

Le changement climatique en Guyane : conséquences potentielles et pistes de réflexion pour l'adaptations régionale

Rapport final

BRGM/RP-61740-FR
Juillet 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2011 PSP11GUY34

Moisan M., Habchi-Hanriot N.,* Collard F.X., Fontaine M.**
Avec la collaboration de
Blum A., Brehm N.*
*Sarl N.B.C
**Météo-France/ORA



Vérificateur :

Nom : G. Le Cozannet
Date : 25/11/2013

Signature :
G. Le Cozannet

Approbateur :

Nom : A. Blum
Date : 15/12/2013

Signature :
A. Blum

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Remerciements : ce travail est le fruit d'une large consultation de chercheurs présents en Guyane ou en métropole liste p17. L'équipe projet tient à les remercier pour leur disponibilité, les données et informations mises à disposition et les relectures de ce rapport.

Mots clés : Guyane, changement climatique, aléa, impact, adaptation, eau, risques naturels, littoral, inondation, santé, forêt, agriculture, pêche.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

MOISAN M., HABCHI-HANRIOT N., COLLARD F.X., FONTAINE M. 2013. Le changement climatique en Guyane : conséquences potentielles et pistes de réflexion pour l'adaptation régionale. BRGM/RP 61740- FR, 112 p.

Synthèse

Il est aujourd'hui admis par la communauté scientifique que la planète se réchauffe au niveau mondial, du fait des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce réchauffement n'est pas homogène sur la surface du globe et il peut influencer d'autres variables climatiques telles que les précipitations ou encore le niveau moyen des océans.

D'après les récents travaux de Météo-France, on observe **en Guyane une augmentation de la température moyenne de +1,36°C entre 1955 et 2009**. La même tendance à l'augmentation a été mise en évidence sur les températures maximales et minimales et ce quelle que soit la saison considérée.

L'étude de l'évolution des **précipitations ne met pas en évidence de tendance significative et continue**, que ce soit pour les précipitations annuelles, saisonnières ou bien mensuelles. Les principales particularités observées se situent sur la période 1970-1990, avec une saison sèche et un mois de décembre légèrement plus humides. Ces observations pourraient s'expliquer par une position plus au sud de la Zone de Convergence Intertropicale (ZIC) durant cette période, provoquant une saison des pluies plus précoce et une fin de la saison des pluies plus tardive. L'analyse des précipitations a également mis en évidence une augmentation du nombre de jours de pluies significatives (> 1 mm) sur la période 1955-2012, particulièrement marquée entre janvier et mai, et ce bien que la quantité de précipitation annuelle varie peu. Il pleut donc plus souvent mais en plus faible quantité. En effet, le nombre de jours de pluie est essentiellement en augmentation au niveau des précipitations les plus faibles, c'est-à-dire comprises entre 1 et 5 mm. Cependant cette évolution n'est pas due à une tendance continue sur l'ensemble de la période étudiée, mais principalement à une augmentation sur la période 1969-1989.

Les observations à partir de l'altimétrie satellite mettent en évidence **une augmentation du niveau moyen de la mer au large de la Guyane de 3,5 mm/an** sur la période 1993-2012 (3.2mm/an en moyenne globale sur la même période).

Dans les études en cours sur les **projections du climat futur en Guyane**, ce sont les scénarios d'émissions des gaz à effet de serre A2 et A1B du GIEC qui ont été retenus par Météo-France. Les périodes de simulation sont comprises entre 2050 et 2070 pour le scénario A2 et 2040 et 2070 pour le scénario A1B. Un seul modèle de simulation du climat a été utilisé pour le scénario A2 et trois pour le scénario A1B.

Les résultats concernant les projections de l'évolution des précipitations présentent de **nombreuses incertitudes**, en effet pour une même saison les simulations des modèles peuvent donner des résultats radicalement différents. Il n'est donc pas possible de déduire une tendance claire quant à l'évolution des précipitations quels que soient le modèle ou la saison considérés. Cependant, d'après le GIEC, l'est de l'Amazonie devrait probablement connaître des périodes sèches plus importantes et des précipitations intenses plus fréquentes.

Pour les températures les intervalles de confiance sont assez semblables entre les résultats des simulations A2 et A1B. Le réchauffement est marqué pour les températures maximales avec un écart moyen supérieur à 1°C pour la quasi-totalité des saisons et des modèles de simulation.

Ces évolutions climatiques, attendues dans les prochaines décennies, pourront avoir des conséquences sur les systèmes naturels et humains.

Ainsi, la **forêt équatoriale guyanaise apparaît comme particulièrement vulnérable à une diminution des précipitations**, certains modèles de dynamique de la végétation prévoient une transformation marquée de la forêt équatoriale liée à des épisodes de sécheresse plus fréquents et plus intenses dans l'avenir.

L'agriculture, qui représente un enjeu de développement important pour la Guyane, aujourd'hui majoritairement familiale et traditionnelle, semble pouvoir s'adapter facilement aux modifications climatiques. Cependant, les évolutions climatiques futures peuvent contraindre le développement d'une agriculture commerciale.

Le milieu marin, à travers la pêche représente également une ressource économique importante. Or des modifications environnementales ont déjà pu être observées. Entre 1970 et 2004, on observe ainsi un réchauffement moyen des eaux de surface de 0,65°C. Des modifications de la structure de peuplement des poissons, liées en partie au réchauffement des eaux, ont déjà été identifiées et pourraient s'amplifier dans l'avenir.

Les **enjeux de santé** en Guyane sont importants, le territoire est soumis à plusieurs maladies vectorielles d'importance telles que la dengue, le paludisme ou la fièvre jaune. L'accès à l'eau dans les sites isolés pose également des problèmes en termes de maladies hydriques. Le changement climatique pourrait avoir deux types d'impacts sur la santé : l'un direct sur les populations fragiles avec l'augmentation des températures d'une part et un effet indirect sur les maladies vectorielles avec les modifications de certaines conditions environnementales d'autre part. Il peut également exister un risque d'apparition de maladies émergentes, de dégradation de la qualité sanitaire des eaux (si la fréquence des crues augmente par exemple) ou encore d'augmentation des particules dans l'air, liée à la désertification en Afrique de l'Ouest. Ces impacts restent cependant à l'état d'hypothèse, aucune étude n'ayant à ce jour été menée sur ces questions de relations maladies vectorielles – changement climatique. La difficile distinction entre effets du changement climatique et facteurs anthropiques (flux migratoires, conditions d'hygiène, etc....) en est une des raisons.

Une importante partie de la population de la Guyane est soumise à au moins un **risque naturel**, qu'il soit lié à **l'action de la mer, aux mouvements de terrains ou encore aux inondations**. Les modifications climatiques futures vont certainement aggraver l'exposition des populations et des infrastructures aux aléas naturels, en particulier sur le littoral. Le littoral de Guyane est constitué par une plaine sédimentaire basse et meuble et fait partie des côtes les plus instables au monde, en lien avec le déplacement de bancs de vase issus du fleuve Amazone. L'élévation du niveau de la mer pourrait conduire à un recul du littoral, à la submersion permanente de zones

basses et à la salinisation des hydrosystèmes côtiers. Concernant les inondations, en termes d'observations sur les crues l'analyse des hauteurs d'eau maximales ne montre aucune évolution particulière. Même si il existe beaucoup d'incertitudes sur l'évolution des précipitations, on peut s'attendre à des événements climatiques extrêmes plus fréquents et plus intenses. Par ailleurs, le niveau moyen de la mer augmente, la côte d'altitude d'évacuation des eaux devrait par la même occasion augmenter et contraindre encore plus les écoulements vers la mer. Ceci devrait aggraver les inondations sur le littoral dans l'avenir. En termes de conséquences du changement climatique sur les mouvements de terrains on peut déduire une probable augmentation de l'aléa. En cas d'augmentation des pluies, les phénomènes de saturation des sols seront plus fréquents et cela augmentera d'autant la fréquence d'occurrence des phénomènes superficiels. D'autre part, il est considéré que les épisodes pluvieux exceptionnels (dits intenses) sont amenés à augmenter, ce qui tendrait à accroître la fréquence d'occurrence des instabilités de faible à moyenne ampleur et l'intensité des événements de grande ampleur.

Deux facteurs sont susceptibles d'affecter la **ressource en eau** : la modification du régime des précipitations et la montée du niveau de la mer (intrusion saline). **Pour le moment, aucune tendance annuelle significative n'a été mise en évidence sur l'évolution des débits des fleuves en Guyane.** Par contre, la série de Maripasoula présente des minima en hausse alors que ceux mesurés par les stations Pierrette (Approuague) et Saut Bief (Comté) sont de plus en plus marqués. Un allongement des périodes sèches dans l'avenir (scénario envisagé par le GIEC dans la région amazonienne) pourrait avoir des conséquences sur les hydrosystèmes. D'autre part, les eaux de surface, prélevées à proximité des estuaires, sont particulièrement vulnérables à l'influence de la marée. En effet, les cours d'eau peuvent subir l'influence de la marée jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres depuis l'embouchure des fleuves. En cas de déficit pluviométrique marqué, en fin de saison sèche, le niveau des cours d'eau diminue entraînant une remonté du biseau salé plus en amont qu'à la normale et rendant impropre les eaux à la consommation humaine. Les effets du changement climatique, avec l'augmentation du niveau de la mer et la probable augmentation de l'intensité des saisons sèches, pourraient donc aggraver la vulnérabilité des captages d'eau sur le littoral.

Enfin, le changement climatique pourrait affecter la part de **l'électricité actuellement produite par le barrage de Petit Saut (hydroélectricité)**. Le barrage de Petit Saut apparait comme un élément primordial du système électrique du littoral : il est capable de produire jusqu'à 60% de l'énergie électrique consommée en Guyane. Mais ce type de production est **soumis à d'importantes fluctuations liées aux variations pluriannuelles de la pluviométrie**. Si le changement climatique génère des modifications dans la saisonnalité des précipitations, avec par exemple des saisons sèches plus longues, un des impacts pourrait être une augmentation de la consommation de carburant fossile pour compenser le déficit de production du barrage. Par ailleurs, la consommation électrique pourrait également augmenter avec l'élévation des températures dans les prochaines décennies. En effet, si les valeurs maximales et minimales augmentent, le confort thermique des logements et des bâtiments pourrait être dégradé, avec pour conséquence un recours plus important à la climatisation.

Malgré ces constats sur les conséquences possibles du changement climatique, il faut rappeler **qu'il reste encore particulièrement difficile de pouvoir caractériser de manière précise les impacts du changement climatique sur le territoire. Il existe de nombreuses incertitudes** quant à l'évolution future du climat régional, notamment sur l'évolution de la pluviométrie et des extrêmes climatiques. Un travail de descente d'échelle afin d'affiner la connaissance régionale des projections et mieux répondre à la question des impacts à l'échelle des enjeux est nécessaire. Dans cette optique, il serait opportun d'utiliser les dernières projections du GIEC attendues pour 2013. L'amélioration des projections est notamment indispensable pour évaluer la réponse des écosystèmes forestiers aux perturbations climatiques futures ou encore modéliser les impacts sur l'hydrologie de surface. D'autre part, le changement climatique apparaît assez peu abordé par la communauté scientifique en Guyane. **Une autre limite dans l'évaluation des impacts du changement climatique concerne la difficulté de discriminer la part du changement climatique par rapport aux autres facteurs** (humains, socio-économique, variabilité naturelle du climat, etc.) qui peuvent se combiner aux évolutions climatiques. Enfin de manière générale, le niveau de connaissance et d'information de certains milieux, comme par exemple les écosystèmes marins et les écosystèmes forestiers, ne permettent pas d'appréhender l'ensemble des interactions que pourrait avoir les effets du changement climatique sur certaines composantes environnementales ou socio-économiques du territoire guyanais. Il faut donc continuer à améliorer les connaissances, notamment en rapport aux conditions climatiques. Dans cet objectif, l'acquisition de données nouvelles sur le territoire, la pérennisation d'autres données et le développement des observatoires sur le long terme sont des éléments clé pour l'avenir.

La Guyane de par ses caractéristiques climatiques naturelles, est particulièrement soumise à la variabilité interannuelle et saisonnière des précipitations, ce qui amène déjà certains systèmes naturels et humains à s'adapter aux contraintes climatiques, notamment en fin de saison sèche. Dans ces conditions, il est attendu que certains secteurs soient plus aptes à faire face aux évolutions climatiques. Cependant, la Guyane doit également se préparer à un développement démographique important dans les années à venir, avec un doublement de sa population à chaque génération (20 ans). Les besoins en infrastructure, en aménagement et en développement sont considérables et pourront être contraints par les évolutions climatiques. Il apparaît donc indispensable d'anticiper les aléas climatiques et leurs impacts sur le territoire pour se préparer au défi que représente **l'adaptation au changement climatique**.

L'adaptation aux changements climatiques repose sur 3 grands principes :

- la réduction de l'exposition des enjeux ;
- la réduction de la sensibilité des enjeux ;
- le renforcement de la résilience des enjeux et des systèmes naturels.

De manière générale, il apparaît que l'adaptation doit passer par une **amélioration des connaissances de la réponse des systèmes naturels aux évolutions climatiques futurs pour combler les nombreuses incertitudes qui existent à l'heure actuelle**. La Recherche a développé des outils d'aides à la décision (tels que le « robust decision making ») qui permettent d'éclairer les choix de politiques de long terme dans un contexte de fortes incertitudes. De telles approches pourraient être mises en œuvre

dans le contexte régional guyanais, comme étude d'accompagnement des plans d'adaptation régionaux et locaux. **L'information et la prévention** apparaissent également comme un des axes prioritaires pour sensibiliser les populations et les décideurs, afin de soutenir l'acceptabilité des choix d'adaptations. Enfin, l'adaptation au changement climatique doit être transversale, pour cela les mesures d'adaptation doivent être **intégrées dans les outils stratégiques et de planifications déjà existants.**

Sommaire

1. Contexte et objectifs	15
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE	15
1.2. OBJECTIFS ET METHODE DE TRAVAIL.....	16
2. Etat des lieux des aléas climatiques : tendances et projections	19
2.1. OBSERVATIONS AU NIVEAU GLOBAL.....	19
2.1.1. Températures moyennes.....	19
2.1.2. Températures extrêmes	21
2.1.3. Précipitations moyennes	21
2.1.4. Précipitations extrêmes	22
2.1.5. Niveau de la mer	22
2.2. OBSERVATIONS AU NIVEAU REGIONAL.....	23
2.2.1. Contexte climatique de la Guyane.....	23
2.2.2. Evolution des paramètres climatiques, hydrologiques et météo-marins observés en Guyane	25
2.3. PROJECTIONS DE L'EVOLUTION DU CLIMAT	45
2.3.1. Les différents scénarios.....	45
2.3.2. Projections mondiales	46
2.3.3. Projections régionales pour la Guyane à l'aide des scénarios d'ARPEGE- CLIMAT	51
2.4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	62
3. Impacts potentiels par thématique	65
3.1. LA FORET	65
3.2. L'AGRICULTURE	69
3.3. LA PECHE	71
3.3.1. Généralités	71
3.3.2. Effets du changement climatique sur les ressources halieutiques – Programme scientifique.....	72
3.4. LA SANTE	74
3.5. LES RISQUES	77

3.5.1. Erosion et submersion littorale	77
3.5.2. Inondation	81
3.5.3. Mouvement de terrain	83
3.6. LA RESSOURCE EN EAU	87
3.7. L'ENERGIE	90
3.8. INCERTITUDES	95
4. Pistes de réflexion sur l'adaptation	97
4.1. CONTEXTE NATIONAL	97
4.2. L'ADAPTATION A L'ECHELLE REGIONALE	99
4.2.1. Renforcer l'observation régionale	99
4.2.2. Améliorer la connaissance sur les effets du changement climatique et la vulnérabilité du territoire	100
4.2.3. Développer la coopération régionale	100
4.2.4. Actions opérationnelle de cours et moyens terme	100
4.2.5. Sensibiliser et informer la société guyanaise sur le changement climatique et l'adaptation	101
4.2.6. Intégrer l'adaptation dans les politiques publiques existante	101
5. Conclusion	103
6. Bibliographie	105

Liste des illustrations

Illustration 1 : liste des experts scientifiques consultés	17
Illustration 2 : Moyenne mondiale des températures et tendance linéaire (GIEC, 2007)	20
Illustration 3 : Tendances mondiales linéaires de températures au cours de la période 1979 à 2005 par saison estimées à la surface. Le gris indique les secteurs où les données sont incomplètes (GIEC, 2007)	20
Illustration 4 : Distribution des tendances linéaires des volumes des précipitations annuelles sur les terres dans la période 1901-2005 (% par siècle). Les zones grisées indiquent une insuffisance de données pour estimer une tendance fiable (GIEC, 2007)	21
Illustration 5 : Evolution récente du niveau moyen global des océans à partir des données marégraphiques sur la période 1900-2001. Les points rouges représentent les estimations de Church et al. (2004), les point bleus celles de Jevrejeva et al. (2006). D'après Cazenave et Llovel (2010)	22

Illustration 6 : Carte de la distribution géographique mondiale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2011) d'après les données altimétriques issues des missions Topex/Poseidon, Jason-1 et 2 (LEGOS)	23
Illustration 7 : Pluviométrie annuelle en mm sur la Guyane, normales 1971-2000 (Météo-france, 2012).....	24
Illustration 8 : Stations météorologiques avec séries homogénéisées pour l'étude de l'évolution des températures observées (Météo-France, 2012)	25
Illustration 9 : Evolution de la température moyenne en Guyane entre 1955 et 2009 (Météo-France, 2012)	26
Illustration 10 : Evolution des températures maximales par stations en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)	26
Illustration 11 : Evolution moyenne globale de la température maximale (moyenne des quatre postes homogénéisés) en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012).....	27
Illustration 12 : Evolution des températures minimales par stations en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)	27
Illustration 13 : Evolution moyenne globale de la température minimale (moyenne des quatre postes homogénéisés) en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012).....	28
Illustration 14 : Evolution des températures minimales par saison et par station en Guyane pour la période 1955-2009 (Météo-France, 2012)	28
Illustration 15 : Evolution des températures maximales par saison et par station en Guyane entre 1955 et 209 (Météo-France, 2012)	29
Illustration 16 : Evolution en % des précipitations annuelles en Guyane sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)	30
Illustration 17 : Evolution du SPI, calculé sur une période de référence de 12 mois de 1955 à 2004 à la station de rochambeau (Collard, 2013).....	31
Illustration 18 : Evolution en % des précipitations lors de la saison sèche sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)	32
Illustration 19 : Moyenne sur 5 ans des précipitations à Rochambeau au cours de la saison sèche. Le trait rouge correspond à la moyenne sur l'ensemble de la série de 1955 à 2004 (Collard, 2013)	32
Illustration 20 : Evolution en % des précipitations au cours de la saison des pluies sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)	33
Illustration 21 : Evolution du SPI calculé sur la saison des pluies pour la station de Saint-Laurent (Collard, 2013).....	33
Illustration 22 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois de sécheresse sur l'ensemble des stations, à partir du calcul du SPI sur une période de 1 mois (Collard, 2013)	34
Illustration 23 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois anormalement humides sur l'ensemble des stations, à partir du calcul du SPI sur une période de 1 mois (Collard., 2013)	35
Illustration 24 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois extrêmement secs ou humides (SPI < - 2 ou SPI > 2), d'après Collard, 2013.....	35

Illustration 25 : Evolution sur 50 ans du nombre de jours de pluie significative, les valeurs entourées en rouge sont celles pour lesquelles les résultats sont statistiquement significatifs (Collard, 2013)	36
Illustration 26 : Evolution de l'indice AMO de 1860 à 1990 (Enfield et al., 2001)	38
Illustration 27 : Evolution annuelle du nombre de jours d'orages à Rochambeau sur la période 1970-2009 (Météo-France, 2012).....	39
Illustration 28 : Marégraphe des Iles de Salut (SONEL)	39
Illustration 29 : Estimation du niveau moyen régional au large de la Guyane par altimétrie satellite entre 1993 et 2012 (d'après le projet INFOLITTORAL).	41
Illustration 30 : Tendances mensuelles observées de 9 séries hydrométriques (en cm/an). La colonne « Nombres de mois » représente la longueur des séries étudiées, les alternances grisées représentent les stations par bassins versant (Escloupier, 2012).....	42
Illustration 31 : Augmentation de la température des eaux de surface entre 1970 et 2004 au large de la Guyane (Bernard, 2006).....	43
Illustration 32 Fluctuations interannuelles des paramètres de la houle hauteur (a) et période (b) sur la période 1960-2004 à partir des réanalyses du modèle ERA 40. La partie grisée correspond à un biais dans la donnée (Gratiot et al., 2007)	44
Illustration 33 : Evolution de la récurrence moyenne annuelle dans la direction de la houle de 1989 à 209 par tranche de 10° d'après les réanalyse du modèle ERA 40 (Lampert, 2013).	45
Illustration 34 : Variations de température projetées pour le début et la fin du XXIe siècle, sur la base de la période 1980–1999. Les cadres de gauche et de droite montrent les projections multi-modèles moyennes MCGAO (°C) pour les scénarios RSSE B1 (en haut), A1B (au centre) et A2 (en bas) calculés en moyenne pour les décennies 2020–2029 (à gauche) et 2090–2099 (à droite) d'après le GIEC 2007.....	47
Illustration 35 : Variations relatives du régime des précipitations (%) pour la période 2090-2099, par rapport à la période 1980-1999. Les valeurs indiquées sont des moyennes issues de plusieurs modèles, obtenues à partir du scénario A1B pour des périodes allant de décembre à février (à gauche) et de juin à août (à droite). Les zones en blanc correspondent aux régions où moins de 66% des modèles concordent sur le sens de la variation et les zones en pointillé à celles où plus de 90% des modèles concordent sur celui-ci. (GIEC, 2007).	48
Illustration 36 : Élévation du niveau de la mer observée par des marégraphe (courbe rouge) et des altimètres satellitaires (courbe bleu), comparée aux projections du troisième rapport d'évaluation du GIEC (Rahmstorf et al. 2007).....	49
Illustration 37 : Elévation du niveau de la mer projetée pour la fin du XXIe siècle, fourchette basée sur le modèle hors variations rapides futures du flux de glace (GIEC, 2007).....	50
Illustration 38 : Projection de l'augmentation du niveau moyen de la mer au cours du XXI ^e siècle (GIEC, 2013).	50
Illustration 39 : Hypothèse recommandées par l'ONERC d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030, 2050, 2100 en cm (ONERC, 2010).....	51

Illustration 40 : Modèles utilisés dans le cadre des projections régionales aux Antilles-Guyanes avec mention du scénario, de la période de simulation et de la période de référence pris en compte.	52
Illustration 41 : Anomalies de précipitations, simulés par le modèle Arpège V4 Global 50 km Delta SST par saisons et pour le scénario A2, à l'horizon 2070 (Météo-France, 2012).	53
Illustration 42 : Anomalies de précipitations par saison, simulées par 3 modèles différents pour le scénario A1B et la période 2040-2070 (Météo-France, 2012).....	54
Illustration 43 : Incertitude pour les précipitations pour le scénario A2 (Météo-France, 2012)	55
Illustration 44 : Incertitude pour les précipitations pour le scénario A1B (Météo-France, 2012)	56
Illustration 45 : Résultats moyens multi-modèles pour les scénarios RCP2.6 (a) et RCP8.5 (b) de l'évolution des précipitations moyennes annuelles pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005. Les hachures indiquent les zones où la moyenne multi-modèle est faible par rapport à la variabilité des résultats. Les pointillés indiquent les zones où la moyenne est forte par rapport à la variabilité et où 90% de modèles convergent dans le même sens Modifié d'après GIEC 2013.....	57
Illustration 46 : Anomalies de précipitations par saison, simulées par 3 modèles différents pour le scénario A2 et la période 2050-2070 (Météo-France, 2012).....	58
Illustration 47 : Anomalies de températures maximales par saison, simulées par 3 modèles différents, pour le scénario A1B et la période de référence 2040-2070 (Météo-France, 2012).....	59
Illustration 48 : Incertitude pour températures maximales pour le scénario A2 (Météo-France, 2012).....	60
Illustration 49 : Incertitude pour les températures maximales pour le scénario A1B (Météo-France, 2012)	60
Illustration 50 : Incertitudes pour les températures minimales (Explore 2070).....	61
Illustration 51 : Part de la couverture de feuillus affectée par le changement climatique par rapport à 2000 dans Amui-Vedel 2010 à partir de Betts et al. 2004.	67
Illustration 52 : Evolution de la couverture végétale dans la région Amazonienne à partir de simulation du climat couplé avec celle du cycle du carbone d'après Cox et al. 2004.	68
Illustration 53 : Amplitude thermique supportée par les poissons en Guyane (Bernard, 2006)	74
Illustration 54 : Fluctuations temporelle du niveau moyen de l'Océan Atlantique (mwl) et du niveau moyen des pleines mers (mhw), modélisé au droit des Guyanes. Evolutions mesurées (courbes roses et vertes) du littoral de Guyane Française et comparaison au modèle de prédiction (courbe grise), l'année 2006 étant référencée comme année origine. Les points blancs indiquent la tendance issue de mosaïques satellites sur les 1500 km du plateau des Guyane. D'après Gratiot et al. 2008.....	78
Illustration 55 : Niveau de l'aléa submersion marine en fonction des scénarios recommandés par l'ONERC à l'horizon 2100 en cm à la côte NGG. Plus Haute Marée Astronomique (PHMA, d'après les références altimétriques du SHOM), Niveau retenu dans les PPR comme aléas de référence (PPR).....	80

Illustration 56 : Cartographie des zones basses du littoral de Guyane d'après le CETMEF (2012). En vert apparaissent les zones du territoire situées sous les niveaux marins extrêmes plus 1 m d'élévation du niveau de la mer (Source : Cartelie)	80
Illustration 57 Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP). ce : cours d'eau et sm : submersions marines.....	82
Illustration 58 : Carte des phénomènes de mouvements de terrains recensés en Guyane (Source : www.bdmvt.net).....	84
Illustration 59 : Localisation des captages d'eau potable (Communication orale BRGM, 2008).....	88
Illustration 60 : Moyens de production d'électricité en Guyane (SRCAE, 2012)	90
Illustration 61 : Production d'électricité par type de ressource (PRERURE, 2012).....	91
Illustration 62 : Bilan des consommations d'énergie en Guyane (PRERURE, 2012)	92
Illustration 63 Répartition sectorielle des consommations d'électricité en 2009 (PRERURE, 2009).....	92
Illustration 64 Part relative de chaque source de production d'électricité entre 2003 et 2009 (PREURE, 2012)	93
Illustration 65 : Centrale hydroélectrique "au fil de l'eau" sur le fleuve Mana (Source : Mairie de Mana).....	94

1. Contexte et objectifs

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Il est maintenant communément admis par la communauté scientifique que notre planète est en train de subir une période de réchauffement climatique globale, liée aux émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis l'ère industrielle. Dans son quatrième rapport (2007), le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) montre que certains impacts du changement climatique seront inévitables.

