

Synthèse des travaux relatifs à la projection de l'impact du changement climatique sur différents paramètres physiques en Guyane - Projet GuyaClimat

Rédacteurs : Longueville F., Bel Madani A., Thiéblemont R.

Vérification : Le Cozannet G.

Approbation : Tronel F.

Date :06/10/2022

Introduction

L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre des activités humaines est la cause du changement climatique actuel. Il se traduit par des changements globaux, comme l'augmentation de la température moyenne à la surface terrestre, la modification du niveau marin et l'augmentation d'événements extrêmes tels que les vagues de chaleur. Ces changements s'accompagnent également d'une modification du cycle de l'eau, favorisant, selon les régions, les sécheresses, les pluies intenses, les inondations, les submersions chroniques, et d'autres aléas. Ces aléas sont directement dépendant de paramètres physiques tels que la température, le niveau marin, les pluies le vent etc. La Guyane n'échappe pas à ce phénomène et plusieurs interrogations demeurent sur la quantification de ces changements à l'échelle du territoire. Il est donc crucial d'évaluer et de quantifier l'évolution future de ces paramètres physiques localement, pour aider les gestionnaires et décideurs à l'adaptation de leurs territoires. C'est l'objectif premier du projet GuyaClimat qui vise à projeter les effets du changement climatique à l'échelle du territoire guyanais au XXI^{ème} siècle.

Ce programme a été financé par la Direction Générale des Territoires et de la Mer (DGTM), l'Agence Française de Développement (AFD), l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie (ADEME), l'Office de l'Eau de Guyane (OEG), Météo France et enfin le BRGM. Les résultats sont destinés à l'ensemble des financeurs, aux acteurs publics locaux et autres organismes d'aménagements.

Plus spécifiquement, l'étude GuyaClimat porte sur les projections futures jusqu'à 2100, des paramètres physiques suivants : le niveau de la mer, la température, les précipitations, le vent et les vagues. Ces projections permettent alors d'évaluer et quantifier les changements futurs des zones basses exposées aux submersions chroniques en milieu urbain et des indices climatiques sectoriels (p.ex. jours secs, fortes pluies, degrés-jours de climatisation, etc.).

Cette étude, composée de 3 volets, repose sur (1) des relevés et témoignages recueillis sur le terrain, (2) une large gamme de méthodes dynamiques et statistiques, (3) des jeux de données d'observations et (4) des ensembles de simulations climatiques futures.

Les projections réalisées pour l'étude GuyaClimat s'appuient sur deux types de scénarios, utilisés notamment par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), qui décrivent l'évolution climatique future :

- les « Representative Concentration Pathways » (RCPs ou trajectoires représentatives de concentration) qui convertissent des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre en forçage radiatif ;
- les « Shared Socio-Economic Pathways » (SSPs ou trajectoires socio-économiques partagées) qui traduisent des ensembles d'hypothèses socio-économiques (Population, Éducation, Urbanisation, PIB) qui sont eux-mêmes associés à des forçages radiatifs dans le 6^e rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).



Pour l'étude GuyaClimat, les scénarios suivants ont été retenus :

- RCP2.6 (faibles émissions de gaz à effets de serre) ;
- RCP4.5 et SSP2-4.5 (émissions contenues) ;
- RCP8.5 et SSP5-8.5 (accélération des émissions de gaz à effets de serre)
- un scénario dit « high-end », c'est à dire un scénario à fort impact mais considéré actuellement peu probable, et impliquant une fonte rapide des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique.

Cette note reprend les résultats du rapport bilan BRGM/RP-72111-FR, en synthétisant les résultats des trois volets : (1) évolution du niveau marin, (2) conséquences sur les submersions chroniques et (3) évolution de la précipitation, température, vent et évolution des vagues.

1. Évolution du niveau marin

L'élévation du niveau marin résulte de l'expansion thermique des océans et des changements de circulation océanique mais également de l'augmentation de la masse d'eau transférée depuis les continents vers les océans, via, en particulier les fontes des glaciers et des calottes polaires. La méthode de régionalisation du niveau marin employée dans cette étude consiste à combiner l'ensemble de ces composantes à l'échelle régionale, en tenant compte des mouvements verticaux du sol locaux (mesurés par les stations GPS), qui influencent le niveau marin localement.

Dans un premier temps, les résultats des simulations historiques des modèles climatiques (depuis 1850 jusqu'à la période actuelle) sont analysés et comparés à différents jeux de données d'observations. Cette analyse rétrospective, dont les résultats sont montrés Figure 1, permet de valider les performances des modèles climatiques CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 5*) mais également de valider la méthode de régionalisation du niveau marin utilisée ensuite pour le développement de projections futures. Les projections futures du niveau marin en Guyane par rapport à la période 1986-2005 sont présentées sur la Figure 2.

