

La vulnérabilité physique au changement climatique comparée des petites îles du Sud-Ouest de l'océan Indien

Michaël Goujon, Jean-François Hoarau, Olivier Santoni

▶ **To cite this version:**

Michaël Goujon, Jean-François Hoarau, Olivier Santoni. La vulnérabilité physique au changement climatique comparée des petites îles du Sud-Ouest de l'océan Indien. Carnets de Recherches de l'océan Indien, 2021, 7. hal-03471461

HAL Id: hal-03471461
https://uca.hal.science/hal-03471461

Submitted on 8 Dec 2021

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

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

La vulnérabilité physique au changement climatique comparée des petites îles du Sud-Ouest de l'océan Indien

Michaël GOUJON[a], Jean-François HOARAU[b], Olivier SANTONI[c]

[a] CERDI, Université Clermont Auvergne, CNRS, michael.goujon@uca.fr

[b] CEMOI, TEPP, Université de La Réunion, jean-francois.hoarau@univ-reunion.fr

[c] CERDI et Fondation pour les Etudes et Recherches sur le Développement International, olivier.santoni@ferdi.fr

Résumé

L'objectif de cet article est d'évaluer de manière synthétique la vulnérabilité des petites économies insulaires (PEI) aux conséquences du changement climatique. Nous utilisons un indicateur composite de vulnérabilité physique au changement climatique (PVCCI pour Physical vulnerability to climate change index), développé à la Ferdi, que nous appliquons à un échantillon large de 250 économies dont 100 PEI souveraines ou affiliées. Nos résultats reflètent bien que les PEI sont structurellement exposées aux conséquences du changement climatique mais de manière hétérogène. Une illustration des résultats est donnée sur les PEI du Sud-Ouest de l'océan Indien.

Mots clés : Changement climatique, Indicateur composite, Petites économies insulaires

Codes JEL : O11, O13, O53

Abstract : The objective of this paper is to synthetically assess the vulnerability of small island economies (SIEs) to the consequences of climate change. We use a composite indicator of physical vulnerability to climate change (PVCCI), developed at Ferdi, which we apply to a large sample of 250 economies, including 100 sovereign or affiliated SIEs. Our results show that SEIs are structurally exposed to the consequences of climate change but in a heterogeneous way. An illustration of the results is given on the southwest Indian Ocean SEIs.

Keywords: Climate change, composite indicator, small island economies

1. Introduction

De nombreux travaux ont montré que les Petites Economies Insulaires [PEI] sont frappées par un ensemble de handicaps structurels lourds susceptibles d'entraver le processus de croissance et de développement soutenable (Guillaumont, 2010 ; Blancard et Hoarau, 2016a)[1], même si elles peuvent montrer pour certaines une relative résilience aux chocs. Cette forte vulnérabilité structurelle gagne encore en intensité lorsque l'on considère la nouvelle contrainte du changement climatique, les PEI se trouvant situées géographiquement pour une grande majorité d'entre elles dans la bande intertropicale et leur population et activité économique étant concentrées dans la zone côtière (GIEC, 2001 ; Nurse et al., 2014, Berrittela et al., 2006 ; Mycoo, 2017).

La vulnérabilité face au changement climatique dépend à la fois de la vulnérabilité physique (ou structurelle), renvoyant aux caractéristiques géographiques et climatiques du territoire, et d'une vulnérabilité historiquement « construite » liée à l'implantation humaine et au modèle économique choisi. Les PEI peuvent cependant montrer différents niveaux de vulnérabilité face aux différentes contraintes liées au changement climatique, ce que nous nous proposons de montrer dans cet article avec une illustration spécifique des PEIs situées dans la région sud-ouest de l'océan Indien.

La première étape consiste à mesurer de manière comparative la vulnérabilité physique des pays et territoires face aux conséquences du changement climatique. Pour ce faire, nous utilisons l'Indicateur de Vulnérabilité Physique au Changement Climatique [IVPCC] élaboré au cours des dernières années à la Fondation pour les Études et Recherches sur le Développement International [Ferdi] (Guillaumont et Simonet, 2011a, b ; Goujon et al, 2015, Closset et al, 2018, Feindouno et al, 2020). Cet indicateur mesure les principales conséquences physiques du changement climatique qui peuvent potentiellement affecter le bien-être et l'activité des populations, comme la montée du niveau de la mer, l'aridification, l'instabilité ou les chocs de pluviométrie et de température, et

[1] Plusieurs obstacles sont en cause : (i) les caractéristiques géographiques (petite dimension, éloignement, enclavement, exposition à des risques majeurs, fragilité des écosystèmes, etc.), (ii) le contexte historique (dépendance vis-à-vis de l'extérieur, relations privilégiées avec les anciennes tutelles coloniales, etc.), (iii) la situation sociale (moindre intensité et volatilité du capital humain, précarité du marché du travail, insécurité, etc.) et (iv) la structure économique (déséconomies d'échelle, étroitesse des marchés locaux, faible diversification des activités, coûts d'accès aux ressources extérieures, etc.).

l'activité cyclonique. Dans les dernières études de Closset et al. (2018) et Feindouno et al (2020), l'IVPCC est calculé pour 191 pays membres des Nations Unies. Reprenant la perspective adoptée dans Goujon et al. (2015), qui employait une version plus ancienne de l'IVPCC, nous avons appliqué l'IVPCC à un échantillon mondial élargi, augmenté de 59 territoires, principalement insulaires et affiliés (non-membres des Nations Unies), couvrant donc au total 250 pays et territoires (voir également Goujon et Hoarau, 2020). Dans cet échantillon, 100 pays et territoires sont des PEI.

Dans un second temps, nous utilisons les résultats du calcul de l'IVPCC pour analyser la vulnérabilité des îles situées dans le Sud-Ouest de l'océan Indien (Comores, Madagascar, Maldives, Maurice, Mayotte, La Réunion et Seychelles). Pour ce faire, nous croisons les résultats de l'IVPCC avec des éléments portant sur les modèles et niveaux de développement, ainsi que sur l'activité touristique, afin de proposer une analyse comparative de la vulnérabilité de leur modèle de développement face au changement climatique.