La Guyane, et plus largement la région amazonienne, ne sont évidemment pas à l'abri de ces changements futurs ou parfois déjà observés. Ainsi par exemple, dans la région, la température moyenne annuelle a augmenté de 26°C à plus de 27°C entre 1955 et 2009. Les modèles climatiques globaux, qui tentent de prédire l'évolution future du climat, prévoient également, avec une forte probabilité, que les saisons sèches s'intensifieront dans les prochaines décennies dans la région amazonienne. Par ailleurs, le niveau marin augmente depuis la fin du XIX^{ème} siècle et ce processus s'accélèrera au cours de ce siècle.

L'ensemble des systèmes naturels va nécessairement être affecté par ces changements avec des conséquences plus ou moins marquées pour la gestion et l'aménagement du territoire guyanais. Les enjeux sont en effet multiples et concernent notamment : les ressources (eau et énergie), les risques naturels (notamment : érosion-submersion marine, inondation, mouvement de terrain), la biodiversité (terrestre et marine), l'agriculture et la pêche, l'énergie ou encore la santé. Il est donc nécessaire de connaître et d'anticiper ces changements en planifiant des mesures d'adaptation, afin de réduire la vulnérabilité du territoire et des activités humaines, dans une région marquée par une forte croissance démographique.

En 2011, les travaux liés à l'élaboration du Schéma Régional Climat Air Énergie ont réaffirmé le besoin de faire un état des connaissances et de définir une stratégie locale en matière de caractérisation de la vulnérabilité et d'adaptation au changement climatique. Un premier travail de compilation des données, de synthèse et d'écriture, concernant l'impact du changement climatique en Guyane, a été réalisé fin 2011 par le BRGM en collaboration avec le bureau d'études NBC (Lecomte *et al.* 2011). Cette publication constitue le texte qui a été proposé à l'ONERC dans le cadre de son rapport annuel 2011, spécifiquement dédié aux territoires français d'Outre-mer. Ce travail a permis d'apporter un premier état des lieux concernant la vulnérabilité du territoire guyanais.

Le projet s'inscrit également dans la mise en œuvre du PRME (Plan Régional de Maitrise de l'Énergie). Il est conduit et cofinancé par la DEAL, l'ADEME, le Conseil Régional de Guyane et le BRGM.

1.2. OBJECTIFS ET METHODE DE TRAVAIL

Au-delà de l'état des connaissances scientifiques sur le changement climatique en Guyane, cette étude doit permettre d'identifier les risques liés au changement climatique et de mieux prioriser les enjeux pour le développement futur de la Guyane. Les lacunes les plus importantes en terme de besoins en connaissances et données nouvelles ont également identifiées.

A terme, ce travail permettra de définir des préconisations de stratégie de prévention du risque et d'aménagement. Les besoins supplémentaires en matière d'observation et d'évaluation de la vulnérabilité seront également identifiés.

Enfin, il s'agit aussi de mettre à disposition des décideurs et de la population des informations sur la vulnérabilité de leur territoire face aux impacts du changement climatique et sur les moyens pour s'y adapter.

Le contenu de cette étude s'appuie notamment sur un important travail de consultation d'experts scientifiques. Les objectifs de cette consultation sont multiples :

- recenser les changements déjà observés et les aléas possibles en lien avec le changement climatique, en fonction des projections d'évolution du climat établies au niveau international et des projections régionales établies par Météo France ;
- caractériser les effets potentiels attendus sur les systèmes socio-économiques et naturels ;
- initier une réflexion en matière de pistes d'adaptation.

Le tableau ci-après dresse la liste des experts consultés. Seuls les organismes scientifiques et les experts ont été consultés afin de centrer l'état des lieux sur un bilan objectif des connaissances scientifiques disponibles.

Il est important de préciser que le présent rapport a pour vocation de faire une synthèse lisible et abordable des connaissances scientifiques à destination d'un large public (services de l'Etat, collectivités, associations, citoyens). **Si l'objectif est de résumer dans un seul et même ouvrage l'état des connaissances scientifiques sur des disciplines très différentes, ce rapport ne se substitue nullement aux publications scientifiques et aux travaux menés par les chercheurs consultés.** Pour plus de détails sur un thème, le lecteur est invité à consulter les références citées et si besoin à se rapprocher des organismes de Recherche concernés.

Aléas climatiques	<i>Météo France</i>	Thomas Beck (Guyane) Philippe Palany (Martinique)
	<i>BRGM</i>	Gonéri Le Cozannet (effets de l'élévation du niveau marin)
	<i>IRD/UAG</i>	Mélanie Becker (élévation du niveau marin, hydrologie)
	<i>ORA</i>	Kathy Panechou-pulcherie (qualité de l'air)
Risques	<i>IRD</i>	Marie-Thérèse Prost (Littoral)
	<i>BRGM</i>	Carlos Oliveros (Littoral)
		Gilles Grandjean-Grégoire (Mouvement de terrain)
		Caroline Wittwer (inondation)
Pêche	<i>IFREMER</i>	Luis Lampert
Agriculture	<i>CIRAD</i>	Vincent Blanfort (Guyane)
		Yoan Huguenin (Montpellier)
	EMBRAPA et IEPA	Eleneide Doff Sotta
	<i>IRD</i>	Martial Bernoux
	<i>CETIOM</i>	Bernard Garric
Biodiversité	<i>ONCFS</i>	Cécile Richard-Hansen
	<i>ECOBIO</i>	Olivier Tostain
	<i>Ecofog/AgroParisTech</i>	Eric Marcon
		Herault Bruno
	<i>IRD</i>	Sophie Gonzalez
Santé	<i>Institut Pasteur</i>	Philippe Quesnel
	<i>CICEC</i>	Mathieu Nacher
Energie	<i>ADEME</i>	Pierre Courtiade
Ressource en eau	<i>BRGM</i>	SGR Guyane
	<i>DEAL Guyane</i>	Pierre Timmerman

Illustration 1 : liste des experts scientifiques consultés

Sont ainsi repris dans ce rapport, les derniers éléments de Météo-France concernant l'évolution des paramètres climatiques observés en Guyane depuis 50 ans (température et pluie) et les estimations d'élévation du niveau moyen de la mer. Les projections de l'évolution du climat futur à l'horizon 2070, selon les scénarios d'émissions des gaz à effet de serre A1B et A2, sont également présentés et pour chaque thématique sélectionnée dans cette étude (forêt, agriculture, pêche, santé, risques naturels, ressource en eau et électricité) les impacts possibles de l'évolution du climat à moyen et long terme sont discutés. Enfin des pistes de réflexion pour l'adaptation régionale au changement climatique y sont proposées.

2. Etat des lieux des aléas climatiques : tendances et projections

Une grande part des éléments de cette partie, relatifs à l'évolution des tendances observées et projetées des aléas climatiques en Guyane, ont été fournis par la Direction Interrégionale Antilles-Guyane de Météo-France dans une note de synthèse à propos de l'état des connaissances sur le changement climatique en Guyane (Météo-France, 2012). Cette note de synthèse rassemble les principales conclusions du quatrième rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sur l'évolution mondiale du climat, et présente les résultats des derniers travaux menés par Météo-France sur le changement climatique en Guyane (notamment dans le cadre du projet Explore 2070).

2.1. OBSERVATIONS AU NIVEAU GLOBAL

Au niveau mondial, le GIEC a pour mission d'évaluer, à intervalles réguliers et de façon objective, l'état des connaissances sur le risque de changement climatique provoqué par les activités humaines. Les évaluations du GIEC sont fondées sur l'information contenue dans des publications scientifiques, techniques et socio-économiques dont la valeur scientifique est largement reconnue dans le monde. C'est avant tout un lieu d'expertise visant à synthétiser des travaux menés par la Recherche. Les principaux résultats présentés dans cette partie sont extraits du quatrième rapport du GIEC de 2007.

2.1.1. Températures moyennes

Dans ce rapport, le GIEC évalue l'augmentation moyenne mondiale de la température à +0,74°C sur 100 ans (1906-2005). Ce réchauffement s'est notamment accéléré au cours des cinquante dernières années au rythme de +0,13°C par décennie et devient presque deux fois supérieur à celui des cent dernières années (Illustration 2). 1998 et 2005 sont les deux années les plus chaudes depuis le début des mesures instrumentales de la température de l'air en surface (1850). Onze des douze années de la période 1995-2006 se classent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850.

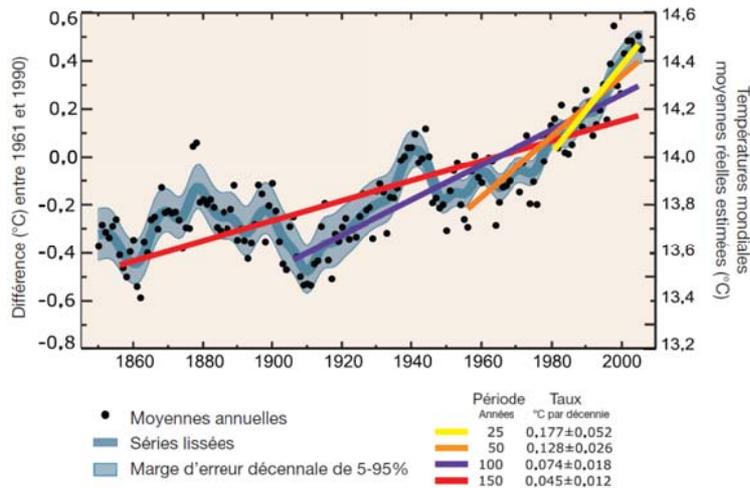


Illustration 2 : Moyenne mondiale des températures et tendance linéaire (GIEC, 2007)

Cependant, le réchauffement n'est pas uniforme à la surface du globe, en effet les cartes de l'illustration 3 montrent les tendances saisonnières calculées sur la période 1979-2005. Les températures de surface des régions continentales ont augmenté plus rapidement que celle des océans. Le réchauffement des trente dernières années affecte l'ensemble du globe mais il est plus important aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord. Le plus fort réchauffement apparaît pendant l'hiver et le printemps de ce même hémisphère.

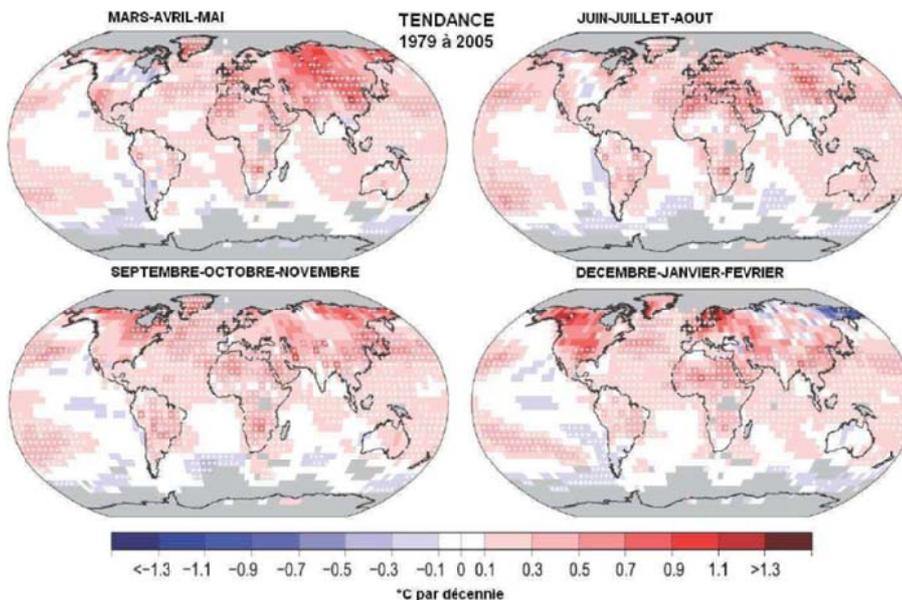


Illustration 3 : Tendances mondiales linéaires de températures au cours de la période 1979 à 2005 par saison estimées à la surface. Le gris indique les secteurs où les données sont incomplètes (GIEC, 2007).

2.1.2. Températures extrêmes

Les changements observés dans les extrêmes de température sont en accord avec le réchauffement global constaté. Les observations montrent une diminution généralisée du nombre de jours de gel aux latitudes moyennes, une augmentation du nombre de cas d'extrêmes chauds (10% des jours ou des nuits les plus chauds) et une réduction des cas d'extrêmes froids (10% des jours ou des nuits les plus froids). Les changements les plus marqués s'observent pour les nuits froides, dont l'occurrence a baissé au cours de la période 1951-2003 pour toutes les régions où des données sont disponibles. La durée des vagues de chaleur a augmenté à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle. La vague de chaleur record sur l'Europe occidentale et centrale en 2003 est un exemple de cas exceptionnel récent.

2.1.3. Précipitations moyennes

La vapeur d'eau troposphérique a généralement augmenté depuis 1976 en relation avec les températures plus élevées tant sur la terre que sur l'océan. Cette vapeur d'eau atmosphérique supplémentaire engendre une disponibilité d'humidité accrue pour les précipitations. Toutefois, les évolutions des précipitations varient fortement, tant dans l'espace que dans le temps, et des tendances globales à long terme sont difficiles à établir. Cependant, des tendances à long terme des précipitations de 1900 à 2005 ont été observées sur beaucoup de grandes régions (Illustration 4). Une augmentation significative des précipitations a été observée dans les parties orientales d'Amérique du Nord et en Asie du Nord et centrale. A contrario, un assèchement a été observé dans le Sahel, la Méditerranée, l'Afrique du Sud et des parties de l'Asie du Sud.

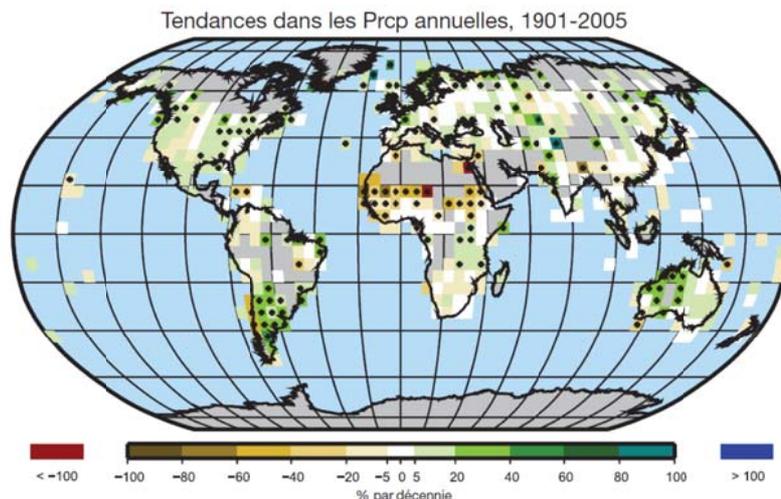


Illustration 4 : Distribution des tendances linéaires des volumes des précipitations annuelles sur les terres dans la période 1901-2005 (% par siècle). Les zones grisées indiquent une insuffisance de données pour estimer une tendance fiable (GIEC, 2007)

2.1.4. Précipitations extrêmes

Une fréquence accrue des événements de fortes précipitations a été observée. Cette augmentation est probable dans beaucoup de région de la Terre depuis environ 1950, même dans les régions qui ont subi une réduction de la quantité totale des précipitations. Des sécheresses plus intenses et plus longues ont été observées dans des secteurs plus larges, particulièrement sous les tropiques depuis les années 1970. Des oscillations multi-décennales expliquent probablement une part de cette variation.

2.1.5. Niveau de la mer

Les observations marégraphiques, puis d'altimétrie satellitaire depuis 1993 ont permis de reconstituer l'évolution du niveau moyen global des océans. Ces observations ont montré une accélération de la montée du niveau de la mer depuis la fin du XIX^e siècle (Illustration 5).

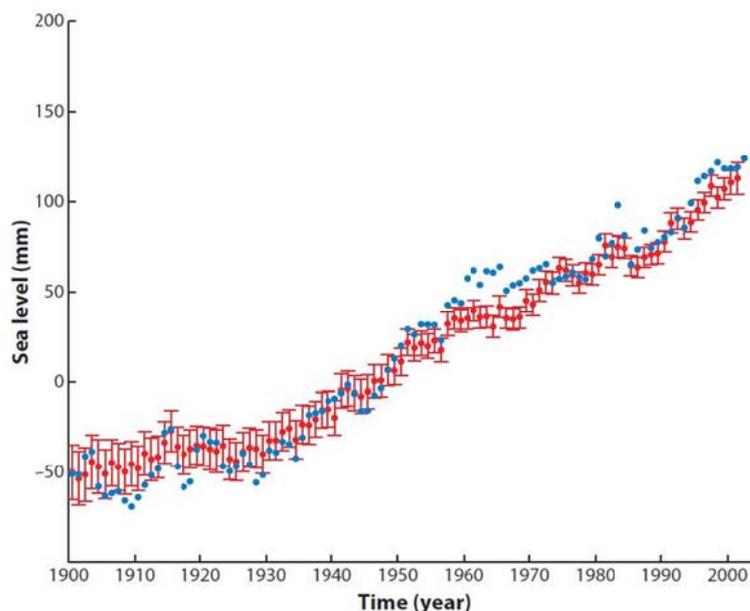


Illustration 5 : Evolution récente du niveau moyen global des océans à partir des données marégraphiques sur la période 1900-2001. Les points rouges représentent les estimations de Church et al. (2004), les point bleus celles de Jevrejeva et al. (2006). D'après Cazenave et Llovel (2010)

Le taux d'élévation observé depuis les cinquante dernières années est de 1,8 +/- 0,3 mm/an et d'après les observations altimétriques disponibles depuis le début des années 90, le taux d'élévation s'est accéléré durant les dernières décennies et s'élève à 3,2 +/- 0,4 mm/an sur la période 1993-2011 (Cazenave et Llovel, 2010).

Deux sources majeures expliquent cette élévation du niveau moyen global des océans. La première est l'expansion thermique des océans due à leur réchauffement causé par la hausse des températures moyennes, qui entraîne une augmentation du volume des océans. La seconde est l'augmentation du contenu en eau des océans, par l'apport

d'eau de fonte continentale issue des glaciers de montagne et des inlandsis (calottes polaires Groenlandaises et Antarctiques).

Cependant, la tendance d'élévation du niveau de la mer n'est pas homogène à la surface du globe, en effet il existe une importante variabilité régionale (Illustration 6). Tout d'abord, le réchauffement des océans n'est pas uniforme et d'autres facteurs tels que la salinité ou les courants marins jouent un rôle sur la variabilité régionale des changements de niveau marin. On observe ainsi que la variabilité spatio-temporelle du niveau de la mer est associée aux grands modes de variabilité océanique comme le phénomène ENSO dans le Pacifique équatorial (El Nino South Oscillation).

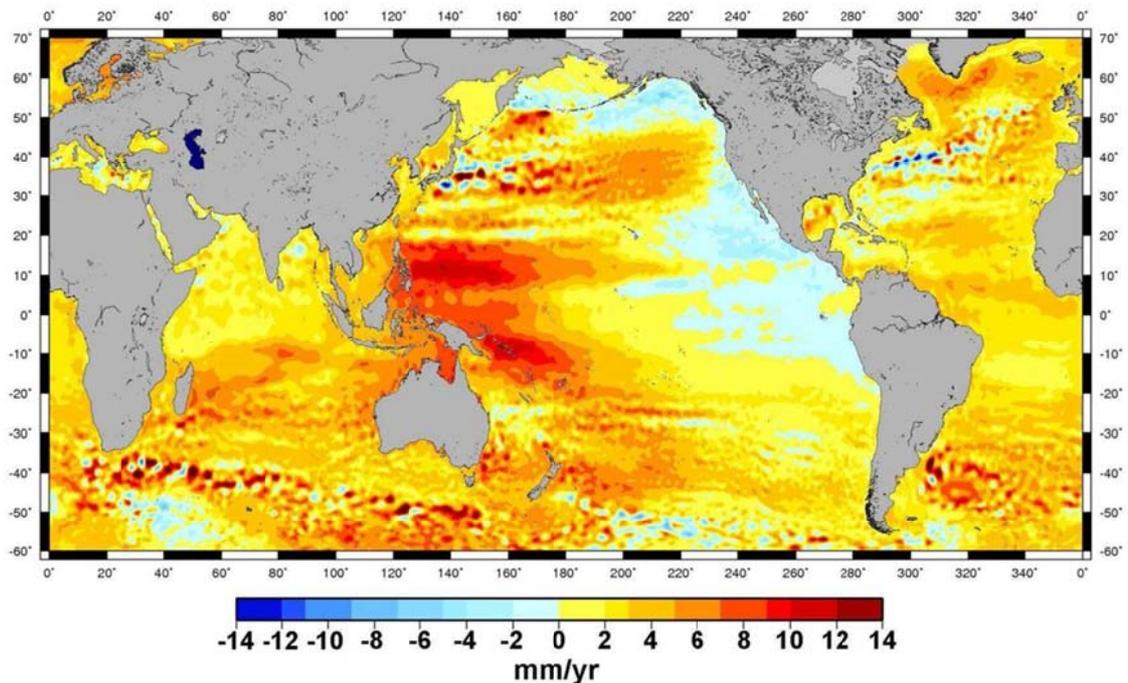


Illustration 6 : Carte de la distribution géographique mondiale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2011) d'après les données altimétriques issues des missions Topex/Poseidon, Jason-1 et 2 (LEGOS).

2.2. OBSERVATIONS AU NIVEAU REGIONAL

2.2.1. Contexte climatique de la Guyane

La Guyane est située au nord-est de l'Amérique du Sud, entre le Surinam et le Brésil. Elle est soumise à un climat équatorial chaud et humide. Les températures sont très peu variables sur l'année, les minimums avoisinant 22°C et les maximums proches de 36°C. Les pluies sont abondantes, 3000mm/an en moyenne, elles diminuent d'intensité

vers l'ouest et surtout vers l'intérieur (Illustration 7). On peut distinguer quatre saisons en fonction de la pluviométrie :

- La petite saison des pluies : de fin novembre à la mi-février ;
- Le petit été de mars : de la mi-février à la fin mars ;
- La grande saison des pluies : d'avril à juin ;
- La saison sèche : de juillet à la mi-novembre.

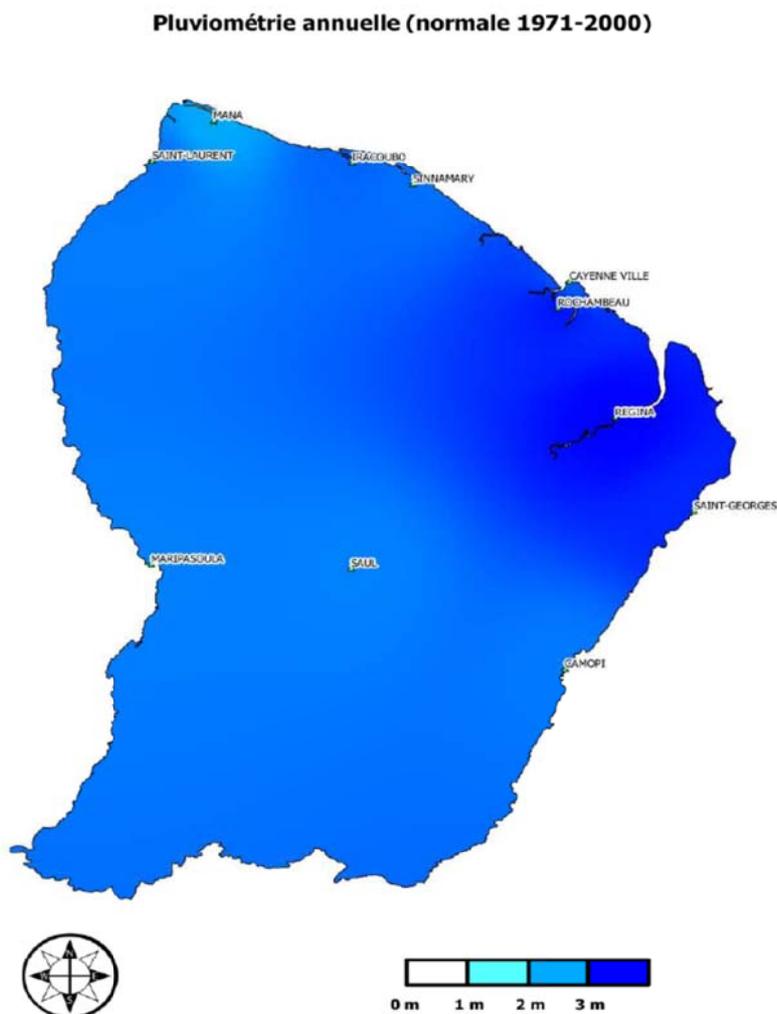


Illustration 7 : Pluviométrie annuelle en mm sur la Guyane, normales 1971-2000 (Météo-france, 2012)

La variabilité interannuelle des précipitations est très marquée en Guyane. Une étude ayant pour but d'identifier et de qualifier ces différentes sources de variabilité climatique aux Antilles et en Guyane a été lancée afin de mettre en œuvre notamment la prévision saisonnière aux Antilles-Guyane (Duval, 2011). Un intérêt particulier a été accordé à l'impact de l'ENSO (El Niño Southern Oscillation) qui semble assez corrélé avec les variations de précipitations en Guyane. En Guyane, les épisodes El Niño sont

associés à un déficit de précipitation alors que les phases La Nina de l'oscillation sont associées à des précipitations plus importantes.