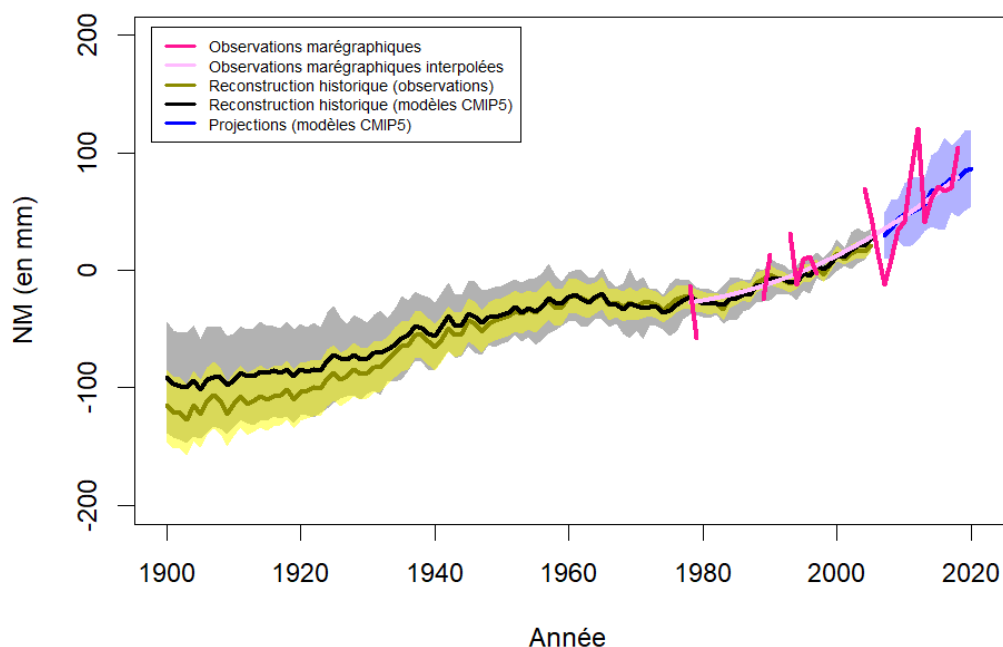


Figure 1 : Reconstruction historique et observation du niveau de la mer (NM) au marégraphe de « l'Îlet la Mère » entre 1900 et 2020. Toutes les courbes montrent le niveau moyen relatif à la période de référence commune 1990-2000. Les enveloppes grises délimitent l'intervalle vraisemblable (CMIP5) et les enveloppes jaunes l'intervalle de confiance 90% (Frederikse et al., 2020) Les reconstructions considèrent que le sol est stable (absence de mouvements verticaux).



Les principaux résultats sont les suivants :

- à l'horizon temporel 2050, la médiane de la remontée du niveau marin est de 0.24 m (*likely range*¹ [0.18 ; 0.31] m) pour le scénario climatique RCP2.6 (scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre) et de 0.28 m (*likely range* [0.21 ; 0.36] m) pour le scénario RCP8.5 (scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre) ;
- à l'horizon temporel 2100, la remontée du niveau marin est de 0.46 m (*likely range* [0.29 ; 0.64] m) pour le scénario RCP2.6 et de 0.84 m (*likely range* [0.59 ; 1.17] m) pour le scénario RCP8.5 ;
- les projections de cette étude n'excluent pas la possibilité d'une élévation de plus de 2 m à la fin du XXI^{ème} siècle (scénario appelé « *high-end* » impliquant notamment un effondrement de certaines parties de la calotte de glace en Antarctique) ;
- les mouvements verticaux du sol peuvent localement engendrer des écarts supplémentaires de ~0.2 m sur ces projections à l'horizon 2100.

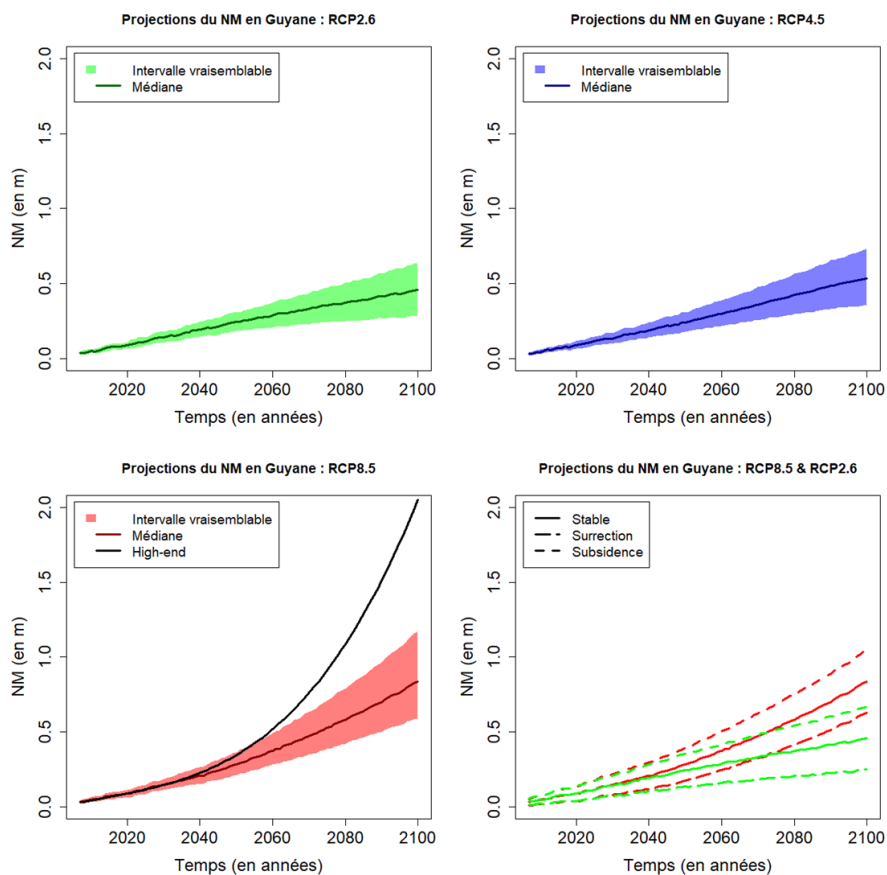


Figure 2 : Projections du niveau marin moyen en Guyane selon les scénarios climatiques RCP2.6 (haut-gauche), RCP4.5 (haut-droite), RCP8.5 et « *high-end* » (bas-gauche). La sensibilité de ces projections aux mouvements verticaux locaux (bas-droite) est montrée pour les scénarios climatiques RCP2.6 (vert) et RCP8.5 (rouge). Les projections sont calculées en terme d'anomalie par rapport à la période de référence 1986-2005.

2. Conséquences sur les zones basses potentiellement exposées aux phénomènes de submersions chroniques

Une des premières manifestations visibles de l'élévation du niveau de la mer est l'aléa de submersion chronique. Une submersion chronique correspond à une inondation des zones basses lors d'une période de marée haute, en conditions météorologiques calmes.

¹ Le *likely range* est un intervalle pour lequel la probabilité que la valeur étudiée se situe dedans est supérieure à 66%.