La suite de l'article est organisée de la manière suivante. La section 2 présente de manière détaillée la méthodologie de construction de l'IVPCC et ses résultats pour le groupe des PEI. La section 3 utilise ces résultats pour les îles de la région du Sud-Ouest de l'océan Indien pour proposer une analyse de leur vulnérabilité humaine et économique face au changement climatique. Enfin, la section 4 conclut.

2. Une mesure comparative de la vulnérabilité physique au changement climatique

2.1. L'indicateur de vulnérabilité physique au changement climatique : L'architecture globale

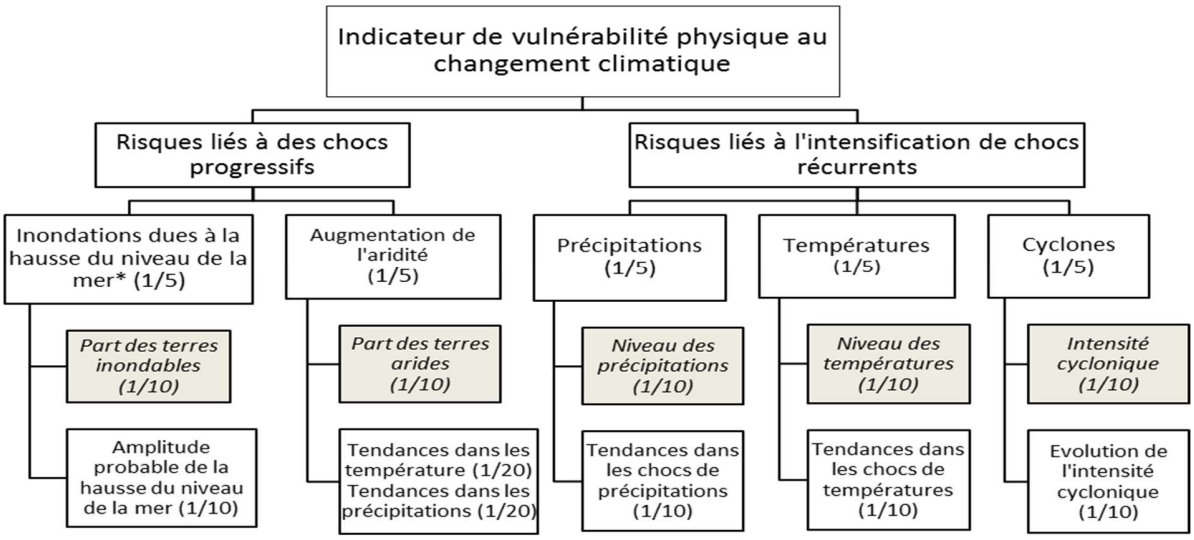
L'indicateur de vulnérabilité physique au changement climatique ou IVPCC (ou PVCCI pour *Physical Vulnerability to Climate Change Index*) a été élaboré au cours des dernières années à la Ferdi (Guillaumont et Simonet, 2011*a* et 2011*b* ; Guillaumont et Simonet, 2014, Guillaumont, 2015, Goujon et al, 2015, Feindouno et al, 2017, Closset et al, 2018, Feindouno et al, 2020)[2]. L'application de Goujon et al. (2015) portait déjà spécifiquement sur les PEI. L'IVPCC, en tant

[2] https://ferdi.fr/donnees/indicateur-de-vulnerabilite-physique-au-changement-climatique.

qu'indice physique, n'emploie que des variables géographiques et climatiques, donc exogènes. Il laisse de côté la vulnérabilité humaine ou économique ainsi que la résilience, souvent intégrées dans d'autres indicateurs, qui dépendent largement des choix de modèles économiques et des niveaux de développement. Il est donc particulièrement adapté pour une identification objective des pays vulnérables qui doivent ensuite faire l'objet d'une attention particulière de la communauté internationale, notamment pour l'allocation géographique des fonds internationaux pour l'adaptation au changement climatique. En l'absence de modèles de prévision fiables ou localisés avec une granularité suffisamment fine, il repose sur des tendances passées mais garde un caractère prospectif si l'on considère que ces tendances passées perdureront.

Les composantes de l'IVPCC saisissent deux types de risques liés au changement climatique (Figure 3), ceux qui correspondent à des chocs permanents, progressifs et irréversibles (risques d'inondations et d'aridité), et ceux qui correspondent à une intensification des chocs récurrents (chocs de température, précipitations et cyclones). Pour ces différents risques, les composantes évaluent l'amplitude probable des chocs et le degré d'exposition à ces chocs. Chaque composante peut, plus ou moins indépendamment du niveau des autres, être cruciale pour un territoire. La méthode d'agrégation doit donc refléter une substituabilité limitée entre les composantes, ce qui est possible avec l'emploi d'une moyenne quadratique. Ainsi, une île avec une large partie de son territoire en zone inondable et un pays aride souffrant d'une tendance à la hausse du niveau des températures auront tous deux une composante proche du maximum, et donc un IVPCC élevé.

Figure 1. L'IPVCC et ses composantes



Notes : * ou à la fonte des glaciers. Les deux dernières lignes correspondent respectivement à l'exposition (cellules ombrées, italique) et à la taille des chocs. Adapté de Closset et al. (2018).

