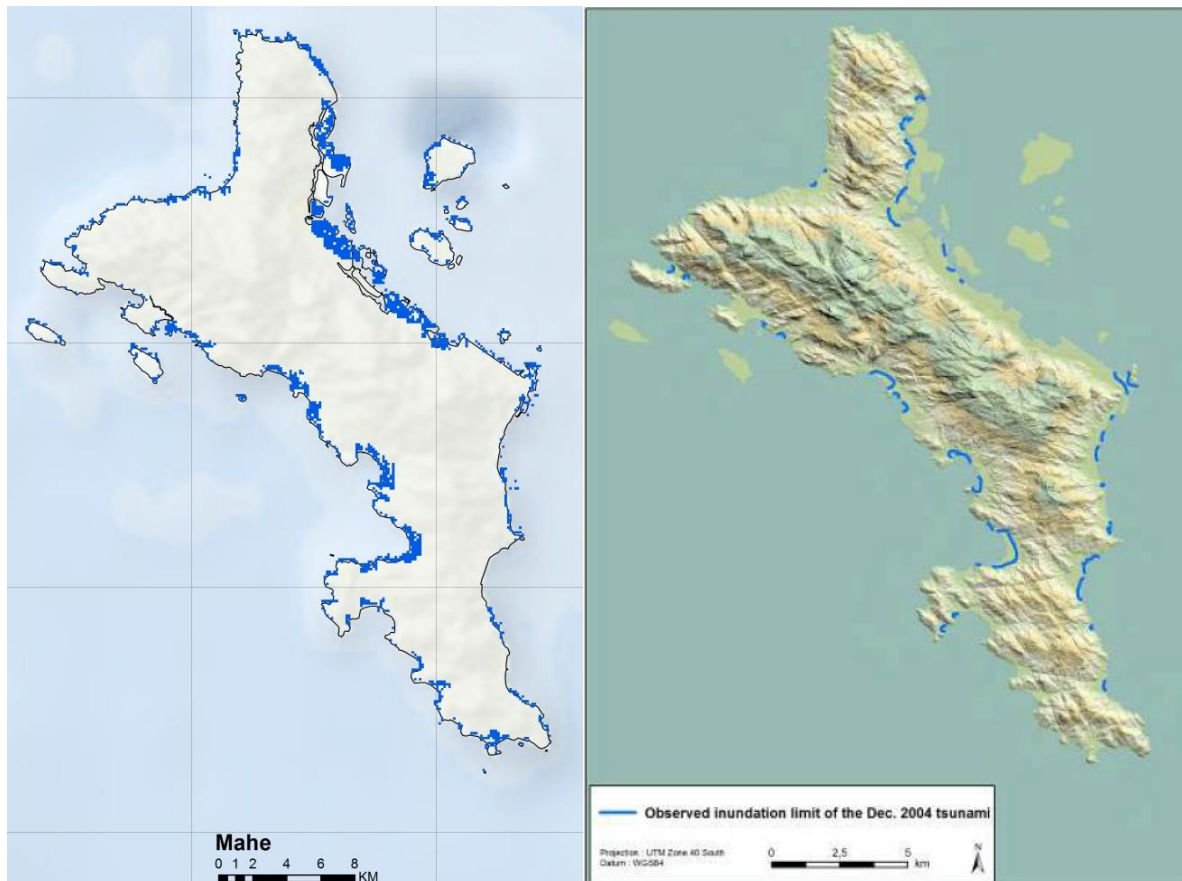
La Figure A.79. Les zones d'aléa de tsunami pour Zanzibar

Il y a aléa de tsunami sur les côtes de Madagascar, mais il n'est plus localisée que c'est à Zanzibar. Zones à aléa, les aligner étroitement aux attentes ; une majorité d'entre eux sont le long des basses terres de la côte sud-est de Madagascar près de Mananjary, Manakara et mis en évidence ci-dessous dans La Figure A.80. Zones dans et autour les lagunes côtières et les marais le long de cette côte sont particulièrement vulnérables à l'inondation du tsunami. Des régions similaires le long de la côte ont été inondées par le tsunami de 2004, tel que rapporté par l'International Tsunami Équipe de l'enquête (Okal et al. 2006).



La Figure A.80. Certaines zones à aléa de tsunami pour Madagascar

Les zones à aléa de tsunami des Seychelles correspondent également à des mesures d'inondation enregistré précédemment. Une comparaison entre la carte d'aléas de tsunami Mahé et les inondations observées résultant du tsunami de 2004 à partir d'un rapport de l'Organisation des Nations Unies pour le développement (PNUD) du projet est présenté ci-dessous dans La Figure A.81. Comme prévu, les zones relativement plat de terrains près de la côte de Victoria sont très vulnérables à l'inondation du tsunami, ainsi que les zones de basse altitude près de baies peu profondes de tous les côtés de l'île. Notez que des zones auparavant non inondées par l'édition 2004 sont toujours considérés comme les îles du parc national de Sainte Anne Marine, reflétant l'aléa supplémentaire imposé par les scénarios de tremblement de terre considérés.



La Figure A.81. Comparaison entre les Seychelles carte tsunami modélisés (à gauche) et tsunami de 2004 l'inondation par le PNUD (à droite) pour l'île de Mahé

Limitations

Les zones d'aléa de tsunami présentées dans ce rapport visent à fournir une compréhension simplifiée d'aléas de tsunami dans la région du SOOI. Ces zones sont déterministes et sont associés à divers événements qui ont différents scénarios probabilités événement et à l'inondation des profondeurs. S'il est vrai que les événements

de l'ampleur et l'échelle de ceux utilisés dans cette analyse sont rares, ces cartes ne devraient pas être utilisées à des fins prédictives ou de prévision. Les zones inondables indiquent principalement des zones très vulnérables aux tsunamis importants.

Les zones d'aléa de tsunami ont été développés à l'aide publique, des logiciels et des données. Exact, la bathymétrie à haute résolution et les données d'altitude peuvent être exploitées pour produire des résultats plus fiables. La qualité de ces cartes peuvent être encore améliorées en incorporant plus de l'inondation et les données de l'amplitude des tsunamis historiques, ainsi que des renseignements sur les effets de marée, qui ne sont actuellement pas pris en compte.

4.3.4 Références

- Abrahamson, N. et O. Silva, 1997, "Relations d'atténuation spectrale réponse empirique pour les tremblements de terre, la croûte" *recherches sismologiques Lettres*, 68, 94-127.
- Abrahamson, N. A., Silva, J. W., et de Chaldée, R., 2014, "Résumé de l'ASK14 mouvement du sol pour ce qui concerne les régions de la croûte active", *tremblement de Spectra* 30, 1025-1055.
- Andrianaiivo L et Ramasiarinoro C.J., 2015, Actes du Congrès mondial de l'énergie géothermique, 2015 Melbourne, Australie, modèle structural de l'Itsay Perspective géothermique dans le centre de Madagascar : examen préliminaire. Examen préliminaire.
- Conseil en technologie appliquée, 1985, l' *ATC-13 dommages sismiques Les données de l'évaluation pour la Californie*. Redwood City, Californie : Applied Technology Council.
- Atkinson, G. et D. Boore, 2003, "Relations avec les mouvements du sol empirique pour Subduction-Zone les tremblements de terre et leur application à d'autres régions et de Cascadia," *Bulletin de la Seismological Society of America*, 93, 4, 1703-1729.
- Atkinson, G. M., et Boore, D. M., 2011, "Les modifications aux équations de prédiction de mouvement du sol à la lumière de nouvelles données", *Bull. Seismol. Soc. Suis. Am.* (101) 1121-1135
- Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., et Atkinson, G. M., 2014, "NGA-Ouest2 équations pour prédire la PGA, PGV, et 5 % pour PSA amortie de la croûte superficielle, les séismes, *les spectres séisme*, 30, 1057-1085.
- Campbell, J. W., et Bozorgnia, Y., 2014, "NGA-Ouest2 mouvement du sol modèle pour la moyenne des composantes horizontales de PGA, PGV, et 5 % ont une accélération linéaire des spectres de réponse", *tremblement de Spectra*, 30, 1087-1115.
- Chiou, B. S.-J., et Youngs, R. R., 2014, "Mise à jour du Chiou et Youngs NGA modèle pour la composante horizontale moyenne maximale du sol et de motion les spectres de réponse", *tremblement de Spectra* 30, 1117-1153.
- Chorowicz J., 2005, "le système de rift Est africain", *Journal of African Earth Sciences*, 43.
- Chu D. et Gordon R.G., 1999, "éléments de preuve pour le mouvement entre la Somalie et le long de la Nubie Southwest Indian Ridge", *Nature*, vol. 398(4).
- DeMets, C., R. G. Gordon, D. F., Argus et S. Stein, 1994, "Effet des modifications apportées récemment à l'échelle de temps d'inversion géomagnétique sur les estimations de la plaque actuelle, des motions" *Geophysical Research Letters*, 21, 2191-2194.
- DeMets C. Gordon, R.G. et Argus D.F., 2010, "motions" géologiquement plaque actuelle, *Geophysical Journal International*, Vol. 181.

- Guyotat, E.R., R. van der Hilst et R. Buland, 1998, "Global séisme téléseismiques relocation avec l'amélioration des temps de parcours et les procédures de détermination de la profondeur", *Bull. Séisme. Soc. Am. Am.* 88, 722-743.
- Horner-Johnson LA C.-B., Gordon R.G. et Argus D.F., 2007, "cinématique plaque la preuve de l'existence d'une plaque distincte entre les plaques nubienne et somalienne le long de la Southwest Indian Ridge", *Journal of Geophysical Research*, vol. 112.
- Idriss, I. M., 2014., "Une NGA-Ouest2 modèle empirique d'estimation des valeurs spectrales horizontale générée par les tremblements de la croûte superficielle", *tremblement de Spectra* 30, 1155-1177.
- Lardeaux J.M., Martelat J.E., Nicollet C., Pili E., Rakotondrazafy R. et Gardon, H., 1999, "le métamorphisme et tectonique dans le sud de Madagascar : Un Aperçu", *Gondwana Research*, vol. 2(3).
- Midzi A., D.J., Hlatywayo Chapol L.R., Kebede F., Atakan K., Lombe D.K., Turyomurugyendo G. et Tugume F.A., 1999, "L'évaluation d'aléas sismiques dans la région de l'Afrique orientale et australe", *Annali di Geofisica*, tome 42(6).
- Kimata Mulwa J.K., F. et Duong N.A., 2013, "Chapitre 19 : Aléa Sismique", *l'évolution dans le processus de surface de la Terre*, Vol 16.
- Okal E.A., Fritz H.M., Raveloson Joelson R., G., P. Pančošková Rambolamanana, et G., 2006, "Enquête sur le terrain à Madagascar après le tsunami de 2004 dans l'océan Indien", *tremblement de Spectra*, tome 22(S3), S263-S283.
- Pasupuleti Ramancharla V.D.K. et P.K., 2014, "Interactions et la sismicité de la plaque tectonique indienne avec ses plaques voisines : un aperçu", *International Journal of Advanced Sciences de la Terre et de l'Engineering*, Vol 3(1).
<http://www.globalquakemodel.org/what/seismic-hazard/strain-rate-model/>
- Sadigh, K., C. Y. Chang, J. A. Egan, F. Makdisi, et R. R. Youngs, 1997, "relations d'atténuation pour les séismes crustaux basé sur les données de mouvements forts de la Californie", *lettre de la recherche sismologique*, 68, 180-189.
- Saemundsson K., 2010, "système de rift Est africain - un aperçu ", *petit cours sur l'exploration des ressources géothermiques organisé par l'Université des Nations Unies*.
- E. Saria, Calais E., Stamps D. S., D. Delvaux et Hartnady C.J.H., 2014, "L'Actuelle cinématique du rift Est africain", *Journal of Geophysical Research : Terre solide*.
- Stamps, D.R., E. Saria, C. Kreemer, 2015, "L'Afrique subsaharienne de déformation géodésiques" Modèle 1.0, août 2015, Strain rate Model / Afrique subsaharienne, disponible à partir du
<http://www.globalquakemodel.org/what/seismic-hazard/strain-rate-model/>.

Wald, DJ et TI Allen, 2007, «pente topographique comme un proxy pour les conditions du site sismiques et l'amplification», Bull., Seism. Soc. Am, Vol. 97, No. 5, 1379-1395.

Youngs RR, SJ Chiou, WJ Silva, et JR Humphrey, 1997, "forts mouvements du sol Atténuation Relations pour les tremblements de terre de subduction Zone," sismologique Research Letter, 68, 58-73.

4.4 Glissement de terrain

La susceptibilité de glissement de la zonation des cartes ont été générées pour les trois îles des Comores et indiquer les zones de forte, moyenne et faible sensibilité. La zonation les cartes représentent les résultats de la plus à jour des méthodes de recherche pour déterminer la susceptibilité de glissement pour les données actuellement disponibles pour les Comores. Sur la base des informations disponibles, le rapport de fréquence méthode a été sélectionné comme le plus approprié pour l'analyse qualitative pour déterminer la susceptibilité de glissement. Les résultats de la sensibilité de glissement de classer des cartes de zonage de la zone des trois îles en tant qu'environ 4 % grande sensibilité, 40 % de la sensibilité moyenne, et 56 % peu sensible.

4.4.1 Introduction

Le glissement de la sensibilité d'une région est généralement définie comme la probabilité de survenance d'un glissement de terrain, qui peuvent être basées sur des informations empiriques ou modélisés (Lepore et al. 2011). Lorsque les conditions qui favorisent l'instabilité des pentes sont identifiées, il peut être possible de donner une évaluation qualitative ou une mesure semi-quantitative sur la sensibilité des glissements de terrain pour la zone considérée (Varnes et IAEGC 1984). Cette approche de la susceptibilité de glissement de la zonalité suppose implicitement que les glissements se produisent avec la même probabilité et dans les mêmes conditions qui ont conduit à l'instabilité du sol passées et présentes. Cependant, les facteurs géomorphologiques qui génèrent des glissements d'une région particulière peut varier au fil du temps, et les cartes de zonage doivent être interprétées avec prudence.