2.2.2. Evolution des paramètres climatiques, hydrologiques et météo-marins observés en Guyane

L'évolution climatique de la Guyane peut être appréciée à travers plusieurs paramètres climatiques (température, précipitation, activité orageuse), hydrologiques (débit des cours d'eau) et météo-marins (niveau de la mer, température des océans, salinité, régime des houles). L'état des connaissances actuelles sur l'évolution de ces paramètres est décrit ci-après.

Remarque : il ne s'agit ici que de commenter **l'évolution des paramètres sur les dernières décennies c'est-à-dire de travailler à partir de données d'observations**. Les projections de l'évolution du climat sont traitées dans le paragraphe suivant (2.3).

a) *La température :*

Les paramètres étudiés ici sont les températures moyennes, maximales et minimales. Les séries homogénéisées utilisées pour l'étude de l'évolution des températures sont disponibles sur la période 1955-2009. Les stations météorologiques ayant des séries homogénéisées sur cette période sont listées ci-dessous.

Commune	Début	Fin
Kourou CSG	janvier-1967	décembre-2009
Matoury	janvier-1955	décembre-2009
Saint-Georges	janvier-1955	décembre-2009
Roura	janvier-1955	décembre-2009
Saint-Laurent	janvier-1955	décembre-2009
Maripasoula	janvier-1955	décembre-2009

Illustration 8 : Stations météorologiques avec séries homogénéisées pour l'étude de l'évolution des températures observées (Météo-France, 2012)

L'exploitation de ces données montre une nette tendance à l'augmentation de la température moyenne (+1,36°C) en Guyane entre 1955 et 2009 (Illustration suivante).

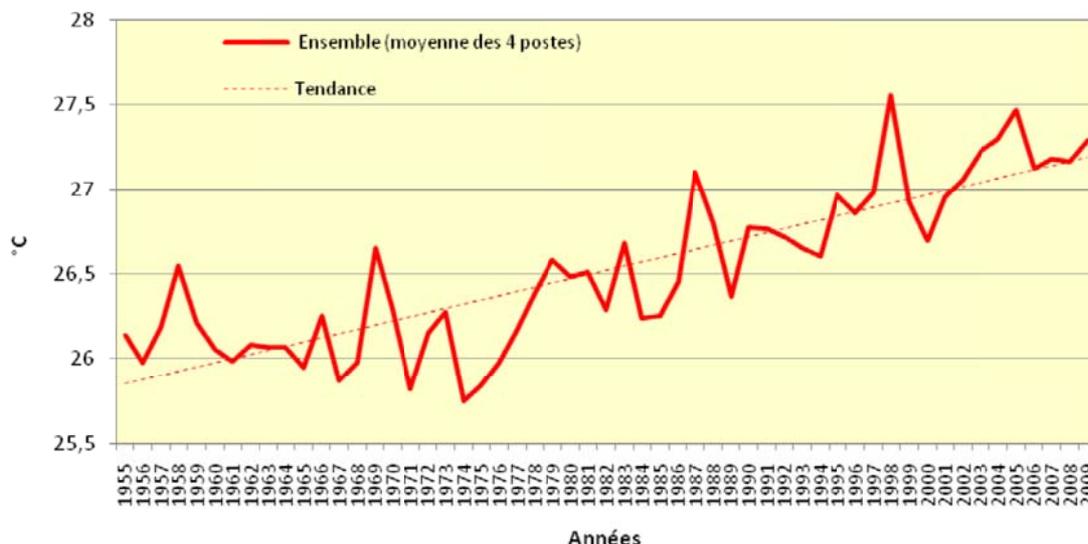


Illustration 9 : Evolution de la température moyenne en Guyane entre 1955 et 2009 (Météo-France, 2012)

On observe également la même tendance à l'augmentation des températures maximales pour chaque station sur la période 1955-2009 (Illustration 9) avec une augmentation globale de +1,65°C (Illustration 10).

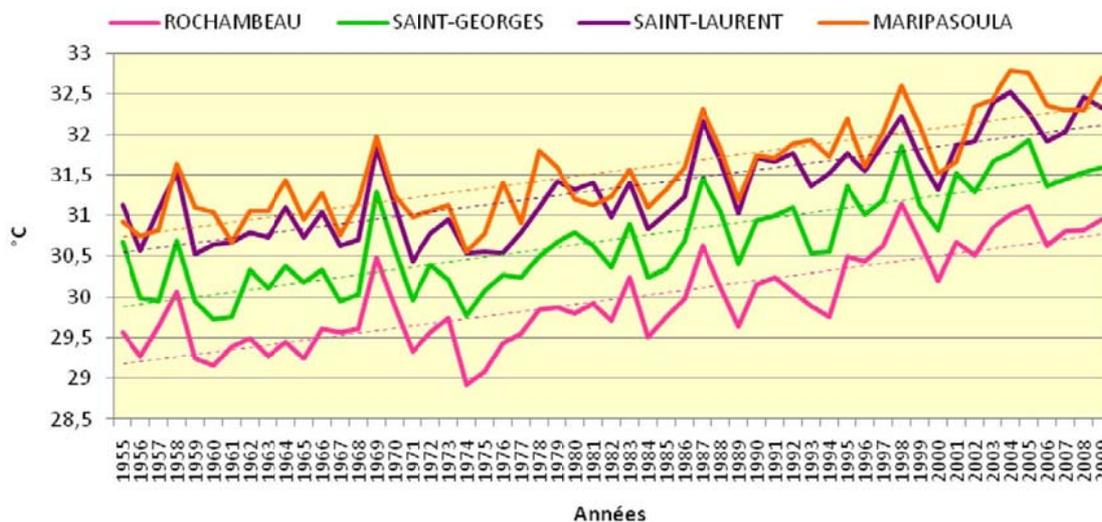


Illustration 10 : Evolution des températures maximales par stations en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)

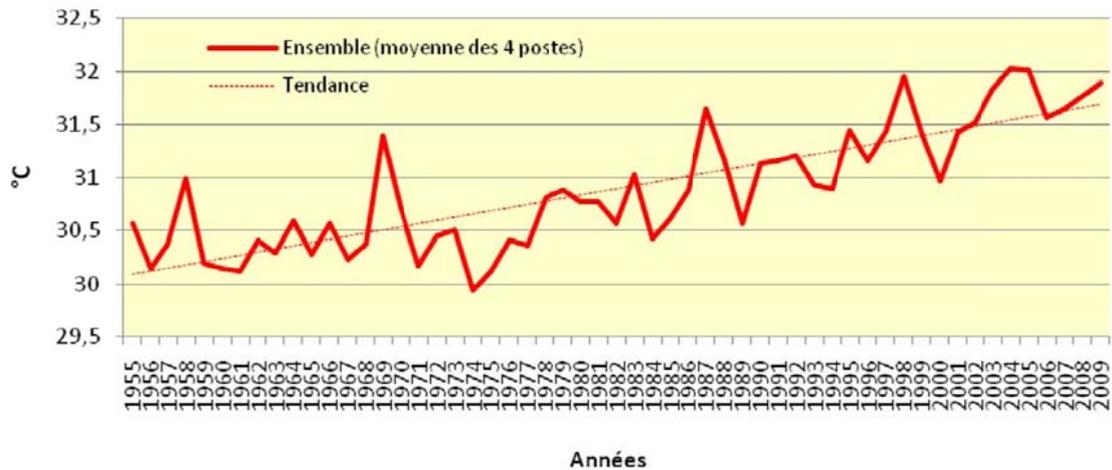


Illustration 11 : Evolution moyenne globale de la température maximale (moyenne des quatre postes homogénéisés) en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)

De la même manière on constate une tendance à l'augmentation des températures minimales sur la période 1955-2009 avec une augmentation globale de +1,1°C (Illustration 12 et Illustration 13).

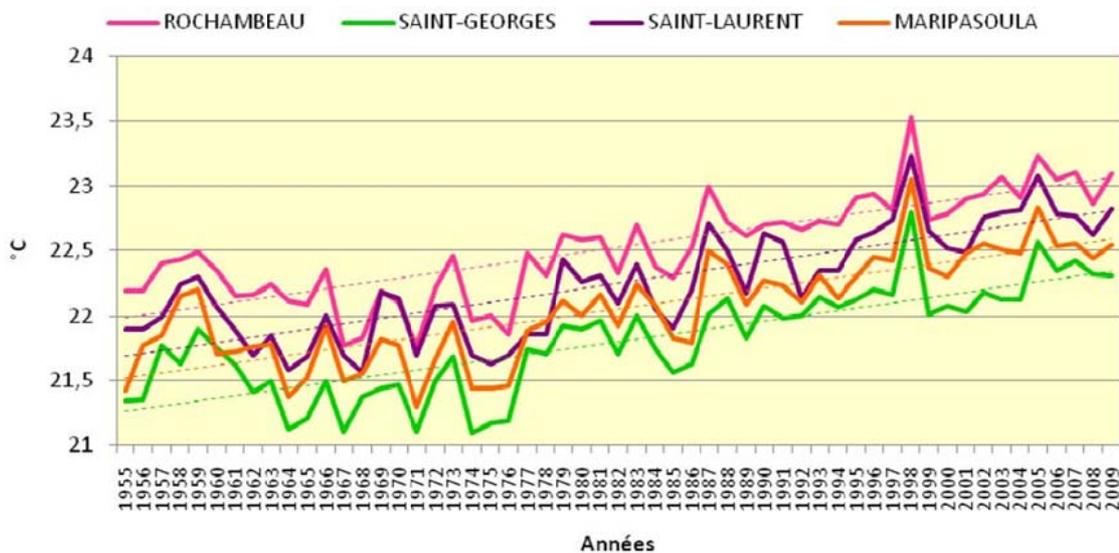


Illustration 12 : Evolution des températures minimales par stations en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)

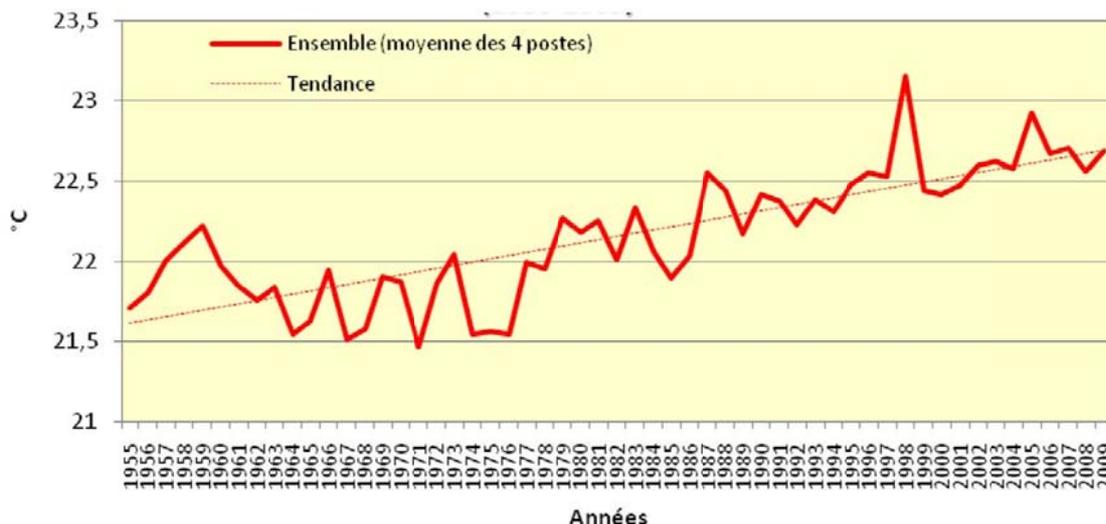


Illustration 13 : Evolution moyenne globale de la température minimale (moyenne des quatre postes homogénéisés) en Guyane de 1955 à 2009 (Météo-France, 2012)

On observe également une tendance saisonnière d'augmentation des températures. On considérera les quatre saisons suivantes : une grande saison des pluies (d'avril à juin : AMJ) une saison sèche (de juillet à novembre : JASON), une saison de transition ou petite saison des pluies (de décembre à février : DJF) et le petit été de mars (M).

Les températures minimales pour chaque saison sont toutes à la hausse (Illustration 14). Le mois de mars connaît les plus fortes augmentations.

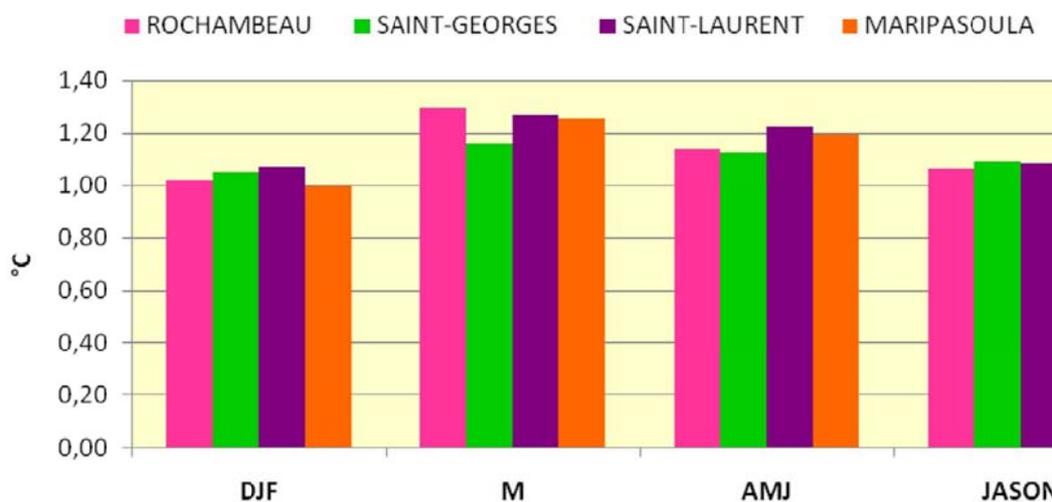


Illustration 14 : Evolution des températures minimales par saison et par station en Guyane pour la période 1955-2009 (Météo-France, 2012)

De la même manière, l'ensemble des températures maximales sont en hausse pour chaque saison (illustration suivante). Les plus fortes augmentations sont observées lors de la période allant de juillet à novembre et les plus faibles lors du mois de mars.

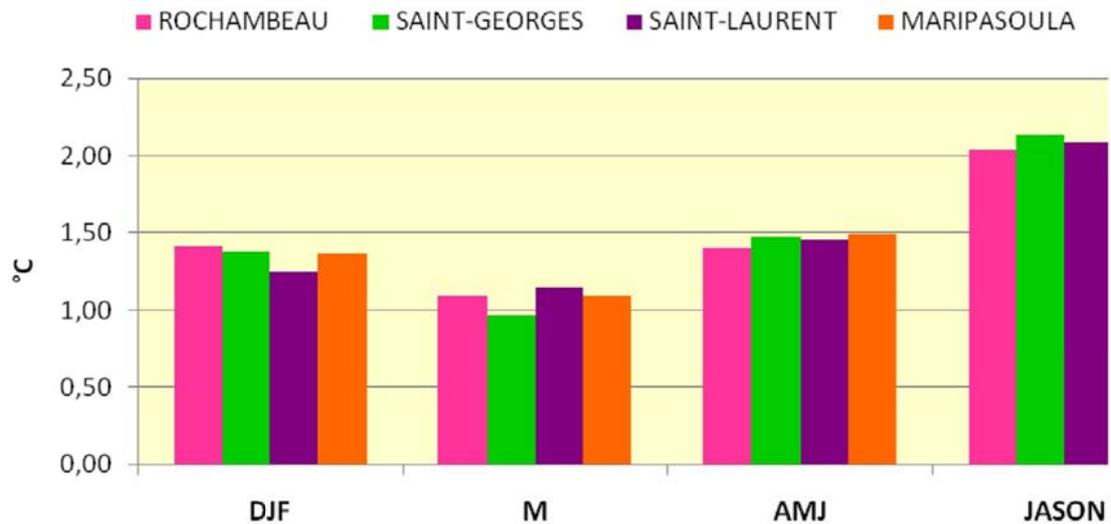


Illustration 15 : Evolution des températures maximales par saison et par station en Guyane entre 1955 et 209 (Météo-France, 2012)

Les tendances calculées sur les températures minimales et maximales en Guyane sont toutes significatives statistiquement (test de Spearman).

b) Les précipitations

Dans le cadre de cette étude, un travail complémentaire sur les précipitations observées sur 14 stations depuis 1955 (Collard, 2013) a été réalisé par Météo-France et l'ORA (Observatoire Régional de l'Air) en convention avec le BRGM et avec le soutien financier du PRME et de la DEAL. En effet, lors de l'étude de l'évolution des précipitations dans la première étude de Météo-France sur le changement climatique en Guyane (Météo-France, 2012), aucune tendance statistiquement significative n'avait été mise en évidence dans l'évolution des précipitations annuelles et saisonnières. Cette seconde étude a donc eu pour objectif d'approfondir et de préciser les premiers résultats sur l'évolution observée des précipitations. Pour cela différents paramètres et indices ont été analysés : variabilité annuelle, saisonnière et mensuelle, Standardized Precipitation Index (SPI) pour caractériser les périodes de sécheresse, records quotidiens de précipitation, records sur 5 jours successifs du cumul de précipitation sur une année, nombre de jours de pluie significative (>1 mm), record de nombre de jours secs (cdd) ou humides (cwd) consécutifs, nombres de jours avec des précipitations comprises entre 2 valeurs seuils. Les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-dessous.

Les précipitations annuelles :

Sur une durée d'étude de 50 ans au niveau des différents postes de Guyane, les variations des précipitations annuelles sont, à l'exception du poste de Kourou, inférieures à 5% avec une légère diminution des précipitations sur le littoral (Illustration suivante). Cette valeur est relativement faible par rapport au coefficient de variation annuelle des précipitations qui est de 18% en moyenne pour l'ensemble des stations étudiées. Ce coefficient illustre leur variabilité interannuelle. De par la valeur relativement élevée de la variabilité annuelle, il n'est pas possible de conclure par rapport à des tendances.

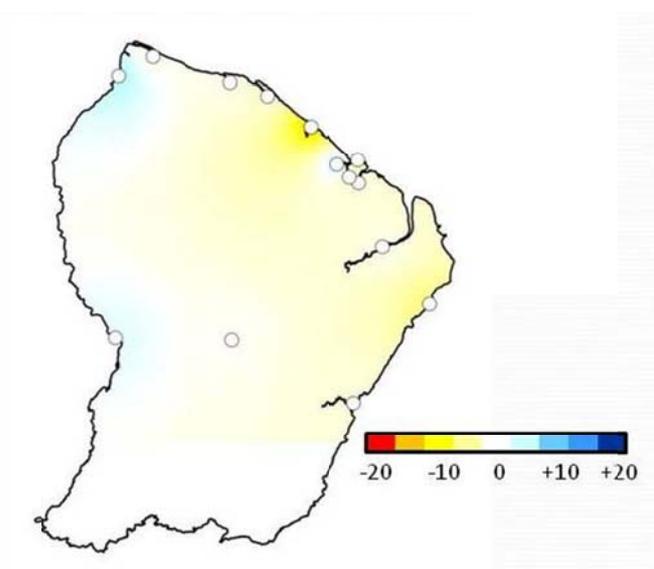


Illustration 16 : Evolution en % des précipitations annuelles en Guyane sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)

L'évolution de l'indice SPI permet de mieux caractériser l'évolution des précipitations sur la période étudiée. Lorsque l'indice SPI est supérieur à 1, la période est anormalement humide par rapport à la période étudiée et inversement lorsqu'il est inférieure à -1. Pour illustration, l'évolution de l'indice SPI à Rochambeau est représentée sur la figure ci-dessous. On note ainsi qu'après une période particulièrement sèche comme en 1964 et une période relativement humide entre 1970 et 1977, les décennies suivantes sont caractérisées par une alternance plutôt régulière des périodes sèches et humide. **Il n'y a ainsi pas de tendance significative au niveau des précipitations annuelles sur les 50 dernières années.**

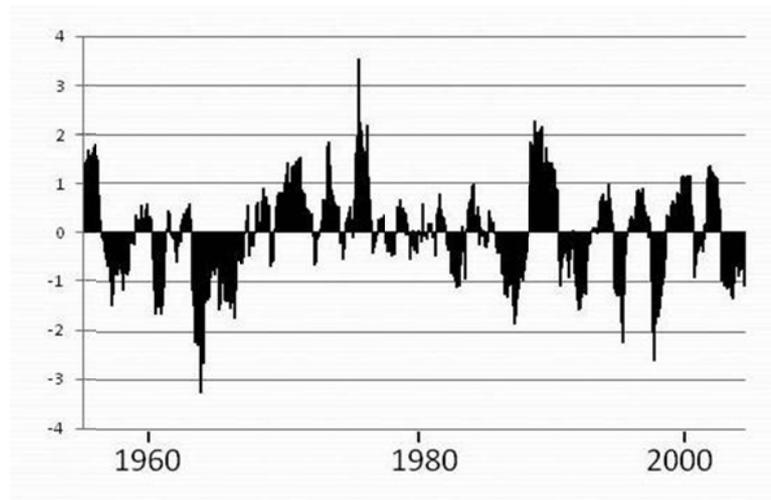


Illustration 17 : Evolution du SPI, calculé sur une période de référence de 12 mois de 1955 à 2004 à la station de rochambeau (Collard, 2013)

Les précipitations saisonnières :

L'évolution des précipitations sur 50 ans au cours de la saison sèche (considérée de juillet à novembre dans cette étude) est représentée sur l'illustration 18. Comme pour l'évolution des précipitations annuelles, **les évolutions des précipitations en saison sèche restent faibles par rapport à leur variabilité interannuelle et aucune tendance statistiquement significative n'est observée**. Il apparaît cependant que pour 8 des 11 stations du littoral, les précipitations ont tendance à diminuer au cours de la saison sèche. A l'inverse, on observe une légère augmentation des précipitations vers l'intérieur des terres (Maripasoula et Saul). Cette diminution observée des précipitations au cours de la saison sèche n'est pas une tendance continue sur la période d'étude. Elle s'explique d'avantage par l'occurrence d'années plus pluvieuses de 1970 à 1990 comme représenté sur l'illustration 19.

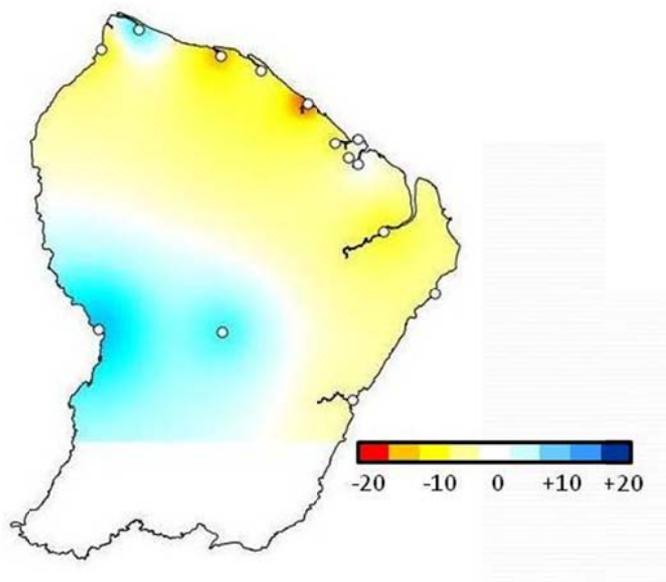


Illustration 18 : Evolution en % des précipitations lors de la saison sèche sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)

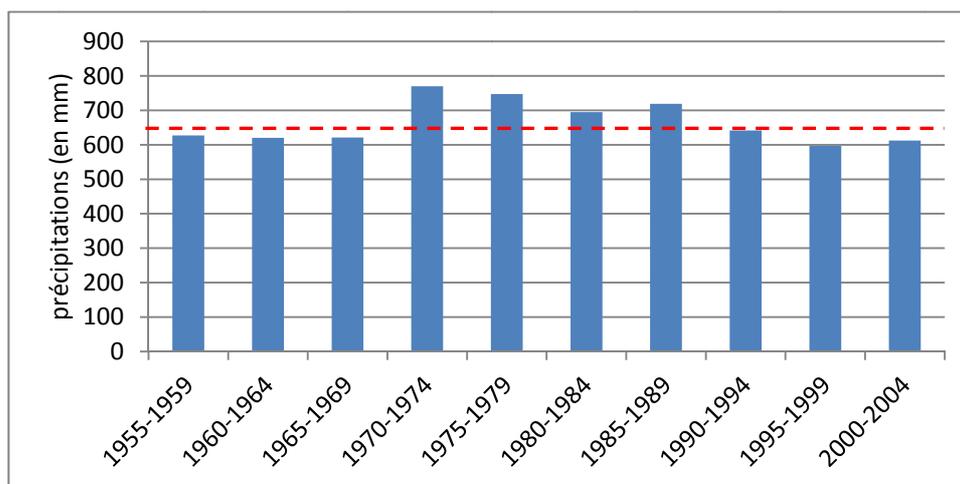


Illustration 19 : Moyenne sur 5 ans des précipitations à Rochambeau au cours de la saison sèche. Le trait rouge correspond à la moyenne sur l'ensemble de la série de 1955 à 2004 (Collard, 2013)

L'évolution des précipitations au cours de la saison des pluies (de décembre à juin) sur 50 ans est illustrée sur l'illustration 20. Comme pour les deux précédentes observations, **les évolutions des précipitations au cours de la saison des pluies sont faibles et aucune tendance n'est statistiquement significative**. Sur 9 stations sur 14, la tendance observée est à une légère augmentation des précipitations.