Les travaux de cette étude visent à identifier des zones basses en milieu urbain proche de la côte potentiellement exposées aux submersions chroniques. La méthode employée consiste tout d'abord à ramener les projections de remontée de niveau marin moyen dans le référentiel NGG77 et en y superposant les maximums journaliers de niveau d'eau liés à la marée.

La Figure 3a montre un exemple de submersion chronique observée à Cayenne le 16 octobre 2020. Les relevés GPS sur le terrain et le modèle numérique de terrain (MNT) de Cayenne ont révélé que le niveau d'eau doit dépasser la cote de 1.77 m NGG77, pour conduire à cet événement de submersion chronique. L'analyse probabiliste des maxima journaliers de niveau d'eau montre que la cote de 1.77 m peut en effet être dépassée au moins une fois dans l'année en 2020 (Figure 3b). Cette première analyse permet donc de valider notre méthode de détermination des maxima de niveau d'eau journaliers pouvant conduire à des submersions chroniques.

a) Rue Serge Brown le 16 octobre 2020



b) Niveau dépassé 1j/an (marée prédite)

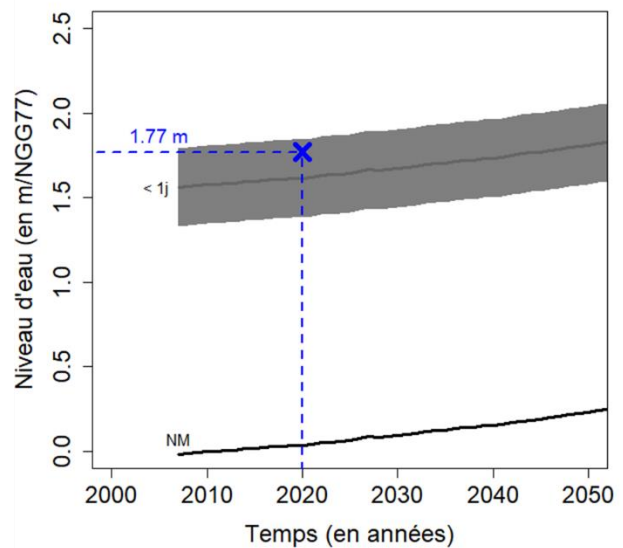


Figure 3 : (a) Submersion chronique observée à l'intersection de la rue Serge Brown et de la rue Docteur Arthur Henry sur la commune de Cayenne prise le 16 octobre 2020 à 16h00 (©CAACL, fond photographie : C.SEJOURNE). (b) Analyse probabiliste de dépassement de l'élévation 1,77m (NGG77) à Cayenne à partir des données de la marée prédite. L'enveloppe grise représente l'intervalle de confiance de 95%.

Les valeurs de niveaux d'eau ainsi obtenues sont ensuite croisées avec l'ensemble du MNT. Ce croisement permet de cartographier les projections des zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques. En d'autres termes, ces secteurs correspondent aux zones situées sous le niveau maximal journalier au moins une fois dans l'année. Pour la réalisation des cartes trois scénarios dits « bas », « médian » et « haut » sont déclinés afin de couvrir la plus large gamme d'incertitude possible. Ils sont définis ainsi :

- le scénario « bas » considère (1) une élévation du niveau marin moyen qui suit la limite basse du « likely-range » du scénario RCP associé et (2) considère une surrection (élévation du sol) locale de 2 mm/an ;
- le scénario « médian » considère (1) une élévation du niveau marin moyen qui suit la médiane du scénario RCP associé et (2) l'absence de mouvements verticaux du sol locaux (*i.e.* conditions stables) ;
- le scénario « haut » considère (1) une élévation du niveau marin moyen qui suit la limite haute du « likely-range » du scénario RCP associé et (2) considère une subsidence (abaissement du sol) locale de 2 mm/an.

L'approche des zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques présente néanmoins des limites :

- elle n'intègre pas la dynamique des écoulements, en particulier l'absence de frottements, et fait l'hypothèse d'un niveau maximum journalier constant et statique;

- les évolutions topographiques naturelles (envasement, migration de la mangrove etc.) ou anthropiques (travaux, remblai, etc.) intervenues depuis l'élaboration des MNT ne sont pas prises en compte ;
- la non-prise en compte de zones basses isolées de toutes connexions avec la mer (canal, cours d'eau etc.).

Les cartes de zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques sont alors réalisées sur 3 secteurs urbains : Cayenne, Kourou et Mana. Un exemple de carte à l'échéance 2100 pour la commune de Cayenne est présenté dans la Figure 4.