2.2. Méthodes de calculs par composantes et agrégation

Les méthodes de calculs des composantes de l'IVPCC sont reprises de Closset et al. (2018) que nous avons pu marginalement adapter pour l'application à un échantillon élargi. Pour les « risques d'inondation », la méthode consiste à fixer une élévation critique et probable du niveau de la mer et d'en déduire la part du territoire affectée en utilisant la part du territoire situé en dessous de l'altitude correspondante. Il n'existe pas à l'heure actuelle d'estimation de l'élévation du niveau de la mer propre à chaque territoire, et une grande incertitude prévaut sur l'élévation globale de ce niveau. Les rapports du GIEC qui se succèdent ne cessent de revoir les estimations à la hausse. Une étude récente de Bamber et al (2019) révèle que l'augmentation du niveau des mers pourrait être bien supérieure que prévue en avançant la possibilité d'une élévation de 2,4 mètres à la fin de ce siècle. Closset et al. (2018) ont choisi 1 mètre (Goujon et al., 2015, utilisaient également cette altitude) mais ont également testé 2 mètres, et montrent que les résultats sont équivalents. Dans notre travail, pour tenir compte de l'incertitude mentionnée plus haut et de l'effet des houles occasionnelles aggravant la montée du niveau eustatique des eaux (en particulier pour les PEI), nous retenons la part du territoire située en dessous de 5 mètres

d'altitude. Les données sont calculées à partir de deux modèles numériques de terrain : ISciences Elevation and Depth Map pour les territoires situés à une latitude supérieure à 60°N et Shuttle Radar Topography Mission pour les autres.

La définition de la « part du territoire en zone aride » est celle du Programme des Nations-Unies pour l'Environnement. Il s'agit d'une zone, autre que polaire, où le ratio précipitations annuelles sur évapotranspiration potentielle est situé entre 0,05 et 0,65. Elle agrège les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches (un ratio inférieur à 0,05 qualifie les zones hyper-arides désertiques qui ne sont pas retenues). La part du territoire en zone aride est exprimée en pourcentage du territoire total situé en zone non-désertique. Les données primaires de précipitations annuelles et d'évapotranspiration potentielle sont issues de la base Climate Research Unit CRU TS 3.21 – University of East Anglia pour la période 2000-2012.[3]

Les niveaux, tendances et instabilités des précipitations et températures sont calculés à partir des données de la base Climate Research Unit CRU TS version 4.02 – University of East Anglia. Elles sont mensuelles et couvrent la période 1901-2017. Le *niveau moyen* des températures et précipitations est simplement le niveau moyen calculé sur les données mensuelles de la période 1950-2017. Les *tendances* des températures et précipitations sont calculées spécifiquement pour chaque mois de l'année et une moyenne des douze tendances est ensuite calculée. *Les tendances dans les chocs* se calculent aussi mois par mois de l'année, et une moyenne des douze tendances est ensuite calculée. Les séries de chocs sont calculées à partir des écarts entre les valeurs observées et les valeurs attendues selon la tendance estimée précédemment. Suivant Closset et al. (2018), seuls les écarts positifs de température et seuls les chocs négatifs de pluviométrie sont retenus. Afin de prendre en compte le fait que plus l'écart à la tendance est élevé, plus le choc est grand, les chocs sont définis comme étant les écarts élevés au carré. La tendance dans les chocs est la tendance dans la série des écarts élevés au carré. Pour chaque pays et territoire, le calcul étant effectué mois par mois de l'année, on calcule ensuite la moyenne simple des 12 tendances.

La composante « risque cyclonique » a été introduite dans la dernière version de l'IVPCC publiée dans Closset et al. (2018) et est présentée en détail dans Feindouno et al. (2017). Les données primaires portant sur *l'intensité de l'activité cyclonique* sont fournies par le National

[3] Pour une explication détaillée de ces données et de leur traitement voir Feindouno et al. (2016). CRU est une des bases les plus utilisées dans les travaux sur le changement climatique, y compris par le GIEC.

Climatic Data Center - International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS), version v03r07. Cette base couvre la période 1970-2014 et enregistre au total 3915 évènements, épisodes cycloniques de catégories 1 à 5 sur l'échelle Saffir-Simpson ainsi que les tempêtes tropicales. La base IBTrACS – UNEP donne la géolocalisation de chaque cyclone-catégorie, avec le découpage des territoires traversés ainsi que les dates (jours) et la durée (heures) associées à ces cyclones-catégories. En tenant compte de l'intensité relative des évènements, ces données permettent de calculer un indice agrégé de l'activité cyclonique pour chaque pays et territoire et chaque année sur la période 1970-2014. La *tendance dans l'activité cyclonique* est basée sur la différence de niveau moyen d'intensité entre les périodes 1970-1992 et 1993-2014.

Les dix composantes, devant faire l'objet d'une agrégation, sont normalisées sur une échelle de 0 à 100, l'indice augmentant avec la vulnérabilité, en utilisant la formule usuelle $\mathbf{Indice_i = (x_i - min)/(max-min)*100}$ **,** avec x_i la valeur observée pour le pays ou territoire i, min et max les valeurs minimum et maximum observées sur l'échantillon de pays ou territoires (Tableau A.1. en annexe). Deux composantes font l'objet d'une normalisation particulière. La composante *tendance des précipitations* est normalisée en inversant la formule (la vulnérabilité augmentant avec une tendance à la baisse des précipitations, à cause du risque de désertification), et la composante *intensité de l'activité cyclonique* qui est auparavant log-linéarisée car elle présente des valeurs extrêmes, toujours en suivant Closset et al. (2018). Les minima et maxima sont ceux observés pour les territoires de l'échantillon de Closset et al. (2018), à l'exception du maximum pour la part du territoire sous 5 mètres d'altitude[4].