Le pays des Comores se compose des îles de Grande Comore, Anjouan, et Mohéli, qui sont d'origine volcanique mais à différents stades d'évolution géologique dans le développement. Le plus jeune est Grand Comore, avec deux volcans bouclier de la grille et le Mont Karthala. Datation géochimique de l'île donne à l'initiation du volcanisme d'aussi loin que 0,13 Ma (mega-an), et c'est encore grâce à de fréquentes éruptions volcaniques géologiquement du Mont Karthala. Pour Anjouan, la datation géochimique des couches de sol d'érosion post-donne l'ouverture du volcanisme entre 1,5 et 0,4 Ma. Et pour l'île de Mohéli, l'initiation de volcanisme sur l'île a été datée à 2,8 à 0,62 Ma. (Charmoille 2013; Esson et al 1970; Fleur 1972; Späth et al 1996)

La morphologie des îles est similaire à ceux formés par d'autres volcans boucliers, tels que l'Hawaïan volcanoes, à différents stades de croissance et de l'érosion (Okal et al. 2009). Les caractéristiques du sol varient d'une île à l'autre, qui est une conséquence de leur formation géologique et l'altération au fil du temps. Anjouan et Mohéli tous deux avoir des portions de sol ciment marqué par l'érosion, tout en Grand Comore a moins de variation dans l'allègement marqué avec support pour 2 361 mètres la hausse Karthala. (Abdoulkarim et Soule 2011)

4.4.2 La susceptibilité de glissement

La zonation de susceptibilité de glissement est basée sur des méthodes pour identifier et obtenir les corrélations entre les facteurs inducteurs de glissement et les zones où des glissements de terrain ont été



enregistrées. En général, les causes profondes de l'instabilité des pentes sont bien connus d'études de cas de défaillance spécifique. Ces facteurs inducteurs de glissement : hydraulique, géomorphologique, hydrologique et des caractéristiques.

4.4.3 Bref résumé des méthodologies

Les méthodes d'évaluation de la susceptibilité de glissement d'une zone donnée ont évolué au fil du temps. L'applicabilité de chaque méthode varie en fonction de la qualité et la quantité des informations disponibles. Les deux premières méthodes présentées dans cette section, l'analyse technique et la méthode qualitative, sont présentées à titre de référence et n'ont pas été finalement utilisé pour la susceptibilité de glissement de l'analyse de la zonation des Comores. Au lieu de cela, la troisième démarche présentée, le rapport de fréquence, la méthode a été choisie comme la méthode la plus appropriée pour le glissement de la zonation de sensibilité que l'analyse basée sur les sources de données disponibles et de l'information pour les Comores.

L'analyse d'ingénierie

Si plus d'information géotechnique (sol plate profil) est disponible, alors l'analyse d'ingénierie classiques peuvent être utilisées pour déterminer la susceptibilité d'une région à des glissements de terrain. Une méthode numérique utilisée pour l'évaluation de l'instabilité des pentes pour un site spécifique est l'utilisation de l'analyse technique, qui calcule un facteur de sécurité contre le mouvement de masse en faisant glisser en utilisant le site, les caractéristiques du sol, adulte, et pertinente de l'information hydrologique. Les données requises pour effectuer une analyse technique détaillée n'était pas disponible pour les Comores au moment de l'écriture, c'est pourquoi cette méthode n'est pas utilisé pour la présente enquête.

Méthode qualitative

Si un site n'est pas approfondi des données sur les sols propres au site, puis le glissement de la sensibilité peut également être estimée en utilisant les méthodes qualitatives qui tiennent compte des facteurs (p. ex., pente de la surface du sol, utilisation des terres, etc.) qui correspondent à des zones où les glissements de terrain ont été enregistrées. Un exemple d'une méthode qualitative est celle qui affecte un système d'évaluation numérique à différents facteurs contributifs qui sont ensuite pondérées et combinées pour évaluer le potentiel de glissement (1984 IAEGC et Varnes (SL). Bien que la méthode qualitative considère glissement typique des facteurs induisant, il ne considère pas explicitement historique fréquence des glissements de terrain et est finalement pas utilisé pour la présente enquête

Méthode Rapport de fréquence

La méthode d'analyse de sensibilité de glissement choisis pour la présente enquête est le rapport de fréquence approche (Lepore et al. 2011). Cette méthode est conditionné sur l'historique des informations de glissement,

comme leur emplacement, pente, et total superficie du glissement. Chaque glissement-inducteur dans une zone de glissement de terrain est considéré comme historique et est évaluée individuellement. Chaque facteur est alors reclassé dans une série de bacs (p. ex., pente de la surface du sol en incréments de 5°) en vertu d'une appréciation. Pour une région donnée, si la surface totale est *une*, et la partie où les glissements de terrain se sont produits est *AL*, puis le rapport de fréquence est calculée pour chaque bac de chaque facteur comme *F_{fi}* :

$$F_{fi} = \frac{\frac{A_{L|fi}}{A_L}}{\frac{A_{fi}}{A}}$$

où *AL* | *fi* et *A_{fi}* sont les parties de glissements de terrain et la superficie totale (*AL* et *A*) avec le facteur caractéristique *f* ayant une valeur de facteur dans une plage de bin *i*.

Les valeurs de *F_{fi}* sont interprétées par rapport à 1. *F_{fi}* < 1 signifie qu'il y a proportionnellement moins de superficie du glissement d' *f* dans bin *je* qu'il n'y a de superficie totale d' *f* dans bin *j*., ce qui indique que le facteur caractéristique *f* est moins susceptible de contribuer à l'instabilité des pentes. Lorsque *F_{fi}* ~ 1, le pour cent de la zone de glissement de terrain avec *f* caractéristique bin *i* est à peu près égale à la proportion de la superficie totale avec la caractéristique *f* dans bin *i*. Si l' *IFF*, > 1, alors il y a un plus grand pourcentage de superficie du glissement d' *f* dans bin *je* que dans la zone totale d' *f* dans bin *je*, qui indique une propension de la caractéristique *f* facteur de conduire à l'instabilité des pentes et des sols l'échec.

Après l'obtention d' *information* pour chaque facteur caractéristique *f* dans chaque bac *i*, la sommation sur tous les facteurs provoquant des glissements de *f* et tous les bacs *i*, est effectué pour obtenir l'indice de sensibilité (SI) pour la susceptibilité de glissement de la zonation.

$$SI = \sum_{f=f_i}^{f_k} \sum_{i=1}^{n_f} F_{fi}$$

Les valeurs plus élevées de SI indiquent une plus forte propension d'une zone de rupture du sol. Cette méthodologie est bien adapté pour une application dans les régions avec des données à résolution variable maillées, comme les Comores.

4.4.4 Sources des données

Afin de développer la sensibilité de glissement de zonage pour les îles des Comores, d'une base de données spatiales de divers facteurs contributifs pour les trois îles a été construit à partir de l'information publique disponible et à partir des données fournies par le client. La base de données spatiale comprend l'altitude, la pente, l'orientation, les distances aux routes, la couverture du sol, utilisation des terres, glissement historique, inventaire et descriptions des sols à partir des cartes du sol, et la classification des sols. Pas toutes les données

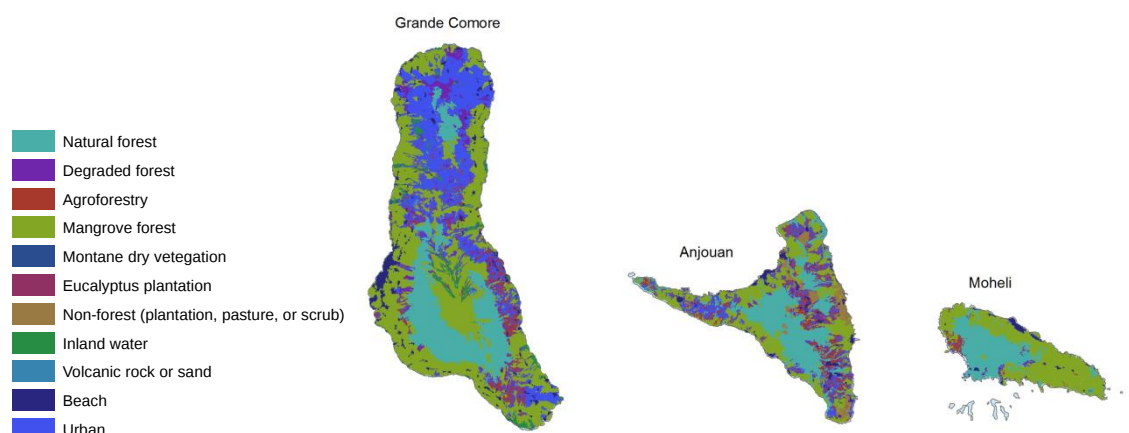
ont été adaptés pour une utilisation dans l'analyse, mais ils sont répertoriés ici pour indiquer leur considération. Les sources de données incluent :

1. Route des lieux à partir de cartes topographiques à partir d'un projet par le PNUD Comores 2014 (Institut Géographique National 1993, les images de Google Earth, et des levés GPS). Par l'utilisation de logiciels de SIG, un raster contenant la distance euclidienne à la route la plus proche a été calculée pour chaque cellule de trame (90 m de résolution).
2. Carte de l'utilisation des terres de l'archipel des Comores (île de Grande Comore, Anjouan, et Mohéli) développés dans le cadre du projet d'impliquer la communauté Développement Durable (pharmacodépendance) à partir des images satellite haute résolution par le PNUD Comores 2014 (La Figure A.82). Les renseignements sur l'utilisation des terres a été traité par les logiciels de SIG à partir de fichiers de forme à 90 mètres de résolution.
3. L'USGS Institut de la couverture terrestre (LCI) pour 0,5 km de MODIS Climatologie de Global Land Cover http://landcover.usgs.gov/global_climatology.php (Broxton et al. 2014) (**Error! Reference source not found.**). Grâce à l'analyse, il a été constaté que cette couverture terrestre a donné des résultats plus uniformes que les renseignements sur l'utilisation des terres à partir de la PNUD Comores 2014, et donc la couverture terrestre a été sélectionné en tant que facteur de la méthode rapport de fréquence.
4. 90 données SRTM mètre [Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL3 SRTM 90m Global_GL3) ; Farr et al. 2000 ; loin et al. 2007 ; Kobrick, 2006 ; Rosen et al. 2000] (**Error! Reference source not found.**)
5. Descriptions des sols à partir de cartes historiques numérisées par PNUD Comores (2014) pour Grand Comore (1:50 000 9 1977,) et Anjouan (1:100 000, Institut de recherche scientifique de Madagascar - sol de 1951) (La Figure A.85 Et La Figure A.86). La description des sols pour les fichiers de Grande Comore et Anjouan îles ont été traitées par les logiciels de SIG à 90 m de résolution des images raster. Aucune information n'a été fournie pour l'île de Mohéli. Ces données n'étaient pas utilisés pour le rapport de fréquence d'analyse afin de produire la zonation cohérente résultats obtenus dans les trois îles.
6. Les données de la base de données harmonisée des sols du monde à 1km x 1km résolution (FAO et al. 2012) (**Error! Reference source not found.**). Bien que cette base de données contient des données pour les Comores, sa classification des sols grossiers résolution rend impropre à la méthode d'analyse sélectionnée (c.-à-d. Grand Comore est répertorié avec seulement une classification des sols).
7. Glissement précédent ont été numérisés à partir de chiffres dans le rapport : "Etude de vulnerability aux Aléas Climatiques et Géologique en Union des Comores", par Ahmed Abdoukarim et Hamidi Soule, Centre des Opérations de Secours et de la Protection Civile, Union des Comores, Projet COSEP / PNUD # 00069668. L'estimation des zones de glissement et d'endroits ont été numérisées par le biais

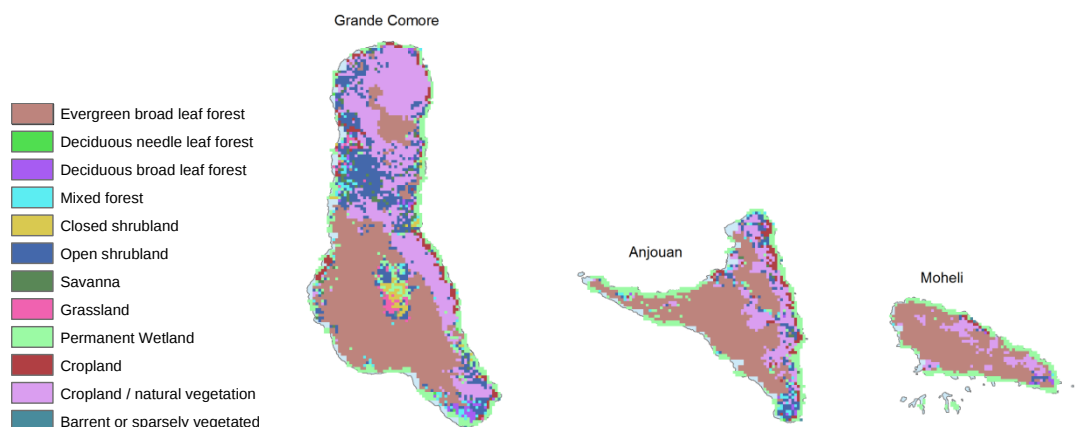
de logiciels de SIG et converti en 90 m de résolution des images raster. Informations sur l'emplacement et les zones de glissements historiques est nécessaire dans cette analyse pour déterminer la susceptibilité de glissement à travers le rapport de fréquence de zonation méthode. (Error! Reference source not found.)