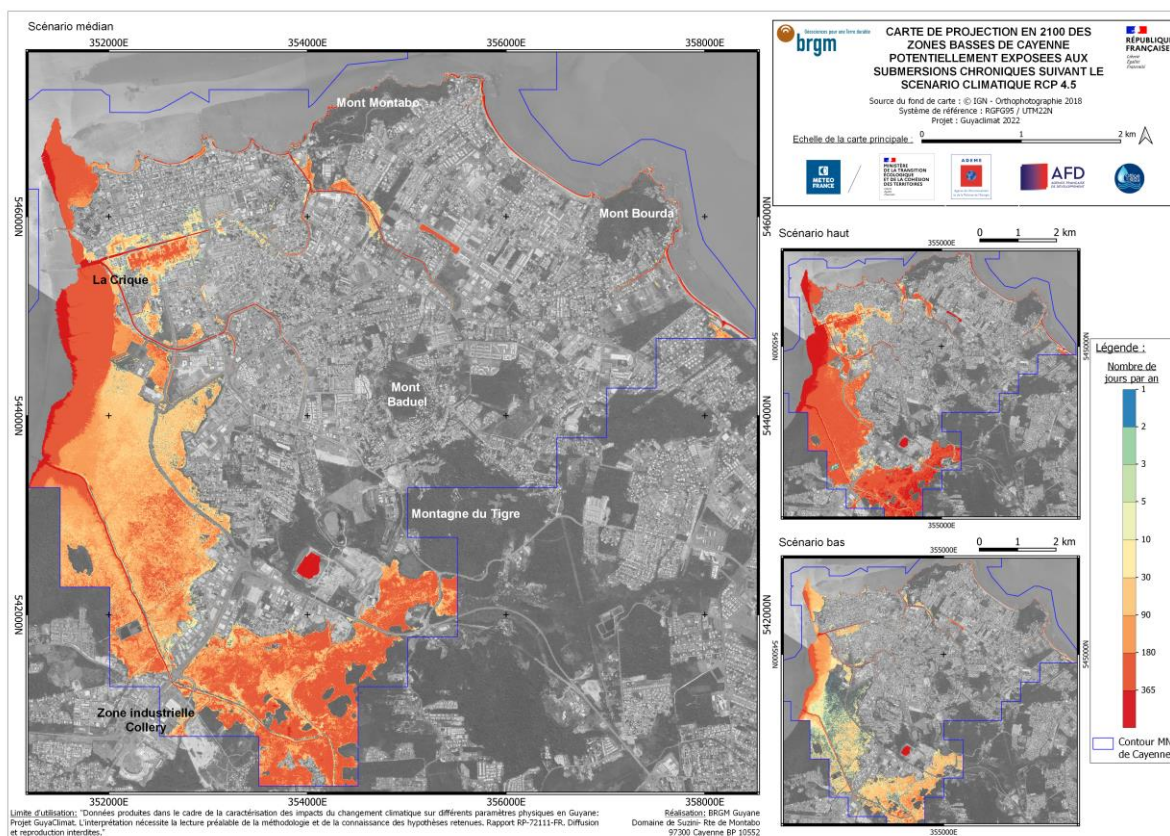


Figure 4 : Exemple de carte des zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques produite, ici pour Cayenne et le scénario RCP4.5 à échéance 2100.

Les projections réalisées aux échéances 2050 et 2100 révèlent que, relativement à la situation actuelle, la superficie des zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques augmentera davantage à Cayenne et à Kourou qu'à Mana. En particulier, si le changement climatique emprunte une trajectoire de réchauffement intermédiaire (RCP4.5) et que les mouvements verticaux du sol restent stables, la superficie de zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques pourrait augmenter de 50% à Cayenne et Kourou entre 2020 et 2100. Par ailleurs, si le réchauffement est très important (RCP8.5) et qu'une subsidence locale est observée, les superficies des zones basses potentiellement exposées aux submersions chroniques passeraient de 500 ha en 2020 à 1000 ha en 2100 pour Cayenne et de 400 ha à 1000 ha pour Kourou sur les mêmes périodes, soit une augmentation de près de 100% (Figure 5).

Pour s'affranchir de la limite des zones basses isolées dans les terres de toutes connexions avec la mer (canal, court d'eau etc.), l'étude s'est intéressée aux « zones basses connectées », qui prennent en compte des connexions en surfaces des zones basses à la mer. La méthode et les résultats sont décrits en détail dans le rapport.

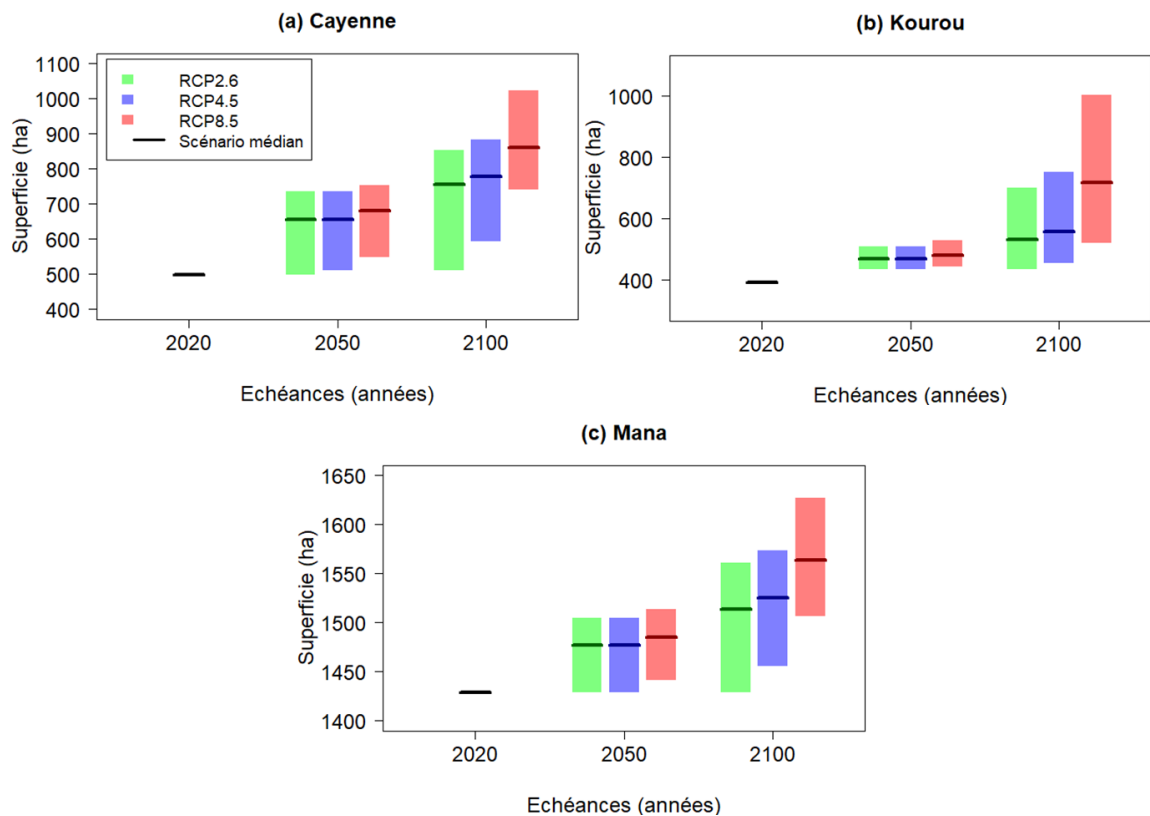


Figure 5 : Enveloppes probables de superficie des zones basses associées à chaque scénario (RCP2.6 : vert, RCP4.5 : bleu, RCP8.5 : rouge) et échéance. Chaque enveloppe est délimitée par le scénario bas, la médiane (trait plein noir) et le scénario haut. La superficie indiquée en 2020 correspond au scénario RCP4.5 médian.