L'agrégation progressive des différentes composantes utilise une formule quadratique qui permet d'amplifier le poids des composantes présentant une valeur élevée, avec un effet de compensation partiel entre les composantes. Pour chaque pays et territoire, on a :

[4] Nous fixons le maximum pour la part du territoire sous 5 mètres d'altitude (pour la composante risque d'inondation), à 40%, le niveau atteint par les Maldives (au lieu des 92% utilisé par Closset et al., 2018). En effet, les données radar utilisées sous-estiment notoirement l'altitude réelle du sol (du fait de la couverture végétale ou des constructions, voir Kulp et Strauss, 2019), cette sous-estimation prenant d'autant plus d'importance pour les PEI. Par ailleurs, suivant Closset et al. (2018), pour les quelques territoires de notre étude dont les valeurs dépassent les seuils minimum et maximum, les valeurs normalisées sont fixées à 0 et à 100 respectivement.

$$\boldsymbol{indice\ agr\acute{e}g\acute{e}_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} indice_{ki}{}^2}}$$

Avec $indice_k$ la valeur de l'indice k. L'agrégation s'effectue en trois étapes :

- La composante « chocs associés au risque d'aridité » agrège les deux composantes tendances dans les températures et tendances dans les précipitations ;
- Pour chacun des quatre risques, en excluant le risque d'inondation mesuré uniquement par l'indice de la part du territoire situé sous une altitude de 5 mètres, les deux indices d'exposition et de chocs sont agrégés ;
- Les cinq indices de risque sont agrégés, toujours en utilisant la moyenne quadratique pour former l'IVPCC (en affectant des poids « nominaux » identiques aux cinq composantes, la moyenne quadratique donnant plus de poids « effectif » aux composantes présentant des niveaux élevés comparés à ceux des composantes à niveaux faibles).

2.3. Les résultats de l'application de l'IVPCC à un échantillon large de pays et territoires

Aux 191 pays membres des Nations Unies couverts par les calculs de Closset et al (2018) et Feindouno et al (2020), nous avons pu ajouter 59 territoires (dont 56 PEI) portant la couverture à 250 pays et territoires (dont 100 PEI). La moyenne et la médiane de l'IPVCC pour les 250 pays et territoires sont de 51,5 et de 50,5 respectivement (Tableau 2).

Tableau 2. IVPCC par groupes de pays

Groupes	Nombre	Moyenne	Médiane	Écart-type	Min	Max
Tous	250	51,5	50,5	7,8	34,3	72,9
non-PEI	150	50,8	49,5	7,6	35,8	67,3
PEI	100	52,6	52,1	8,0	34,3	72,9

Source : Les auteurs.

Tableau 3. IPVCC et moyennes des composantes par groupes

Groupes	Inondations	Aridité	Précipitations	Températures	Cyclones	IPVCC
Tous	13,3	46,1	63,2	72,7	14,5	51,5
non-PEI	5,4	52,0	66,8	69,5	5,9	50,8
PEI	25,1	37,2	57,9	77,5	27,4	52,6

Source : Les auteurs.

Ces résultats permettent de tirer plusieurs enseignements intéressants (Tableau 3). Premièrement, l'insularité n'est pas associée à une vulnérabilité au changement climatique systématiquement ou globalement plus grande. En effet, le groupe des PEI affiche un score moyen d'IVPCC (52,6) qui n'est que marginalement supérieur aux scores moyens de l'échantillon total (51,5) et du groupe des pays non insulaires (50,8). Ce résultat nuance donc celui de Closset et al. (2018) par exemple qui se focalisent uniquement sur les Petits Etats Insulaires en Développement (PEID), lesquels se situent plutôt en zone tropicale, alors que nous intégrons un nombre important d'îles affiliées qui peuvent se situer également en zone non-tropicale. Le fait de considérer ce groupe plus large de PEI permet de relativiser le caractère discriminant de l'insularité en matière de vulnérabilité face au changement climatique, et de plutôt relever l'importance de la situation géographique.

Deuxièmement, nous retrouvons les mêmes causes sous-jacentes de vulnérabilité des PEI, à savoir une exposition forte aux évènements cycloniques et aux chocs de température, et dans une moindre mesure un risque d'inondation lié à la montée du niveau des océans (avec une forte hétérogénéité au sein du groupe).

3. La vulnérabilité comparée des îles du Sud-Ouest de l'océan Indien face au changement climatique

La région du Sud-Ouest de l'océan Indien que certains spécialistes appellent l'« Indianocéanie » comprend des îles dont l'histoire et la culture sont communes à bien des

égards[5] mais dont le profil de développement révèle des différences profondes (Goujon et Hoarau, 2015). Dans cette section, nous proposons de comparer leur vulnérabilité face au changement climatique en confrontant leur vulnérabilité physique à leurs niveaux et modèles de développement, en soulignant l'importance de l'activité touristique.

3.1. Modèles de développement

Dans la région se côtoient à la fois des PEI à niveau de développement élevé (Maurice, Réunion et Seychelles), des PEI à niveau de développement moyen (Maldives et Mayotte), et une PEI à niveau de développement faible (Comores). La grande île de Madagascar présente un niveau de développement faible et appartient tout comme les Comores à la catégorie des Pays les Moins Avancés.

Les territoires de l'Indianocéanie se distinguent par la nature de leur modèle de développement, et en particulier par le rôle joué par le tourisme international, un secteur hautement exposé aux conséquences du changement climatique (Rosselo-Nadal, 2014, Goujon et Hoarau, 2020).

Conformément à la littérature spécialisée (Baldacchino et Bertram, 2009 ; Tisdell, 2016), plusieurs modèles de développement caractérisent les PEI selon le ou les moteurs de l'économie[6] :

- Le MIRAB (Migration, Remittances, Aid, and Bureaucracy) axé sur l'émigration, les transferts de revenus de la diaspora, l'aide étrangère ou les transferts publics, et la bureaucratie dans le fonctionnement de l'économie locale (Bertram et Watters, 1985). Dans ces économies, l'agriculture de subsistance reste encore largement dominante ;
- Le TOURAB (TOUrism, Remittances, Aid, and Bureaucracy) qui correspond à l'apparition dans un modèle MIRAB d'une activité touristique dont les revenus finissent par dominer ceux issus du transfert de fonds de la diaspora. D'ailleurs, les flux touristiques sont principalement alimentés par la diaspora elle-même dans le cadre d'un tourisme affinitaire (Guthunz et Von Krosigk, 1996) ;

[5] « L'indianocanisme exprime le climat, le métissage psychique commun aux divers pays et races mêlées qui composent le substrat des îles australes de l'océan Indien et qui se manifeste à travers le brassage de leurs ethnies, de leurs coutumes, de leurs pensées et croyances ainsi que dans leurs littératures » (de Rauville, 1970).