Dans la littérature, il est connu que les glissements de terrain peuvent également être induits par des tremblements de terre, de fortes précipitations, des inondations. Renseignements pour ces facteurs inducteurs de glissement est fondé sur les données à 1 km de résolution générée par ce projet, de l'information publique disponible n'avait pas suffisamment de la qualité des données ou la résolution d'être pris en considération pour le rapport de fréquence méthode. La période de retour de 500 ans d'accélération maximale du sol sismique, la période de retour de 100 ans accumulées de cyclone tropical, les précipitations et la période de retour de 100 ans à partir de la profondeur d'inondation non-précipitation des cyclones tropicaux ont été évalués avec la méthode du coefficient de fréquence et les résultats ont été inspectés. Sur la base des données actuellement disponibles dans les trois dangers, le glissement-inducteur basé sur terre tremblement accru l'efficacité de la sensibilité corporelle (SI), tandis que le glissement-induction de facteurs de précipitation des cyclones tropicaux et non tropicaux inondations cyclone avait un effet. Notez que les flux provenant des éruptions volcaniques ne sont pas pris en compte dans l'analyse.

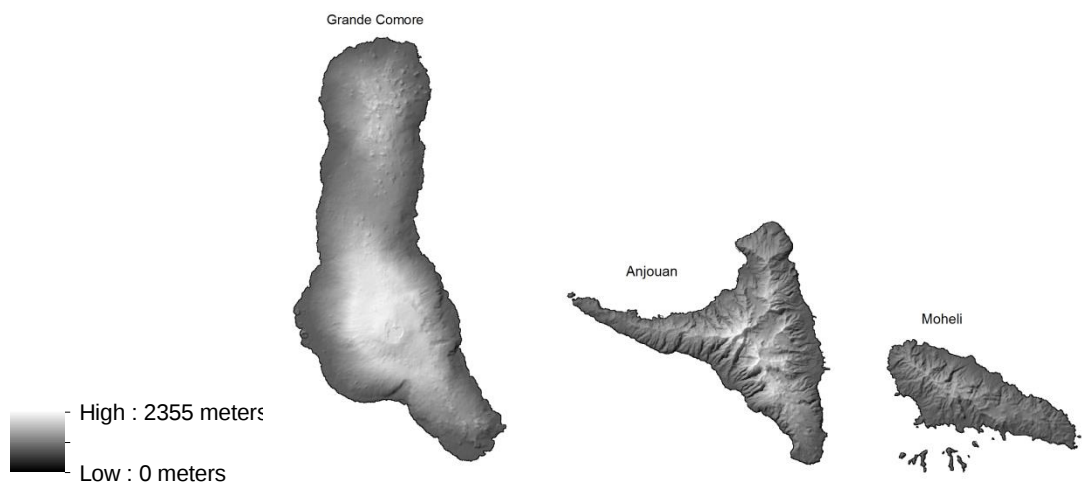
Comme les ensembles de données obtenues directement des images raster sont utilisés à leur résolution native pour la susceptibilité de glissement de la zonation. Ensembles de données qui n'étaient pas sous la forme d'images raster sont rééchantillonnés à 90 m de résolution square taille des cellules à travers les logiciels de SIG. En raison des différentes résolutions et de différentes sources d'information, pas tous les jeux de données se chevauchent de façon uniforme. Par conséquent, il faut veiller lors de l'interprétation des résultats de susceptibilité de glissement de carte de zonation, en particulier près des frontières des îles où les ensembles de données peut être incompatible en raison d'une qualité de résolution.



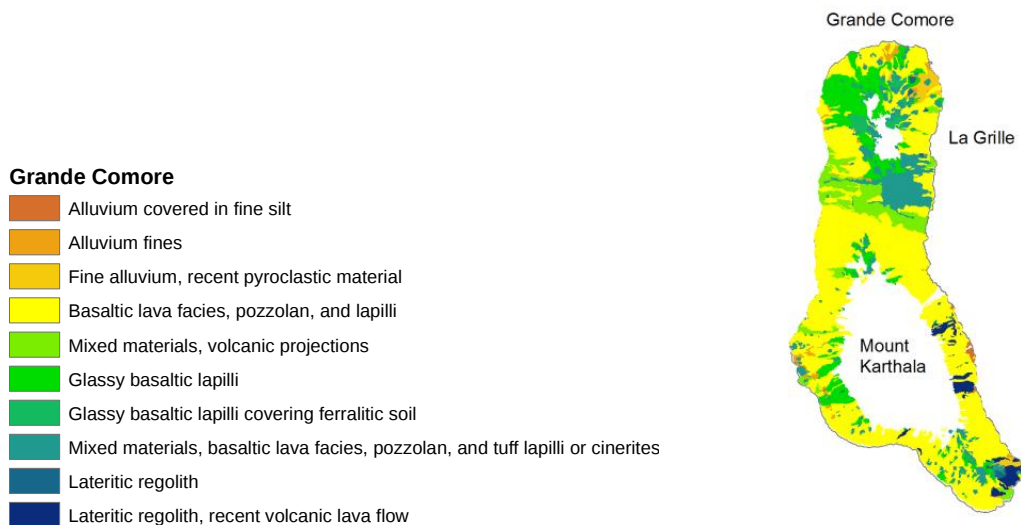
La Figure A.82 Carte de l'utilisation des terres de l'archipel des Comores (île de Grande Comore, Anjouan, et Mohéli) développés dans le cadre du projet d'impliquer la communauté Développement Durable (pharmacodépendance) à partir des images satellite haute résolution (PNUD Comores 2014)



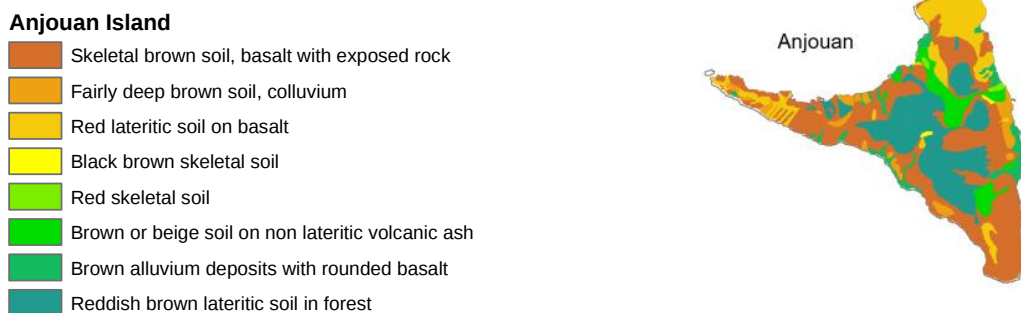
La Figure A.83 Site de 0,5 km de MODIS Global Land Cover Climatologie de l'Institut de la couverture terrestre de l'USGS



La Figure A.84 Données SRTM 90 mètres de résolution (Shuttle Radar Topography Mission SRTM, GL))



La Figure A.85 L'île de Grande Comore descriptions du sol. Les espaces blancs indiquent les domaines de l'information aucune et coïncident avec l'emplacement des deux volcans boucliers de la grille et le Mont Karthala. (PNUD Comores 2014)



La Figure A.86 L'île d'Anjouan descriptions du sol (PNUD Comores 2014)



La Figure A.87 Les données de la base de données harmonisée des sols du monde (FAO et al. 2012).



La Figure A.88 Emplacements des glissements précédents pour l'Union des Comores sont indiqués en brun (2011) Soule et Abdoukarim

4.4.5 Les hypothèses et les limites de la méthodologie et des données

Les hypothèses et les limites sont brièvement décrites dans cette section et sont destinés à guider l'utilisateur à propos de futures améliorations de façon sélective les analyses de glissement à l'aide d'une meilleure qualité des données d'entrée. Dans ce cas, sur la base des sources de données disponibles, le rapport de fréquence méthode fournit la méthode la plus appropriée pour l'exécution d'une susceptibilité de glissement de l'évaluation d'aléas.

Méthode Rapport de fréquence

Le rapport de fréquence méthode est un modèle à deux variables qui implique l'analyse de deux variables pour déterminer leur relation empirique pour calculer la sensibilité de glissement par unité de surface. Strictement parlant, le modèle bivarié assume l'indépendance conditionnelle de ses variables, et le rapport de fréquence méthode est également fondée sur cette hypothèse d'indépendance conditionnelle, à l'égard de la probabilité d'occurrence de glissement. Bien que certaines variables peuvent être corrélées, il n'y a pas suffisamment d'informations disponibles pour confirmer la corrélation et de l'indépendance de chaque variable considérée est supposée.

Bien que les limitations des données sources sont mentionnées précédemment, il convient de rappeler que le glissement de la zonation de sensibilité analyse est fortement dépendante de la qualité des sources de données et d'informations historiques disponibles glissement. Le glissement de terrain disponible pour les Comores d'inventaire est nécessairement un sous-ensemble de glissements précédent et soumis aux aléas de l'observation humaine et le financement. Des méthodes décrites par Malamud et al. (2004) pour l'étude des inventaires de glissements de terrain et de leurs propriétés statistiques ont été appliquées à l'inventaire des glissements de terrain historique pour les Comores. Par l'inspection de leurs domaines et les fréquences, il a été conclu que, bien que la taille de certains de ces glissements peuvent être plus grandes que celles étudiées dans Malamud et al. (2004), l'inventaire des glissements de terrain disponible pour les Comores fournit encore une représentation raisonnable des glissements de terrain historiques des îles. Les résultats de la méthode du ratio fréquence appuyer cette conclusion.

4.4.6 Résultats et discussion

Les paramètres utilisés dans l'analyse étaient les 1) la pente, 2) la courbure, l'altitude, 3) la distance des routes, 4) l'occupation du sol, 5) Période de retour de 500 ans, l'accélération maximale du sol, 6) Période de retour de 100 ans accumulées de cyclone tropical, les précipitations et 7) Période de retour de 100 ans à partir de la profondeur d'inondation non-cyclone tropical des précipitations. Chaque paramètre individuel a été séparée en différents bacs de classement, chaque unité de surface (par pixel) raster a ensuite été classée comme une zone de glissement de terrain ou une zone de glissement de terrain sur la base de l'inventaire historique de glissements sur les trois îles. Par exemple, le paramètre de pente a été divisé en 10 bacs différents de $0^\circ < X \leq 5^\circ$, $5^\circ < X \leq 10^\circ$, etc., avec le 10e bin de $45^\circ < X$, où x est la valeur de la pente à ce pixel. De cette manière, le rapport de fréquence Ffi a été calculé pour tous les paramètres et chacun de leurs silos.

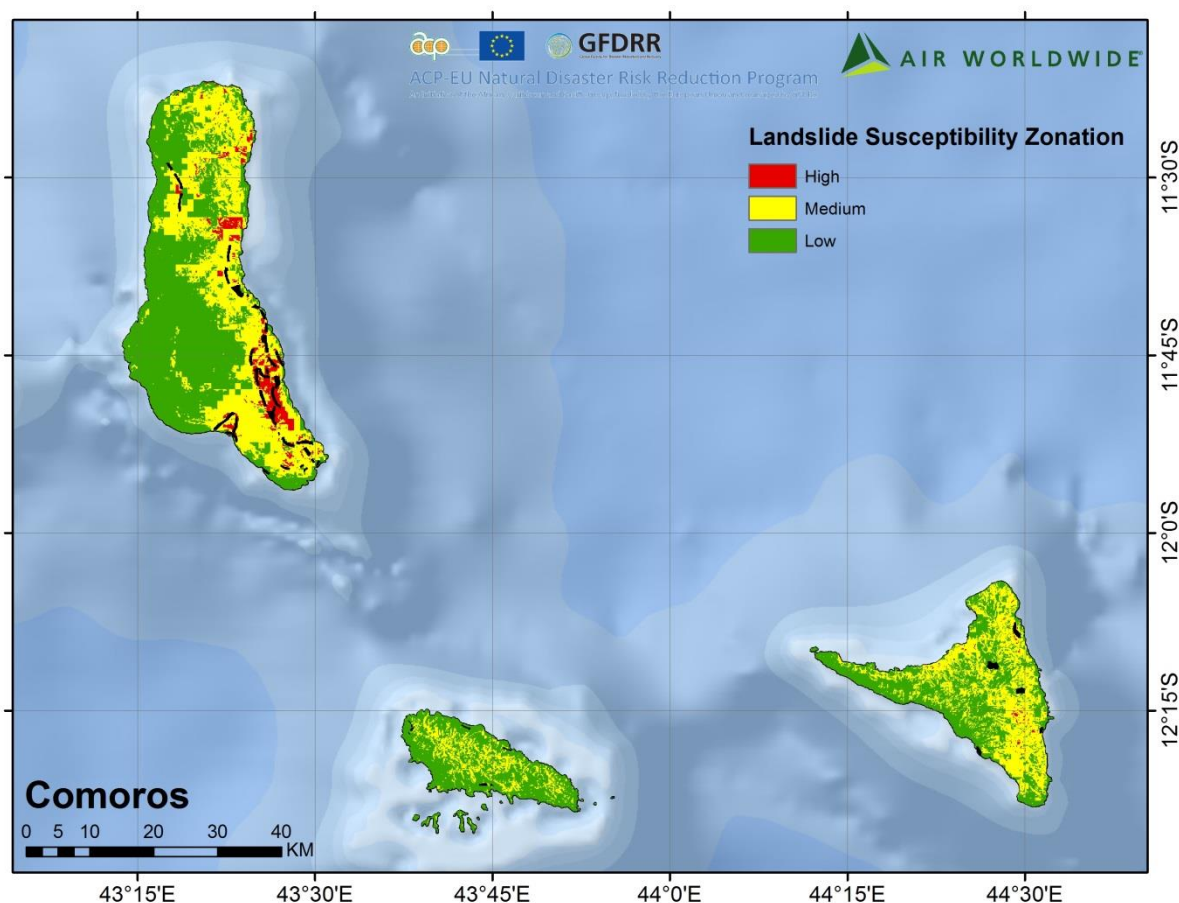
L'indice de sensibilité SI a été ensuite calculé à partir de la fréquence des rapports pour chaque unité de surface pour chaque île et les résultats divisé en catégories de haute, moyenne et faible sensibilité de glissement. Les catégories de haute, moyenne et basse sont basées sur la moyenne $\bar{x}$ et l'écart-type σ de la SI les valeurs. SI les valeurs inférieures à la moyenne $\bar{x}$ sont classés comme "faible", si la sensibilité des valeurs entre la moyenne $\bar{x}$ et $\bar{x} + 2\sigma$ sont classés comme "moyenne", et si les valeurs au-dessus de $\bar{x} + 2\sigma$ sont classées comme "élevée" de

la sensibilité. Un autre pas a été franchi à filtre comme peu sensible l'unité des régions qui ont été moins de 3° d'angle de la pente, comme c'est la pente minimale où les glissements sont attendus (Solomon et al. 2004).