3. Évolution des températures, précipitations, vents et vagues

Le climat équatorial de la Guyane voit l'alternance de saisons humides (décembre à juin) et plus sèches (juillet à novembre), en réponse aux migrations nord-sud de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT). La ZCIT, qui s'étend au-dessus de l'Atlantique entre l'Afrique et l'Amérique du Sud, est accompagnée d'un maximum de précipitations le long de son axe (Figure 6) et flanquée par les alizés des deux hémisphères qui convergent dans une zone de vents faibles.

Afin de représenter l'évolution future du climat guyanais, il est donc impératif d'identifier des modèles climatiques capables de représenter correctement les variations saisonnières de la ZCIT. Pour cela, les normales trimestrielles glissantes des précipitations issues d'une cinquantaine de modèles CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 6*) ont permis la détection de la ZCIT simulée en climat historique (Figure 6). La saisonnalité simulée de la ZCIT, ainsi que ses fluctuations interannuelles en réponse à l'alternance des événements El Niño et La Niña dans le Pacifique ont ainsi pu être comparées aux observations.

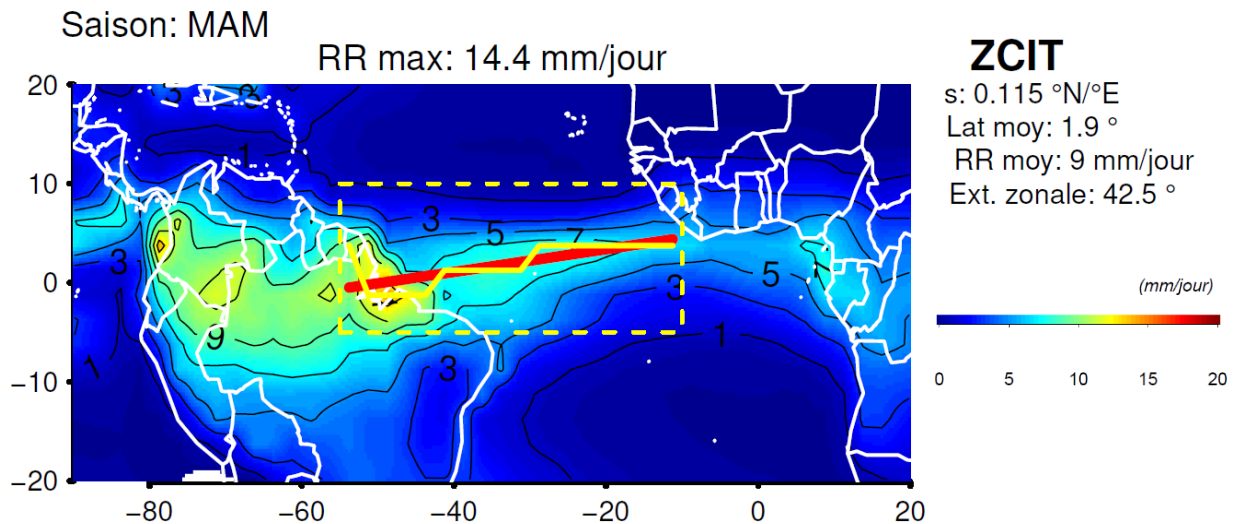


Figure 6 : Normales trimestrielles (mars à mai) des taux journaliers de précipitations RR sur le domaine d'étude d'après les données observées GPCP. La ligne brisée jaune relie les points où RR est maximal pour une longitude donnée dans la zone en pointillés où les métriques de la ZCIT (droite de régression représentée par le segment rouge) sont calculées : pente s , latitude moyenne, RR moyennes et extension est-ouest.

Les simulations futures sous deux scénarios contrastés d'émissions de gaz à effet de serre (SSP2-4.5, émissions contenues; SSP5-8.5, émissions fortes) et issues des modèles les plus fidèles ont ensuite été analysées à grande échelle en termes de températures, précipitations et vents de surface. Elles ont permis de réduire l'échantillon à une poignée de modèles climatiques aux évolutions futures contrastées pour la région Atlantique Tropical/Nord de l'Amérique du Sud en général et pour la Guyane en particulier.

Une procédure de correction de biais et de descente d'échelle statistique réalisée au moyen de la méthode quantile-quantile a ensuite permis de produire des projections territoriales à partir de ces modèles, ceci grâce à l'utilisation de longues séries de données observées extraites du réseau de stations météorologiques de Guyane. En plus de l'évolution des variables atmosphériques précitées, ces projections ont permis le calcul d'indices climatiques sectoriels (eau, agriculture, énergie) mesurant l'occurrence et l'intensité d'événements extrêmes (fortes pluies, sécheresses, vagues de chaleur) ou certains impacts du réchauffement (besoins en climatisation).

La plupart des modèles du CMIP6 présentent un déplacement de la ZCIT au sud de l'équateur pendant le premier semestre, contrairement aux observations et données de réanalyse (Figure 7).