[6] Il existe en fait un sixième modèle de développement en contexte insulaire combinant les stratégies PROFIT et MIRAB. Néanmoins, cette forme reste à ce jour limitée à quelques économies seulement.

- Le SITE (Small Island Tourist Economy) où le tourisme international, principalement « de masse », est le moteur quasi-exclusif de l'économie locale (McElroy, 2006).
- Le PROFIT (People, Resources, Overseas management, Finance, and Transport) caractérisé par une réelle capacité d'autonomie politique et économique et une structure économique souvent diversifiée, où le tourisme n'est qu'un facteur parmi d'autres (industrie légère exportable, rentes issues de ressources naturelles ou d'une position géostratégique favorable, finance offshore, immobilier, technologies de l'information et de la communication, pavillons de complaisance pour l'activité maritime, transferts publics, …, Baldacchino et Milne, 2000)
- Le SITE/PROFIT qui est une combinaison des modèles PROFIT et SITE dans laquelle le territoire dispose d'une capacité d'autonomie mais où le tourisme reste le principal pourvoyeur de devises (Baldacchino et Bertram, 2009).

A l'exception de la forme SITE, tous les modèles sont représentés dans la zone du Sud-Ouest de l'océan Indien, en l'occurrence le MIRAB (Comores et Mayotte), le TOURAB (Réunion), le PROFIT (Maurice) et le SITE/PROFIT (Maldives et Seychelles). Bien évidemment, le secteur touristique n'a pas la même importance selon la stratégie retenue (Tableau 4). En particulier, à l'exception du cas réunionnais, il semble se dégager dans la zone une corrélation positive entre niveau de développement et poids du tourisme en accord avec les enseignements de l'approche bien connue du « tourism-led growth hypothesis » (Brida et al., 2016). Aussi, l'étude de la vulnérabilité au changement climatique apparaît d'autant plus pertinente pour ces territoires dans la mesure où elle permet d'apporter un éclairage sur la soutenabilité potentielle à moyen et long terme des différentes stratégies adoptées. Notamment, la spécialisation touristique (modèle SITE, SITE/PROFIT et dans une moindre mesure TOURAB) apparait comme étant un modèle de développement très vulnérable face aux nouvelles contraintes du changement climatique[7].

[7] L'activité touristique, l'attractivité du territoire et sa capacité de charge, particulièrement s'agissant du tourisme insulaire, est affectée par le changement climatique à travers: (i) la dégradation progressive de l'environnement ; (ii) les évènements extrêmes comme les canicules, inondations, cyclones. On peut ajouter la défiance croissante à l'égard du transport aérien qui est un contributeur majeur aux émissions des gaz à effet de serre. Voir Goujon et Hoarau (2020).

Tableau 4. L'importance du tourisme international pour les îles du Sud-Ouest de l'océan Indien, année 2018

	PIB par habitant en $ppa	IDH*	Tourisme international			Modèle
			pour 1000 habitants	recettes % of PIB	recettes % exportations	
Maldives	15993	Moyen (106)	2878	57,3	82,7	SITE/PROFIT
Seychelles	23890	Elevé (63)	3741	38,4	35,4	SITE/PROFIT
Maurice	18488	Elevé (64)	1106	15,2	38,9	PROFIT
Réunion	23946	Elevé (≈63)	627	2,0	51,9	TOURAB
Mayotte	9949	Moyen (≈110)	220	1,2	78,8	MIRAB
Comores	2717	Faible (160)	43	6,5	50,4	MIRAB
Madagascar	1556	Faible (158)	11	6,4	20,2	

Note : *classification selon le rapport mondial sur le développement humain de 2015 (PNUD, 2015) et une estimation des auteurs pour Mayotte et la Réunion. Les chiffres entre parenthèses indiquent les classements. Source: RMDH (PNUD), The WDI, (Banque Mondiale), pour La Réunion et Mayotte, les données du PIB par habitant voir Hoarau (2019) et les données sur le tourisme voir INSEE.

3.2. Leur vulnérabilité comparée face au changement climatique

L'analyse du score global de l'IPVCC fait ressortir trois catégories de pays (Tableau 5 et Figure 2) : (i) une vulnérabilité très élevée pour les Maldives (65), Maurice (62) et Madagascar (59), (ii) une vulnérabilité élevée pour la Réunion (55) et les Seychelles (55), une vulnérabilité modérée pour Mayotte (51) et une vulnérabilité faible pour les Comores (47).

Deux enseignements majeurs ressortent de ces résultats. Premièrement, globalement les îles de l'indianocéanie sont hautement vulnérables au processus en cours du changement climatique. En effet, 5 territoires sur 7 peuvent être considérés comme particulièrement exposés (leur niveau d'IVPCC se situant nettement au-dessus de la moyenne des 100 PEI). Deuxièmement, les îles où le poids du tourisme est conséquent figurent parmi les économies les plus concernées par le problème. Les Maldives, Maurice et les Seychelles apparaissent dans le tiers des pays les plus vulnérables sur le plan mondial, ce qui questionne leur capacité à pouvoir maintenir sur le long terme leur niveau de développement actuel plutôt favorable. Toutefois, seuls Maurice et les