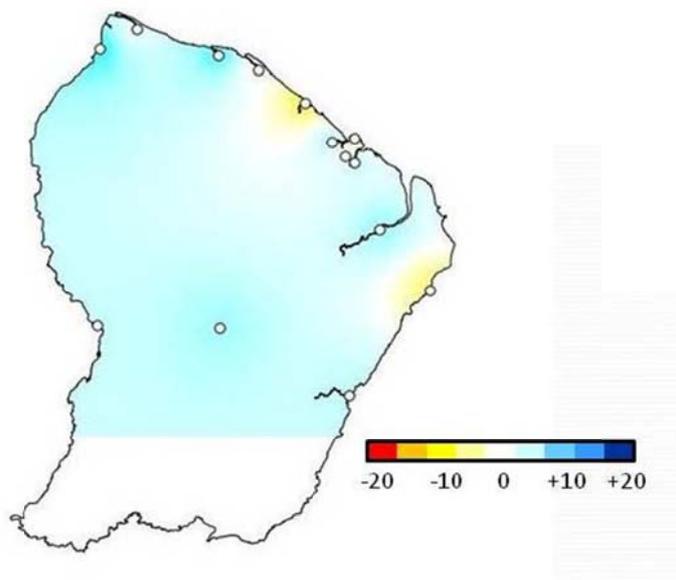


Illustration 20 : Evolution en % des précipitations au cours de la saison des pluies sur la période 1955-2004 (Collard, 2013)

Le SPI, calculé sur la saison des pluies, dans le cas de la station de Saint-Laurent, est représenté sur l'illustration suivante. Les valeurs prises par le SPI sont rarement en dehors de la gamme allant de - 1 à 1. En portant une attention particulière à l'année 1988, il apparaît que depuis cette année, les valeurs du SPI sont majoritairement positives.

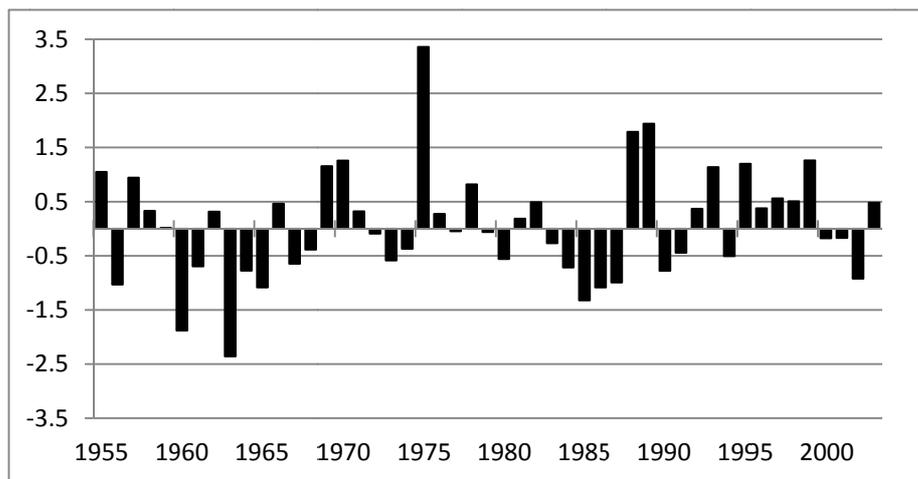


Illustration 21 : Evolution du SPI calculé sur la saison des pluies pour la station de Saint-Laurent (Collard, 2013)

Les précipitations mensuelles :

Dans un premier temps, à partir des données de précipitations mensuelles, le SPI a été calculé pour chaque mois et chaque station. A partir de la définition d'une période de sécheresse ($SPI > -1$) et d'une période anormalement humide ($SPI < -1$), le cumul du nombre de mois concernés par ces phénomènes a été représenté sur l'illustration 22 et l'illustration 23.

Les cumuls du nombre de mois de sécheresse les plus élevés sont observés sur les périodes 1960-1964 et 1995-1999. La valeur sur la période 1960-1964 est essentiellement due à une forte sécheresse lors de l'année 1964, tandis que les sécheresses entre 1995 et 1999 sont plutôt réparties entre 3 années relativement sèches. Globalement, aucune longue période de sécheresse n'a été observée depuis 1955. Toutes sont inférieures à une année à l'exception de 2 périodes de sécheresse de 14 mois observées à Maripasoula en 1987-1988 et à Régina en 1997-1998.

Le nombre de mois anormalement humides est plus élevé sur la période 1970-1979. Cette valeur n'est pas due à une année exceptionnellement humide, mais plutôt à une pluviométrie légèrement plus importante sur l'ensemble de la période. Seules 4 périodes anormalement humides excèdent une année : 15 mois à Rochambeau en 1955-1957, 13 mois à Saint-Georges en 1970-1971, 13 mois à Régina en 1975-1976 et 13 mois à Camopi en 1988-1989.

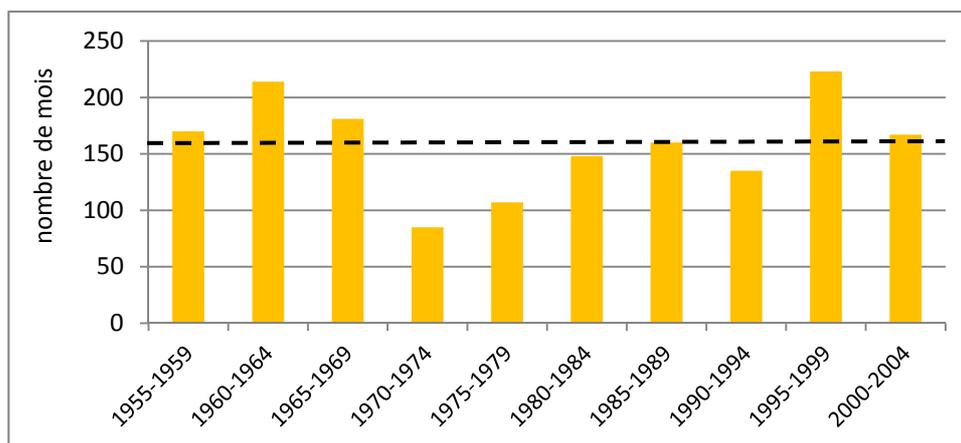


Illustration 22 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois de sécheresse sur l'ensemble des stations, à partir du calcul du SPI sur une période de 1 mois (Collard, 2013)

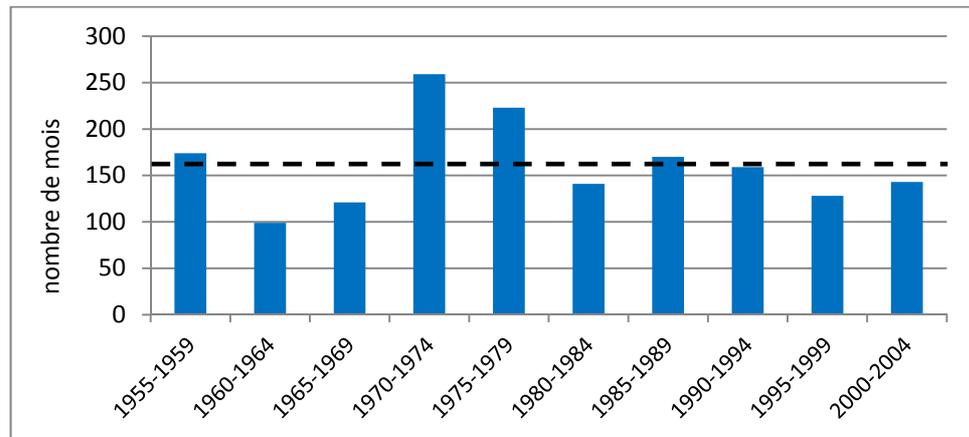


Illustration 23 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois anormalement humides sur l'ensemble des stations, à partir du calcul du SPI sur une période de 1 mois (Collard., 2013)

Une période est considérée comme extrêmement sèche (respectivement humide) lorsque le SPI est inférieur à -2 (respectivement supérieur à +2). Le nombre de mois où le SPI a pris une de ces valeurs extrêmes est représenté sur l'illustration 24. Il apparaît que l'évolution du climat n'a pas conduit à une augmentation des événements extrêmes à l'échelle du mois.

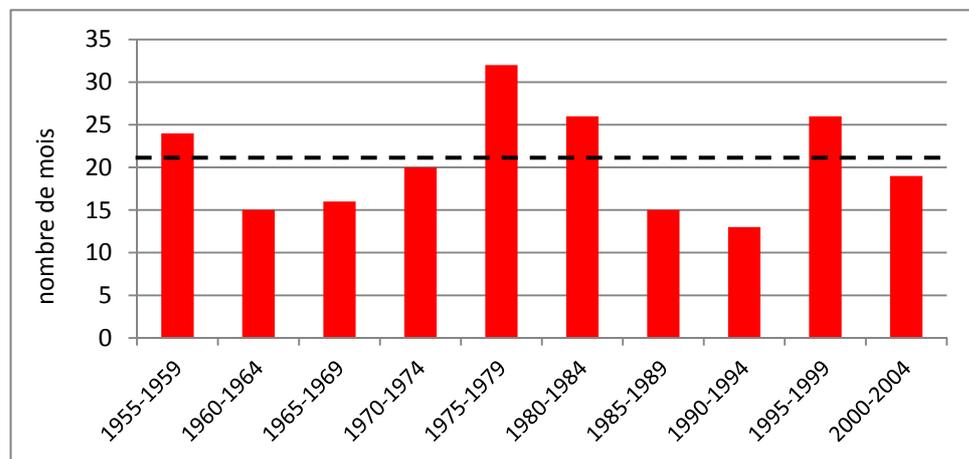


Illustration 24 : Cumul par période de 5 ans du nombre de mois extrêmement secs ou humides (SPI < - 2 ou SPI > 2), d'après Collard, 2013.

Autres indices hydro-climatiques caractérisant un changement climatique :

Le nombre de jours de pluie annuel fait partie des indices fréquemment étudiés pour mettre en évidence une évolution climatique. Une pluie est considérée comme

significative lorsque la quantité de précipitation quotidienne atteint 1 mm. L'évolution du nombre de jours de pluie de 1955 à 2012 est représentée sur l'illustration 25 pour les 9 stations présentant les séries de données quotidiennes considérées comme les plus fiables. Le nombre de jours de pluie par an, en moyenne proche de 200, a augmenté pour 6 stations. Dans 5 cas, l'augmentation est comprise entre 16 et 32 jours et les résultats sont statistiquement significatifs. Une étude mois par mois met en valeur que cette variation est surtout constatée entre janvier et mai. En effet, sur cette période, le nombre de jours de pluie a augmenté pour toutes les stations et les résultats sont statistiquement significatifs pour 5 stations.

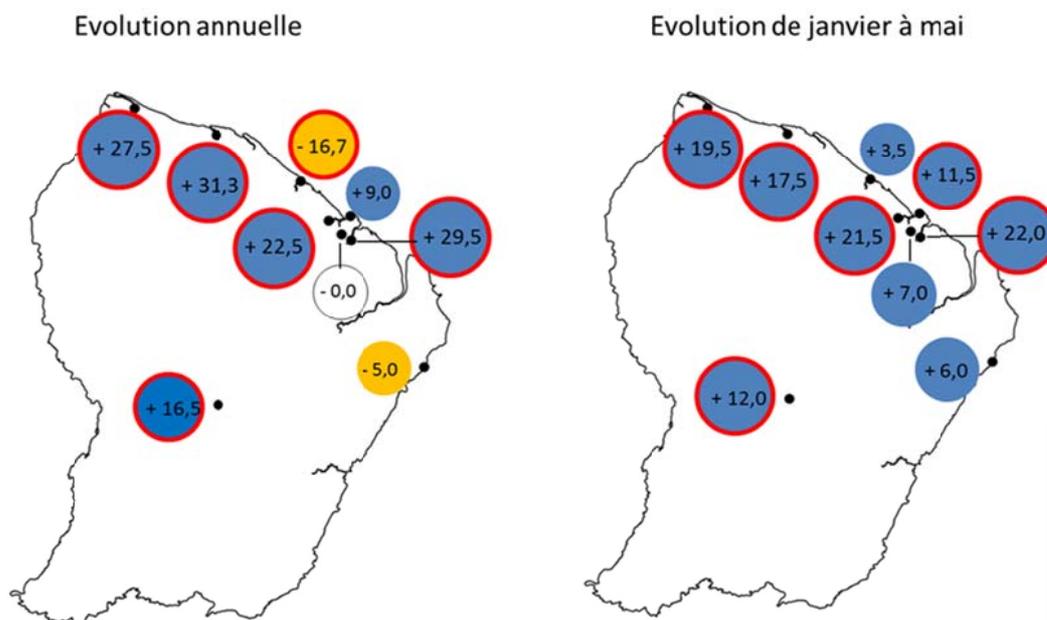


Illustration 25 : Evolution sur 50 ans du nombre de jours de pluie significative, les valeurs entourées en rouge sont celles pour lesquelles les résultats sont statistiquement significatifs (Collard, 2013)

Le nombre de jours de précipitation est essentiellement en augmentation au niveau des précipitations les plus faibles, c'est-à-dire comprises entre 1 et 10 mm, avec un résultat statistiquement significatif pour 6 stations. Par conséquent, sur l'ensemble des jours de pluie significative, la quantité de pluie moyenne diminue. Ce résultat explique le fait que, malgré le nombre plus élevé de jours de pluie, la quantité de précipitation annuelle varie peu.

Parmi les autres indices étudiés, les principaux résultats sont :

- **Le plus grand nombre de jours secs consécutifs par année, qui se produit presque toujours au cours de la saison sèche, ne varie pas.** Par contre, l'étude de cet indice uniquement au cours de la période entre janvier et mai met en évidence une diminution du plus grand nombre de jours secs consécutifs pendant cette sous période (statistiquement significative pour 3 stations), cohérente avec l'augmentation observée du nombre de jours de pluie.

- Pour une raison identique, **le plus grand nombre de jours humides consécutifs, qui se produit presque toujours au cours de la saison des pluies, a tendance à augmenter** (de manière statistiquement significative pour 3 stations).
- **Il n'y a pas d'évolution au niveau du record de précipitation quotidienne à l'échelle annuelle.** L'étude à l'échelle mensuelle (12 mois X 9 stations, soit 108 cas) conduit à des résultats statistiquement significatifs uniquement dans 6 cas ; 5 cas de diminution et 1 cas d'augmentation.
- Le record du cumul de précipitation sur 5 jours ne présente pas d'évolution particulière.

La principale évolution observée est donc une augmentation du nombre de jours de faible précipitation, entre janvier et mai. Cette observation n'est cependant pas due à une tendance continue sur l'ensemble de la période étudiée, mais principalement à une augmentation du nombre de jours de faible précipitation sur la période 1969-1989.

Tandis que les températures ne cessent d'augmenter en Guyane, **les résultats de cette étude ne mettent pas en évidence d'évolution continue et significative au niveau des précipitations annuelles, saisonnières et mensuelles.** Les principales particularités observées se situent sur la période 1970-1990, avec une saison sèche et un mois de décembre légèrement plus humides. Ces observations pourraient s'expliquer par une position plus au sud de la ZIC durant cette période, provoquant une saison des pluies plus précoce et une fin de la saison des pluies plus tardive. Ce phénomène provoquerait alors un allongement de la période du petit été de mars, ce qui expliquerait que les précipitations annuelles n'aient pas augmenté de manière significative entre 1970 et 1990.

Pour tenter de répondre à cette hypothèse, une étude bibliographique par rapport à la variabilité de la position de la ZIC a été réalisée. Il en ressort que la position de la ZIC est fortement corrélée avec l'indice climatique Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) (Wang *et al.*, 2012). Le AMO est un indice calculé à partir de températures de surface de la mer (SST) de l'Atlantique nord, dont les phases froides et chaudes sont en alternance avec des cycles ayant une période allant de 20 à 40 ans (NOAA, 2005). A une période froide au niveau des SST correspond une valeur négative du AMO et une position particulièrement au sud de la ZIC. Or, entre 1970 et 1990, le AMO a pris, comme présenté sur l'illustration 26, ses valeurs les plus négatives des 50 dernières années ; ce qui confirme l'hypothèse d'une position plus au sud de la ZIC sur cette période.

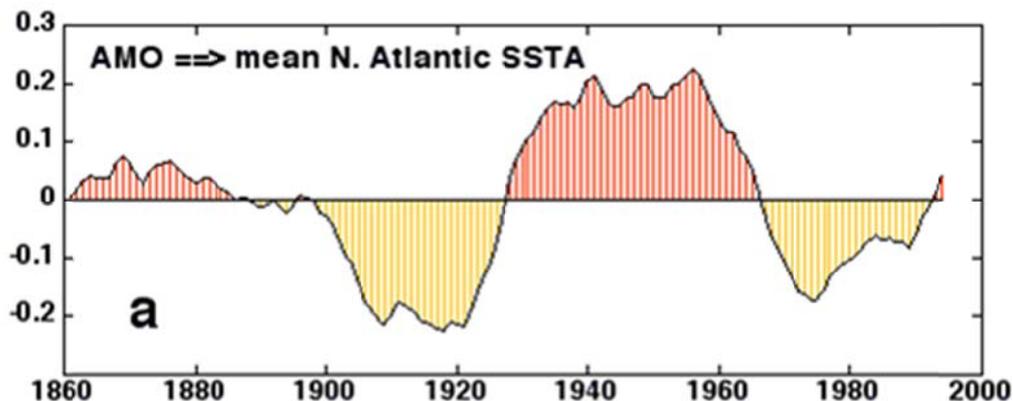


Illustration 26 : Evolution de l'indice AMO de 1860 à 1990 (Enfield et al., 2001)

Les évolutions observées au niveau des précipitations, en lien avec la position de la ZIC, seraient donc plus liées à la variabilité naturelle du climat qu'à un effet du changement climatique.

c) *Activité orageuse*

En Guyane, l'étude de l'activité orageuse se limite à la station météorologique de référence située à l'aéroport Félix Eboué à Matoury. Cette station dispose d'une observation humaine d'environ 22h/24h (détection à partir du son du tonnerre). Les données utilisées dans cette étude et les résultats obtenus sont donc à considérer avec précaution, étant donné les limites de la méthode d'observation.

L'étude de l'activité orageuse porte sur la période 1970-2009 (illustration suivante). La moyenne sur la période considérée s'élève à 38,7 jours d'orages par an. La variabilité interannuelle est assez forte puisqu'elle est de 13,9 jours d'orages. **On note une tendance à l'augmentation du nombre de jours d'orages sur la période étudiée.**

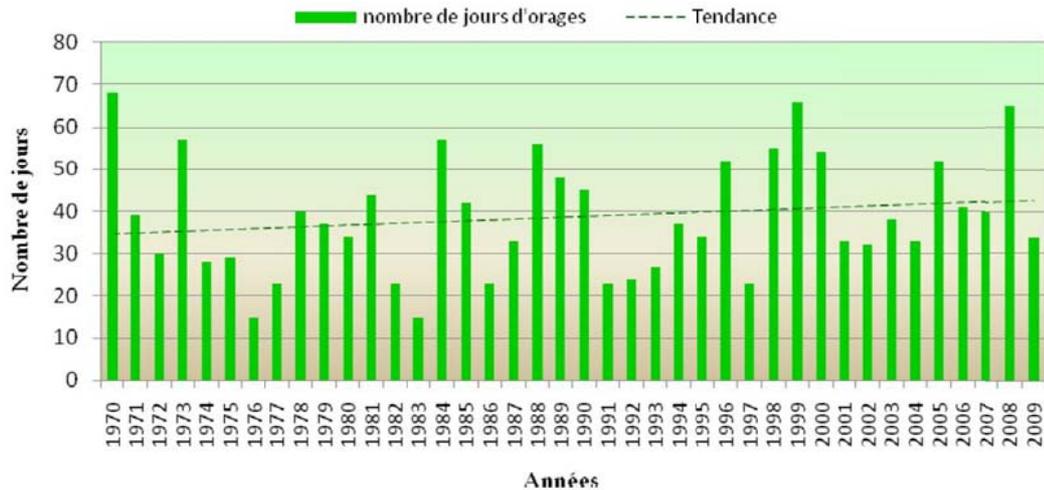


Illustration 27 : Evolution annuelle du nombre de jours d'orages à Rochambeau sur la période 1970-2009 (Météo-France, 2012).

d) Niveau de la mer

Les stations marégraphiques de l'île Royale, Ile Royale anse Le Goff, Ilet la Mère et Dégrad des Cannes, sont intégrées aux réseaux de référence des observations marégraphiques (REFMAR). Ces marégraphes sont également intégrés dans le réseau SONEL (d'Observation du Niveau des Eaux Littorales) qui a pour objectif de rassembler l'ensemble des dispositifs d'observations marégraphiques et géodésiques de haute qualité métrologique, afin d'évaluer les tendances à long terme des variations du niveau marin. Ce réseau est lui-même intégré au programme mondial d'observation du niveau de la mer GLOSS.

En outre, les mesures marégraphiques locales permettent de préciser les variations régionales du niveau marin par rapport à l'évolution moyenne globale mais aussi de mesurer les surcotes extrêmes.



Illustration 28 : Marégraphe des Iles de Salut (SONEL)

Cependant, pour diverses raisons (mesures valides trop récentes, jeu de données incomplets, données historiques non numérisées et validées, ...), aucune étude historique des niveaux marins n'a été menée en Guyane à partir des données marégraphiques. **Dans ces conditions, aucune tendance fiable de l'évolution du niveau de la mer ne peut être fournie à ce jour au niveau régional.** On considère en effet qu'une cinquantaine d'années est nécessaire pour pouvoir analyser des tendances dans les séries marégraphiques (Planton *et al.*, 2012). Les observations altimétriques par satellites (Topex/Poseidon, Jason-1 et 2), bien que précieuses, ne permettent pas de compenser les limites actuelles des données issues de ces équipements, puisqu'elles n'existent que depuis le début des années 90.

Meyssignac *et al.* (2012) proposent une reconstruction globale des variations du niveau de la mer depuis 1950 à partir d'une méthode statistique qui combine des données de marégraphie et des modèles de circulation globale océanique. Grâce à ce travail nous obtenons une **première estimation de l'élévation du niveau de la mer le long du littoral guyanais d'environ 2mm/an depuis 1950.** Cependant ce résultat est à utiliser avec précaution car la méthodologie proposée est insuffisamment contrainte sur le littoral est de l'Amérique du sud du fait du manque de d'observations marégraphiques.

Pour évaluer les variations du niveau marin sur des périodes plus longues, il serait donc opportun d'envisager un travail de collecte et d'analyse des données marégraphiques anciennes en Guyane (notamment archive papier), mais aussi à l'échelle du plateau des Guyanes afin de préciser le rythme de d'augmentation du niveau marin à l'échelle régionale. Il est également indispensable de pérenniser et de renforcer la performance des équipements actuels.

Malgré ces constats et ces limites, l'évolution du niveau marin peut être commentée à partir des données disponibles (marégraphes, satellites).

Les observations d'altimétrie satellite récentes montrent ainsi une augmentation du niveau de la mer de 3,5 mm/an au large de la Guyane entre 1993 et 2012 (d'après INFOLITTRAL¹, Illustration suivante). Par comparaison, l'élévation du niveau moyen des mers est estimée à 3,18 mm/an sur la même période. L'élévation du niveau de la mer en Guyane semble donc très légèrement supérieure à la moyenne globale sur les 20 dernières années. Au-delà de la question de la période de données disponibles, cette observation doit être prise avec précaution puisque les données d'altimétrie spatiale mesurent l'évolution du niveau marin dans un référentiel géocentrique. Elles ne prennent donc pas en compte d'éventuels mouvements verticaux du sol qui peuvent aggraver ou modérer les variations du niveau marin. Les données marégraphiques, au contraire, mesurent l'évolution du niveau marin dans un référentiel terrestre : elles prennent en compte à la fois les composantes climatiques et les mouvements du sol. On peut noter que le GPS de Kourou indique des mouvements verticaux. (1.3+/-1mm/an) selon la base de données SONEL (www.sonel.org). Le GPS a cependant fait l'objet de plusieurs changements ou de dysfonctionnements qui

¹ <http://infolittral.spotimage.com/>

invitent à une certaine prudence. Les courbes suggèrent également que les mouvements du sol sont non linéaires. Une étude complémentaire serait nécessaire pour vérifier ce que représentent ces tendances (mouvements de l'instrument, locaux, ou davantage à des échelles régionales ?).

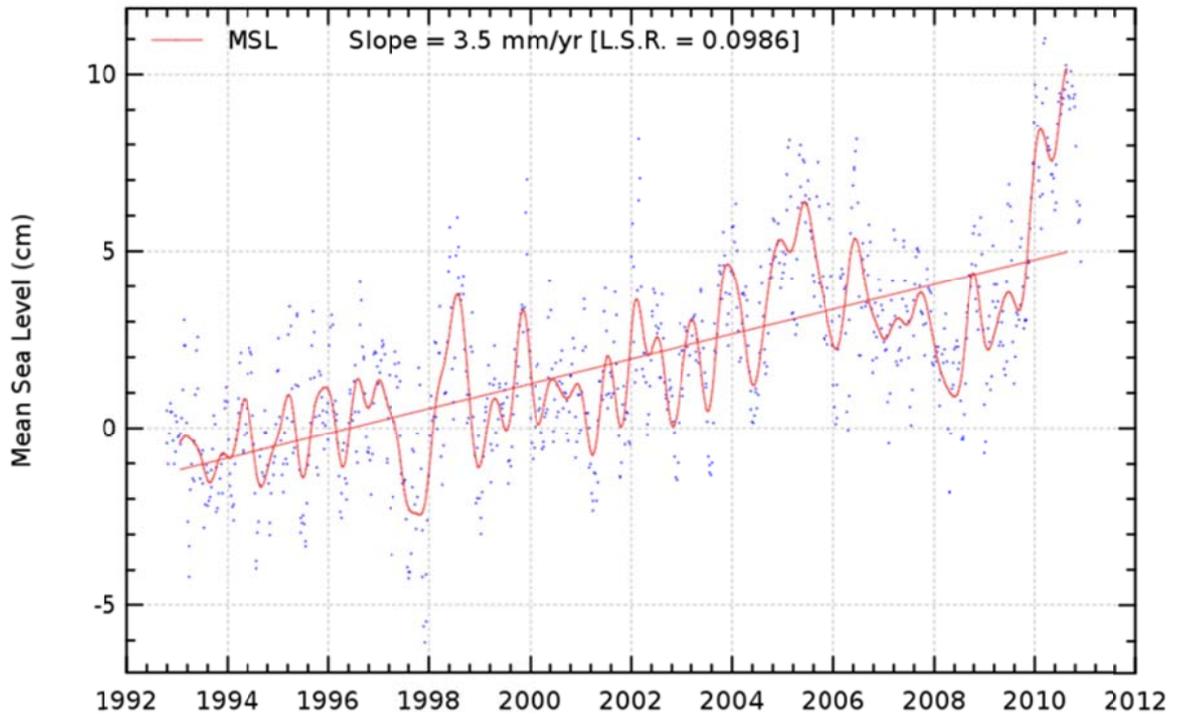


Illustration 29 : Estimation du niveau moyen régional au large de la Guyane par altimétrie satellite entre 1993 et 2012 (d'après le projet INFOLITTORAL).

e) Hydrologie de surface

Dans le cadre d'une étude sur la caractérisation hydro-climatique des cours d'eau en Guyane française à partir d'observations in-situ et de l'altimétrie radar spatiale (Escloupier, 2012), une analyse des chroniques observées des hauteurs d'eau de 9 stations hydrométriques a été effectuée (Illustration suivante).