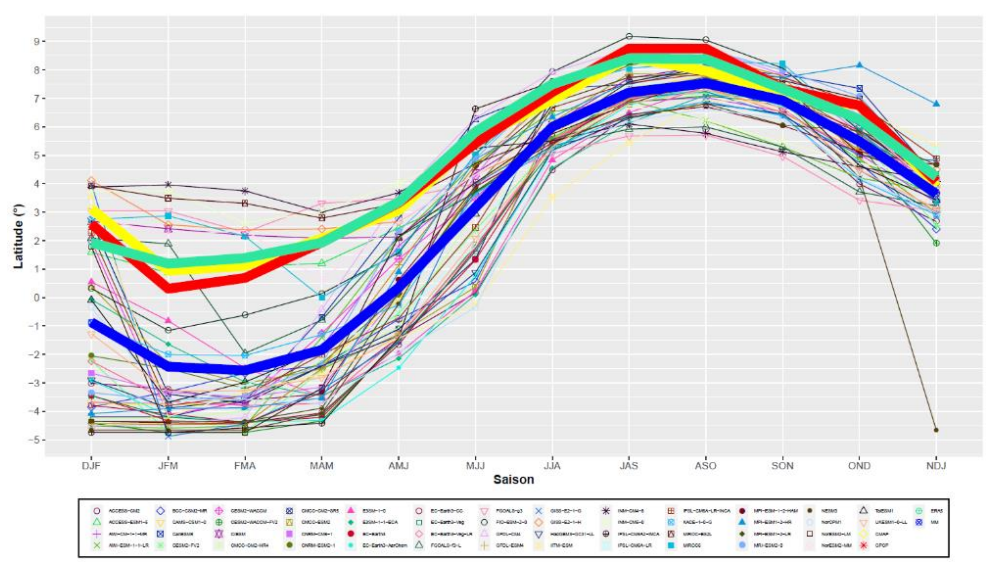


Figure 7 : Normales trimestrielles glissantes de la latitude moyenne de la ZCIT sur 1980-2014 pour 50 modèles CMIP6 et 3 jeux de données de référence. Les courbes en traits gras représentent CMAP (jaune), GPCP (rouge), ERA5 (vert) et la moyenne d'ensemble multi-modèle (bleu).

Une ZCIT située trop au sud entraîne des précipitations réduites en Guyane, ce qui est problématique à cette période de l'année qui coïncide avec la saison des pluies sur le territoire. Huit modèles présentent à la fois des biais moins sévères et une meilleure représentation des impacts régionaux d'El Niño (plus sec que la normale) et La Niña (davantage de pluie que la normale). Ils sont complétés dans le reste des analyses par les deux modèles du Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) de Météo-France, à titre purement indicatif.

Outre un fort niveau de réchauffement, ces modèles prévoient pour la plupart un déplacement de la ZCIT vers le sud au cours du XXI^e siècle, notamment en saison des pluies, entraînant une diminution de la pluviométrie sur l'Amérique du Sud et la Guyane en particulier (Figure 8).

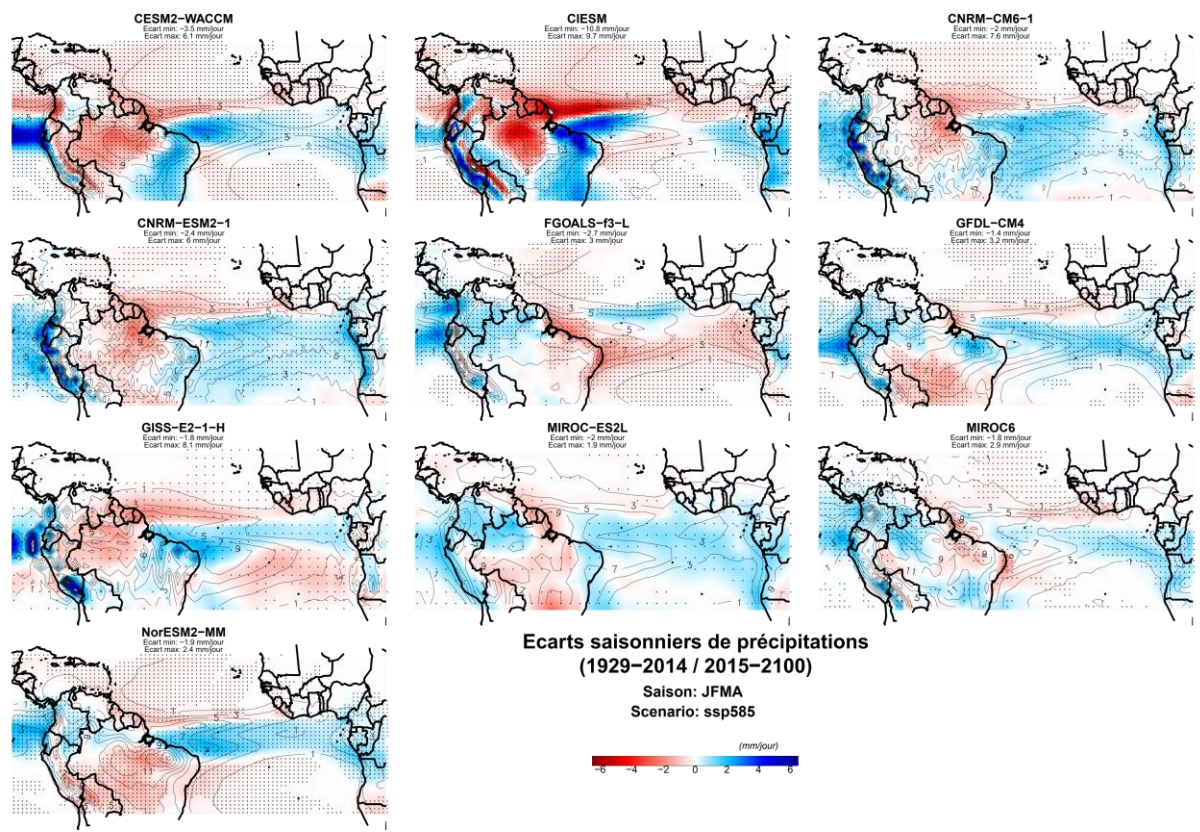


Figure 8 : Écarts des moyennes saisonnières (janvier à avril) à long terme des hauteurs de précipitation entre l'historique (1929-2014) et le scénario SSP5-8.5 (2015-2100) pour les 10 modèles CMIP6 pré-sélectionnés. Les



contours représentent les moyennes historiques. Les points indiquent les zones où les écarts sont statistiquement significatifs au niveau de confiance de 95 %.

Trois modèles sont finalement retenus pour leurs évolutions futures contrastées en termes d'intensité du réchauffement et de l'assèchement.