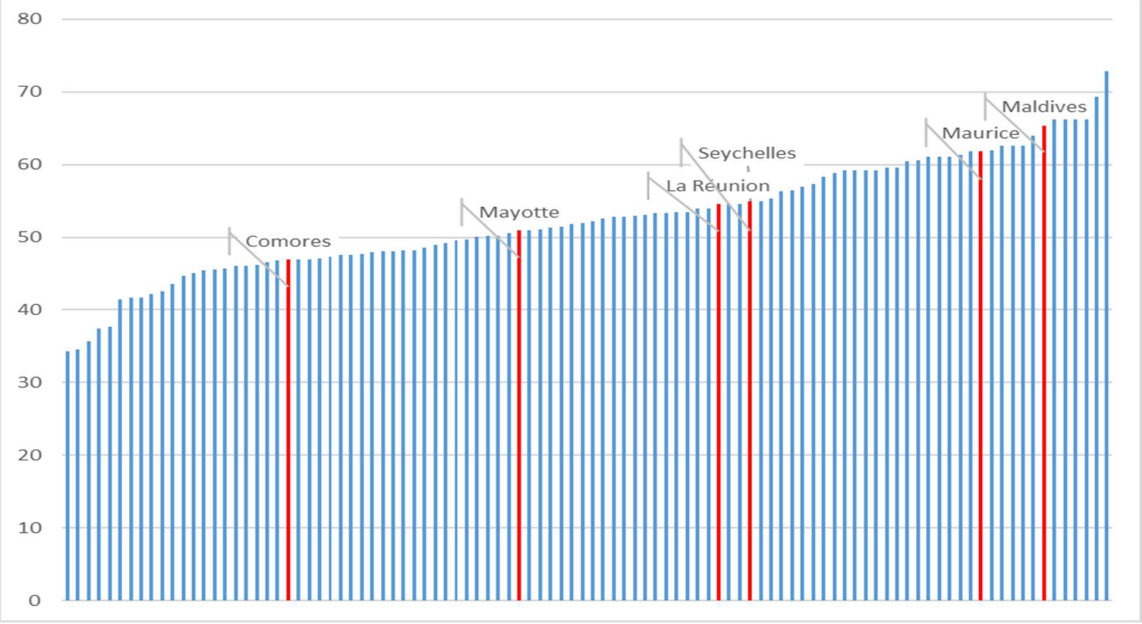
Seychelles, caractérisés par un niveau de développement élevé, semblent disposer des moyens nécessaires à l'adaptation.

Tableau 5. IVPCC et composantes pour les îles du Sud-Ouest de l'océan Indien

Pays	Inondations	Aridité	Précipitations	Température	Cyclones	IVPCC
PEI	**25,1**	**37,2**	**57,9**	**77,5**	**27,4**	**52,6**
Maldives	100	28	53	88	0	65
Seychelles	46	40	60	87	15	55
La Réunion	1	50	55	75	61	55
Maurice	6	53	55	80	82	62
Comores	2	27	57	82	15	47
Mayotte	4	38	60	85	21	51
Madagascar	3	33	59	78	82	59

Source : les auteurs.

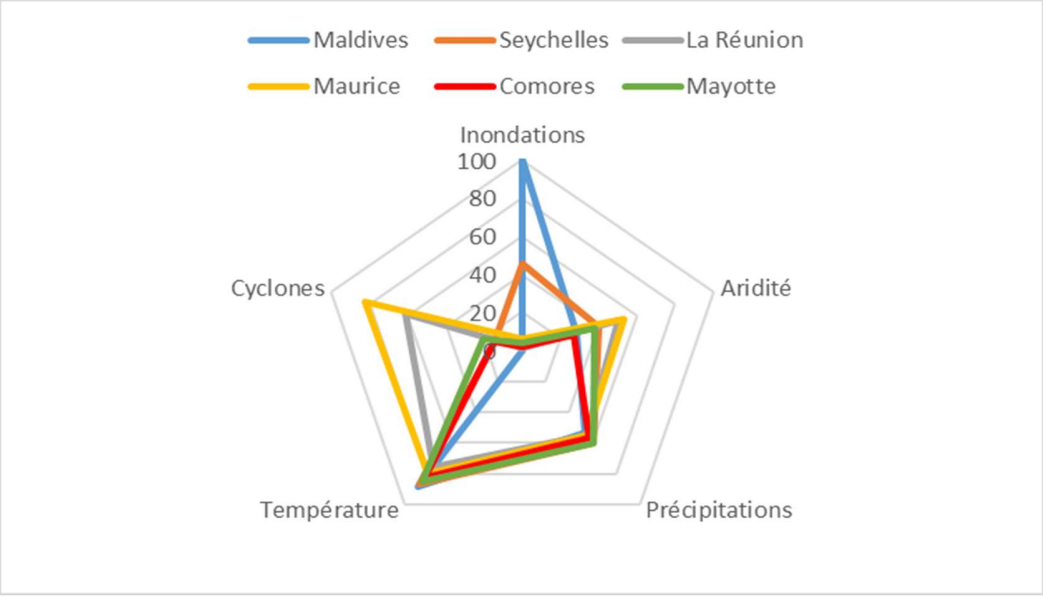
Figure 2. L'IVPCC pour les 100 PEI



Source : Les auteurs.

Par ailleurs, l'étude désagrégée au niveau de chaque composante de l'IVPCC met en évidence que les causes sous-jacentes à cette vulnérabilité peuvent être très différentes (Tableau 5 et Figure 3). Là encore, deux grands résultats se dégagent. Premièrement, toutes les îles sont fortement impactées et de manière plus ou moins homogène par les chocs pluviométriques (53-60) et de températures (75-88). Deuxièmement, en considérant les trois autres dimensions, trois profils types apparaissent : (i) Maurice et la Réunion fortement concernées par les cyclones et dans une moindre mesure par la sécheresse, (ii) Les Maldives et les Seychelles essentiellement exposées au risque d'inondations, et (iii) Les Comores et Mayotte relativement préservées en dehors des deux composantes (précipitations et température) communes à toutes les îles. Madagascar est largement exposée au risque cyclonique, comme Maurice et la Réunion, mais apparaît relativement préservée sur les composantes de l'inondation et de l'aridité, comme pour les Comores et Mayotte.