Stations	Nombre de mois	Tendances (cm/an)												
		Moyennes annuelles	Maxima	Minima	Février	→	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Période AMJ	Période OND
Langa Tabiki	720	--	--	--	--	→	--	--	0,6	0,9	--	--	--	0,6
Grand santi	276	--	--	--	--	→	--	--	--	--	--	3,4	--	--
Maripasoula	696	--	--	0,7	--	→	--	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	--	0,9
Degrad roche	552	--	--	--	--	→	--	--	--	--	--	--	--	--
Camopi	300	--	--	--	--	→	--	--	--	--	--	--	--	--
Saut Tigre	288	--	--	--	--	→	--	-1,5	--	--	--	--	--	--
Pierrette Saut	396	--	--	-0,7	--	→	--	--	--	--	--	--	--	--
Athanaze	216	--	--	--	--	→	--	--	--	--	--	--	--	--
Saut Bief	504	--	--	-0,9	--	→	--	-0,7	-0,9	-0,9	-1,1	--	--	-1,0

Illustration 30 : Tendances mensuelles observées de 9 séries hydrométriques (en cm/an). La colonne « Nombres de mois » représente la longueur des séries étudiées, les alternances grisées représentent les stations par bassins versant (Escloupier, 2012).

Dans le cadre de cette étude, **aucune tendance significative à 90% dans les moyennes annuelles n'a été mise en évidence dans les 9 chroniques étudiées. De la même manière les hauteurs d'eau des maxima ne montrent aucune évolution particulière.** Par contre, la série de Maripasoula présente une tendance à la hausse significative pour les minima sur la période 1953-2011 et les stations Pierrette (Approuague) et Saut Bief (Comté) présentent des tendances à la baisse pour les minima sur les périodes 1970-2004 et 1970-2011 respectivement. Concernant les tendances mensuelles, aucune des séries ne présente une tendance significative pour les mois de février à août. Les hauteurs d'eau aux stations de Maripasoula, Langa Tabiki et Grand Santi affichent une tendance à la hausse des hauteurs d'eau pour les mois de fin de saisons sèche (septembre, octobre, novembre) et le début de la petite saison des pluies (décembre-janvier). A titre d'exemple, la série de Maripasoula affiche une élévation des hauteurs d'eau depuis 1953 d'environ 60 cm durant les mois d'octobre à janvier et d'environ 40 cm au cours du mois de septembre. A l'inverse, pour les mois de septembre à décembre, les hauteurs d'eau à la station de Saut Bief sur la Comté connaissent une baisse significative d'environ 45 cm depuis 1970.

D'autre part, l'étude de la cyclicité des séries hydrométriques mensuelles laisse apparaître des périodicités de 3 à 7 ans dans les séries de hauteurs d'eau qui reflètent le forçage climatique des cycles liés aux épisodes El Niño/La Niña. Un événement El Niño précède un épisode de faible régime hydrologique alors que La Niña provoque des années de hautes eaux (Labat et al., 2012).

f) Paramètres météo-marins

Température des eaux de surface

Entre 1970 et 2004, on observe un réchauffement de la température des eaux de surface au large de la Guyane, avec une augmentation de la valeur moyenne de 0,65°C (Bernard, 2006). Une accentuation de ce phénomène est par ailleurs marquée depuis l'année 1995 (Illustration suivante).

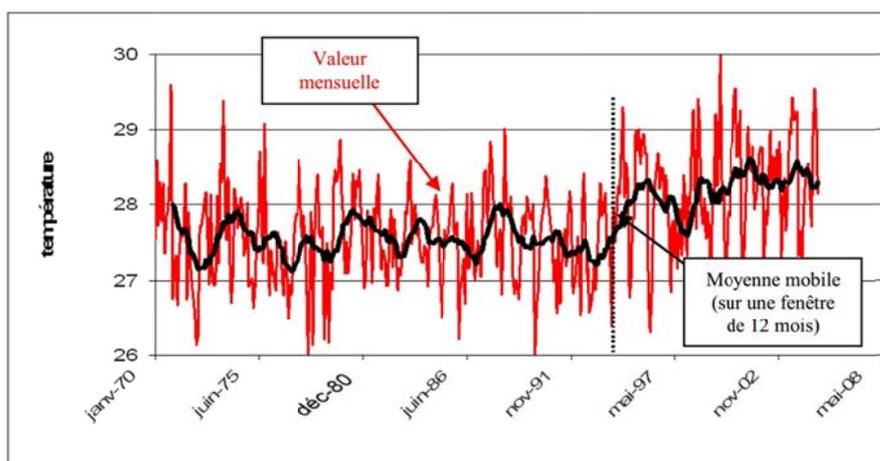


Illustration 31 : Augmentation de la température des eaux de surface entre 1970 et 2004 au large de la Guyane (Bernard, 2006)

Salinité

Aucune tendance significative n'a été mise en évidence concernant la salinité. Cette dernière est principalement déterminée par les précipitations et l'apport d'eau douce continentale de l'Amazone et des fleuves locaux qui ne présentent pas de tendance d'évolution significative dans le temps (Lampert, 2013). La salinité de surface est très variable selon la saison. En saison des pluies, on observe une importante dessalure des eaux à proximité des côtes, alors que la salinité en profondeur reste stable au cours de l'année.

Régime des houles

L'évolution du régime des houles a été étudiée par Gratiot *et al.* (2007) et Lampert (2013). Les résultats montrent la forte variabilité interannuelle des vagues d'alizés. Depuis les années 1990, les modèles ERA40 indiquent une augmentation de la hauteur des houles et plus particulièrement des plus fortes valeurs. Ainsi, l'augmentation de la hauteur des vagues entre 1960 et 2004 atteint près de 1,3 cm/an, et près de 2 cm/an pour les valeurs les 10% les plus élevées (Gratiot *et al.* 2007).

Cependant, il serait prématuré de conclure définitivement sur la significativité de ce changement en considérant uniquement les données de l'analyse ERA40. A titre d'exemple, dans le golfe de Gascogne, les données ERA40 indiquent des tendances significatives pour la hauteur des houles alors que des modélisations régionalisées ne confirment pas ces résultats. **Une étude plus précise serait nécessaire pour confirmer ou infirmer cette tendance.**

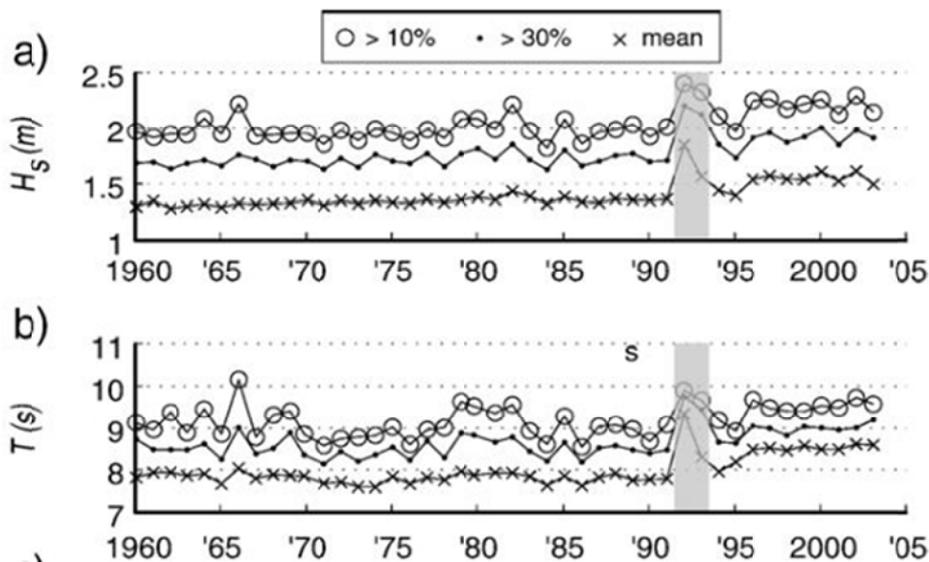


Illustration 32 Fluctuations interannuelles des paramètres de la houle hauteur (a) et période (b) sur la période 1960-2004 à partir des réanalyses du modèle ERA 40. La partie grisée correspond à un biais dans la donnée (Gratiot et al., 2007)

De plus, Lampert (2013) indique que, d'après l'étude des récurrences de la direction des houles, les houles de secteur nord-est (40 à 60°) voient leur fréquence augmenter. De manière concomitante, une diminution ou une stabilisation des récurrences des houles des secteurs les encadrant est observée (Illustration suivante).

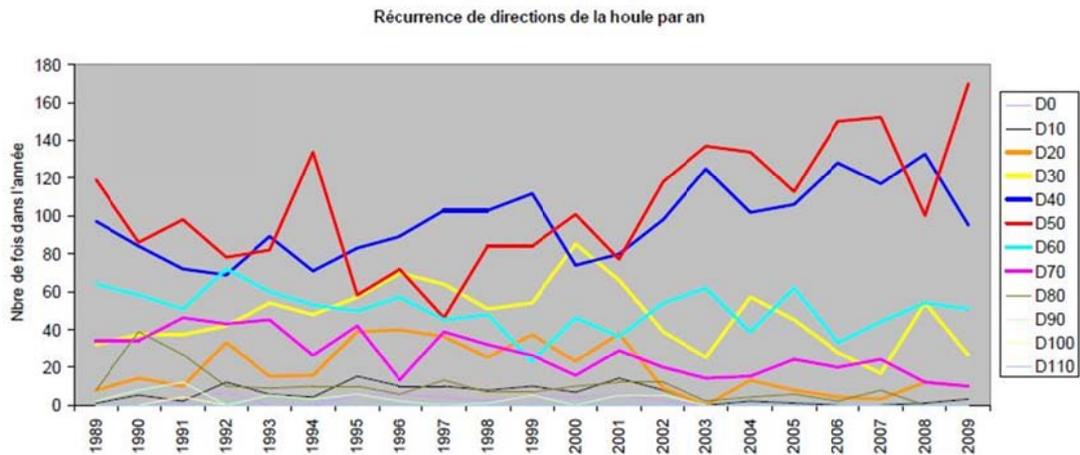


Figure 2.1 : Evolution de la récurrence moyenne annuelle dans la direction de la houle de 1989 à 2009 par tranche de 10°

Illustration 33 : Evolution de la récurrence moyenne annuelle dans la direction de la houle de 1989 à 209 par tranche de 10° d'après les réanalyse du modèle ERA 40 (Lampert, 2013).

2.3. PROJECTIONS DE L'EVOLUTION DU CLIMAT

2.3.1. Les différents scénarios

En introduisant dans les modèles climatiques l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre, en fonction des diverses évolutions économiques possibles, on peut simuler l'évolution envisageable du climat au cours du prochain siècle. Différents scénarios d'émissions des gaz à effet de serre sont utilisés pour prédire l'évolution du climat futur. Ils ont été décrits dans un rapport spécial du groupe de travail III du GIEC (2000). Ils ont été élaborés en fonction d'hypothèses sur la croissance démographique, du développement socio-économique et de l'évolution technologique. Ces scénarios permettent donc de prendre en compte une certaine incertitude dans l'analyse et la modélisation du climat au cours du XXI^e siècle (Illustration suivante).

Quatre grandes familles de scénarios ont été définies, représentant un total de 40 types de scénarios :

- La famille des scénarios A1 décrit un monde futur où la croissance économique est très rapide, la population mondiale atteint son maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite, et de nouvelles technologies, plus efficaces, seront introduites rapidement. Cette famille suppose également la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction des différences régionales du revenu par habitants. Cette famille est scindée en trois groupes décrivant des directions

possibles dans l'évolution technologique des systèmes énergétiques : forte intensité de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibres entre les sources (A1B).

- La famille de scénarios A2 décrit un monde très hétérogène. Elle suppose l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondités entre régions convergent très lentement, avec pour conséquence un accroissement continu de la population mondiale, un développement économique à orientation régionale, une croissance économique par habitant et une évolution technologique plus fragmentées et plus lente que les autres familles.
- La famille de scénarios B1 décrit une situation démographique similaire à la famille A1, mais avec des changements rapides des structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres utilisant des ressources de manière efficiente. L'accent est mis sur des solutions mondiales orientées vers une variabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.
- La famille de scénario B2 décrit un monde où l'accent est mis sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que pour A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverses que pour les familles de scénarios B1 et B2. Cette famille de scénarios est également orientée vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Les prochains scénarios du GIEC sont basés sur des trajectoires de concentration de CO₂ (Radiative Concentration Pathways ou RCP). Ce rapport utilise cependant les résultats des travaux publiés à la date de l'étude, et font donc référence au quatrième rapport du GIEC de 2007.

Pour ses simulations climatiques, Météo-France a privilégié ces deux scénarios :

- le scénario A2 où les émissions continuent de croître jusqu'en 2100 ;
- le scénario A1B où les émissions continuent de croître jusqu'en 2050, puis décroissent.

2.3.2. Projections mondiales

a) Les températures

Les simulations climatiques indiquent que la température moyenne annuelle du globe continuera de s'élever au cours des prochaines décennies et le réchauffement atteindra en moyenne 1,8 à 4°C à la fin du siècle, suivant les scénarios d'émission des gaz à effet de serre (GIEC, 2007).

Cependant, l'évolution de la température ne sera pas identique pour chaque région du globe. Les cartes suivantes illustrent l'hétérogénéité du réchauffement à la surface de la Terre en fonction des scénarios A2, A1B et B1. On constate qu'aucune région n'échappera à une augmentation de la température mais le réchauffement sera plus important au-dessus des terres et dans les latitudes les plus élevées de l'hémisphère Nord, et sera de plus en plus important au fur et à mesure que l'on passe des zones côtières à l'intérieur des terres. Enfin, dans les zones géographiques similaires, le réchauffement est généralement plus important dans les régions arides que dans les régions humides.

Par contraste, c'est dans les océans austraux et dans certaines parties de l'Atlantique nord que le réchauffement sera le moins important.

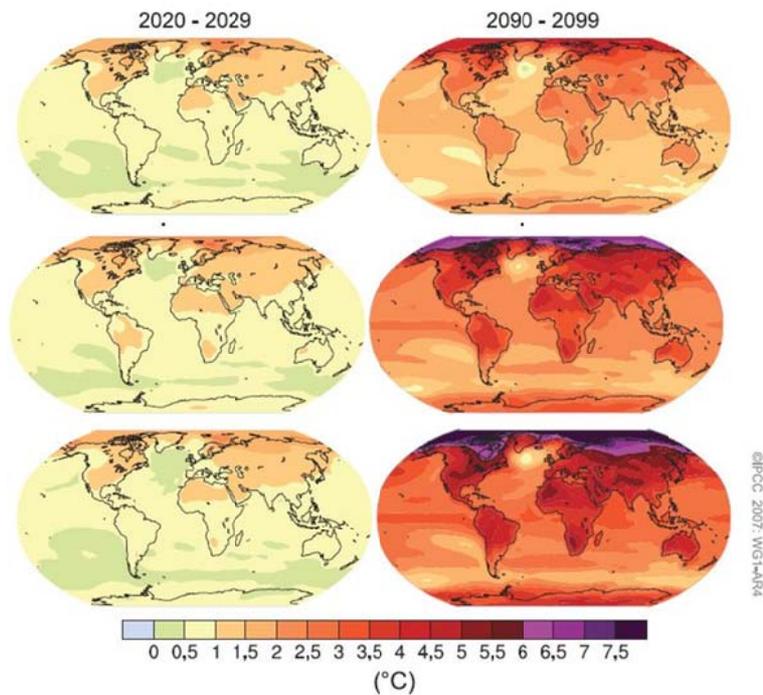


Illustration 34 : Variations de température projetées pour le début et la fin du XXI^e siècle, sur la base de la période 1980–1999. Les cadres de gauche et de droite montrent les projections multi-modèles moyennes MCGAO (°C) pour les scénarios RSSE B1 (en haut), A1B (au centre) et A2 (en bas) calculés en moyenne pour les décennies 2020–2029 (à gauche) et 2090–2099 (à droite) d'après le GIEC 2007.

b) Les précipitations

Le dernier rapport du GIEC conclut, au sujet des précipitations mondiales, qu'une augmentation de la quantité des précipitations est très probable (probabilité supérieure à 90%) sous les hautes latitudes, tandis que des baisses sont probables (probabilité supérieure à 66%) dans la plupart des terres subtropicales (jusqu'à moins 20% en 2100 dans le scénario A1B).

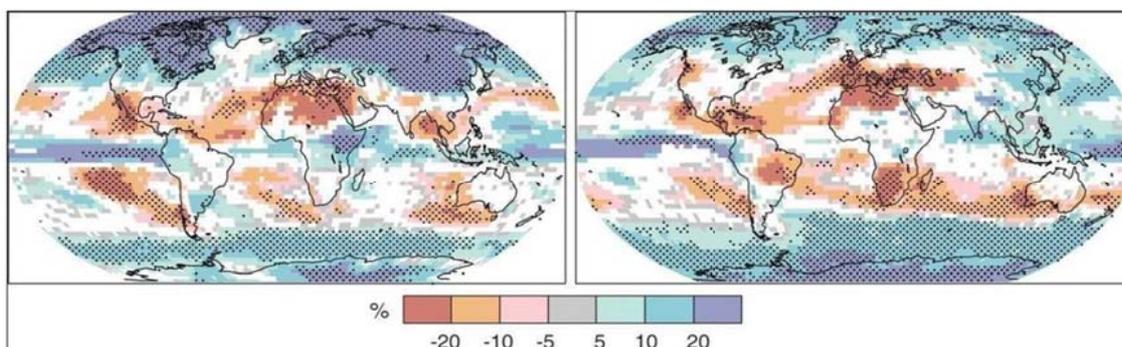


Illustration 35 : Variations relatives du régime des précipitations (%) pour la période 2090-2099, par rapport à la période 1980-1999. Les valeurs indiquées sont des moyennes issues de plusieurs modèles, obtenues à partir du scénario A1B pour des périodes allant de décembre à février (à gauche) et de juin à août (à droite). Les zones en blanc correspondent aux régions où moins de 66% des modèles concordent sur le sens de la variation et les zones en pointillé à celles où plus de 90% des modèles concordent sur celui-ci. (GIEC, 2007).

c) Phénomènes extrêmes

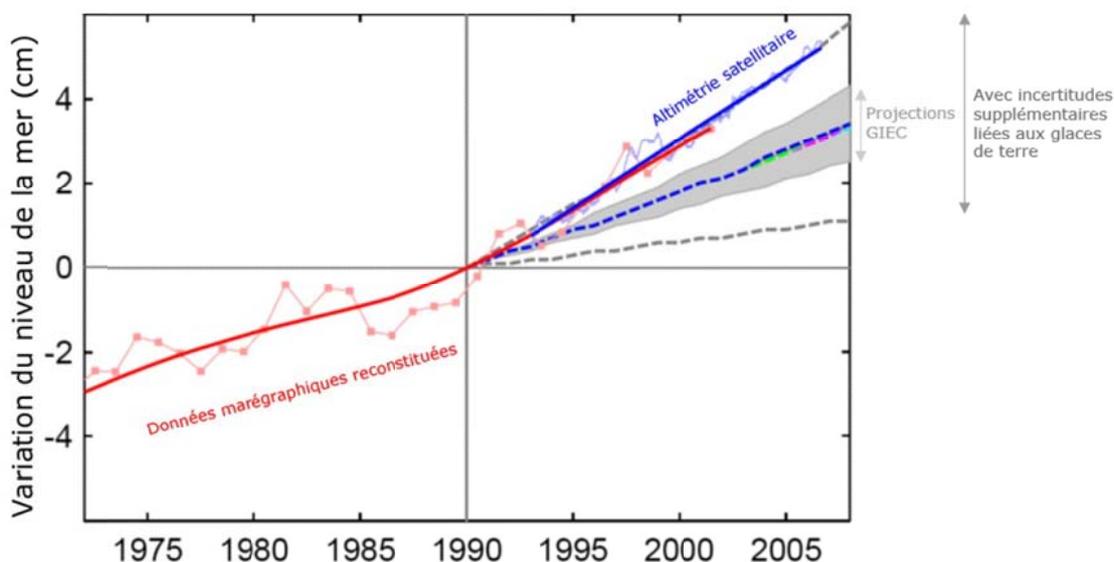
L'étude de la fréquence des vagues de chaleur montre qu'à la fin du XXI^e siècle, la probabilité de chaleurs saisonnières extrêmes atteint environ 90% dans beaucoup de zones tropicales et atteint environ 40% ailleurs. Des études récentes sont parvenues à la conclusion que dans le climat futur, les vagues de chaleur seront plus intenses, dureront plus longtemps et seront plus fréquentes. A contrario, dans un climat futur plus chaud, les modèles projettent un déclin de 50 à 100% de la fréquence des irrptions d'air froid par rapport au présent, au cours des hivers de l'hémisphère Nord dans la plupart des régions.

Les recherches indiquent une tendance à l'augmentation des jours de pluie intense au sein de nombreuse régions, y compris dans celles où la moyenne des chutes de pluie baissera selon les projections. Dans ce derniers cas, la baisse du volume des chutes de pluie est souvent attribuable à un nombre de jours de pluie moindre, plutôt qu'à une baisse de l'intensité de la pluie. Dans le cinquième rapport du GIEC (2013), il est ainsi indiqué que les événements de précipitations extrêmes seront très probablement plus intenses et plus fréquents à la fin du XXI^e siècle sur les régions tropicales humides et sur les terres émergées des moyennes latitudes.

Enfin, dans le contexte d'un changement climatique, les caractéristiques des dépressions des moyennes latitudes risquent de changer. Les modèles numériques semblent s'accorder sur une double tendance : baisse du nombre de dépressions mais augmentation des fortes dépressions à l'origine des tempêtes.

d) Niveau de la mer

Les récentes observations altimétriques montrent que le niveau global des océans suit la limite supérieure des projections du quatrième rapport GIEC (2007) (Illustration 36). En effet, il existe un débat au sein de la communauté scientifique sur la prise en compte de l'accélération de la fonte des Inlandsis (Groenland et Antarctique) qui pourrait conduire à une élévation plus rapide du niveau de la mer, et certains auteurs annoncent en 2100 une élévation possible de 1 à 2 m à partir de méthodes semi-empiriques (Grinsted *et al.* 2010 et Rahmstorf *et al.* 2007 par exemple).



*Illustration 36 : Élévation du niveau de la mer observée par des marégraphes (courbe rouge) et des altimètres satellitaires (courbe bleue), comparée aux projections du troisième rapport d'évaluation du GIEC (Rahmstorf *et al.* 2007)*

D'après le quatrième rapport du GIEC (2007), selon différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre simulés, l'élévation du niveau de la mer prévue se situait entre 0,18 et 0,59 m, par rapport à 1980-1990, à la fin du XXI^e siècle (Illustration 37).

Scénario	Élévation du niveau de la mer (m pour 2090-2099 par rapport à 1980-1990)
Scénario B1	0,18 - 0,38
Scénario A1T	0,20 - 0,45
Scénario B2	0,20 - 0,43
Scénario A1B	0,21 - 0,48
Scénario A2	0,23 - 0,51
Scénario A1FI	0,26 - 0,59

Illustration 37 : Élévation du niveau de la mer projetée pour la fin du XXI^e siècle, fourchette basée sur le modèle hors variations rapides futures du flux de glace (GIEC, 2007)

Les dernières estimations du GIEC (2013), qui prennent maintenant en compte l'effet de l'accélération de la fonte des inlandsis, sont plus pessimistes. Il est affirmé que le rythme d'élévation du niveau moyen de la mer va s'accélérer au cours du XXI^e siècle et sera très probablement plus important que celui observé actuellement. L'augmentation moyenne du niveau de la mer, selon l'ensemble des scénarios pris en compte, est ainsi comprise entre 0,26 et 0,82 m en 2081-2100 par rapport à 1986-2005 et entre 0,17 et 0,38 m pour 2046-2065 par rapport à la même période référence (Illustration 38).

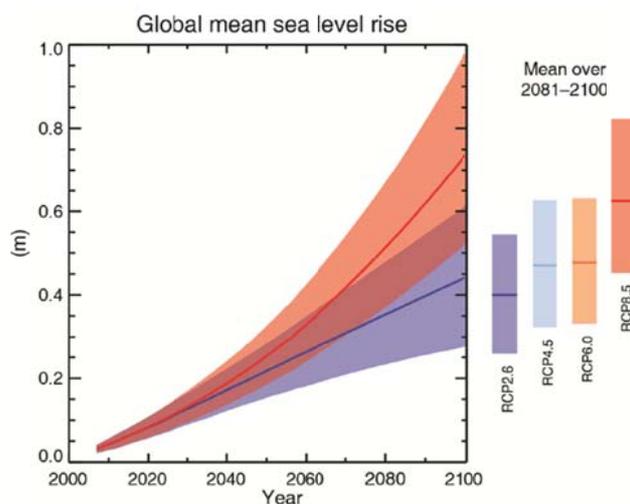


Illustration 38 : Projection de l'augmentation du niveau moyen de la mer au cours du XXI^e siècle (GIEC, 2013).