La proportion de la superficie totale des Comores et de la région de glissements historiques qui se trouvent à l'intérieur de chaque catégorie de sensibilité est présentée à Tableau A.11. La deuxième colonne indique que les Comores ont 4 % de sa superficie à l'intérieur de la zone de grande sensibilité, 40 % dans la catégorie de sensibilité moyenne, et 56 % à l'intérieur de la zone de sensibilité faible. La troisième colonne indique que 27 % des glissements historiques se sont produits dans des zones de sensibilité, 52 % se sont produits dans les zones de sensibilité moyenne à, et 18 % ont eu lieu dans les zones de sensibilité faible. Alors que les zones de haute et moyenne écrasante sensibilité ne représentent que 41% de la superficie totale des Comores, ils capturent environ 82% des zones de glissement historiques, assurant une bonne validation de la méthode de rapport de fréquence. Voir La Figure A.89 Pour le glissement de la carte de zonage de la sensibilité avec l'historique des glissements de terrain.

Tableau A.11 Comparaison des proportions de zones à l'intérieur de haut, moyen et faible sensibilité de glissement pour les îles et les glissements de terrain

<i>Catégorie</i>	<i>Comores Zone (%)</i>	<i>Zone de glissement historique (%)</i>
Haut	4	27
Moyennes	40	55
Bas	56	18



La Figure A.89 La susceptibilité de glissement de zonage pour les Comores par island avec glissements historiques illustré en noir (90 m x 90 m de résolution)

Comme prévu, le glissement de la carte de zonage de la sensibilité dépend de caractéristiques spécifiques de la topographie du sol local. Abdoukarim et Soule (2011) ont signalé que les glissements sur Anjouan et Mohéli ont affecté notamment les routes où le terrain a de très fortes pentes. Cependant, certains glissements existants sur Mohéli ont également été observés dans les zones à aléa de glissement inférieur près de la côte.

Par exemple, un glissement récent sur Mohéli en mars 2014 près d'une longueur de la route nationale qui a été récemment construite a été induite par un séisme modéré (Mansourou 2015). La route est construite à proximité d'une section de forte inclinaison des sols qui est à environ 2 kilomètres de la ville de Ouallah situé dans la région du sud-ouest de Mohéli (La Figure A.90) et est situé dans une zone de glissement faible susceptibilité, selon le rapport de fréquence méthode.

Il est possible que certains glissements ont été causés par des actions anthropiques où la topographie a été modifiée, qui ne sont pas nécessairement capturés par la méthode du coefficient de fréquence. Le rapport de fréquence méthode dans cette analyse prend en compte la pente, courbure, l'altitude, la distance aux routes, et la couverture du sol et dépend de la source de données vintage, mais ne tient pas compte des modifications récentes dans la topographie.



La Figure A.90 Site affecté environ 2 kilomètres de la ville de Ouallah 1 à Mohéli (Source : Mansourou, 2014)

4.4.7 Conclusion

Dans cette enquête, un rapport de fréquence a été mise en œuvre de la méthode d'élaboration des cartes de zonage de la sensibilité de glissement pour l'Union des Comores. Les cartes qui en résultent montrent le potentiel de glissement relatif pour les trois îles de la Grande Comore, Anjouan, et Mohéli. Les résultats de la sensibilité de glissement de carte de zonage doivent être interprétées avec prudence, comme la sensibilité est fonction de l'Index et vintage qualité de l'entrée des sources de données. Toutefois, la carte de zonage peut être utilisée pour l'identification des régions à aléa élevé, et d'autres enquêtes sur le terrain pour l'analyse peut être menée de noter où et comment les efforts d'atténuation peuvent être appliquées.

L'atténuation d'aléas de glissement peut être abordée en considérant l'impact de l'urbanisation et la sensibilité inhérente de la topographie. Les établissements informels peuvent par inadvertance être construites sur des zones à aléa, et leurs habitants peuvent exacerber la situation en perturbant les sols en pente pour le logement

des fondations ou des cultures. Ces mesures d'atténuation peut alors inclure la construction des murs, le déplacement d'habitants à moindre aléa endroits, ou de changer les méthodes agricoles.

4.4.8 Références

- Abdoulkarim, A. et Soule, H. (2011). *Etude de vulnérabilité aux aléas climatiques et géologique en Union des Comores, Centre des opérations de secours et de la Protection civile*. Projet PEEAC / PNUD no 00069668, Développement des capacités de gestion d'aléas de catastrophes naturelles et climatiques, en Union des Comores (en français)
- Bommer, J.J., Rolo, R., Mitroulia Berdousis, A., et P., (2002). *Les propriétés géotechniques et de stabilité des talus sismiques les sols volcaniques*, les actes de la 12ème Conférence européenne sur le génie parasismique, Référence Papier 695, Barbican Centre, Londres, Royaume-Uni, du 9ème-13ème Septembre
- Broxton, P.D., Zeng, X., Sulla-Menashe, D., et de Troch, P.A. (2014). *Une climatologie global land cover avec les données MODIS*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 53, 1593-1605
- Mervelier, A. (2013). *Ebauche du fonctionnement hydrogéologique de l'île d'Anjouan (Comores) : Typologie des ressources en eau disponibles et la discussion sur l'impact de la déforestation*. Bristol Conservation et Science Foundation, de l'engagement communautaire pour le Développement Durable, (en français)
- Diko, M.L., Ekosse, G.E., Ayonghe, S.N., et Ntasin, E.B. (2012). *Caractérisation physique et géotechniques des sédiments meubles associés à la 2005 Mbonjo glissement, Limbe, Cameroun*. International Journal of Physical Sciences, 7(20), 2784-2790
- Diko, M. L., Banyini, S.C., and Monareng, B.F. (2014). *La susceptibilité de glissement sur les pistes sélectionnées dans Dizanani, province du Limpopo, Afrique du Sud*. Jambá : Journal officiel des études d'aléas de catastrophe, 6(1), l'article # 101
- Nseignement, J., fleur, M.F.J., Strong, D.F., Upton, et B.G.J. Wadworth W.J. (1970). *La géologie de l'archipel des Comores*. Geological Magazine, 547-549
- La FAO et l'IIASA/ISRIC/ISS-CAS/CCR, 2012. Base de données harmonisée des sols du monde (version 1.2). FAO, Rome, Italie et de l'IIASA, Laxenburg, Autriche. Extrait le 18 mars 2015 à partir de <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/index.html?sb=1>
- Farr, T., G. et Kobrick, M. (2000). *Shuttle Radar Topography Mission produit une foule de données*. Eos, transactions American Geophysical Union, 81(48), 583-585
- Farr, T., G. et al., 2007. *La Shuttle Radar Topography Mission*. Examen de la géophysique, 45(2), RG2004
- Fawcett, T., 2006. *Une introduction à l'analyse ROC*. La reconnaissance des lettres, 27, 861-874
- Fleur, M.F.J. (1972). *Pétrologie des roches volcaniques de l'archipel des Comores, Anjouan*. Bulletin de la volcanologie, 36, 238-250
- Hong, Y., Adler, R., et Huffman, G. (2007). *L'utilisation de données satellitaires de télédétection dans la cartographie de la sensibilité globale des glissements de terrain, l'aléas naturels*, 43 (2), 245-256

- Hürlimann, M., Ledesma, A., et Martí, J. (2001). *Caractérisation d'un résiduel dans le sol volcanique et ses implications pour les grands phénomènes de glissement : application à Tenerife, Îles Canaries*. La géologie de l'ingénieur, 59, 115-132
- Hürlimann, M., Martí, J., et Ledesma, A. (2004). *Les aspects géologiques et morphologiques liées à de grands talus sur les îles océaniques, l'énorme La Orotava glissements sur Teneife, Canaries*, la géomorphologie, 62, 143-158
- Hürlimann, M., 1999. *Analyse géotechnique de grands glissements de terrain volcanique : l'ACIM événements sur Tenerife, Canaries*, un mémoire présenté à l'Université technique de Catalogne, Barcelone, 228 pp.
- Kitutu, M.G., Muwanga, A., Poesen, J., et le juge, Deckers (2009). *Influence des propriétés du sol sur des occurrences de glissement de terrain dans le district de Bududa, est de l'Ouganda*. African Journal of Agricultural Research, 4(7), 611-620
- Kobrick, M., 2006, *sur les orteils de géants--comment SRTM est né*, Ingénierie photogrammétrique et de la télédétection, 72, 206-210
- Larsen, M.C., et Torres-Sánchez, A.J. (1998). *La fréquence et la distribution des récents glissements de terrain dans trois régions tropicales de montagne de Puerto Rico*. La géomorphologie, 24, 309-331
- Lepore, C., Kamal, S.A., Shanahan, P., et de bras, R.L. (2011). *Glissement de terrain induits par la pluie la zonation de susceptibilité de Porto Rico*. De la Terre Sciences de l'environnement, Numéro spécial (25 février 2011)
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., et Reichenbach, P. (2004). *Les inventaires de glissement et leurs propriétés statistiques*. Les processus de surface de la terre et de relief, 29, 687-711
- Mansourou, A. 2015. *L'évaluation d'aléas de tremblement de terre et glissement de terrain sur l'île autonome de Mohéli en Union des Comores, le Croissant-Rouge comorien*, 55 pp.
- Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C. et Jaedicke, C. (2006). *Glissement global et les points d'avalanche*. Les glissements de terrain, 3, 159-173
- Okal, E.A., Fritz, H.M., Sladen et, A. (2009). *2004 Enquêtes Sumatra-Andaman Tsunami dans les îles des Comores et la Tanzanie et régional Tsunami Hazard de Future Sumatra événements*. South African Journal of Geology, 112, 343-358
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I.R., Fuk, K.L., Madsen, S.N., Rodriguez, E., et R.M. Goldstein, 2000. *L'interférométrie radar à synthèse d'ouverture de la procédure*, de l'IEEE, 88, Numéro 3, pp. 333-382
- Solomon, B.J., histoire, N., I. Wong, Silva, W., Gregor, N., Wright, D., et McDonald, G. (2004). *Dangers tremblement de scénario pour un tremblement de terre M7 sur le segment de Salt Lake City de la zone de faille de Wasatch, Utah*. Geological Survey Utah, 111DM Étude spéciale

Späth, A. Le Roex, A.P., et Duncan, R.A. *La géochimie des laves de l'archipel des Comores, Océan Indien occidental: Pétrogenèse et manteau région source caractéristiques*. Journal officiel de la pétrologie, 37(4), 961-991

Takahashi, T., et Shoji, S. (2002). *Distribution et classement des sols de cendres volcaniques*. Global Environmental Research, 6, 83-97

Urías, HQ, Garcia, H. et Mendoza, JSP 2007 *Détermination de la relation entre les précipitations et les périodes de retour d'évaluer l'aléas d'inondation dans la ville de Juarez, au Mexique*, Session 5 des Actes de la Conférence UCOWR le 24 juillet 2007, le papier 47

Pnud Comores. 2014 *Rapport : modélisation de la base de données GDB-COMORES, Projet : Intégration de la réduction d'aléas de catastrophes dans les politiques en vue de réduire la pauvreté en Union des Comores*

Varnes, DJ et IAEGC (l'Association internationale du génie Commission Géologie). (1984). *Glissement de terrain dangereux zonation: Un examen des principes et de la pratique*. Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

Wahlstrand, A., 2015. *Les changements physiques et chimiques de la terre végétale et de glissement de l'évaluation de sensibilité en milieu tropical* pour Naturgeografi , Art, Stockholms Universitet, Licentiatavhandling Naturgeografi,

5 Annexe B - Base de données conséquence

La conséquence est une collection de tous les impacts signalés à des catastrophes naturelles dans le sud-ouest de l'océan Indien pour les nations insulaires des Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar. Dans le contexte de la conséquence des données, considérées comme des "impacts" : victimes, les populations affectées, et de pertes financières. La base de données est divisée en deux sections principales, (1) aléas météorologiques des cyclones tropicaux et des inondations, et (2) les dangers géologiques de séismes et glissements de terrain (Comores).

5.1 Suite Base de données pour les cyclones tropicaux et les inondations

5.1.1 Sources des données

La conséquence des données d'aléas naturels qui se sont produits dans le sud-ouest de l'Océan Indien (SWIO) pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar ont été recueillis auprès de diverses sources. SWIO La région est exposée à de multiples dangers, mais pas tous au même niveau de gravité. Les événements naturels considérés dans la base de données comprennent des conséquences des cyclones tropicaux et d'autres événements connexes, tels que les tempêtes et les inondations. La conséquence base de données présente les résultats d'un effort de collecte de données complète et la base de données est considérée comme un inventaire complet des événements enregistrés qui a eu un impact significatif sur la population dans la région du SOOI. La plupart des données recueillies pour la base de données a été agrégées à partir d'un certain nombre de grandes bases de données sur les catastrophes, qui sont mis à la disposition. Ces grandes bases de données comprennent :

1. Les événements d'urgence (la base de données EMDAT, 2016) mis à jour par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED) à l'École de santé publique de l'Université Catholique de Louvain, situé à Bruxelles, Belgique.
2. L'Archive active des grandes inondations maintenue par le Dartmouth Flood Observatory (MPO, 2016), qui couvre la période 1985 - 2015.
3. Le Glide (2016) initiative (numéro d'identification mondial), initialement proposé par le Centre asiatique de prévention des catastrophes (ADRC).
4. "ReliefWeb," un service en ligne (ReliefWeb, 2016) fournies par OCHA (United Bureau national des affaires humanitaires) qui surveille les sites Internet des organisations internationales et non gouvernementales, les gouvernements, les institutions de recherche et les médias pour les nouvelles, les rapports, communiqués de presse, appels, documents de politique, des analyses et

- des cartes relatives aux urgences humanitaires dans le monde entier (par exemple, les rapports de l'ONU, des mises à jour de la FICR, OCHA rapporte etc.).
5. La Catastrophe Informations Archives développé et maintenu par le Centre asiatique de prévention des catastrophes (2016). ADRC a été créé en 1998 à Kobe, Hyogo prefecture, avec la mission d'améliorer la résilience face aux catastrophes des 29 pays membres.
 6. L'Association nationale hongroise de la radio et Distress-Signaling Infocommunications (RSOE) exploite les services d'information d'urgence et de catastrophe (EDIS)
 7. Le système d'inventaire des catastrophes - DesInventar (2016)
 8. La meilleure voie internationale Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) : Unifier le cyclone tropical meilleur suivi des données.