Figure 3. Les composantes de l'IVPCC pour les PEI du Sud-Ouest de l'océan Indien



Source : Réalisation des auteurs, à partir des données du tableau 5.

4. Conclusion

Les conséquences du changement climatique ne sont pas homogènes globalement puisqu'elles varient selon la localisation et les caractéristiques géoclimatiques. Aussi, une stratégie de politique d'adaptation peut s'avérer inadéquate sans une évaluation exhaustive des caractéristiques de vulnérabilité et de résilience d'un territoire (Füssel et Hilden, 2014). De plus, l'accord de Paris sur le climat, établi dans le cadre de la COP21 en 2015, a mis l'accent sur la nécessité de mettre en place un dispositif d'allocation géographique de fonds internationaux pour l'adaptation au changement climatique et donc d'identifier les pays devant en bénéficier de façon prioritaire (Eriksen et Kelly, 2007, Guillaumont, 2015). Les PEI, selon nos calculs, révèlent une forte vulnérabilité physique au changement climatique, mais toutefois comparable à la moyenne mondiale ou à celle des économies non insulaires. Par ailleurs, cette vulnérabilité ne se manifeste que sous certains aspects seulement (montée du niveau des mers, intensification des évènements extrêmes tels que les chocs de température et les cyclones).

Notre étude permet de relever que les îles du Sud-ouest de l'océan Indien sont particulièrement exposées, et notamment les îles où le poids du tourisme est conséquent, comme les Maldives, Maurice et les Seychelles. En revanche, si Maurice et les Seychelles disposeraient dans une certaine mesure des moyens nécessaires à l'adaptation, c'est moins le cas des Maldives qui montrent un niveau de développement nettement moins élevé.

La grande vulnérabilité au changement climatique des PEI à spécialisation touristique doit inviter les décideurs à s'inscrire clairement et durablement dans une démarche de politiques d'atténuation et d'adaptation. En premier lieu, en termes d'atténuation, il s'agit de contenir la vulnérabilité structurelle, au niveau global, grâce aux accords internationaux pour réduire les émissions de gaz à effets de serre et, au niveau local, grâce à la protection du capital naturel (maintien des ressources en eau, préservation de la biodiversité terrestre et marine, préservation des sols et des forêts, protection des littoraux, …). En second lieu, dans la mesure où il semble aujourd'hui trop tard pour empêcher le réchauffement climatique, il est nécessaire de mettre en place des politiques d'adaptation pour renforcer la résilience des territoires face à ses conséquences. Compte tenu des spécificités des petits espaces insulaires, l'accent doit être mis en particulier sur la gestion des risques (santé humaine, gestion des inondations des zones côtières, prévision et anticipation des phénomènes extrêmes, …) et sur l'aménagement du territoire. Par

ailleurs, conformément aux travaux de Dogru et al. (2019), la construction d'une capacité d'adaptation « pro-active » n'est envisageable que pour les économies ayant les moyens et les institutions adéquates : il existe en effet une corrélation forte entre niveau de développement et résilience. Cette caractéristique, combinée avec le coût nécessairement plus élevé des politiques publiques en contexte insulaire, renvoie inévitablement au besoin d'assistance internationale. Enfin, s'adapter c'est être aussi capable de se réinventer. Dans le cas présent, il s'agit pour les territoires prédisposés à le faire de s'éloigner de la spécialisation touristique pour s'orienter vers une économie plus diversifiée.

Bibliographie :

Baldacchino, G., Bertram, G., 2009, « The Beak of the Finch: Insights into the Economic Development of Small Economies », The Round Table, 98(401), 141–160, April.

Baldacchino, G., Milne, D., (eds) (2000). *Lessons from the political economy of small islands: the resourcefulness of jurisdiction,* Basingstoke: Macmillan.

Bamber, J.L., Oppenheimer, M., Kopp, R.E., Aspinall, W.P., Cooke, R.M., 2019, « Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment », PNAS, 16(23), 11195–11200.

Berrittella, M., Bigano, A., Roson, R., Richard, S., Tol, J., 2006, « A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism », Tourism Management, 27(5), 913-924.

Bertram, G., Poirine B., 2007, « Island Political Economy », in G. Baldacchino (ed.), *A World of Islands: an island studies reader*, Canada and Malta, Institute of Island Studies and Agenda Academic, 332-378.

Bertram, G. Watters, R.F., 1985, « The MIRAB economy in South Pacific microstates », Pacific Viewpoint, 26(3), 497-519.

Bianchi, R., 1994, « Tourism Development and Tourism Dynamics: An Alternative Approach », Progress in Tourism, Recreation and Hospitality Management, 5, 181–193.

Blancard, S., Hoarau, J.F., 2016a, « Les petites économies insulaires en développement. Des territoires particulièrement vulnérables sur le plan économique ? », Revue économique, Presses de Sciences-Po, 67(1), 117-142.

Brida, J.G., Cortes-Jimenez, I., Pulina, M., 2016, « Has the tourism-led growth hypothesis been validated? A literature review », Current Issues in Tourism, 19, 394–430.

Burns, W.C.G., 2000, « The impact of climate change on Pacific island developing countries in the 21st Century », in A. Gillespie and W.C.G. Burns (eds*), Climate change in the South Pacific: Impacts and responses in Australia, New Zeland and small island states*, 233-250.

Closset, M., Feindouno, S., Guillaumont, P., Simonet, C., 2018, « A Physical Vulnerability to Climate Change Index: Which are the most vulnerable developing countries? », Ferdi Working paper P213, octobre.

De Rauville, C., 1970, *Indianocéanisme, humanisme et négritude*, Port-Louis, Le livre mauricien, 33 p.

Dogru, T., Marchio, E.A., Bulut, U., Suess, C., 2019, Climate change: Vulnerability and resilience of tourism and the entire economy, Tourism Management, 72, 292-305.