Toutefois, les évolutions locales du niveau marin pourront dévier sensiblement de la moyenne mondiale. En effet, la distribution spatiale du niveau de la mer tient compte de différents facteurs tels que des apports en eau des glaces continentales, de l'expansion thermique de l'eau sous l'effet de sa température, de la répartition des masses d'eau sous l'effet des grands courants et des vents et des ajustements tectoniques de la croûte terrestre. La spatialisation de la variation du niveau de la mer est encore un sujet de recherche et les incertitudes sont importantes. Les équipes de recherches sur le sujet sont très actives et on peut espérer que dans les prochaines années on pourra avoir accès à des données régionalisées.

Dans ce contexte d'incertitude, l'ONERC (2010) recommande, dans le cadre des études sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptations possibles, qu'il n'est pas judicieux de distinguer les hypothèses en fonction des scénarios du GIEC et des territoires (métropole et outre-mer). Il est ainsi recommandé de considérer les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous :

Hypothèses	2030	2050	2100
Optimiste	10	17	40
Pessimiste	14	25	60
Extrême	22	41	100

Illustration 39 : Hypothèse recommandées par l'ONERC d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2030, 2050, 2100 en cm (ONERC, 2010).

2.3.3. Projections régionales pour la Guyane à l'aide des scénarios d'ARPEGE-CLIMAT

a) Caractéristiques du modèle ARPEGE

Le modèle « ARPEGE-CLIMAT » est une version du modèle de prévision météorologique de Météo-France spécifiquement adapté pour les études climatiques. Une dernière configuration d'ARPEGE-CLIMAT a permis de réaliser une simulation à haute résolution sur l'ensemble du globe avec une maille de 50x50 km².

Dans les études de Météo-France en cours, les modèles qui ont été utilisés pour la simulation du climat futur en Guyane sont :

Modèle	Scénario	Période de simulation	Période de référence
ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST	A2	2050-2070	1980-2000
ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST stream 2	A1B	2040-2070	1961-1990
ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST stream2	A1B	2040-2070	1961-1990
ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST Hadley	A1B	2040-2070	1961-1990

Illustration 40 : Modèles utilisés dans le cadre des projections régionales aux Antilles-Guyanes avec mention du scénario, de la période de simulation et de la période de référence pris en compte.

b) Les précipitations

Les cartes ci-dessous présentent les anomalies de précipitations par saison pour le scénario A2 pour la période 2050-2070 avec comme référence la période 1980-2000 (Illustration 41). On note que le mois de mars serait plus sec et que la saison sèche (de juillet à novembre) serait plus pluvieuse à l'horizon 2070.

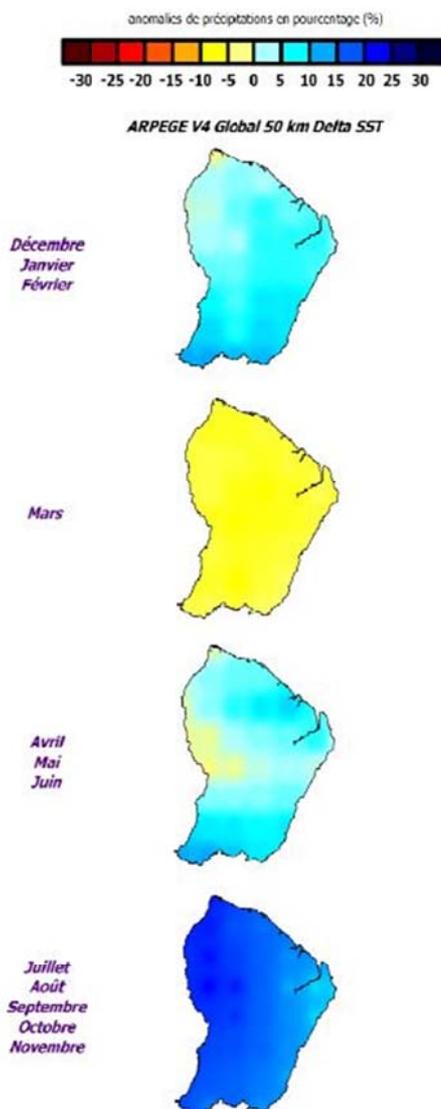


Illustration 41 : Anomalies de précipitations, simulés par le modèle Arpège V4 Global 50 km Delta SST par saisons et pour le scénario A2, à l'horizon 2070 (Météo-France, 2012).

Les cartes ci-dessous montrent les anomalies de précipitations par saison pour le scénario A1B pour la période 2040-2070 avec comme référence la période 1961-1990 (Illustration 42). On constate une grande hétérogénéité entre les différentes projections des différents modèles. Concernant la saison sèche (juillet à novembre), le modèle ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST Hadley est le plus pessimiste puisqu'il montre une diminution des précipitations (jusqu'à -25% sur le sud-ouest). Les autres modèles montrent une augmentation des pluies plus ou moins forte quelle que soit la saison.

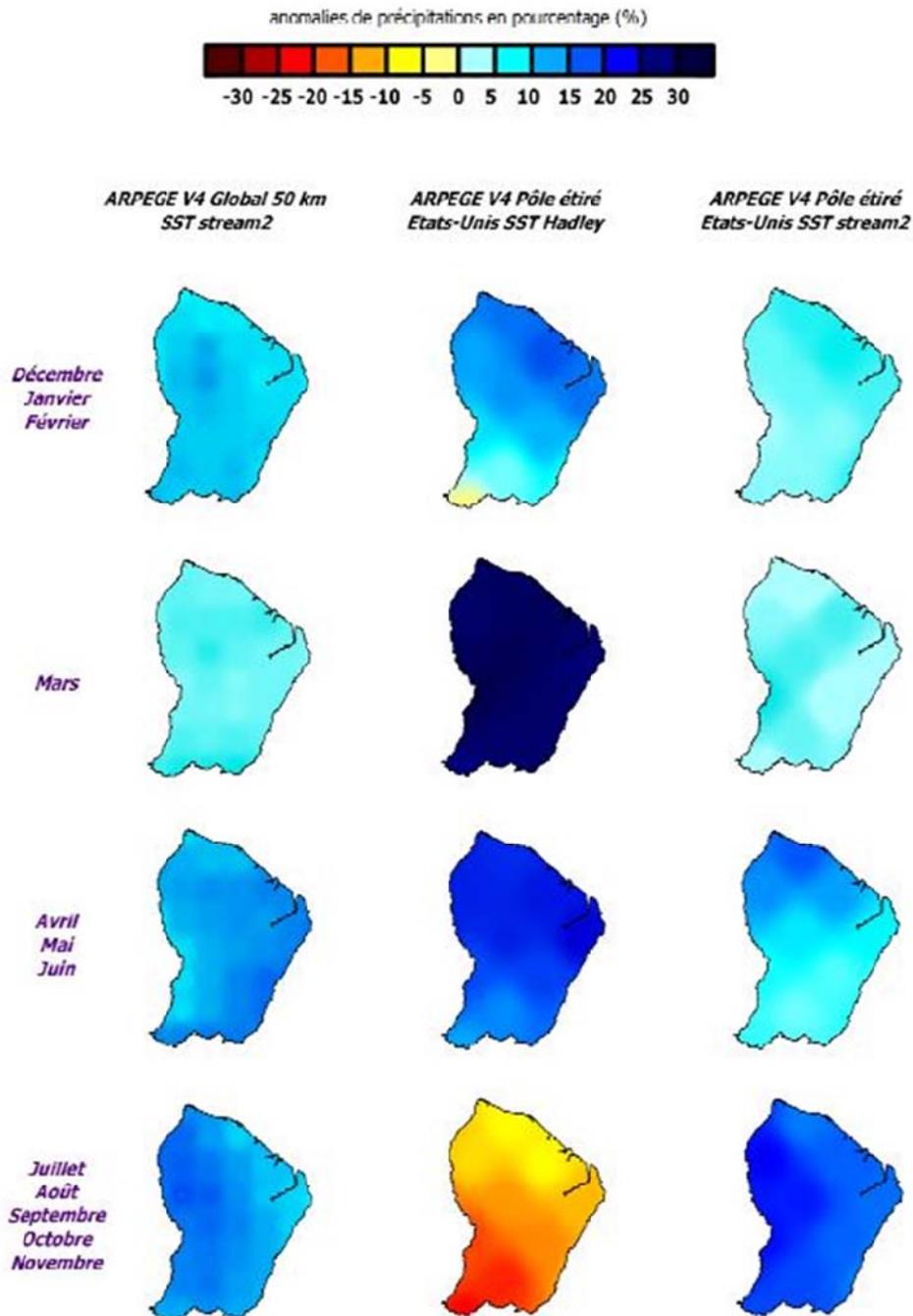


Illustration 42 : Anomalies de précipitations par saison, simulées par 3 modèles différents pour le scénario A1B et la période 2040-2070 (Météo-France, 2012)

Les résultats concernant les précipitations ne sont pas dénués de certaines incertitudes. En effet, pour une même saison les simulations des modèles peuvent donner des résultats radicalement différents. **On ne peut donc pas déduire une tendance claire quant à l'évolution des précipitations quels que soient le modèle ou la saison considérés.**

- Incertitude pour les précipitations pour le scénario A2 :

ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Cumul moyen des précipitations pour la période de référence en mm (1980-2000)	560,8	195	680,6	701,7
Rapport (en % et en mm) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à 95%)	-3,9/13	-51,2/37,3	-8,6/16,7	6,7/28,3

Illustration 43 : Incertitude pour les précipitations pour le scénario A2 (Météo-France, 2012)

- Incertitude pour les précipitations pour le scénario A1B :

ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST stream 2	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Cumul moyen des précipitations pour la période de référence en mm	568,2	197,8	702	681,9
Rapport (en %) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	-1,4/11,3	-11,4/14,2	1,8/18,7	-0,2/17,4

ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST stream2	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Cumul moyen des précipitations pour la période de référence en mm	525,2	146,2	699,7	617,6
Rapport (en %) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	-2,6/16,1	12,2/47,2	0,8/25	-30,5/-7,4

ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST Hadley	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Cumul moyen des précipitations pour la période de référence en mm	541	158,4	747,1	605,1
Rapport (en %) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	-8,6/6,8	-17,2/17,8	-6,9/14	1,1/23,2

Illustration 44 : Incertitude pour les précipitations pour le scénario A1B (Météo-France, 2012)

Néanmoins, les dernières projections du GIEC (2013) au niveau global indiquent une tendance à la diminution des précipitations moyennes d'ici la fin du XXI^e siècle sur le nord-est de l'Amérique du Sud et en particulier sur le Plateau des Guyane (illustration suivante). **D'après le scénario le plus optimiste RCP2.6 les précipitations pourraient diminuer en moyenne annuelle entre 0 et 10% et jusqu'à 20% selon le scénario RCP8.5 le plus pessimiste sur la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005** (Illustration 45).

Les moyennes issues des analyses multi-modèles sur les précipitations sont cependant à prendre avec précaution car d'un modèle à l'autre les résultats peuvent être divergeant et la modélisation des précipitations dans les zones tropicales reste encore délicate.

Pour ce qui est des précipitations extrêmes, le GIEC (2013) estime qu'elles seront très probablement plus intenses et fréquentes à la fin du siècle sous les régions tropicales humides comme la Guyane.

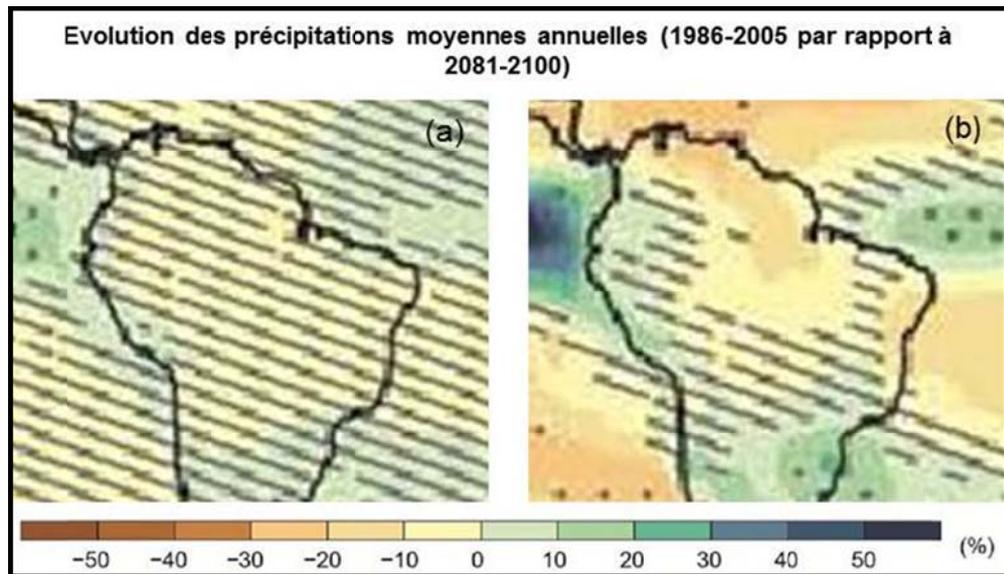


Illustration 45 : Résultats moyens multi-modèles pour les scénarios RCP2.6 (a) et RCP8.5 (b) de l'évolution des précipitations moyennes annuelles pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005. Les hachures indiquent les zones où la moyenne multi-modèle est faible par rapport à la variabilité des résultats. Les pointillés indiquent les zones où la moyenne est forte par rapport à la variabilité et où 90% de modèles convergent dans le même sens Modifié d'après GIEC 2013.

c) Températures maximales

Les cartes présentées ci-dessous montrent les anomalies de températures maximales par saison pour le scénario A2 pour la période 2050-2070 avec comme référence la période 1980-2000. On note que quelle que soit la saison la température maximale augmente entre 1°C et 2°C.

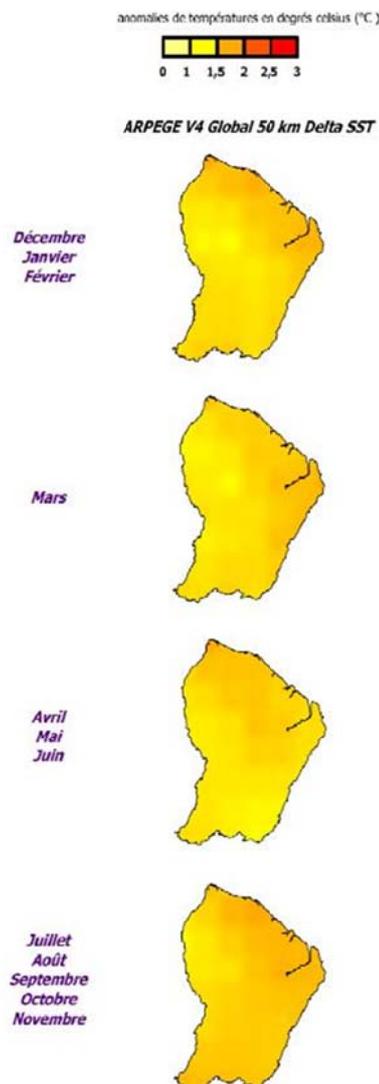


Illustration 46 : Anomalies de précipitations par saison, simulées par 3 modèles différents pour le scénario A2 et la période 2050-2070 (Météo-France, 2012).

Les cartes présentées ci-dessous montrent les anomalies de températures maximales par saison pour le scénario A1B pour la période 2050-2070 avec comme référence la période 1961-1990. Comme pour les précipitations on note une grande hétérogénéité dans les résultats des différents modèles. Concernant la saison sèche, on remarque que le modèle *ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST Hadley* est le plus pessimiste. En effet, on note une très forte augmentation des températures maximales (jusqu'à +2,5°C sur le sud-ouest). Les autres modèles montrent une augmentation des températures entre 1°C et 2°C quelle que soit la saison à l'horizon 2040-2070.

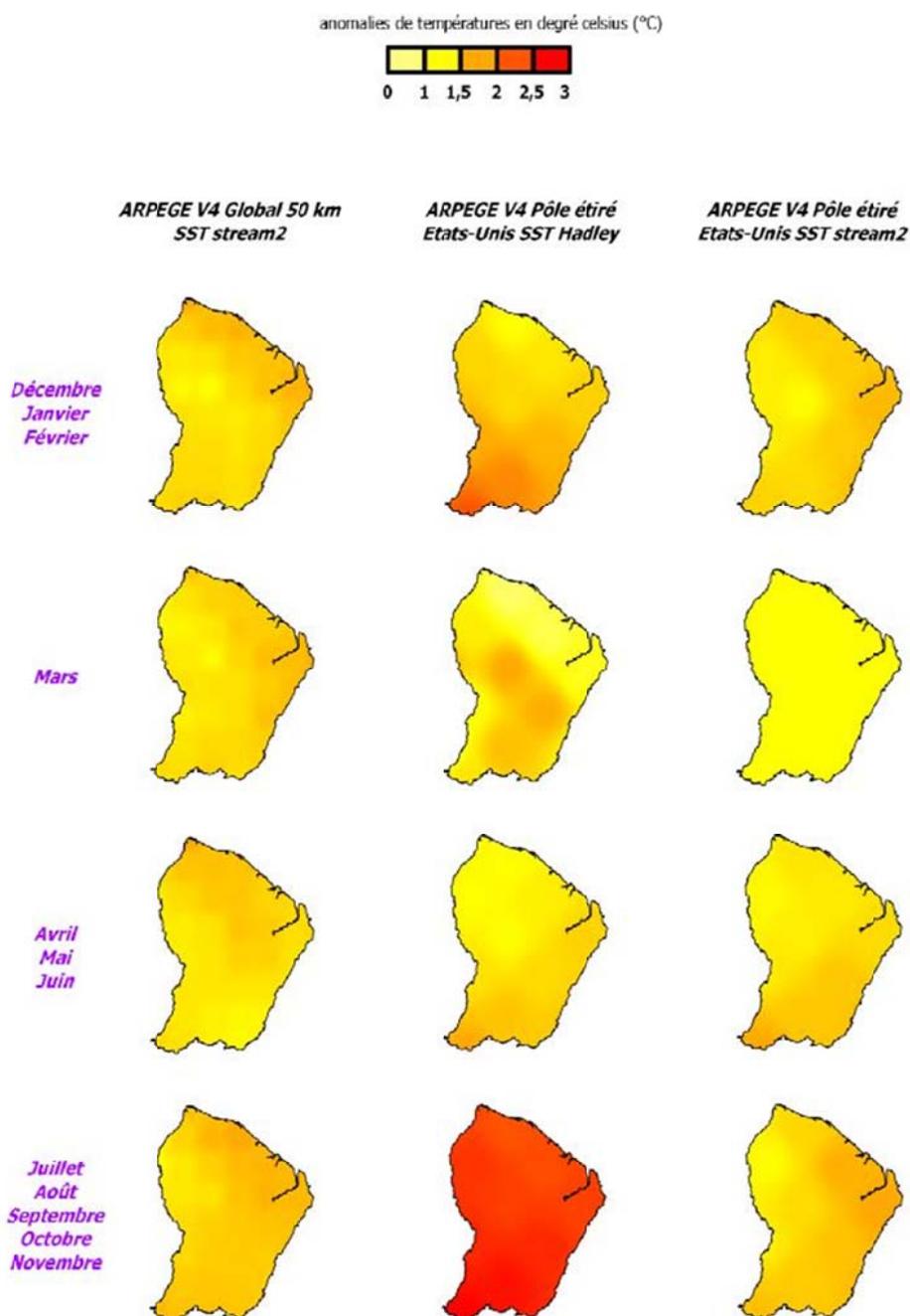


Illustration 47 : Anomalies de températures maximales par saison, simulées par 3 modèles différents, pour la scénario A1B et la période de référence 2040-2070 (Météo-France, 2012)

On note que les intervalles de confiance sont assez semblables entre les résultats des simulations A2 et A1B. Le réchauffement est marqué pour les températures maximales avec un écart moyen supérieur à 1°C pour la quasi-totalité des saisons et des modèles de simulation.

- Incertitude pour les températures maximales pour le scénario A2 :

ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	27,9	28,2	28,4	29,5
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,5/2,2	1,5/2,6	1,4/2,1	1,6/2,4

Illustration 48 : Incertitude pour températures maximales pour le scénario A2 (Météo-France, 2012).

- Incertitude pour les températures maximales pour le scénario A1B :

ARPEGE V4 Global 50 km Delta SST stream 2	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	27,8	28,1	28,2	29,5
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,1/1,6	1/1,8	1,2/1,7	1,3/2

ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST stream2	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	28,4	28,8	28,4	29,9
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,1/2,2	0,3/1,2	0,9/1,8	1,7/3

ARPEGE V4 Pôle étiré Etats-Unis SST Hadley	Petite saison des pluies	Petit été de mars	Grande saison des pluies	Saison sèche
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	28,1	28,7	28,3	29,9
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1/1,7	0,6/1,9	1,1/1,9	0,9/1,7

Illustration 49 : Incertitude pour les températures maximales pour le scénario A1B (Météo-France, 2012)

Les températures minimales n'ont pas été traitées. Les travaux conduits dans le cadre de projet Explore 2070 (soutenu par le Ministère en charge de l'écologie) indiquent les résultats suivants :

Etiré EU-SST Hadley Center A1B	Année
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	21,9
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,9/2,3

Etiré EU-SST Stream2-A1B	Année
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	21,9
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,7/2,1

Glob50-SST-Stream2-A1B	Année
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	21,5
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,9/2,3

Moyenne A1B	Année
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	21,7
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	1,9/2,1

Glob50-SST-ERA40-A2	Année
Valeur moyenne pour la période de référence en °C	21,7
Ecart (en °C) entre la valeur moyenne de l'indice sur la période de simulation et la valeur moyenne de la période de référence (intervalle de confiance à un niveau de confiance de 95%)	2,2/2,6

Illustration 50 : Incertitudes pour les températures minimales (Explore 2070).

2.4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude de l'évolution des températures observées a montré **une tendance à l'augmentation des températures moyennes de 1,36°C en Guyane entre 1955 et 2009**. La température maximale a connu la plus forte augmentation, avec une augmentation globale de 1,65°C sur la période étudiée. De la même manière, les températures minimales ont augmenté de 1,1°C. Ces tendances sont observées pour chaque saison : le mois de mars connaît la forte augmentation des températures minimales et les mois allant de juillet à novembre la plus forte augmentation pour les températures maximales.

Sur la période 1955-2004, les précipitations annuelles ont augmenté d'environ 5% à l'intérieur et diminué d'environ 5% sur la côte. **Si la tendance pour les températures est statistiquement significative elle ne l'est pas pour les précipitations**, et cela quelles que soient les saisons. Ceci ne permet donc pas de conclure à une tendance d'évolution claire. De la même manière, **aucune évolution significative des événements extrêmes n'est observée au niveau des précipitations**. Les principales particularités sont attribuées à un léger décalage des saisons entre 1970 et 1990, dû à une position particulièrement au sud de la ZIC. Cette position semble fortement corrélée à l'indice MAO dont les cycles naturels de 20 à 40 ans existent indépendamment de l'influence anthropique sur le climat.

L'activité orageuse aurait quant à elle augmenté, même si les résultats doivent être considérés avec précaution compte tenu de la méthode d'observation qui comporte de nombreuses limites.

Pour ce qui est du niveau moyen de la mer, les observations récentes d'altimétrie satellite montrent une **augmentation du niveau de la mer de 3,5 mm/an au large de la Guyane entre 1993 et 2012**.

Les observations relatives à l'hydrologie des fleuves de Guyane n'indiquent pas d'évolutions significatives. Concernant le milieu marin, on observe **une augmentation de la température moyenne des eaux de surface de 0,65°C entre 1970 et 2004**. La hauteur des houles semble également augmenter depuis les années 90 bien que la fiabilité de la source de donnée et le peu de recul sur cette observation ne permettent pas encore de confirmer avec certitude cette tendance.

A l'heure actuelle, deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GIEC, 2007) sont privilégiées pour réaliser les simulations climatiques et sont fournies à nos latitudes. Dans l'état actuel des connaissances, **concernant les projections régionales à l'horizon 2040-2070 pour les précipitations, on constate une grande hétérogénéité des résultats en fonction des modèles climatiques**. On ne peut donc **pas établir de tendance claire quel que soit le modèle utilisé**. Même si les projections réalisées par Météo-France au niveau de la Guyane sur les précipitations ne sont pas concluantes, **les derniers résultats multi-modèles des projections du GIEC (2013) indiquent une tendance à la diminution des précipitations sur la partie nord-est de l'Amérique du Sud**. Pour les températures, les projections de la température maximale et les incertitudes calculées, montrent **une augmentation de la**

température maximale supérieure à 1°C quels que soient la saison, le modèle ou les scénarios pris en compte. Enfin, d'après le dernier rapport du GIEC (2013) **l'augmentation du niveau moyen de la mer à l'échelle globale va très probablement s'accélérer au cours du XXI^e siècle** pour atteindre une fourchette comprise entre 0,26 et 0,82 m en 2081-2100 par rapport à 1986-2005.

Des travaux se poursuivent au Pôle « études en météorologie » de METEOFRANCE, pour une meilleure connaissance des indices climatiques afin de détecter des corrélations entre les indices de grandes échelles (ENSO, NAO, QBO, SOI ect.) et les séries observées. Ces résultats viendront enrichir la connaissance des relations entre la variabilité du climat à grande échelle et les échelles plus locales.

Selon les recommandations de Météo-France il serait intéressant d'appliquer les techniques dites de « descente d'échelle »². Ces méthodes permettent de passer des simulations climatiques à grande échelle (mondiale) à des échelles plus fines de l'ordre de quelques kilomètres (régionale et locale). Deux approches existent en matière de méthodes de descente d'échelle, l'approche dynamique et l'approche statistique.