5.1.2 Explication de la base de données Les données et les champs de données

Plus de 170 entrées d'événements uniques de cyclones tropicaux, les inondations et l'aléas secondaires ont été recueillies et compilées à partir des sources susmentionnées. Chaque événement a enregistré un effet notable sur la population ou des dommages à l'inventaire des bâtiments. De nombreuses entrées, en particulier ceux des événements très dommageable, contiennent des données provenant de sources multiples, et, comme prévu, des écarts existent pour les données quantitatives, notamment les pertes économiques. Par conception, les écarts ont été conservés et chaque morceau de données dans la base de données est par conséquent correctement référencé. L'analyse de l'information dans la conséquence base de données n'a pas été entrepris et, par conséquent, les événements avec des numéros d'identification uniques au sein d'une source de données qui sont chronologiquement proche ou qui se chevauchent n'ont pas été éliminés. Cette conséquence de données représente une collection complète de l'événements historiques importantes déclarées (par exemple, les cyclones tropicaux, les inondations et l'aléas secondaires) mais n'est pas un enregistrement complet de toutes les occurrences dans l'histoire de ces cinq pays.

L'interdépendance entre les cyclones tropicaux et des inondations est indéniable. En plus des dégâts causés par le vent, de nombreux cyclones tropicaux causent des dommages et la perte de l'inondation. Les cyclones tropicaux qui ne touche terre peut encore passer assez près de terre pour produire des événements de précipitations importantes, en termes de nombre de vies perdues ou des dommages à l'infrastructure économique et l'agriculture. Pour séparer les différents types d'événements en deux catégories (par exemple, les cyclones tropicaux et les inondations d'événements), des événements qui cite le nom des cyclones tropicaux dans leurs sources de données (p. ex. Omm) sont classés comme les cyclones tropicaux ("TC Flag"), bien que l'inondation peut ont également abouti. Les exceptions à cette ligne directrice subjective des cas où l'événement est spécifiquement identifiés comme étant un événement d'inondation par la source de l'information (p. ex., l'initiative 1100) Malgré le chevauchement avec une nommée cyclone tropical. Les événements qui ne sont pas

catégorisés comme un cyclone tropical event ("Drapeau TC") sont classés comme une inondation ("FL flag"), et sont soit spécifiquement mentionnée ou décrite comme une inondation. Cette méthode n'est pas une analyse rigoureuse et représente une catégorisation approximative d'après les données disponibles.

Les sources citées dans le précédent article rapport généralement un bref résumé de la conséquence en cas de catastrophe (p. ex., nombre de personnes touchées et/ou le nombre de vies perdues), et certains comptes sont strictement qualitatives (p. ex., "cultures ont été endommagées"). Pour chaque entrée de la base de données à partir de la conséquence, chaque champ est agrégée pour tenir compte de l'effet total d'un sinistre (y compris les événements ou les effets secondaires) et, en général, la plupart ou tous les dommages se produisent dans le pays énumérés. Pour les événements concernant les cyclones tropicaux, les pertes sont agrégés par événement ; des détails précis sur les pertes relatives sont notées pour certains événements (p. ex., les dommages causés à l'infrastructure). La principale conséquence des champs de données de la base de données sont décrites ci-dessous :

- **Les personnes touchées** - une mesure de l'estimation du nombre de personnes touchées par l'événement. Les personnes touchées sont celles qui se sont retrouvés sans abri, blessés, déplacés, évacués, ou perturbés (p. ex., touchées par la perte de services publics) par le péril.
- **Les personnes déplacées** - un sous-ensemble du nombre de personnes touchées, cela indique le nombre de personnes nécessaires pour quitter leur résidence en raison du danger, comme celles évacuées ou déplacées.
- **Les dommages économiques** - l'estimation de l'impact économique total de l'événement consiste en des dommages directs (p. ex., les dommages causés à l'infrastructure, les cultures, de logement). Perte estimée est généralement indiqué en dollars américains (USD), correspondant à la perte monétaire au moment de l'événement (p. ex., le courant nominal/USD). Les données rapportées en monnaie locale sont convertis de façon appropriée par l'utilisation de tarifs pour les (time-of-événement) dates sur la base de renseignements fournis par des contributeurs de données [par exemple, la Banque mondiale (2015) taux de change officiel]. Les pertes sont déclarés comme le coût monétaire au moment de l'événement. Une ventilation des pertes (p. ex., les pertes par secteur, comme le secteur social, le secteur privé, et de l'infrastructure), les pertes de récolte, et des bureaux pour les décès et dommages de construction peuvent être disponibles pour les événements où l'évaluation détaillée des rapports ont été publiés [p. ex., Office des Nations Unies des Affaires Humanitaires (OCHA) Rapport de situation].
- **Décès** - Le nombre total de personnes mortes ou disparues, présumé mort à la suite de l'événement, y compris les décès dus à la famine, blessure ou maladie.
- **Bâtiments détruits** - Le nombre total de bâtiments (généralement répertorié comme "maisons") ont déclaré d'être détruit par l'événement. Maisons partiellement détruites sont également catalogué.

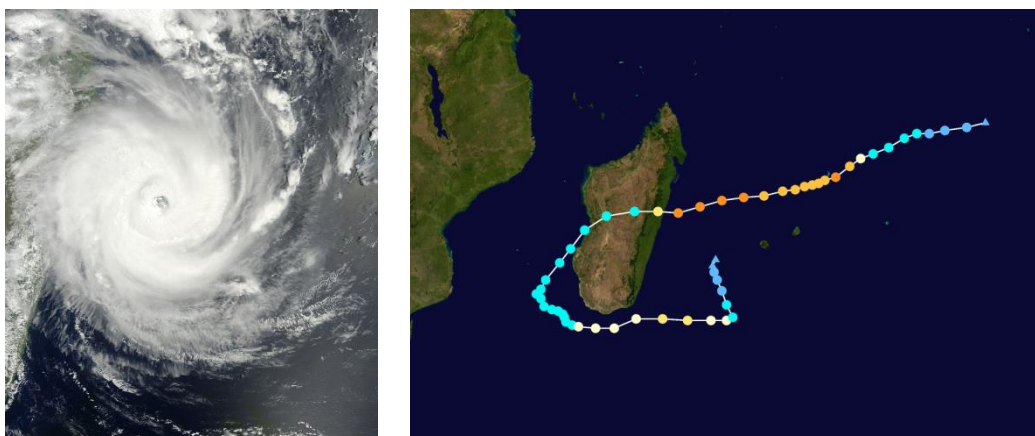
- **Drapeau TC** - un indicateur que l'événement est cité comme un cyclone tropical ou un typhon par les sources de données, sauf si contre-indiqué par la source de données (p. ex., l'alignement de l'initiative).
- **FL flag** - un indicateur qui inclut les événements qui ne sont pas signalés par le drapeau "TC" et comprend les événements qui sont cités ou décrits comme des inondations, des crues subites, ou classés comme sources de données par l'inondation.
- - Effet d'une description, comme les inondations, flashflood, glissement, et/ou de tempête d'illustrer les effets de l'événement. Ces quatre catégories sont également séparés en colonnes pour faciliter l'identification. Chaque danger (par exemple, inondation, tempête, inondation, glissement de terrain) et a sa propre en-tête de colonne et peut être filtré avec le "oui" pour chaque événement. Notez que "inondation" fréquemment mais pas toujours un cyclone tropical accompagne l'événement. Cette absence peut être une omission involontaire d'informations provenant des sources de données et ne sont pas nécessairement une indication de l'absence d'inondation.

5.1.3 Discussion des événements importants

La région sud-ouest de l'Océan Indien subit fréquemment des inondations causées par les cyclones tropicaux et les précipitations de mousson. La conséquence notable de la base de données répertorie les cyclones tropicaux et les inondations. Certains événements récents et sont brièvement discutées dans cette section

Le Cyclone tropical Giovanna (2012)

Le cyclone tropical intense Giovanna a commencé comme une dépression tropicale Le 9 février 2012, tel que rapporté par le CMRS de la réunion, Météo-France. Dans les prochains jours, la tempête s'intensifier et de renforcer rapidement à une catégorie 4 (SSHS) cyclone qui a touché terre sur la côte est de Madagascar à Andovoranto le 13 février, 2200 UTC. Il a ensuite traversé l'ouest avec des vents très violents (230 km/h à 180 km/h) et ramené en eaux libres le 15 février cercle de Madagascar vers le sud et l'est pour ensuite se dissiper à l'Est de Madagascar le 21 février (La Figure B.1). Des inondations et des vents violents ont causé des dommages importants dans l'Est et le centre de Madagascar ; environ 44 129 maisons ont été détruites et près de 250 000 personnes ont été touchées par le cyclone tropical. Le cyclone a tué au moins 35 personnes et blessé 284. Dommages à l'infrastructure économique et l'agriculture a été estimé à 100 millions USD (untrended).



La Figure B.1 Le cyclone tropical Giovanna (2012) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Giovanna Feb 13 2012 0630Z par la NASA image par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC ; (droite) Giovanna 2012 suivi par Keith Edkins - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]

Inondations dans les Comores (2012)

À partir d'avril 20-25, 2012, les Comores ont connu des précipitations torrentielles (1 738 mm au total) qui avait provoqué des inondations, glissements de terrain, et éboulements. Sur les trois îles de la Grande Comore, Anjouan, et Mohéli, l'approvisionnement en eau, l'électricité et les services de télécommunications ont été perturbés. Les principales régions concernées sont Bambao, Hambou, Mbadjini est en Grande Comore ; La LMSI et Domoni sur Anjouan et Mohéli sur Nioumachioi et Hoani. Par le 26 avril, le gouvernement des Comores a déclaré l'état d'urgence humanitaire d'urgence et des réunions de coordination ont eu lieu le 27. À partir de l'évaluation préliminaire en mai 2012, 64 987 personnes (9 % de la population) ont été directement touchées par les inondations. Un total de 14 000 personnes (1 800 familles) continuent à être déplacées et placés dans des centres de réinstallation ou d'habitations de la famille. Les dommages économiques ont été estimés à 20 millions de USD (untrended). ⁸

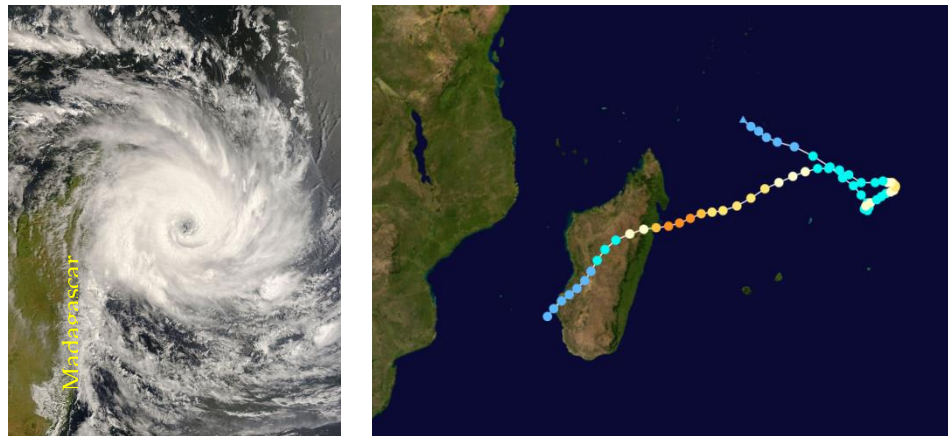
⁸ "Plan de relèvement rapide:" "Au début de l'Inondation 2012 Comores." L'Union des Comores, Moroni, Août 2012



La Figure B.2 (à gauche) l'inondation du Vovouni Village, avril 2012 et (à droite) a détruit Routes et ponts à Hambou, Grande Comore, avril 2012 (Source pour les photos : DGCS)

Cyclone tropical Ivan (2008)

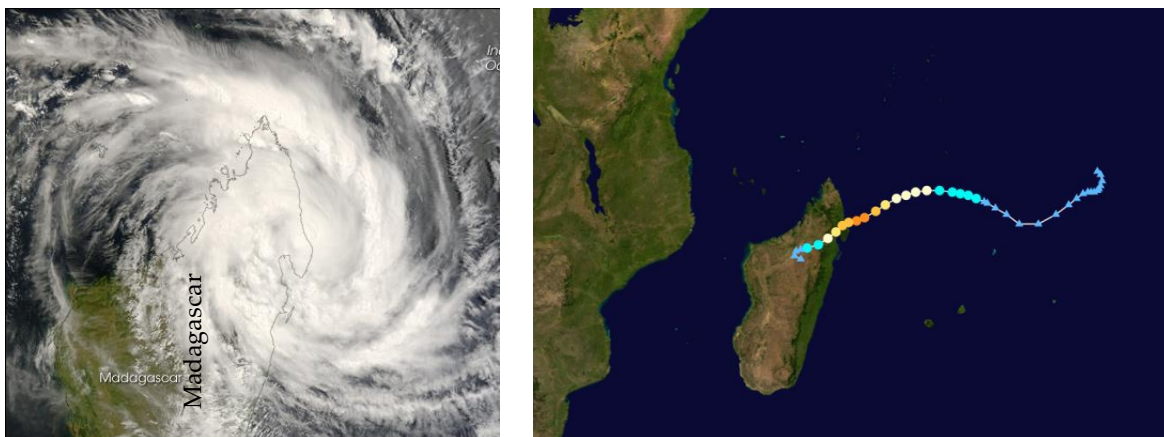
Cyclone tropical Ivan était l'un des plus destructeur des cyclones à Madagascar de grève. Le 17 février 2008, le cyclone a frappé la côte nord de l'Fanoarivo et a causé des dommages considérables à Sainte-Marie et dans le nord-est et nord-ouest de la partie continentale de Madagascar ; la pluie a continué pendant plusieurs jours après le cyclone. Environ 135 508 maisons ont été détruites et environ 300 000 à 500 000 personnes ont été touchées. Des destructions massives à l'électricité, l'eau, et des réseaux de communication a également été signalé. Rapports initiaux des dommages économiques ont été aussi élevés que 60 millions USD (untrended) ; toutefois, une évaluation des besoins après la catastrophe plus tard cette même année pour les cyclones Fame, Ivan et Jokwe a calculé une estimation totale des dommages et des pertes de 333 millions de USD (untrended) pour tous les secteurs. La majorité des dégâts est attribuée au cyclone tropical Ivan, que les cyclones Fame et Jokwe est avérée moins grave.