Température

Après descente d'échelle, les modèles prévoient dans la zone littorale une augmentation des températures minimales à l'horizon 2100 de 2.5-3°C et des maximales de 1.5-2°C pour SSP2-4.5) et respectivement de 4-4.5°C (températures minimales) et de 3.5-4°C (températures maximales) pour SSP5-8.5 (Figure 9).

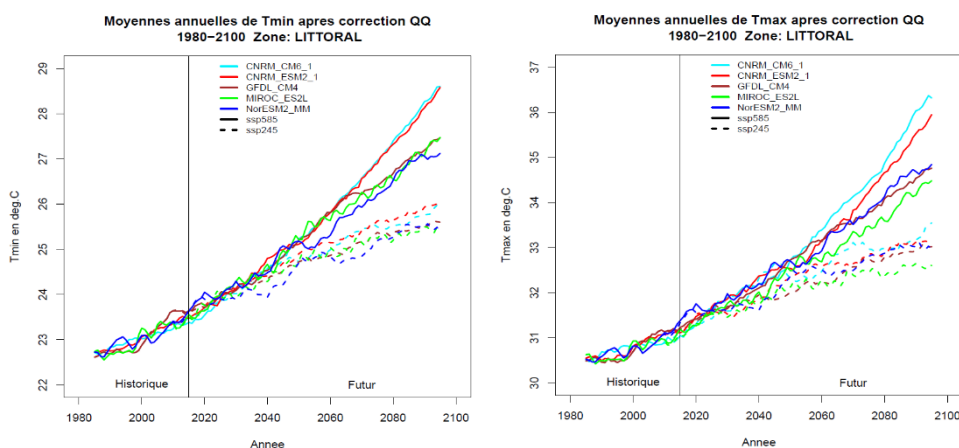


Figure 9: Moyennes annuelles des températures minimales (à g.) et maximales (à d.) historiques et futures corrigées dans la zone littorale pour 5 modèles climatiques et 2 scénarios d'émissions. Les séries ont été lissées avec une moyenne mobile de largeur 11 ans après concaténation des périodes historique (1980-2014) et futures (2015-2100), entraînant la perte des données des 5 premières et 5 dernières années.

Les projections du CNRM sont même 1-1.5°C plus élevées que les autres pour SSP5-8.5. Le réchauffement nocturne plus rapide entraîne aussi une diminution de l'amplitude thermique journalière.

Précipitations

Les précipitations diminuent en moyenne annuelle de -0.03-0.24 mm/jour par décennie pour le scénario SSP2-4.5 et de -0.09-0.32 mm/jour par décennie pour le scénario SSP5-8.5, avec une baisse marquée de décembre à avril.

Vent

Les modèles projettent une augmentation progressive de la force du vent (sauf GFDL-CM4), souvent plus importante pour SSP5-8.5 que pour SSP2-4.5 (Figure 10).

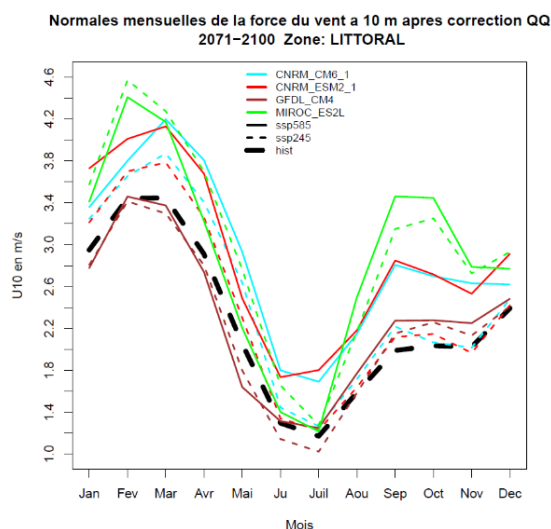


Figure 10 : Normales mensuelles de la force du vent de surface futures corrigées (2071-2100) pour 5 modèles climatiques et 2 scénarios d'émissions, et des températures historiques (1980-2014) pour la zone littorale.

Vague

Le littoral guyanais est soumis entre novembre et avril à l'influence des houles distantes issues des dépressions dans l'Atlantique Nord, qui jouent un rôle important dans la dynamique côtière et l'exposition aux risques littoraux. Une double approche a été suivie pour évaluer l'évolution future des vagues. D'une part, l'analyse des projections multi-modèles COWCLIP (Coordinated Ocean Wave Climate Project) issues de différents modèles de vagues, eux-mêmes forcés par différents modèles du CMIP5 (génération précédente au CMIP6). D'autre part, l'analyse complémentaire de simulations issues d'un seul modèle de vagues (MFWAM) alimenté par un modèle climatique unique (ARPEGE-Climat), mais avec une résolution accrue et une plus grande maîtrise des données, qui sont produites en interne à Météo-France.

L'ensemble COWCLIP et les projections de MFWAM suggèrent une diminution significative de l'énergie des vagues au large, via celle des hauteurs et des périodes, tant en moyenne (Figure 11) que pour les valeurs extrêmes (événements décennaux). Cette diminution serait liée à la houle issue de l'Atlantique Nord et non de la mer du vent, compte tenu des projections de renforcement des alizés.

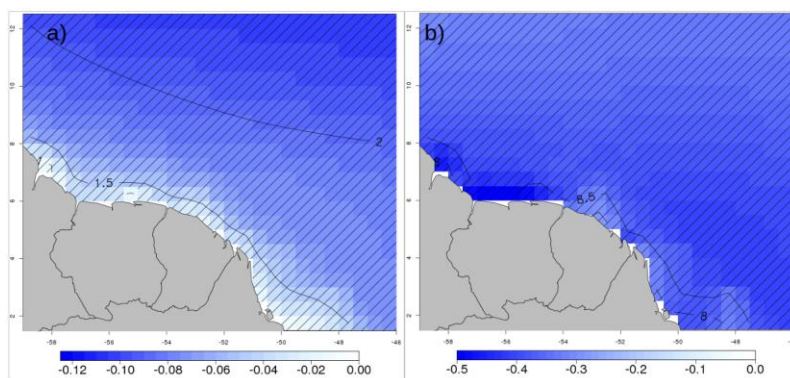


Figure 11 : Évolution moyenne RCP 8.5 (2051-2079) - historique (1984-2012) entre novembre et avril avec pour contour le champ historique : a) hauteur H_s (m) et b) période T_m (s). Les hachures signalent les zones où les évolutions sont statistiquement significatives au niveau de confiance de 95 %.