Eriksen, S.P., Kelly, P., 2007, « Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment », Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(4), 495-524.

Feindouno, S., Goujon, M., Santoni, O., 2016, « Tendances et chocs climatiques à La Réunion : utilisation de la base CRU TS 3.21 », dans Droit, Economie et Gestion de l'Eau dans la zone Océan Indien, Dir. D. Lepelley et M. Paul, Ed. Oeconomia

Feindouno, S., Goujon, M., Santoni, O., 2017, « Un indicateur d'intensité cyclonique au niveau pays », Document de travail, FERDI, n°210.

Feindouno, S., Guillaumont, P., Simonet, C., 2020, « The Physical Vulnerability to Climate Change Index: An Index to Be Used for International Policy », Ecological Economics 176.

Füssel, H.-M., Hildén, M., 2014, « How is uncertainty addressed in the knowledge base for national adaptation planning? Adapting to an Uncertain Climate », dans Capela Lourenço T. et al. (eds), *Adapting to an Uncertain Climate*, Springer, Cham, 41–66.

GIEC [Groupe Intergouvernemental d'Etudes sur le Changement Climatique], 2001, *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/689.htm/.

GIEC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Goavec, C., Hoarau, J.F., 2015, « Vulnérabilité économique structurelle et dépendance touristique : quels enseignements pour les petites économies insulaires en développement », Région et Développement, 42, 157-188.

Goujon, M., Hoarau, J.-F., 2015, « Une nouvelle mesure du développement des économies ultramarines françaises à travers l'application de l'indicateur de développement humain hybride », Région & Développement, 42, 55-78.

Goujon, M., Hoarau J.-F., 2020, « les îles touristiques à la merci du changement climatique : une évaluation par un indice synthétique de vulnérabilité physique », Revue d'Economie du Développement, 2020/1 Vol. 28, 69-106.

Goujon, M., Hoarau, J.-F., et Rivière, F., 2015, « Vulnérabilités économique et environnementale comparées des économies ultramarines françaises », dans J.F. Hoarau (eds), *Spécialisation touristique et vulnérabilité, Réalités et enjeux pour le développement soutenable des petits territoires insulaires*, L'Harmattan, 27-66.

Goujon, M., Magnan, A., 2018, « Appréhender la vulnérabilité au changement climatique, du local au global. Regards croisés », Document de travail Ferdi-Iddri, P215, février.

Guillaumont, P., 2010, « Assessing the economic vulnerability of small island developing states and the least developed countries », Journal of Development Studies, 46 (5), p. 828-854.

Guillaumont, P., 2015, « Mesurer la vulnérabilité au changement climatique pour allouer le financement de l'adaptation », Ferdi Working Paper, P136, octobre.

Guillaumont, P., Simonet, C., 2011a, « Designing an index of structural vulnerability to climate change », FERDI Working Paper / I08, Mars.

Guillaumont, P., Simonet, C., 2011b, « To What Extent Are African Countries Vulnerable to Climate Change? Lessons from a New Indicator of Physical Vulnerability to Climate Change », FERDI Working Papers, I08, Clermont-Ferrand, novembre.

Guillaumont, P., Simonet C.,2014, « Facing Climate Change in the LDCs: How to Fit the Istanbul Programme of Action. » Istanbul Programme of Action for the LDCs: 287.

Guthunz, U., Von Krosigk, F., 1996, « Tourism Development in Small Island States: From MIRAB to TouRAB? », in Brigulio L., Archer B., J. Jafari and G Wall (eds), *Sustainable Tourism in Islands and Small Stats: issues and policies*, London, Pinter, 17-35.

Hoarau, J.F., 2019, « Une évaluation du développement humain pour Mayotte : l'application de l'indicateur de développement humain hybride », dans Dupont-Lasalle J., Hermet F. et

Ralser E., ed., *5 ans de départementalisation à Mayotte – enjeux juridiques et économiques*, L'Harmattan, Paris, 145-164.

Kulp, S.A., Strauss, B.H., 2019, « New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding », Nature Communications, 10, 4844 doi:10.1038/s41467-019-12808-z

McElroy J.L. (2006). "Small island tourist economies across the life cycle", Asia Pacific Viewpoint, 47(1), 61-77.

Mycoo, M.A, 2017, « Beyond 1.5°C: Vulnerabilities and adaptation strategies for caribbean small island developing states », Regional Environmental Change, 1-13, https://doi.org/10.1007/s10113-017-1248-8, november, Springer Berlin Heidelberg.

Nurse, L.A., McLean, R.F., Agard, J., Briguglio, L.P., Duvat-Magnan, V., Pelesikoti, N., Tompkins, E., Webb, A., 2014, « Small islands », dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1613-1654.

Rosselló-Nadal, J., 2014, « How to evaluate the effects of climate change on tourism », Tourism Management, 42(C), 334-340.

Tableau A.1. Minima et maxima utilisés dans les formules de normalisation

Composantes	Minimum	Maximum
Inondation, part du territoire sous 5 mètres d'altitude (%)	0 (pays enclavés)	40 (Maldives)
Part du territoire non désertique situé en zone aride (%)	0 (nombreux PEI)	100 (nombreux, Moyen-Orient et Afrique du Nord et sahélienne)
Tendance températures	0,0006 (Bolivie)	0,0337 (Mongolie)
Tendances précipitations	-0,3527 (Sierra Leone)	0,3223 (Philippines)
Moyenne précipitations	33,16 (Egypte)	3759,17 (Micronésie)
Tendance chocs précipitation	-294,3 (Nauru)	219,3 (îles Salomon)
Moyenne températures	-4,814 (Russie)	28,47 (Mali)
Tendance chocs température	-0,066 (Finlande)	0,021 (Pays-Bas)
Intensité cyclonique	0 (nombreux)	818,9 (Japon)
Tendance cyclonique	0 (nombreux)	469,5 (Japon)

Source : Closset et al. (2018).