Pour la **descente d'échelle dynamique** il est souhaitable d'utiliser, pour le modèle ALADIN climat, les données du modèle ARPEGE Climat. Dans cette optique, les toutes dernières projections du cinquième rapport du GIEC (2013) pourront être utilisées. Les projections du GIEC se basent sur des modèles globaux et l'étude régionale du changement climatique nécessite donc de réduire l'échelle spatiale des simulations. Les techniques dites de descente d'échelle dynamique utilisent ainsi des modèles de types régionaux qui permettent une meilleure représentation du climat local et des processus physiques régionaux. Ces modèles sont de même nature que les modèles atmosphériques ou océaniques utilisés pour les simulations du GIEC, mais ils décrivent des phénomènes de plus petites dimensions grâce à leur résolution spatiale plus fine d'une dizaine de km contre 200 à 300 km pour les modèles globaux. Compte tenu des incertitudes, il sera aussi important de mettre en œuvre une vision multi-modèles de ces projections.

Il s'agira enfin d'effectuer une **descente d'échelles statistique**. Les méthodes de descente statistique reposent sur la détermination de relations quantitatives entre des variables de grande échelles et les variables locales de surfaces. Les connaissances accumulées sur les types de temps à l'échelle régionale, le comportement en mode étude du modèle climatique (prévision mensuelle), la connaissance des indices climatiques de grande échelle, des développements pour une meilleure spatialisation des pluies pourront être ainsi intégrées pour obtenir un modèle statistique de prévision.

L'objectif final sera donc d'arriver à une meilleure représentation à l'échelle locale des projections climatiques et de permettre de mieux appréhender la question des impacts.

² Pour plus d'informations sur les modèles climatiques et la régionalisation des projections climatiques consultez le site <http://www.drias-climat.fr>

3. Impacts potentiels par thématique

Pour chacune des thématiques à enjeu pour la Guyane, le chapitre suivant dresse un état des connaissances actuelles. Comme indiqué au chapitre 1, ce bilan a été établi à partir des interviews des experts scientifiques et des références bibliographiques transmises par ces derniers ou collectées par l'équipe projet.

3.1. LA FORET

Bien que les écosystèmes forestiers de Guyane soient parmi les moins menacés par la fragmentation et la dégradation, ils sont parmi les plus vulnérables aux changements climatiques. La forêt joue un rôle essentiel en Guyane puisqu'elle recouvre 90% du territoire et fournit de nombreux services écosystémiques : ressource renouvelable, alimentation, biodiversité, etc... La forêt dispose de capacités d'adaptations naturelles mais incertaines.

La pluviométrie est le principal paramètre climatique limitant pour la végétation. Elle représente, à travers la disponibilité en eau du sol, le principal facteur climatique de variabilité de la croissance des arbres (Wagner *et al.* 2012). Généralement, les précipitations doivent être au moins égales ou supérieures à l'évapotranspiration, pour qu'un écosystème forestier de type tropical humide puisse se maintenir. En Guyane, l'évapotranspiration moyenne annuelle représente entre 1400 mm et 1700 mm/an. Durant les épisodes de sécheresse sévères (1998, 2005 par exemple) le total des précipitations a pu être localement inférieur au taux d'évapotranspiration ce qui conduit la végétation à un stress hydrique. Certains secteurs, comme le sud-ouest de la Guyane sont particulièrement vulnérables car le niveau de précipitation est relativement proche du seuil minimum d'évapotranspiration nécessaire de 1500 mm/an nécessaire au maintien de ce type d'écosystème.

Or certaines projections climatiques globales indiquent une tendance à une diminution des précipitations sur la région amazonienne dans les années à venir (cf. chapitre 2). La forêt amazonienne pourrait donc être significativement affectée par le changement climatique.

Cette tendance projetée à l'assèchement pourrait aggraver les épisodes saisonniers de sécheresse. Même si la forêt est déjà adaptée à supporter des périodes sèches, avec la réduction des précipitations elles deviendront probablement plus intenses et plus fréquentes. Il peut donc exister localement un réel risque de transformation de l'écosystème forestier tropical humide en écosystème forestier tropical sec ou de savane, plus adaptés aux variations saisonnières marquées des précipitations (perte de feuilles, arbre plus petit, adaptation aux feux de forêt...). En retour, le dépérissement du couvert forestier pourrait provoquer des rétroactions positives sur la réduction des précipitations. D'une part, localement la réduction du couvert forestier peut supprimer une partie du recyclage de l'eau par évapotranspiration (rétroaction

biogéophysique) et d'autre part, la libération du carbone, issue de la dégradation de la forêt, peut contribuer à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère et accélérer le réchauffement au niveau global (rétroaction biogéochimique). Le couplage climat-végétation est d'ailleurs en général rarement pris en compte dans les modèles de simulation du climat futur, pourtant il a été démontré que les rétroactions biogéophysiques et biogéochimiques peuvent représenter une part importante dans la diminution des précipitations (Betts *et al.*, 2004 et Cox *et al.*, 2004). Les simulations du climat futur qui prennent en compte ces couplages sont d'ailleurs les plus pessimistes pour la région amazonienne et le plateau des Guyanes (Amui-Vedel., 2010).

L'augmentation de la température pourrait également affecter la végétation, quoique de manière moins sensible que la diminution des précipitations. La réponse à ce changement reste cependant encore assez difficile à estimer. L'augmentation des températures pourrait conduire les réactions biochimiques de la photosynthèse végétale à un seuil, et fragiliser certaines espèces végétales les moins adaptées.

Amui-Vedel (2010) a comparé et spatialisé sur le plateau des Guyanes les résultats de différentes simulations, réalisées à l'échelle globale ou sur la région amazonienne, des effets du changement climatique sur la végétation. Ainsi, d'après les modélisations de Betts *et al.* (2004) en 2050 les simulations prévoient une diminution de 10 à 50% de la couverture de feuillus sur la Guyane française et de plus de la moitié en 2080 (Illustration suivante).

Selon Cox *et al.* (2004) qui ont simulé les effets du changement climatique sur la végétation de la région amazonienne avec le même type de modèle que Betts *et al.* (2004), il est attendu que dans un premier temps, malgré la diminution des précipitations, la part des feuillus soit maintenue à 80 %. Puis cette part chuterait rapidement vers 2050 pour ne représenter que 20 à 30 % du couvert végétal en 2100 (Illustration 52).

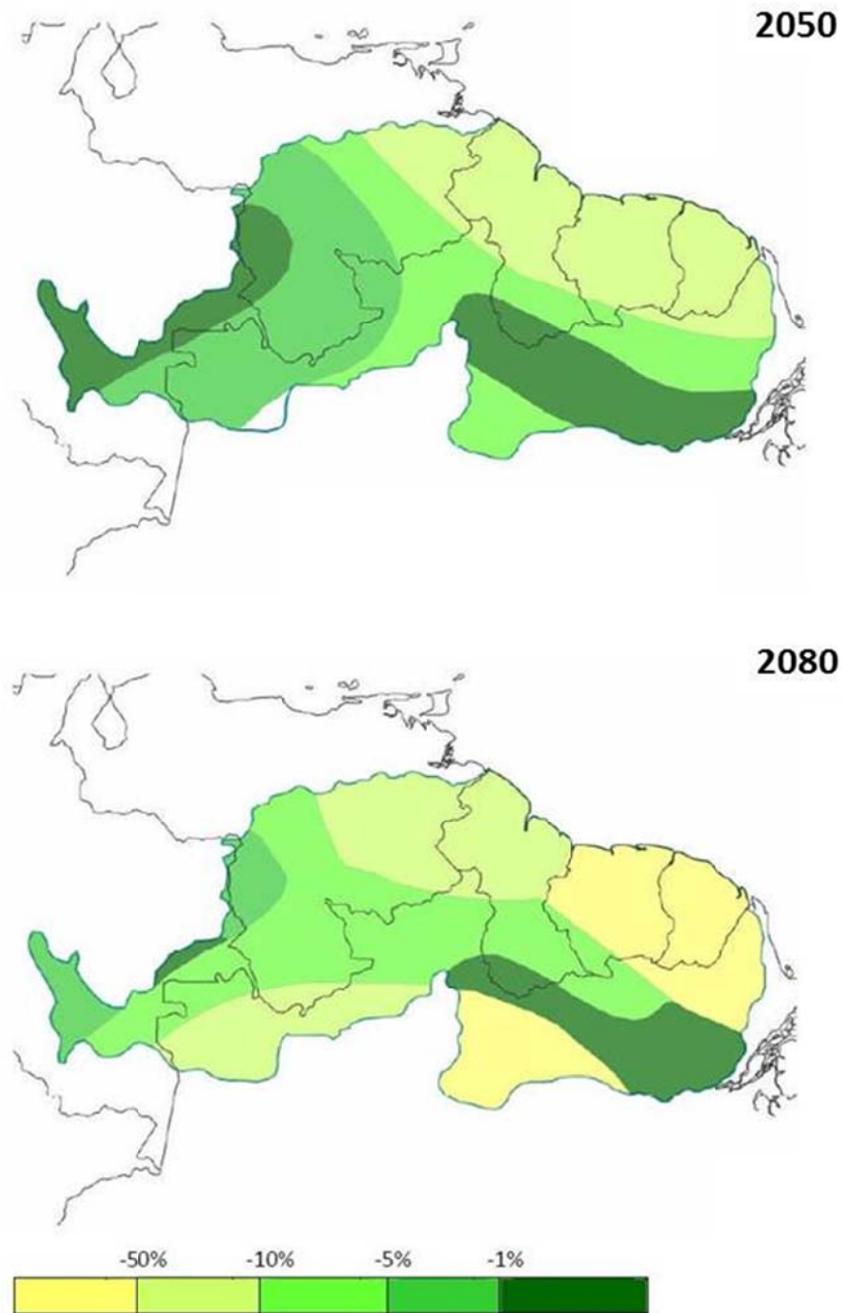


Illustration 51 : Part de la couverture de feuillus affectée par le changement climatique par rapport à 2000 dans Amui-Vedel 2010 à partir de Betts et al. 2004.

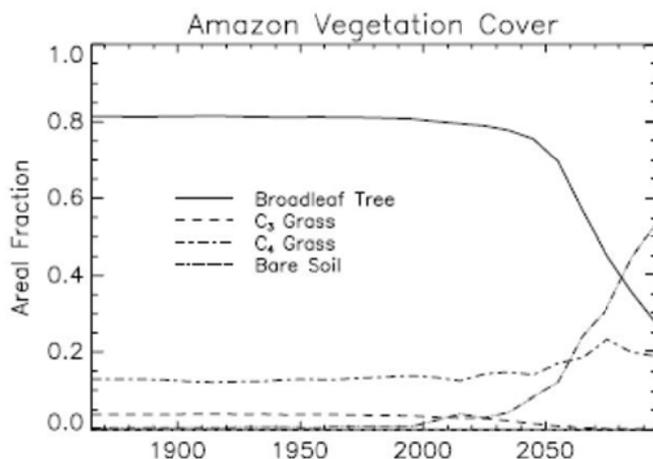


Illustration 52 : Evolution de la couverture végétale dans la région Amazonienne à partir de simulation du climat couplé avec celle du cycle du carbone d'après Cox et al. 2004.

Globalement **une grande majorité de modèles prévoit un impact important sur la forêt amazonienne**. Mais il n'existe **pas d'étude spécifique à l'échelle régionale**. En effet **la plupart des publications concerne l'échelle globale ou le bassin amazonien et non le plateau des Guyanes** (Amui-Vedel, 2010). Pourtant, la région du plateau des Guyanes diffère sensiblement par rapport au bassin amazonien de par son climat, ses sols et son peuplement végétal. Il n'est donc pas forcément pertinent d'extrapoler les résultats des modèles globaux à l'échelle de la Guyane.

Par ailleurs, la forêt guyanaise reste actuellement relativement bien préservée par rapport aux autres forêts équatoriales dans le monde. La population est concentrée sur la bande côtière préservant une grande partie du territoire avec un faible niveau de perturbation des écosystèmes forestiers. L'augmentation des perturbations humaines, inévitables dans les années à venir du fait de l'importance de la croissance démographique et des besoins en aménagement, se combineront cependant aux perturbations d'origine climatique qui localement pourraient augmenter la vulnérabilité des écosystèmes forestiers. En effet, la fragmentation de ces écosystèmes, liée au développement des infrastructures, de l'urbanisation, de l'industrie extractive ou de l'agriculture peut par exemple augmenter les risques d'inflammabilité du milieu en représentant une voie privilégiée de pénétration des feux de forêt en cas de sécheresse sévère.

Des études supplémentaires et spécifiquement adaptées à la région seraient nécessaires afin de préciser les impacts sur ce milieu et mieux spatialiser la vulnérabilité des écosystèmes forestiers de Guyane. Par exemple, il serait intéressant d'améliorer les connaissances sur la sensibilité de certaines espèces végétales, représentatives des communautés et des milieux de Guyane, au changement climatique. Ou encore identifier des indicateurs de suivi des effets du

changement climatique sur les écosystèmes forestiers qui pourraient être intégrés aux réseaux existants d'observation de la biodiversité.

A ce propos, dans l'optique d'une meilleure compréhension des interactions entre le climat et la forêt équatoriale de la Guyane, le projet CLIMFOR mené par l'UMR Ecofog propose d'étudier les conséquences du changement climatique sur quatre services éco-systémiques (diversité végétale, diversité fonctionnelle, stockage du carbone, ressource en bois). De la même manière, le projet GUYASIM a pour objectif de construire un « simulateur de la Guyane » permettant de quantifier et de cartographier les évolutions probables d'indicateurs de services environnementaux, tels que le stock de carbone, la bêta-biodiversité ou le fonctionnement du sol selon différents scénarios prédéfinis à partir des résultats des travaux de scientifiques obtenus depuis plusieurs années sur la forêt guyanaise. Cet outil aura une double vocation : d'une part il constituera un outil d'aide à la décision permettant d'optimiser l'aménagement et le développement du territoire, d'autre part il fournira un laboratoire virtuel aux scientifiques guyanais permettant de tester plus facilement certaines hypothèses écologiques.

3.2. L'AGRICULTURE

D'après le recensement agricole de 2006, l'agriculture emploie 16% de la population active et représente 5% du produit intérieur brut régional. Les surfaces cultivées ne couvrent qu'environ 0,3% du territoire, principalement sur les communes du littoral et de l'ouest. Le développement de l'agriculture guyanaise connaît une forte croissance. D'après le recensement agricole de 2010, le nombre d'exploitations a augmenté de 13% et les surfaces de 8% entre 2000 et 2010. Cette augmentation est principalement liée à l'augmentation du nombre des exploitations le long des fleuves. Près de 6 exploitations sur 10 pratiquent une exploitation vivrière traditionnelle et familiale sur abattis, principalement le long des fleuves frontaliers. Sur la zone côtière, se développe une agriculture plus moderne. On relève deux principaux types d'exploitations, les cultures de fruits et légumes qui se développent majoritairement sur les secteurs de Cacao et de Javouhey (environ 30% de la superficie agricole utilisée) et les vastes surfaces de la plaine littorale dédiées à l'élevage extensif de bovins entre Montsinery et Macouria, Sinnamary, Iracoubo et Mana. On note également l'exploitation rizicole sur le polder de Mana.

La production agricole reste faible et ne suffit pas à satisfaire l'ensemble des besoins locaux. Par ailleurs, la mauvaise qualité des sols, très pauvres, et la pression parasitaire sont autant de facteurs qui contraignent fortement le rendement des exploitations.

A titre d'exemple pour l'élevage, les exploitants s'adaptent déjà à une forte variabilité interannuelle des précipitations. Les saisons sèches, parfois très marquées, obligent les agriculteurs à adapter leur constitution et gestion du stock fourrager, afin d'être aptes à aborder la saison sèche durant laquelle les animaux ont besoin d'une complémentation de leur ration (pâturages secs, peu productifs). Quant aux saisons

des pluies, elles demandent elles aussi une organisation de la part de l'éleveur : une gestion des pâturages doit être établie, avec la fermeture de certains terrains inondés, pour prévenir leur dégradation par les piétinements et leur inexploitabilité subséquente. La logistique suggère ainsi une diversification des profils topographiques de pâturages, avec des zones hydromorphes, intéressantes pour la saison sèche et des zones exondées, accessibles en saisons des pluies. Cette dualité se retrouve en paysage collinaire, comme par exemple sur l'actuel front sud de développement agricole, moins sur la frange littorale.

Ces adaptations aux conditions climatiques devraient s'accroître avec l'évolution du climat futur attendu. Les fortes pluies (inondations) ou une saison sèche marquée réduisent quantitativement et qualitativement l'offre fourragère et perturbent donc l'alimentation du bétail. La consommation de compléments alimentaires céréaliers pourrait donc augmenter. Or actuellement les céréales sont importées et représentent un coût important. A cela s'ajoute, lors de dégradation-raréfaction des pâtures, la croissance de plantes envahissantes, notamment non-fourragères. Ce phénomène reste toutefois anecdotique à l'heure actuelle : les espèces sélectionnées pour le pâturage sont bien adaptées à la compétitivité et les plantes envahissantes ont du mal à s'exprimer. Par ailleurs, des conditions climatiques difficiles peuvent amener à une fatigue plus rapide des pâturages, impliquant une restauration partielle voire un renouvellement plus fréquents. Enfin, les épisodes climatiques extrêmes sont susceptibles d'influencer le parasitisme.

D'un point de vue des cultures céréalières, les précipitations sont largement supérieures à la demande des cultures céréalières durant la période de culture qui s'étire sur huit mois de saisons des pluies. Cependant, l'importante variabilité interannuelle du régime des précipitations pose une contrainte qui nécessite des adaptations. A ce titre, une diminution des précipitations aurait un impact négligeable sur les cultures de céréales, mais une saisonnalité plus marquée avec des périodes sèches qualitativement ou quantitativement plus importantes pourrait impacter ce système de culture et nécessiter des adaptations. De ce point de vue les cultures maraîchères semblent plus aptes à s'adapter avec le recours possible à l'irrigation pour pallier aux déficits hydriques. Concernant les températures, la température moyenne annuelle est d'environ 26°C avec des épisodes de chaleurs extrêmes restreints. Par exemple, la température limite pour la culture du maïs est aux alentours de 40°C durant les stades physiologiques sensibles (germination et floraison). Donc, une augmentation de la température de quelques degrés dans les décennies à venir ne représente pas un facteur limitant pour cette plante ni les céréales en général (tolérances sensiblement similaires).

D'une manière générale, la Guyane rassemble des conditions climatiques idéales pour la production photosynthétique, avec relativement peu de contraintes (apport d'eau et ensoleillement important, températures clémentes présentant une absence de variations extrêmes). Le seul bémol est la variabilité saisonnière des précipitations, caractéristique du climat équatorial, problématique pour le développement d'une agriculture commerciale qui a besoin de rentabilité et de régularité. En effet, les adaptations actuelles des agriculteurs existent mais sont rendues possibles par le contexte encore relativement extensif et familial, difficilement pérenne au su de la

demande locale. **Bien avant les facteurs climatiques, les éléments les plus limitants pour le développement d'une agriculture commerciale restent la fertilité des sols, naturellement très pauvres ainsi que l'organisation encore faible de la filière agricole.**

Un renforcement de l'accompagnement de la filière agricole accrue permettrait de soutenir les initiatives en faveur de l'adaptation (introduction d'espèces plus adaptées aux futures conditions climatiques par exemple).

3.3. LA PECHE

3.3.1. Généralités

La Guyane dispose d'une façade côtière de 378 km et d'une zone économique exclusive (ZEE) de 130 000 km², dont 40 000 km² de plateau continental sur la côte nord-ouest de l'Amérique du Sud. Les masses d'eaux superficielles sont soumises, d'est en ouest, à l'influence du courant des Guyanes qui draine l'eau du fleuve Amazone, provoquant une dessalure importante et une forte charge de matières en suspension. De la côte au large, il existe donc un fort gradient de salinité et de turbidité, variable en fonction des saisons et de la proximité des embouchures. Cette grande quantité de matière détritique est à la base d'un réseau trophique particulièrement riche et diversifié, ce qui fait des eaux de Guyane une des zones les plus productives au monde au niveau biologique, avec une biodiversité marine particulièrement riche et encore peu connue. On recense ainsi (AAMP, 2009) :

- 5 espèces de tortues marines (dont le deuxième lieu d'importance mondiale pour la ponte des tortues Luth sur les plages d'Awala-Yalimapo et de l'île de Cayenne)
- 100 espèces d'oiseaux marins et littoraux
- 29 espèces de mammifères dont 12 espèces de cétacés, la plupart classées sur la liste rouge de l'UICN et protégées au plan national (rorqual, cachalot, baleine, dauphin...)
- 126 espèces de poissons (mérrou géant, requin, raies...)

Le milieu marin représente une ressource économique importante pour la Guyane, la pêche est le premier poste d'exportation du secteur primaire (IEDOM, 2011). Trois ressources halieutiques sont principalement exploitées en Guyane : les crevettes et les vivaneaux qui font l'objet d'une exploitation industrielle avec un effort de pêche au large sur le plateau continental, et les poissons blancs (croupias, acoupas, raies, loubines...) faisant l'objet d'une pêche artisanale et côtière. On recense ainsi environ 300 navires de pêche dans le département, 60% seraient officiellement enregistrés dont 47% pour la pêche côtière. Le secteur de la pêche emploie environ 500 marins, dont 350 marins pour la pêche côtière et 190 marins pour la pêche au large, en diminution ces dernières années (IEDOM, 2011). A ceux-ci s'ajoutent tous les navires étrangers Surinamais et brésiliens pêchant dans les eaux de Guyane sans autorisation.

3.3.2. Effets du changement climatique sur les ressources halieutiques – Programme scientifique

Dans le cadre du programme intitulé « changement global de la dynamique de la biodiversité marine exploitée et de la viabilité des pêcheries » (CHALOUPE), initié en 2006 et coordonné par l'Ifremer en Guyane (F. Blanchard), une étude a été réalisée sur le changement climatique et les conséquences potentielles pour la biodiversité ichthyologique (poissons) et la pêche côtière en Guyane (Bernard, 2006) et sur les peuplements benthopélagiques du plateau continental (Rivière, 2007). Les objectifs de ce projet étaient d'identifier les modifications hydro-climatiques de l'environnement, les modifications observées dans les peuplements depuis ces dernières années et les conséquences potentielles du réchauffement climatique sur la distribution biogéographique des poissons.

Plus récemment, une étude commanditée par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) est en cours de réalisation par l'Ifremer (Lampert, 2013). Cette étude a pour objectif de mieux comprendre l'influence des facteurs environnementaux, notamment des changements climatiques pérennes ou cycliques, sur la variabilité de la ressource crevette. Les principales conclusions de ces travaux sont repris ici.

Suite aux diverses observations hydro-climatiques (augmentation de la température des eaux de surface principalement), il est possible d'affirmer que **le changement climatique affecte régionalement les conditions environnementales des eaux en Guyane**. Ainsi, un certain nombre de modifications ont été identifiées.

Conséquences potentielles pour la biodiversité ichthyologique

Le réchauffement des eaux marines de Guyane peut avoir des conséquences potentielles sur la distribution biogéographiques des poissons. En effet la température corporelle des poissons varie avec celle du milieu dans lequel ils vivent, une modification de ce paramètre peut donc entraîner des perturbations, d'autant que les eaux guyanaises avec une température moyenne de 27°C tout au long de l'année sont parmi les plus chaudes de l'Atlantique Ouest. Certaines espèces peuvent donc disparaître des eaux guyanaises pour retrouver plus au nord ou plus au sud des eaux dont les températures leur sont plus favorables. D'autres voient leur probabilité d'occurrence diminuer ou être peu affectées si elles sont bien adaptées à des eaux plus chaudes. Leur croissance, leur reproduction et leur métabolisme peut également être affecté par le réchauffement de l'eau. Cependant, certains changements observés dans la structure des peuplements peuvent être aussi attribués à des facteurs anthropiques. En Guyane l'effort de la pêche crevette sur le plateau continental a notamment fortement diminué depuis 1983 et donc aussi le niveau de perturbation de l'écosystème (Rivière, 2007).

Ainsi, l'analyse des structures des peuplements benthopélagiques entre 1994 (avant la période d'augmentation marquée de la température des eaux de surface) et 2006 a mis en évidence un certain nombre de modifications (Rivière, 2007). En 2006, une plus grande diversité a été observée par rapport à 1994, ceci semble s'expliquer par la diminution des perturbations induites par la pêche. De plus, il a été observé un

remplacement des espèces de petites tailles à croissance rapide (stratégie démographique r) par des espèces de grandes tailles à croissance plus lente (stratégie démographiques K). En effet, les espèces à stratégie démographique K, tels que les Chondrichthyens (classe de poissons qui regroupe des espèces comme les raies et les requins) ont montré une forte augmentation aussi bien en terme d'abondance qu'en diversité ce qui va également dans le sens d'une diminution des perturbations. Par ailleurs, la densité numérique par espèces a augmenté entre 1994 et 2006 mais le poids moyen par individu et par espèce a diminué. Ce qui est le signe d'un meilleur recrutement en 2006.

Enfin il a été mis en évidence que la température optimale du peuplement a augmenté de 1,23°C entre 1994 et 2006. Cela signifie que les espèces pour lesquelles les températures optimales sont les plus élevées ont augmenté en abondance. Il s'agirait ici, d'un effet induit par le réchauffement moyen des eaux de surfaces.

Rivière (2007) conclut donc que l'écosystème serait en reconstitution (diminution de l'effort de pêche), mais que cette reconstitution serait déterminée et guidée par les conditions hydro-climatiques (réchauffement des eaux) qui favoriseraient les espèces adaptées à un environnement plus chaud. Cependant, l'évaluation de l'impact du changement climatique nécessiterait d'effectuer des suivis réguliers et pluriannuels et saisonniers des communautés démersales (proche des côtes et des fonds) afin de mieux connaître la dynamique spatio-temporelle de cet écosystème pour valider les hypothèses émises sur les tendances d'évolution à long terme.