Impacts sectoriels

Les jours secs, qui ont historiquement lieu en moyenne un jour sur deux sur le littoral, deviennent plus fréquents sur l'ensemble du territoire (Figure 12), tandis que les jours de fortes pluies se font plus rares. On s'attend donc non seulement à ce qu'il pleuve moins abondamment en moyenne, mais aussi moins souvent.

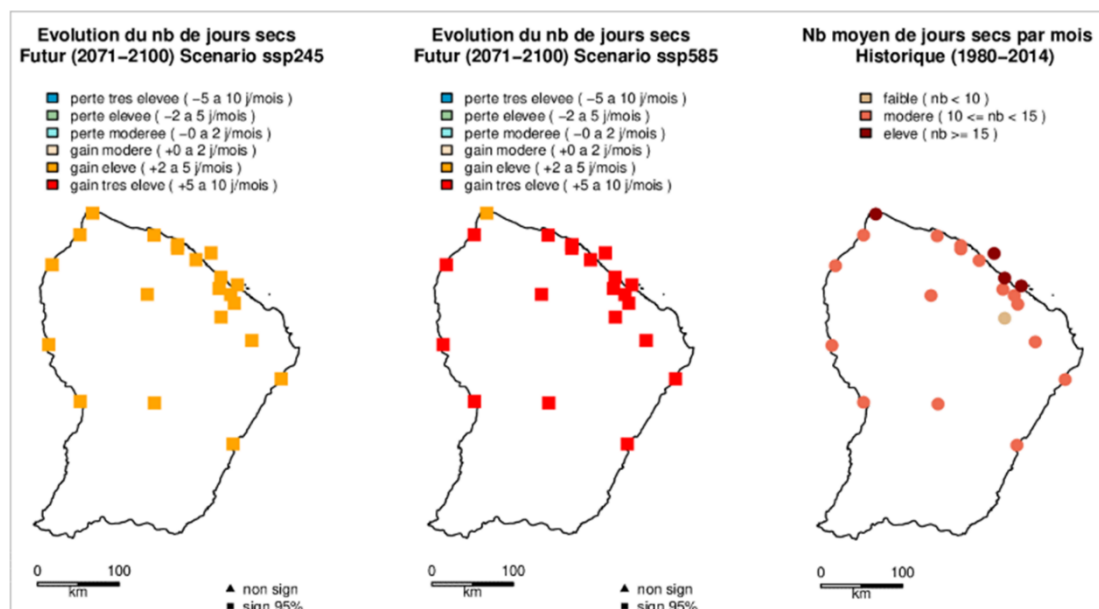


Figure 12 : Écarts des moyennes annuelles à long terme du nombre mensuel de jours secs entre l'historique (1980-2014) et les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (2071-2100) pour le modèle NorESM2-MM. Les moyennes historiques sont également représentées. Les symboles carrés indiquent les stations où les écarts sont significatifs au niveau de confiance de 95 % (test de Student).

Historiquement, sur le littoral, les nuits chaudes ont lieu 1-6 fois par mois en moyenne et correspondent à des températures de l'ordre de 24°C, tandis que les journées chaudes ont lieu 2-5 fois par mois en moyenne et correspondent à des températures de l'ordre de 32.5°C. À l'horizon 2100, les nuits chaudes se produiraient 24-28 jours par mois et les journées chaudes 13-18 jours par mois pour le scénario SSP2-4.5. Pour le scénario SSP5-8.5, les nuits chaudes se produiraient presque tous les jours et les journées chaudes 23-28 jours par mois. Les besoins en climatisation continuent à augmenter fortement dans les simulations futures : à l'horizon 2100, la demande atteint 1500-1800 °C-jour par mois pour le scénario SSP2-4.5 et ~2200 °C-jour par mois pour le scénario SSP5-8.5, contre 600-900 historiquement.

L'évolution des paramètres atmosphériques présentée est largement dépendante de la sélection d'une poignée de modèles climatiques dans la base CMIP6 qui en comprend plus de 50. Cependant la comparaison avec des études récentes de la ZCIT et des téléconnexions d'El Niño/La Niña dans les modèles CMIP6 n'a pas mis en évidence d'incohérence majeure, même si une extension de l'échantillon de modèles retenus pourrait être envisagée pour enrichir les scénarios possibles.



Conclusion

Les projections réalisées dans le cadre de cette étude constituent une première étape nécessaire à la compréhension des conséquences du changement climatique à l'échelle de la Guyane. En effet, ces paramètres physiques influencent une multitude d'écosystèmes naturels (mangrove, morphologie côtière, aquifère etc.) dont dépendent des secteurs économiques comme l'agriculture, la pêche, la gestion des ressources en eau ou encore la gestion des risques et la santé humaine.

Afin de répondre au mieux aux conséquences du changement climatique sur le territoire guyanais, il est nécessaire que les acteurs locaux s'approprient les résultats de cette étude, afin d'initier ou réévaluer des plans de gestion, d'aménagement ou de risques dans lesquelles les effets du changement climatique doivent être pris en compte à l'échelle de la Guyane.

D'autres pistes de développement pourront inclure l'utilisation d'une descente d'échelle dynamique avec un modèle climatique régional, une liste d'indices climatiques sectoriels plus exhaustive incluant par exemple le traitement de données d'humidité pour évaluer les impacts sur la santé (risque d'hyperthermie), ou encore la correction quantile-quantile des projections du climat de vagues.

En ce sens, GuyaClimat peut être considéré comme un socle sur lequel s'appuieront des projets futurs, tant en termes de recherche et développement que d'études d'impact territorial.