La Figure B.3 Cyclone tropical Ivan (2008) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Ivan 16 Feb 2008 0645Z par l'image de courtoisie de la NASA/MODIS EOSDIS, lance l'équipe de réponse rapide des terres, à la NASA GSFC ; (droite) Ivan 2008 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]

Le cyclone Indlala Tropical (2007)

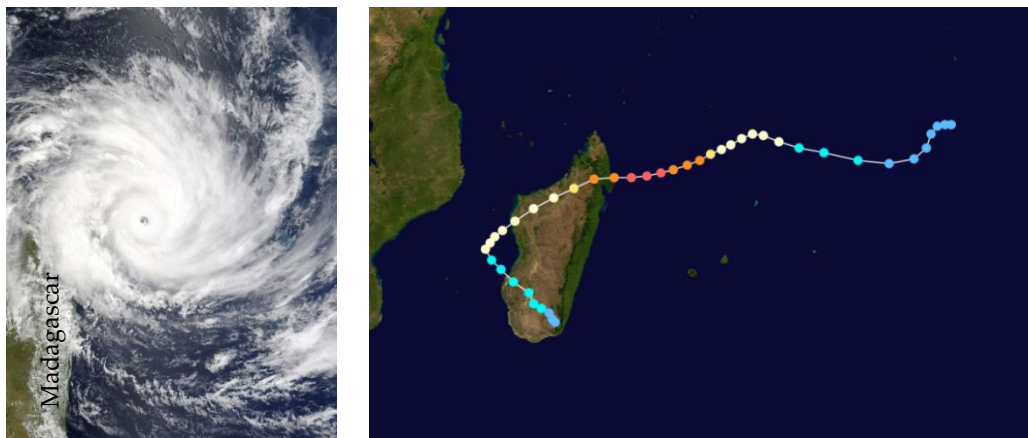
Le 15 mars 2007, le cyclone Indlala tropical a frappé la côte nord-est de Madagascar et à gauche des dommages considérables sur le nord-est et nord-ouest de régions. Les enregistrements existants indiquent que 150 personnes sont mortes, 126 personnes ont été blessées, et peut-être plus de 200 000 personnes ont été directement touchées par le cyclone. Le cyclone aurait causé un éboulement qui s'est effondrée toute une montagne, dont deux villages enfouis sous des tonnes de roche et tué 20 personnes. De vastes zones ont été inondées dans les villes de Sambava Antalaha et Maroantsetra dans le nord.



La Figure B.4 Le cyclone Indlala Tropical (2007) [Source : (à gauche) 15 mars 2007 Indlala par la NASA image par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC ; (droite) Indlala 2007 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]

Le Cyclone tropical Gafilo (2004)

Le cyclone tropical Gafilo était un très grand et violent cyclone tropical enregistré dans le sud-ouest de l'Océan Indien au cours de la saison 2003-2004. Le 7 mars, Gafilo a touché terre près de la partie nord-est de Madagascar, près de Atalaha avec 225 km/h de vent et puis est revenu le 8 mars comme une tempête tropicale dans le sud-ouest avant de se dissiper au-dessus de l'océan le 12 mars. Le nombre de personnes concernées est estimé à 774 000 à près de 1 000 000 par certaines bases de données sur les catastrophes. Au moins 216 581 personnes ont été déplacées par les inondations et les vents forts, et environ 363 personnes ont été tuées. 105 040 maisons ont été détruites, et le cyclone tropical infligé 250 millions de dollars de dommages (untrended) à Madagascar. L'île voisine nations n'étaient pas aussi affectées par Gafilo. Les Comores ont signalé 1 décès, et les Seychelles avaient au moins 9 maisons partiellement détruites.



La Figure B.5 Le cyclone tropical Gafilo (2004) et des tempêtes sur la droite. [Source : (gauche) Gafilo 2004-03-06 0655 UTC par la NASA, l'image de courtoisie, Jeff Schmaltz, MODIS Land EOSDIS LANCE/équipe d'intervention rapide, à la NASA GSFC ; (droite) Gafilo 2004 trajectoire - créé à l'aide de Wikipedia, les cyclones tropicaux/suit]

Les inondations à Madagascar (2003)

Par le 24 janvier 2003, de fortes pluies étaient tombées à Madagascar, pour au moins deux semaines et ont inondé les provinces d'Antananarivo, Antsiranana, Fianarantsoa, Mahajanga, Toamasina et. La pluviométrie a été enregistrée plus de 550 mm, ce qui est plus du double de la moyenne mensuelle pour le mois de janvier. Plus de 300 maisons ont été entièrement détruites et 25 500 personnes ont été touchées. Des rapports indiquent que 3 388 hectares de l'agriculture ont été endommagés. Trois digues et quatre ponts ont été détruits, et trois routes ont été coupées.



La Figure B.6 Les inondations de 2003, Madagascar. (Source : PNUD / Michel Matera)

5.1.4 Statistiques de la base de données

Cette section présente les principales statistiques de la base de données, avec pour conséquence l'intention principale de fournir un résumé des données sur les catastrophes enregistrées et de présenter un aperçu quantitatif de conséquences, de la considération d'aléas naturels (Tableau B.1). Plus de 170 entrées pour tous les cinq pays ont été enregistrées et plus de 90 entrées sont définies comme "catastrophique", qui est défini comme étant rapportés avec l'un ou l'autre au moins 10 000 personnes déplacées ou touchées, au moins 10 millions de dollars (USD) untrended dans les pertes, ou au moins 10 décès. Environ 80 % de la catastrophique entrées sont liées aux cyclones tropicaux ; les autres pour cent ont été classées dans la catégorie d'inondation. Notez que le nombre d'entrées fait référence à chaque pays. Lorsque progressant à travers la région SWIO, un cyclone tropical peut affecter plus d'un pays. Par exemple, si un cyclone tropical entraîne une perte de vie ou une perte économique pour les Comores et Madagascar, puis elle est prise en compte dans la base de données comme conséquence deux entrées en raison de son impact unique par pays.

Alors que la recherche de données pour la base de données de conséquence a été achevée en profondeur, les données pour chaque entrée peut-être pas exhaustive, car certains comptes de conséquence peuvent ne pas avoir été enregistrés régulièrement ou même rapporté. La qualité des données est particulièrement apparente dans les décennies précédentes, comme 1950-1959, où par exemple seulement 1 événement est enregistré pour les Comores, avec d'importantes pertes de vie pas encore de dommages économiques rapportés. Dans la base de données de conséquence, les données quantitatives pour les pertes économiques et les pertes de vie est rapporté que pour environ 56% et 57% des entrées de base de données, respectivement. Pourtant, la conséquence database est un outil utile pour évaluer l'impact d'événements importants, qui sont utilisés pour des fins de validation des modèles.

Pour les cinq pays des Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar, et plus de 12 millions de personnes ont été affectées par les cyclones tropicaux, les inondations et l'aléas secondaires depuis 1950. Pris

dans son ensemble, c'est une partie importante de la population pour ces cinq régions et est d'environ 45 % des quelque 27 millions de personnes qui vivent ici. A signalé des pertes économiques sont également importantes, s'élevant à plus de 7 milliards de USD (untrended) depuis 1950.

Lors de l'inspection des informations de conséquence par pays (tableau B. 2 au tableau B. 6) pour les cyclones tropicaux, les inondations et l'aléas secondaires, Madagascar a le plus grand nombre d'événements catastrophiques (57), le plus la perte de la vie enregistrée (3.067 décès), et la plus grande perte économique rapporté (5.497 millions USD, untrended) (Tableau B. 3). Tableau B.2 Tableau B.6 Tableau B.3 Maurice est le deuxième plus catastrophique, avec 23 événements catastrophiques, 442 morts, et 1 509 millions de USD (untrended) (Tableau B.4). Comores a un total de 9 événements catastrophiques, 671 vies perdues, et 85 millions de USD de pertes économiques (untrended) (Tableau B.2). Les Seychelles et Zanzibar ont relativement peu d'événements catastrophiques, malgré avoir Seychelles 26 événements total. Les Seychelles ont 2 événements catastrophiques, 23 vies perdues, et 13,5 millions de dollars en pertes économiques (untrended) (Tableau B.5). Zanzibar a les événements le moins, avec 2 événements catastrophiques, sans décès et pas de pertes économiques enregistrées (malgré une rapporté 20.000 maisons détruites). Comme indiqué précédemment, le nombre total d'événements dans chaque pays est le reflet de la fréquence de détresse et l'uniformité des rapports, donc l'aléa réel dans chaque région peut être sous-estimée dans cette liste en raison de la sous-déclaration.

Tableau B.1 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>(en millions de dollars USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	524	1	1
1960-1969	64	284	8	5
1970-1979	795	281	11	9
1980-1989	1 024	475	25	18
1990-1999	265	783	22	13
2000-2009	4,518	1 308	74	29
2010-2015	437	476	29	18

Tableau B.2 Résumé pour les Comores par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	524	1	1
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	1	1	0
1980-1989	43	54	6	5
1990-1999	0	67	1	1
2000-2009	0	3	4	0
2010-2015	43	22	3	2

Tableau B.3 Résumé pour Madagascar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	8	110	2	2
1970-1979	420	264	6	6
1980-1989	675	410	8	7
1990-1999	65	508	10	9
2000-2009	4,015	1 350	36	22
2010-2015	314	425	11	11

Tableau B.4 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	56	174	6	3
1970-1979	375	16	4	3
1980-1989	307	11	11	6
1990-1999	194	203	8	3
2000-2009	497	27	15	5
2010-2015	80	11	7	3

Tableau B.5 Résumé pour les Seychelles par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	7	5	3	0
2000-2009	7	0	17	1
2010-2015	<1	18	6	1

Tableau B.6 Résumé à Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux, inondations, et des dangers secondaires. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	0	0	0	0
2000-2009	0	0	2	1
2010-2015	0	0	2	1

5.1.5 Statistiques de la base de données des cyclones tropicaux

Comme observé dans Tableau B.7, les cyclones tropicaux ont tendance à avoir un effet plus important dans la région du SOOI en termes de pertes économiques et la perte de vie par rapport à l'impact de la non-cyclone des précipitations et des inondations. Dans la base de données suite aux cyclones tropicaux, il y a un total de 104 entrées qui ont été recueillies à partir des sources d'information mentionnées précédemment. Un total de 6 628 millions USD de pertes économiques connus sont enregistrés à partir de 1950-2015. Les tendances des pertes économiques ne sont pas immédiatement évidentes à partir de la conséquence base de données. Par exemple, bien que les pertes économiques sont les plus importants dans la décennie 2000-2009, la décennie précédente 1990-1999 a une plus petite perte économique par rapport à ses deux décennies de 1980-1989 et 2000-2009. De plus, bien que ne comprenant que 6 ans, la dernière décennie de partielle 2010-2015 montre une perte économique de 350 millions de USD (untrended), ce qui est sensiblement plus petit que la décennie précédente

de 2000-2009 (4 028 millions de USD, untrended). Le modèle ambigu dans les pertes économiques peuvent résulter d'un certain nombre de facteurs, tels que la qualité de l'enregistrements historiques, l'urbanisation, la construction ou la conformité avec les techniques résistantes aux catastrophes.

Pour Madagascar, 48 de ses 59 entrées sont des événements catastrophiques, avec une 5 327 millions USD de pertes économiques (untrended) et 2 943 vies perdues (Tableau B.9). Maurice a 19 événements catastrophiques, 419 morts, et 1 120 millions d'USD de pertes économiques (untrended) (Tableau B.10). Comores a 7 événements catastrophiques, 645 personnes ont été tuées, et 65 millions de USD de pertes économiques (untrended) (Tableau B.8). Et enfin, les Seychelles n'a que 1 événement catastrophique, avec une perte économique de 5,7 millions de USD (untrended) et pas de personnes tuées (Tableau B.11). Il n'existe pas, dans la base de données des conséquences, d'observations historiques concernant l'impact direct des cyclones tropicaux à Zanzibar.

Tableau B.7 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	524	1	1
1960-1969	64	284	8	5
1970-1979	795	280	10	9
1980-1989	1 024	457	23	16
1990-1999	256	778	16	12
2000-2009	4,028	1 292	34	21
2010-2015	350	392	11	11

Tableau B.8 Résumé pour les Comores par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	524	1	1
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	43	36	5	4
1990-1999	0	67	1	1
2000-2009	0	1	1	0
2010-2015	23	17	1	1

Tableau B.9 Résumé pour Madagascar par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	8	110	2	2
1970-1979	420	264	6	6
1980-1989	675	410	7	6
1990-1999	65	508	9	8
2000-2009	3,865	1 276	26	17
2010-2015	294	375	9	9

Tableau B.10 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	56	174	6	3
1970-1979	375	16	4	3
1980-1989	307	11	11	6
1990-1999	191	203	5	3
2000-2009	158	15	4	3
2010-2015	34	0	1	1

Tableau B.11 Résumé pour les Seychelles par décennie de la base de données suite aux cyclones tropicaux. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	0	0	1	0
2000-2009	6	0	3	1
2010-2015	0	0	0	0

5.1.6 Statistiques de la base de données des inondations

La conséquence d'inondations base de données contient 67 entrées qui ont été recueillies à partir des sources d'information mentionnées précédemment. Bien que la base de données est composée d'événements enregistrés à partir de 1977 et suivantes, la première perte économique est observé en 1995 de l'île Maurice. Au total, les pertes économiques sont connus 586,7 millions de USD (untrended 1990-2015). Dans la région, l'île Maurice est le pays qui a la plus grande perte économique enregistrée de 388,9 millions USD (untrended), 23 décès et 4 événements catastrophiques (Tableau B. 15). Tableau B.15 Madagascar est seconde, avec 9 événements catastrophiques, 170 millions de dollars US de pertes économiques (untrended), et 124 personnes tuées (Tableau B.14). Comores a 2 événements catastrophiques de 7 événements, 26 vies perdues, et des pertes économiques de 20 millions de USD (untrended) (Tableau B.13). Les Seychelles ont 1 événement catastrophique d'un total de 22 événements et connu une perte économique de 7,8 millions de USD (untrended) (Tableau B.16). La dernière région, Zanzibar, indique 2 événements catastrophiques et aucun décès et pas de pertes économiques recensées, mais on estime que 20 000 maisons ont été détruites dans la décennie 2000-2009 (Tableau B.17).

Tableau B.12 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. Décennie

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	1	1	0
1980-1989	0	18	2	2
1990-1999	10	5	6	1
2000-2009	490	88	40	8
2010-2015	87	84	18	7

Tableau B.13 Résumé pour les Comores par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. Décennie

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	1	1	0
1980-1989	0	18	1	1
1990-1999	0	0	0	0
2000-2009	0	2	3	0
2010-2015	20	5	2	1

Tableau B.14 Résumé pour Madagascar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. *Décennie*

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	1	1
1990-1999	0	0	1	1
2000-2009	150	74	10	5
2010-2015	20	50	2	2

Tableau B.15 Résumé à l'Ile Maurice par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. *Décennie*

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	4	0	3	0
2000-2009	339	12	11	2
2010-2015	46	11	6	2

Tableau B.16 Résumé pour les Seychelles par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. *Décennie*

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	6	5	2	0
2000-2009	1	0	14	0
2010-2015	<1	18	6	1

Tableau B.17 Résumé à Zanzibar par décennie de conséquence pour les non-base de données de précipitations et d'inondations. cyclone Pertes économiques ne sont pas de tendances. *Décennie*

<i>Décennie</i>	<i>La perte économique (\$ M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Events</i>	<i>Evénements catastrophiques</i>
1950-1959	0	0	0	0
1960-1969	0	0	0	0
1970-1979	0	0	0	0
1980-1989	0	0	0	0
1990-1999	0	0	0	0
2000-2009	0	0	2	1
2010-2015	0	0	2	1

5.1.7 Statistiques de la base de données des glissements

L'aléa secondaire de glissements de terrain a été enregistrée pour 16 entrées dans la base de données suite à la fois pour les cyclones tropicaux et les inondations de 1986 à 2014. Les sources de données ne font souvent pas le soin de décrire le phénomène secondaire, les glissements de terrain et n'incluent pas l'ampleur ou l'emplacement exact du glissement(s). La plupart de ces événements sont coulissantes associés à des inondations et cyclones tropicaux, à l'exception d'un cas de glissement des terres aux Comores en 2014 qui a été déclenchée en combinaison d'un événement sismique modérée puis cyclone tropical Hellen. La perte économique, la perte de vie, et d'autres conséquences des mesures ne sont pas attribués uniquement à des glissements et donc un tableau récapitulatif n'est pas générée pour les glissements de terrain induits par les cyclones tropicaux et d'inondation.

5.2 Suite Base de données pour les tremblements de terre et Tsunami

5.2.1 Sources des données

La conséquence des données d'aléas naturels qui ont eu lieu dans le sud-ouest de l'Océan Indien (SWIO) pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar ont été recueillis auprès de diverses sources. Bien que les tremblements de terre, les tsunamis et les éruptions volcaniques ne sont pas aussi fréquents que les cyclones tropicaux et les inondations pour ces cinq pays, la région du SOOI n'ont les impacts de ces événements historiques. La conséquence base de données présente les résultats d'un effort de collecte de données complète et la base de données est considérée comme un inventaire complet d'aléas naturels enregistrés qui a eu un impact significatif sur la population dans la région du SOOI. Les données recueillies ont été agrégées à partir d'un certain nombre de grandes bases de données sur les catastrophes et de rapports, qui sont disponibles au public. Ces bases de données comprennent :



1. Les événements d'urgence (la base de données EMDAT, 2016) mis à jour par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED) à l'École de santé publique de l'Université Catholique de Louvain, situé à Bruxelles, Belgique.
2. "ReliefWeb," est un service en ligne (ReliefWeb, 2016) fournies par OCHA (United Bureau national des affaires humanitaires) qui analyse les sites Web des organisations internationales et non gouvernementales, les gouvernements, les institutions de recherche et les médias des nouvelles, des rapports, des communiqués de presse, les appels, les documents de politique, d'analyse et de cartes relatives aux urgences humanitaires dans le monde entier (par exemple, les rapports de l'ONU, des mises à jour de la FICR, OCHA rapporte etc.).
3. Le système d'inventaire des catastrophes - DesInventar (2016)
4. National Oceanic and Atmospheric Administration (Centres nationaux d'Information Environnementale) (NOAA, 2016)

5.2.2 Explication de la base de données Les données et les champs de données

122 entrées conséquence de 22 tremblements de terre et les éruptions volcaniques uniques ont été compilées à partir des sources mentionnées précédemment pour la base de données des conséquences. Chaque entrée a enregistré un effet notable sur la population ou des dommages à l'inventaire des bâtiments ou les environs. Un événement peut avoir plusieurs entrées due à différents endroits avec des effets notables signalés (p. ex., 87 emplacements pour mesurer la hauteur des vagues du tsunami dans la région du SOOI du 2004 Mw 9.1 Sumatra séisme en Indonésie). Certaines entrées peuvent contenir des données provenant de sources multiples, et, comme prévu, des écarts existent pour les données quantitatives, comme nombre de bâtiments détruits. Par conception, les écarts ont été conservés et chaque élément d'information a été correctement référencé. L'analyse de l'information dans la conséquence base de données n'a pas été entrepris et, par conséquent, les événements avec des numéros d'identification uniques au sein d'une source de données qui sont chronologiquement proche ou qui se chevauchent n'ont pas été éliminés. Cette conséquence de données représente une collection complète de l'événements historiques importants (p. ex., les tremblements de terre, tsunamis, éruptions volcaniques et dangers secondaires) mais n'est pas un enregistrement complet de toutes les occurrences dans l'histoire de ces cinq pays.

Les séismes, les éruptions volcaniques, et les tsunamis sont liés ; par exemple, un tsunami peut être causé par un tremblement de terre qui est de nombreux kilomètres plutôt que par une source locale. Les entrées doivent être séparées en deux catégories, un "drapeau" Source locale a été désigné avec un "Y" pour indiquer si le tremblement de terre ou une éruption volcanique se produit dans la région des Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles, ou Zanzibar. Si le tremblement de terre ou une éruption volcanique se produit en dehors de cette région, puis le "drapeau" Source local est désigné par un "N" De plus, lorsqu'une entrée est spécifiquement décrit ou identifiés comme ayant provoqué un tsunami, puis elle est enregistrée comme un

tsunami entrée ("Y") dans la base de données des conséquences même si une hauteur de l'onde de n'a pas été enregistrée. Les entrées qui ne sont pas spécifiquement énumérés ou décrits comme provoquant un tsunami tsunami ne sont pas présentés comme des entrées. Cette méthode n'est pas une analyse rigoureuse et représente une catégorisation approximative d'après les données disponibles.

Les sources citées dans le précédent article rapport généralement un bref résumé de la conséquence en cas de catastrophe (p. ex., nombre de personnes touchées et/ou le nombre de vies perdues), et certains comptes sont strictement qualitatives (p. ex., "cultures ont été endommagées"). Pour chaque entrée de la base de données à partir de la conséquence, chaque champ est agrégée pour tenir compte de l'effet total d'un sinistre (y compris les événements secondaires/effets secondaires tels que les glissements de terrain), et généralement la plupart ou tous les dommages se produisent dans le pays énumérés. Pour les événements sismiques, les pertes sont agrégées par événement ; des détails précis sur les pertes relatives sont notées pour certains événements (p. ex., les dommages causés à l'infrastructure). La principale conséquence des champs de données de la base de données sont décrites ci-dessous :

- **Les personnes touchées** - une mesure de l'estimation du nombre de personnes touchées par l'événement. Les personnes touchées sont celles qui se sont retrouvés sans abri, blessés, déplacés, évacués, ou perturbés (p. ex., touchées par la perte de services publics) par le péril.
- **Les personnes déplacées** - un sous-ensemble du nombre de personnes touchées, cela indique le nombre de personnes nécessaires pour quitter leur résidence en raison du danger, comme celles évacuées ou déplacées.
- **Les dommages économiques** - l'estimation de l'impact économique total de l'événement consiste en des dommages directs (p. ex., les dommages causés à l'infrastructure, les cultures, de logement). Perte estimée est généralement indiqué en dollars américains (USD), correspondant à la perte monétaire au moment de l'événement (p. ex., le courant nominal/USD). Les données rapportées en monnaie locale sont convertis de façon appropriée par l'utilisation de tarifs pour les (time-of-événement) dates sur la base de renseignements fournis par des contributeurs de données [par exemple, la Banque mondiale (2015) taux de change officiel]. Les pertes sont déclarés comme le coût monétaire au moment de l'événement. Une ventilation des pertes (p. ex., les pertes par secteur, comme le secteur social, secteur privé, infrastructures), les pertes de récolte, et des bureaux pour les décès et dommages de construction) peuvent être disponibles pour les événements où l'évaluation détaillée des rapports ont été publiés [p. ex., Office des Nations Unies des Affaires Humanitaires (OCHA) Rapport de situation].
- **Décès** - Le nombre total de personnes mortes ou disparues, présumé mort à la suite de l'événement, y compris les décès dus à la famine, blessure ou maladie.
- **Bâtiments détruits** - Le nombre total de bâtiments (généralement répertorié comme "maisons") ont déclaré d'être détruit par l'événement. Maisons partiellement détruites sont également catalogué.

- **Source Local Flag** - un indicateur que l'événement est cité comme un événement local à proximité par les sources de données.
- **Drapeau du tsunami** - un indicateur que l'événement est cité comme un tsunami causé par les sources de données, (par exemple, la National Oceanic and Atmospheric Administration).
- **Effet** - une description, comme un tsunami ou un glissement de terrain, d'illustrer les effets de l'événement. Ces deux catégories sont également séparés en colonnes pour faciliter l'identification. Chaque danger (p. ex., un tsunami ou un glissement de terrain) a sa propre en-tête de colonne et peut être filtré avec le "Y" pour chaque événement. Notez que "tsunami" peut parfois mais pas toujours accompagner un séisme significatif événement. Cette absence peut être une omission involontaire d'informations provenant des sources de données et ne sont pas nécessairement une indication d'un manque de vague de tsunami.

5.2.3 Discussion des événements importants

La région sud-ouest de l'Océan Indien à l'occasion d'expériences et de séismes, tsunamis, éruptions volcaniques. Les conséquences des listes de base de données événements notables. Certains événements récents et sont brièvement discutées dans cette section.

Volcan Karthala (2005)

En 2005, deux grandes éruptions du mont Karthala sur Grande Comore 39 000 personnes touchées en avril et 245 000 personnes en novembre. La première éruption, le 16 avril, a poussé les nuages de fumée et de cendres dans le ciel qui les villages affectés dans le Dimani et Pidjani régions sur la partie orientale de l'île. Le jour suivant, jusqu'à 10 000 personnes ont fui leurs maisons pour se réfugier sur d'autres parties de l'île en cas de gaz et de coulées de lave. Au moins 720 réservoirs d'eau dans 36 villages ont été contaminés par des débris volcaniques et ont été considérés comme non potable. Plus tard la même année, la deuxième éruption encore prévue de cendres et de fumée, qui couvre de vastes zones de l'île de Grande Comore avec débris volcaniques, à savoir le sud est et le sud ouest de l'île et la capitale, Moroni. Des 245 000 personnes touchées par la fumée et les cendres dans 76 villages, 175 000 personnes n'avaient pas accès à l'eau potable en raison de la contamination de l'eau des réservoirs. L'inhalation de poussière volcanique a également touché beaucoup de gens en le rendant difficile de respirer librement.



La Figure B.7 (à gauche) de la nappe phréatique éruption du mont Karthala dans l'après-midi du 17 avril 2005 (Source : Daniel Hoffschir, Global Volcanism Program), et (à droite) le lac de lave formé dans le cratère du Mont Karthala Chahalé (Source : Hamid Soulé, volcan Karthala Observatory)

Séisme et tsunami de l'Océan indien (2004)

Le 26 décembre 2004, un séisme megatectonique avec un épicentre au large de la côte ouest de Sumatra, Indonésie, a déclenché une série de tsunami meurtrier le long des côtes des pays voisins avec des vagues jusqu'à 30 mètres. Plus de 4 000 kilomètres de l'épicentre, le pays des Seychelles a connu 2 décès, 105 maisons détruites, un possible 500 bâtiments endommagés, et 4 830 personnes touchées par le tsunami. Plusieurs hôtels et bâtiments ont été inondés, et l'inondation observée était de 1,9 mètres de hauteur à 50 mètres de distance à l'intérieur des terres à l'aéroport international de pointe Larue dans Mahe et 3 mètres à 250 mètres de distance à l'intérieur des terres dans la région de Baie Ste Anne, Praslin. Bien qu'aucun décès du tsunami ont été enregistrées pour l'île Maurice et Madagascar, après l'événement observations enregistrées qu'une hauteur maximale de l'eau de 3,8 mètres à 24 mètres à l'intérieur des terres pour une plage à l'île Maurice, et de 5,4 mètres à 28 mètres à l'intérieur des terres de Madagascar. À Madagascar, on estime que 1 000 personnes ont été déplacées, et à l'île Maurice, un village entier avec un nombre de personnes non enregistrées a été submergé par de grosses vagues. Il est mentionné qu'une perte économique importante en millions de dollars" a été subi par Maurice et que "considérable" des dégâts économiques a été subi par le tourisme, la pêche de Madagascar, et des infrastructures. Aucune victime n'a été enregistré pour les Comores et Zanzibar, bien que certains animaux et cinq canots ont été emportés. Après l'événement des enquêtes de terrain ont été menées à des endroits établis et l'amplitude de remontée (Jackson et al. 2005 ; Okal et al. 2006a ; Okal et al. 2006b ; Okal et al. 2009).



La Figure B.8 Les restes d'une route balayée par le tsunami (photo prise à partir de la section réparée).
(Source : M. de Vries, PNUE)

Séisme modéré et des glissements de terrain dans les Comores (2014)

Le 12 mars 2014, une ampleur modérée 4,8 séisme a frappé l'île d'Anjouan aux Comores. Cet événement a été suivi par de fortes pluies à partir de cyclone tropical Hellen. Bien que le tremblement de terre cause des dommages limités et aucun décès, les effets combinés de ces deux événements a provoqué l'affaissement et des fissures dans le sol, ce qui a conduit à l'évacuation de 3 030 personnes du village de Mahale, Anjouan, le 31 mars. Au début d'avril, des fissures dans le sol et les glissements de terrain qui en résultent, les routes, les bâtiments endommagés et l'approvisionnement en eau. L'une des routes fissurées et village Mahale passé érodé, coupant l'accès à la capitale pour quatre villages d'Harembo Handrouva Hajoho,,, et Jimlime (population d'environ 10 000 personnes). (UNICEF Comores 2014) (Figure B. 9)La Figure B.9

Le même événement sismique et de fortes pluies à partir de cyclone tropical Hellen a également provoqué des glissements d'environ 2 kilomètres de la ville de Ouallah dans la région du Sud-Ouest de Mohéli, aux Comores. Des fissures dans le sol de l'événement sismique induite et la saturation en eau du sol argileux sur le site de fortes pluies ont causé le blocage de l'autoroute construite récemment pour aurait été de 100 mètres. (La Figure B.10)



La Figure B.9 Glissement de terrain sur Anjouan, Comores, induite par le séisme modéré et le cyclone tropical Hellen (Source : Walter D. Mooney, USGS)



La Figure B.10 Glissement de terrain sur Mohéli, Comores, induite par le séisme modéré et le cyclone tropical Hellen (Source : Mansourou, 2014)

5.2.4 Statistiques de la base de données

Cette section présente les principales statistiques de la base de données, avec pour conséquence l'intention principale de fournir un résumé des données sur les catastrophes enregistrées et de présenter un aperçu quantitatif des conséquences de catastrophes naturelles (Tableau B.1). 22 tremblements de terre, tsunami, unique et les éruptions volcaniques ont été enregistrées pour le développement des Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar ; six d'entre elles ont été définies comme "catastrophique", qui est défini comme étant rapportés avec l'un ou l'autre au moins 10 000 personnes déplacées ou touchées, au moins 10 millions USD de pertes (untrended), ou au moins 10 décès. De ces événements catastrophiques, 4 événements sont causés par des éruptions volcaniques de Comores, 1 événement est d'un événement sismique aussi sur les Comores, et le reste est l'événement à partir d'un séisme local non originaires de l'Indonésie, Sumatra. Notez

que le nombre d'événements se rapporte à chaque événement unique qui peut causer de multiples entrées dans la base de données de conséquence. Si un tremblement de terre (ou autre événement) touche plus d'un pays ou d'emplacement, il est répertorié dans la base de données avec pour conséquence des entrées multiples.

Alors que la recherche de données pour la base de données de conséquence a été achevée en profondeur, les données pour chaque entrée peut-être pas exhaustive, car certains comptes de conséquence peuvent ne pas avoir été enregistrés régulièrement ou même rapporté. Par exemple, aucune conséquence connue les événements sont rapportés de 1910 à 1939, mais il n'est pas clair s'il n'y a pas eu d'événements importants ou si l'impact d'événements n'a pas été enregistrée ; et ainsi, aucune information disponible est généré à partir de bases de données sources. Cette région a également de nombreux séismes générés localement de petite ampleur, qui peut ne pas causer des dommages ou ont une conséquence enregistrés. La rareté des données conséquence endémique à cette région correspond à la moindre importance des séismes et éruptions volcaniques par rapport aux cyclones tropicaux et aux inondations. Dans la base de données de conséquence, les données quantitatives pour les dommages économiques sont signalés pour 1 événement (4,5% des événements); pour la perte de la vie, il est rapporté pour 4 événements (18% des événements). Pourtant, la conséquence database est un outil utile pour évaluer l'impact d'événements importants, qui sont utilisés pour des fins de validation des modèles.

Pour les cinq pays des Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar, on estime que 324 030 personnes ont été touchées par les tremblements de terre, éruptions volcaniques, tsunامي, et dangers secondaires depuis 1883. C'est environ 1 % de la population des pays combiné de près de 27 millions de personnes. Les pertes économiques sont de 30 millions de USD (untrended), ce qui représente 0,1 % de l'ensemble des pays" estime le produit intérieur brut à prix courants en USD. Cependant, il est supposé que tous les dommages économiques, a été parfaitement dépouillés et catalogué, ni signalée. Bien que le nombre de personnes touchées et dommages subis sont relativement petites, il existe encore de graves conséquences pour les personnes touchées par ces événements.

Tableau B.18 Résumé pour les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et Zanzibar par décennie de la base de données suite pour les séismes, tsunami, et les éruptions volcaniques. Pertes économiques ne sont pas de tendances.

<i>Durée</i>	<i>La perte économique (M USD)</i>	<i>Casualties</i>	<i>Nombre total de déclarations</i>	<i>Total des événements</i>	<i>Les événements graves</i>
Avant 1900	-	-	6	2	-
1900-1909	-	17	2	2	1
1910-1919	-	-	-	-	-
1920-1929	-	-	-	-	-
1930-1939	-	-	-	-	-
1940-1949	-	-	1	1	-
1950-1959	-	-	-	-	-
1960-1969	-	-	1	1	-
1970-1979	-	1	1	1	1
1980-1989	-	-	1	1	-
1991-1999	-	-	4	4	-
2000-2009	30	5	152	7	3
2010-2015	-	-	7	3	-

Lorsque inspecté sur une base par pays, certains modèles apparaissent dans les données. Comores et Maurice sont les deux pays où les tremblements de terre à proximité des sources locales ont généré suffisamment de secousses à observer, bien qu'avec aucun des dommages économiques. Les Comores sont le seul pays touché par l'éruption volcanique à l'intérieur de ses propres frontières, avec un total de 309 200 personnes touchées depuis 1977. Pour l'éruption volcanique à l'extérieur de la région du SOOI immédiate, tels que de Mt. Puyehue au Chili ou Mt. Krakatau en Indonésie, seul l'Ile Maurice et les Seychelles ont observations relevées dans les documents historiques. Madagascar n'a que 1 cas avec plusieurs entrées indiquant 55 endroits de l'onde de tsunami mesurées jusqu'heights et 1 décès résultant du tremblement de terre de Sumatra, Indonésie 2004 (Mw 9.1). Conséquence des données pour Madagascar concernant les séismes, volcans, tsunamis, ou des dangers secondaires n'est pas systématiquement enregistrée dans les documents historiques ou est naturellement rare. De même, les enregistrements de Zanzibar 7 endroits de l'onde de tsunami mesurée jusqu'à partir de la même hauteur 2004 Indonésie Tremblement de terre de Sumatra, mais n'a pas d'autres événements avec des conséquences associées. Maurice a 12 événements uniques et aucune perte de vie ou des dégâts économiques rapportés pour les deux sources d'événements locales et non locales. Les Seychelles ont été touchées par le

tsunami généré par les tremblements de terre jusqu'à l'extérieur de ses frontières, à savoir à partir de l'Indonésie, l'archipel des Chagos, région ou le Pakistan.

5.2.5 Statistiques de la base de données des glissements

Le danger de glissements secondaires n'a été enregistré pour une entrée pour le pays des Comores dans la base de données suite pour les séismes, tsunamis, éruptions volcaniques et autres dangers secondaires. Les éruptions volcaniques ne sont pas considérées comme des glissements de terrain pour cette étude. Cette unique entrée pour des glissements de terrain dans les Comores a été induite à la fois par un séisme modéré sur Anjouan et de la forte pluie du cyclone tropical Hellen en 2014. Pour plus de détails sur l'événement, reportez-vous à la section 3 décrit les événements significatifs.

5.3 Références

Centre asiatique de prévention des catastrophes (2015). Archive d'information sur les catastrophes, consultée en janvier et février 2015 par http://www.adrc.asia/latest_disaster.php

DesInventar (2016). Système de gestion de l'Information en cas de catastrophe, l'UNISDR (l'Office des Nations Unies pour la réduction d'aléas de catastrophe), récupéré en mai 2015 par <http://www.desinventar.net/country-list.html>

Le MPO (2016). G.R.Brakenridge, "Global Active Archive de grands événements de crue", Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, récupéré en mars 2015 par <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>

EMDAT (2016). La base de données internationale sur les catastrophes, récupéré le 28 mai 2015, et le 10 février 2016, à partir d'<http://www.emdat.be/database>

1100 (2016). Numéro de l'identificateur global, consultée en février et mars 2015, à partir d'<http://www.glidenumbers.net/>

Association nationale hongroise de la radio et d'Emergency-Signaling Infocommunications (RSOE) et les services d'information d'urgence et de catastrophe (EDIS) (2016), consulté en mai 2015 par <http://hisz.rsoe.hu/alertmap/index2.php>

Jackson, L.E., Jr., Barrie, J.V., Forbes, D.L., Shaw, J., Manson, G.K., et M. Schmidt (2005). «Effets des 26 Décembre océan indien de 2004 aux tsunamis dans la République des Seychelles,» Rapport du Canada-UNESCO Océan Indien Tsunami Expedition 19 Janvier - 5 Février 2005, la Commission géologique du Canada, Dossier # 4539, 73 pp.

Knapp, K., R., M. C. Kruk, D. H. Levinson, H. J. Diamond et C. J. Neumann, 2010 : la meilleure voie internationale Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) : Unifier le cyclone tropical meilleur suivi des données. Bulletin of the American Meteor. La société, 91, 363-376, extrait le 17 avril 2015

Mansourou, A. (2015). "L'évaluation d'aléas de tremblement de terre et Glissement de terrain sur l'île de Mohéli en autonome Union des Comores," Croissant-Rouge Comorien, 55 p. (En français)

La NOAA (2016). Les centres nationaux d'information environnementale, consulté en octobre 2015, à partir d'<https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>

Okal, E.A., Fritz, H.M., Raveloson, R., Joelson, G., Pančošková, P., et G. Rambolamanana (2006). «Étude sur le terrain Madagascar après la Décembre océan indien de 2004 Tsunami," Earthquake Spectra, 22 (S3), S263-S283.

Okal, E.A., Sladen, A., et E.A.S. Okal, (2006). "RODRIGUES, Maurice, et enquête sur le terrain des îles de la Réunion après la Décembre océan indien de 2004 Tsunami," Earthquake Spectra, 22 (S3), S241-S261.

Okal, E.A., Fritz, H. M., et A. Sladen (2009). "2004 Enquêtes Sumatra-Andaman Tsunami dans les îles Comores et la Tanzanie et régional Tsunami Hazard de Future Sumatra Événements," South African Journal of Geology, 112, 343-358.

ReliefWeb, un service numérique spécialisé de l'Office des Nations Unies pour la coordination des affaires humanitaires (2016), consulté en février, mars et avril 2015 et mars 2016 par <http://www.reliefweb.int>

L'UNICEF Comores (2014). "Réponse d'urgence à la catastrophe du tremblement de terre aux Comores," Rapport final SM140220, 19 pp.

A PROPOS D'AIR Worldwide Corporation

Dans le monde de l'AIR (AIR) est le responsable scientifique et le plus respecté des fournisseurs de logiciels de modélisation d'aléas et des services de consultation. La catastrophe de l'air fondée en 1987, l'industrie de la modélisation et des modèles d'aujourd'hui l'aléa de catastrophes naturelles et le terrorisme dans plus de 50 pays. Plus de 400 l'assurance, de la réassurance, financiers, les sociétés et les clients se fient sur les logiciels et services pour la gestion d'aléas de catastrophe, de l'assurance-titres liés, vent détaillées spécifiques à des sites et des analyses d'ingénierie sismique, la gestion d'aléas agricoles, de la propriété et de l'évaluation du coût de remplacement. L'AIR est un membre de la famille d'entreprises ISO et a son siège social à Boston avec des bureaux en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Pour plus d'informations, veuillez visiter le site www.air-worldwide.com.