Dans son étude Bernard (2006) a caractérisé la sensibilité des espèces au réchauffement selon leur tolérance thermique et simulé les effets théoriques du réchauffement des eaux sur la répartition de quelques espèces exploitées. Les espèces qui possèdent une très faible amplitude thermique sont les plus vulnérables à un changement, contrairement aux espèces ubiquistes (espèce dont l'aire de répartition est très étendue) qui possèdent une facilité d'adaptation plus importante.

Globalement, pour toutes les espèces, les températures observées en Guyane se situent dans la partie supérieure de leur domaine de tolérance. Avant le réchauffement des eaux (1995), la température moyenne des eaux était comprise dans le domaine thermique de toutes les espèces. Après 1995, elle se situe au-dessus pour de nombreuses espèces et la température maximale dépasse tous les seuils de tolérance (Illustration 53).

Selon Bernard (2006), qui a simulé l'effet théorique du réchauffement des eaux d'un degré sur quelques espèces commerciales, trois cas de changement sont identifiés. Des populations disparaîtraient totalement des côtes de Guyane. C'est le cas des acoupas, des machoirans et de manière plus anecdotique des raies (car une seule espèce : *Dasyatis guttata* est prise en compte). D'autres espèces ont une probabilité d'occurrence qui diminue fortement avec le réchauffement comme le mérrou, le palika, la carangue et le mullet. Enfin le cabio, le croupia, la loubine et le requin (*Carcharhinus falciformis*) sont très peu affectés par un changement de température. Les espèces

très ubiquistes comme la loubine et les requins, présentes en abondance sur l'ensemble de la côte atlantique, sont plus tolérantes et donc moins touchées.

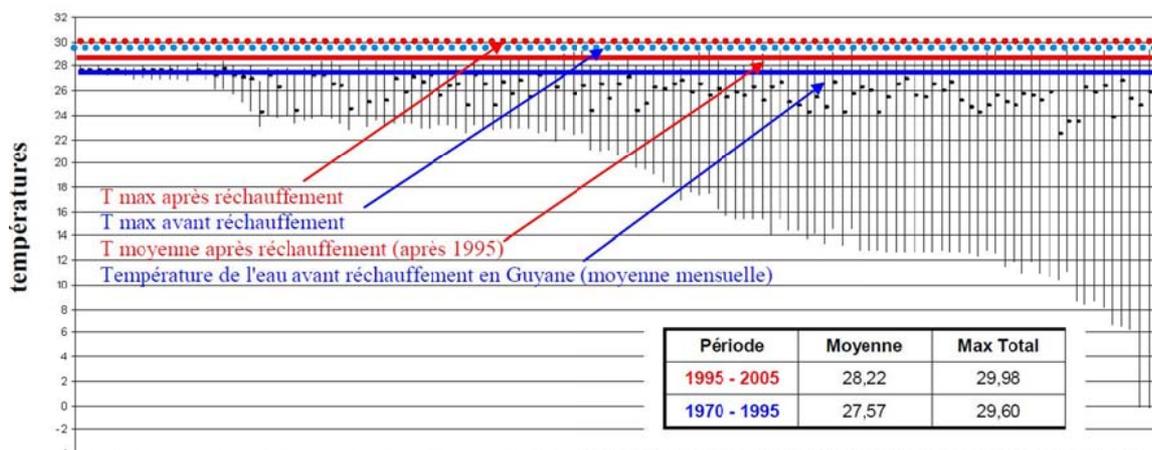


Illustration 53 : Amplitude thermique supportée par les poissons en Guyane (Bernard, 2006)

Les simulations théoriques réalisées dans le cadre de ce travail doivent cependant être interprétées avec prudence. La plupart des poissons de Guyane sont des espèces tropicales ou subtropicales qui sont donc des poissons adaptés à de fortes températures. Même si les températures des eaux de Guyane avant le réchauffement étaient comprises dans la partie supérieure de leur domaine de tolérance thermique, depuis le réchauffement les espèces ont eu à supporter des températures supérieures. La présence ou non à l'avenir d'une espèce dépendra donc de sa capacité à pouvoir s'adapter à des températures plus chaudes.

3.4. LA SANTE

Les enjeux de santé en Guyane sont importants. De par son climat équatorial humide (températures élevées, précipitations répétées, présence du réseau hydrographique dense), ce territoire est particulièrement propice au développement de vecteurs de certains pathogènes. A ce titre, la Guyane est soumise à plusieurs maladies vectorielles d'importances telles que la fièvre jaune, la dengue ou le paludisme. D'autre part, la prévalence des Maladies Sexuellement Transmissibles (MST) et du SIDA est particulièrement importante. Enfin, dans certains sites isolés, l'accès à l'eau potable n'est pas garanti, ce qui expose les populations aux maladies hydriques.

L'état des connaissances actuel ne permet pas d'apprécier clairement les effets potentiels du changement climatique sur la santé humaine au niveau régional.

Malgré l'absence d'étude scientifique dans ce domaine pour la Guyane, les impacts potentiels qu'aurait une modification des températures et de la pluviométrie peuvent être évoqués. Le changement climatique pourrait ainsi avoir deux types d'impacts sur la santé : l'un direct sur les populations fragiles avec l'augmentation des températures d'une part et un effet indirecte sur les maladies vectorielles avec les modifications de certaines conditions environnementales (allongement des saisons sèches par exemple).

Un risque d'apparition de maladies émergentes pourrait également se présenter. Bien que le développement des pathologies vectorielles nouvelles peuvent être le fait de différentes composantes notamment anthropiques : changement des pratiques agricoles, urbanisation, changement des modalités d'exposition de part une modification des activités humaines, *etc.* Le changement climatique peut lui aussi être une des composantes de l'émergence, ou encore un facteur se combinant (exacerbation, minimisation) avec d'autres composantes.

Les effets météorologiques liés au changement climatique pourraient aussi modifier la température des cours d'eau et le régime hydrique. En Guyane, il est possible que les saisons sèches conduisent ainsi un réseau hydrique superficiel de plus faible débit et une eau plus chaude, paramètres favorables à diverses proliférations microscopiques. Dans ces circonstances une augmentation des algues, cyanobactéries et pathogènes sont attendus (Delpla *et al.*, 2009). Cela peut s'avérer problématique pour les personnes ayant un accès restreint à des systèmes d'eau potable (sites isolés notamment), augmentant la probabilité des maladies hydriques : diarrhées, fièvre typhoïde, hépatite A, *etc.* (El Yamani, 2006).

La question de l'allongement éventuel de la saison sèche se pose également. Si la température moyenne ne constitue pas un problème, ce n'est pas le cas pour les extrêmes. La sécheresse a une influence sur les vecteurs (moustiques) mais également sur le malade et le comportement humain (stockage éventuel d'eau). Autant de facteurs qui interfèrent entre eux et qu'il est difficile de discriminer.

Ponctuellement, des observations corrélant les conditions météorologiques et des poussées épidémiques comme la dengue, ont pu être faites. Ainsi, la période 2009-2010 aux Antilles-Guyane porte l'épidémie de dengue la plus importante jamais décrite localement depuis 15 ans (Dussart *et al.*, 2010)³. Une particularité est que, aux Antilles, cette épidémie a débuté à une période inhabituelle avec 4 mois d'avance et durant une saison sèche très marquée. Différentes hypothèses ont été avancées : influence de la météorologie sur les vecteurs (ex : moustiques), sur les pathogènes (ex : processus de réplication, *etc.*, du virus de la dengue), sur l'être humain (ex : modifications comportementales).

Les corrélations entre facteurs climatiques et données épidémiologiques restent délicates à établir et à interpréter, notamment parce que la part contributive du climat reste difficile à distinguer par rapport aux facteurs anthropiques. Malgré

³ Chapitre rédigé avant l'épidémie de dengue 2013 qui n'est pas prise en compte ici

tout il serait intéressant de disposer de données météorologiques complémentaires comme la durée des étiages pour étudier une éventuelle relation avec les maladies à transmission hydrique (dengue, typhoïde, hépatite, ..). Tout en gardant à l'esprit que d'autres facteurs comme le comportement des populations jouent un rôle déterminant dans l'évolution des maladies. Discriminer chaque facteur reste en effet très difficile.

A la difficulté d'estimation de la part du changement climatique dans les évolutions épidémiologiques s'ajoute la problématique guyanaise de l'identification des vecteurs. Si les différentes pathologies sont actuellement rapportées à certaines espèces porteuses (ex : paludisme - *Anopheles darlingi*), il est suspecté, au vu de la haute biodiversité amazonienne et des données épidémiologiques recueillies, que d'autres espèces présentes soient elles aussi des vecteurs occasionnels et/ou locaux (ex : paludisme - *An aquasalis*, *An braziliensis*, *An neavei*, *An oswaldoi*, *An nuneztovari*). Les vecteurs additionnels potentiels sont des espèces incriminées dans la propagation de la maladie dans les régions voisines, mais dont le rôle dans la transmission locale n'est pas démontré (Girod, 2007). Leur rôle effectif ainsi que leur épidémiologie (cycle biologique, entre autres au regard de la climatologie), notamment pour des pathologies lourdes comme le paludisme, pourrait être l'objet d'études complémentaires.

Cette problématique des vecteurs additionnels potentiels apparaît de surcroît dans un contexte où des pathologies locales d'importance comme la dengue, présentent une hyperendémicité ; les épidémies de dengue étant plus fréquentes, plus intenses et plus sévères. L'intérêt de la connaissance de l'influence du changement climatique sur ces processus prend tout son sens dans cette situation.

D'autres facteurs de variation épidémiologique jouent également un rôle important. Il s'agit entre autres de la forte croissance démographique accompagnée d'une croissance de l'urbanisation, de l'augmentation des résistances et de l'effet rebond de la modernisation des équipements anti-vectoriels domestiques (climatisation, insecticides), se traduisant par une baisse des éléments de protection individuelle classiques (usage de la moustiquaire, vidange des gîtes larvaires des jardins).

Un autre enjeu de santé, qui est rarement abordé dans le cadre des études sur le changement climatique, est **l'évolution de la qualité de l'air**. A ce titre, une étude de l'impact du changement climatique sur la qualité de l'air en Guyane (Collard, 2013) a été réalisée dans le cadre de ce projet, en complément de l'étude sur les données hydroclimatiques. En Guyane, l'Observatoire Régional de l'Air (ORA) est en charge d'analyser les principaux polluants, ces observations ont débuté en 2002. Les concentrations des polluants gazeux dans l'atmosphère dépassent rarement les seuils à partir desquels la population doit être avertie. Ces émissions de polluants gazeux sont majoritairement dues aux activités humaines. Par contre, la pollution de l'air par les particules est un phénomène fréquemment observé en Guyane. Environ 15 % des particules émises ont une origine anthropique (résidus de moteurs ou autres types de combustions), tandis que les autres ont une origine naturelle (poussières désertiques issues du Sahara, particules marines, pollen, etc.) (Goudie *et al.* 2001). A titre de comparaison, alors que la quantité de particules d'origine anthropique émise en Guyane était d'environ 250 t, celle de poussières africaines atteignant le bassin amazonien est estimée à 50.10^6 t (Koren *et al.* 2006).

Peu d'études se sont intéressées à l'impact sur la santé des poussières désertiques (Collard, 2013). L'influence des particules sur la santé dépend essentiellement de leur taille et de leur composition chimique. En cas d'exposition de courte durée à des concentrations élevées, les particules provoquent des problèmes de toux, d'asthme, voire de mortalité respiratoire pour les personnes les plus fragiles. L'exposition chronique à des particules très fines inférieures à 2,5 µm peut également avoir des impacts importants (affections respiratoires et cardio-vasculaires).

A priori, la formation et la diffusion des nuages de poussières dépendent des paramètres météorologiques, en particulier la configuration des vents et le régime des précipitations. D'après Collard (2013), les premières études réalisées dans différents pays se rejoignent sur le fait que les concentrations en poussières ont augmenté, en particulier lors de la période 1970-1990 et que depuis ces mêmes concentrations se maintiennent aux valeurs élevées depuis la fin des années 1980 (Prospero *et al.* 2003). Cette évolution est principalement attribuée à la désertification en Afrique de l'Ouest. La forte sécheresse qui a frappé cette région a conduit progressivement à une progression du désert de 1970 à 1990. La variation de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest est liée à des phénomènes de variabilités climatiques régionales, associés à une position de la ZIC plus au sud et une diminution de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest.

3.5. LES RISQUES

3.5.1. Erosion et submersion littorale

Les côtes de la Guyane font parties d'un ensemble régional, de l'est de l'embouchure de l'Amazone (Brésil) au delta de l'Orénoque (Venezuela), long de 1600 km soumis à une importante sédimentation vaseuse d'origine amazonienne et représentant la plus grande ceinture côtière de mangrove du monde. En effet, le bassin de l'Amazone qui s'étend sur un espace de 7 million de km², décharge annuellement près de 1,2 milliard de tonnes de sédiment dans l'Océan Atlantique. Une partie de cette immense décharge sédimentaire (entre 15 et 20%) est transportée sous forme de vastes bancs de vases par les courants côtiers équatoriaux et la houle le long de la côte en direction du nord-ouest. Ces bancs de vases, longs d'une vingtaine de kilomètres, migrent continuellement vers le nord-ouest à une vitesse comprise entre 1 et 2 km/an. C'est la migration de ces bancs de vase qui génère une instabilité constante de la côte avec des variations de position du rivage comprises entre 200 et 300 m d'une année à l'autre dans les secteurs les plus actifs. L'arrivée d'un banc de vase dans un secteur protège un temps la côte ce qui permet à la mangrove de coloniser rapidement les parties intertidales consolidées, tandis que les secteurs interbancs, non protégés par la présence d'un banc, s'érodent rapidement sous l'action de la houle qui déferle directement à la côte et détruit la forêt de mangrove. De ce phénomène résulte la formation d'une plaine côtière basse et meuble (principalement argileuse), d'âge holocène, extrêmement plate (1/1000) composée de paysages de marais et de marécages sillonnés par des cordons sableux étroits et allongés (cheniers), où la

mangrove de front de mer encadre presque toute l'étendue du rivage. Seuls les littoraux de la presqu'île de Cayenne et Kourou présentent des plages sableuses permanentes, à l'abri des promontoires rocheux.

Cette forte instabilité contraint de manière importante l'aménagement de la bande côtière. En effet, les contraintes d'aménagement y sont multiples : envasement des accès portuaires, frein à la mise en valeur agricole, mise en péril des infrastructures urbaines et du bâti, délimitations administratives du rivage de la mer imprécises, risques côtiers. Or cet espace présente des enjeux importants, il concentre la grande majorité de la population et des activités de la Guyane, notamment entre Cayenne et Kourou, et devrait connaître un développement important dans les années à venir. Par ailleurs, d'un point de vue de la biodiversité, les habitats côtiers sont particulièrement riches : mangroves, zones humides, savanes, estuaires. Ils représentent des écosystèmes privilégiés pour de nombreuses espèces tels que les crevettes, les tortues marines, et les limicoles à titre d'exemple.

Une publication de Gratiot *et al.* (2008) a suggéré une forte sensibilité de la côte guyanaise aux variations du niveau de la mer. Ils ont observé l'évolution de la distribution et la migration des bancs de vase de 1986 à 2006 et ont suggéré un rôle du cycle de marée de 18,6 ans sur l'évolution du trait de côte. En effet, les marées suivent un cycle de 18,6 ans qui générerait une modification de 3% de leur amplitude en Guyane. Ce phénomène module donc de quelques centimètres le niveau des pleines mers. D'après leurs modélisations et observations, ils concluent donc que l'augmentation de niveau moyen des pleines mers le long des côtes de la Guyane, durant la phase ascendante du cycle, entraîne un retrait du littoral (Illustration 54).

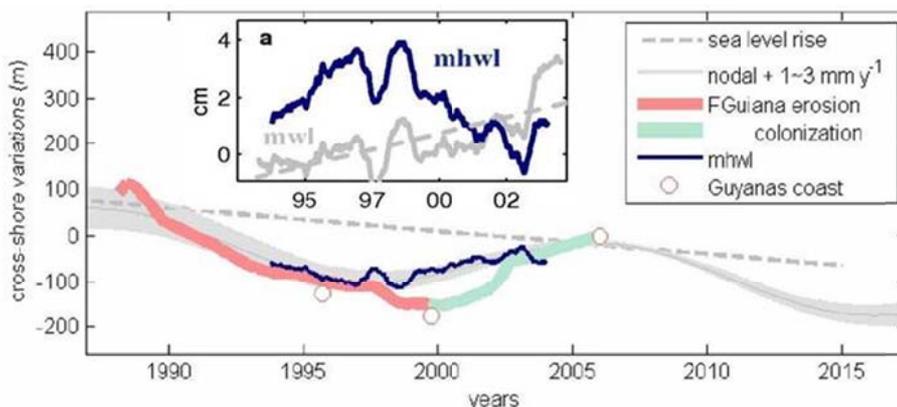


Illustration 54 : Fluctuations temporelle du niveau moyen de l'Océan Atlantique (mwl) et du niveau moyen des pleines mers (mhw), modélisé au droit des Guyanes. Evolutions mesurées (courbes roses et vertes) du littoral de Guyane Française et comparaison au modèle de prédiction (courbe grise), l'année 2006 étant référencée comme année origine. Les points blancs indiquent la tendance issue de mosaïques satellites sur les 1500 km du plateau des Guyanes. D'après Gratiot *et al.* 2008.

Ces auteurs estiment donc que d'ici 2015, le cycle de marée va induire une élévation du niveau des pleines mers d'environ 6 cm (contre 2 cm pour l'effet de réchauffement climatique). **Cette montée du niveau des eaux devrait induire un recul du littoral de près de 150 m à l'échelle régionale, 60% de ce retrait étant dû à l'effet de marée.** Ceci suggère une très forte vulnérabilité de la côte guyanaise aux variations du niveau de la mer. Cependant, on peut noter que **les conclusions de cette observation sont effectuées sur la moitié d'un seul cycle. Il serait donc intéressant de vérifier si, depuis la publication de cette étude, cette même relation entre cycle de marée de 18,6 ans et changements du trait de côte a persisté.** Il serait également intéressant de vérifier dans des observations marégraphiques que le cycle de marée de 18.6 ans modélisé dans cette étude est bien en accord avec des observations. Cela dit, une élévation du niveau marin dans les prochaines décennies pourrait effectivement générer un recul de la mangrove même si celui-ci reste encore très difficile à évaluer.

Les paramètres météo-marins (houles, vents, courants) pourraient également subir des modifications dues aux changements globaux. L'intensité, la fréquence et la direction des vents et des houles, les courants côtiers et la décharge sédimentaire de l'Amazone, pourraient avoir des conséquences sur la vitesse de migration des bancs de vases et la cyclicité des phénomènes d'érosion-sédimentation sur la côte guyanaise. Ainsi, il a été observé une augmentation de la vitesse de migration des bancs de vase entre Cayenne et Kourou au cours des 25 dernières années (Gardel et Gratiot, 2005). Dans les années 1980 les bancs de vases présentaient une vitesse de migration comprise entre 0,2 et 1,8 km/an (Froidefond *et al.* 1988) alors que dans les années 1990 et début 2000 des vitesses de 1,8 à 3 km/an ont été calculées. Ces changements dans la vitesse de migration des bancs de vase peuvent être en lien avec l'augmentation du forçage des houles au cours de la période récente (Gratiot *et al.* 2007).

Par ailleurs, l'élévation du niveau marin pourrait aggraver les phénomènes de submersion. On peut s'attendre à deux types de submersion : la submersion permanente des zones basses, notamment certains marais côtiers (situées en deçà de l'élévation du niveau de la mer et ne disposant pas d'apports sédimentaires suffisants pour la compenser) et la submersion temporaire liée aux tempêtes marines. Ces dernières sont des inondations épisodiques de la zone côtière par la mer associée à des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (forte houle et marée importante)

Ainsi les niveaux marins extrêmes retenus dans le Plan de Prévention des Risques (PPR) pour le risque de submersion seront vraisemblablement plus fréquemment atteints qu'aujourd'hui. Si l'on considère les recommandations de l'ONERC (2010) en termes de niveau marin à la fin du XXI^e siècle, on peut reconsidérer les niveaux extrêmes comme ci-dessous :

Marégraphes	PHMA	Surcote	Surcote+PHMA	PPR	Optimiste (+ 40 cm)	Pessimiste (+60 cm)	Extrême (+1m)
Les Hattes	247	40	287	300	340	360	400
Kourou	169	40	173	200	240	260	300
Le Larivot	154	40	194	200	240	260	300
Dégrad des Cannes	192	40	232	200	240	260	300

Illustration 55 : Niveau de l'aléa submersion marine en fonction des scénarios recommandés par l'ONERC à l'horizon 2100 en cm à la côte NGG. Plus Haute Marée Astronomique (PHMA, d'après les références altimétriques du SHOM), Niveau retenu dans les PPR comme aléas de référence (PPR).

Dans une étude de 2012 relative à la vulnérabilité du territoire aux risques littoraux en outre-mer, le CETMEF (Centre d'études techniques maritimes et fluviales) a réalisé une cartographie des zones basses de la Guyane (Illustration 56). Les zones basses ont été définies comme les zones topographiques situées sous les niveaux marins extrêmes de références. Pour cette étude les niveaux marins extrêmes choisis ont été de 350 cm NGG pour la commune de Awala Yalimapo et de 250 cm NGG pour le reste de la côte. L'élévation du niveau moyen de la mer retenu pour 2100 est de 1 m, conformément au scénario pessimiste de l'ONERC (2010). La côte altitudinale totale retenue pour cette étude, comprend donc à la fois les niveaux marins extrêmes et l'élévation du niveau de la mer en 2100, soit 450 cm NGG pour la commune d'Awala-Yalimapo et 350 pour le reste du littoral.

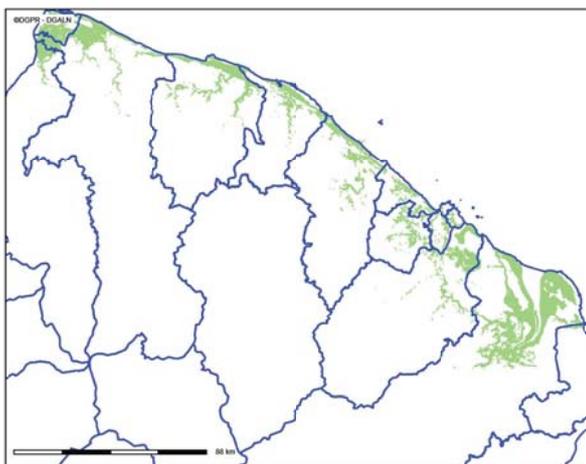


Illustration 56 : Cartographie des zones basses du littoral de Guyane d'après le CETMEF (2012). En vert apparaissent les zones du territoire situées sous les niveaux marins extrêmes plus 1 m d'élévation du niveau de la mer (Source : Cartelie)

Les résultats de ce travail montrent que 1780 km² sont situés sous ce niveau (Hors surface actuellement en eau), soit environ 2 % du territoire, ce qui concerne 7272 bâtiments, 717 km de linéaire routier et 362 km² d'espaces naturels protégés.

Bien que ce travail permette d'avoir une première vision globale de la vulnérabilité du territoire à l'élévation du niveau de la mer, il comporte un certains nombres de limites. Tout d'abord, la résolution du Modèle Numérique de Terrain de la BD TOPO de l'IGN utilisé pour cette étude est 25x25 m et les points d'altitudes de la grille sont arrondis à la valeur entière la plus proche, ce qui ne permet pas de représenter les détails topographiques fins. D'autre part, cette méthode ne tient pas compte des aménagements côtiers de protection. Enfin, les niveaux marins extrêmes ont été surévalués pour les besoins de la méthode et le scénario d'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100 pris en compte est le plus pessimiste.

En Guyane, l'évaluation précise de l'impact de l'élévation du niveau de la mer reste donc encore difficile étant donnée l'insuffisance de données topographiques fines sur la plaine côtière. Cette dernière nécessiterait la mise en œuvre d'un levé topographique LIDAR aéroporté sur l'ensemble de la bande côtière pour simuler différents scénarios d'élévation du niveau de la mer à une échelle adaptée pour les aménageurs.

Certains milieux, comme les cheniers par exemple (cordons littoraux quaternaires caractéristiques de la plaine côtière guyanaise) peuvent jouer un rôle de défense naturelle contre l'augmentation du niveau de la mer. **Il est donc important d'identifier et de protéger ces milieux qui peuvent atténuer les effets du changement climatique sur la côte guyanaise.**

3.5.2. Inondation

Avec 20 communes sur 22 concernées par un risque inondation, cet enjeu est majeur pour la Guyane. Sur le territoire on distingue différents types d'inondations selon la situation géographique et hydrologique (DDRM, 2006) :

- le débordement des grands cours d'eau dans le lit majeur ;
- les zones basses littorales, où les surfaces inondables peuvent être très étendues et une évacuation des eaux contrée par la mer ;
- les zones de concentration du ruissellement dans les fonds de vallées ou sur certains secteurs urbains à forte rupture de pente.

Les inondations peuvent être aggravées par le phénomène de marée. Les zones basses littorales sont donc particulièrement vulnérables, où les marées peuvent s'opposer à l'évacuation des eaux continentales vers la mer s'il y a une conjonction entre une forte pluie et une marée importante.

A l'échelle régionale les secteurs à enjeux sont le lit majeur du Maroni (crue centennale du Maroni en 2008) et la plaine côtière où se concentre la majeure partie de l'occupation urbaine, notamment entre Cayenne et Kourou (EPRI, 2012).

Ainsi selon l'Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI), 14,4 % de la population guyanaise est impactée par l'EAIP (Enveloppe Approchée des inondations potentielles) cours d'eau et 8,4 % par l'EAIP submersion marine. De même, 158 182 m² du bâti d'activité sont inclus dans l'EAIP cours d'eau et 120 792 m² dans l'EAIP submersion marine (Illustration 57). Le manque de données topographiques de références à l'intérieur des terres, notamment sur le bassin du Maroni, n'a pas pu permettre d'évaluer l'enveloppe potentielle d'inondation sur l'intérieur du territoire.

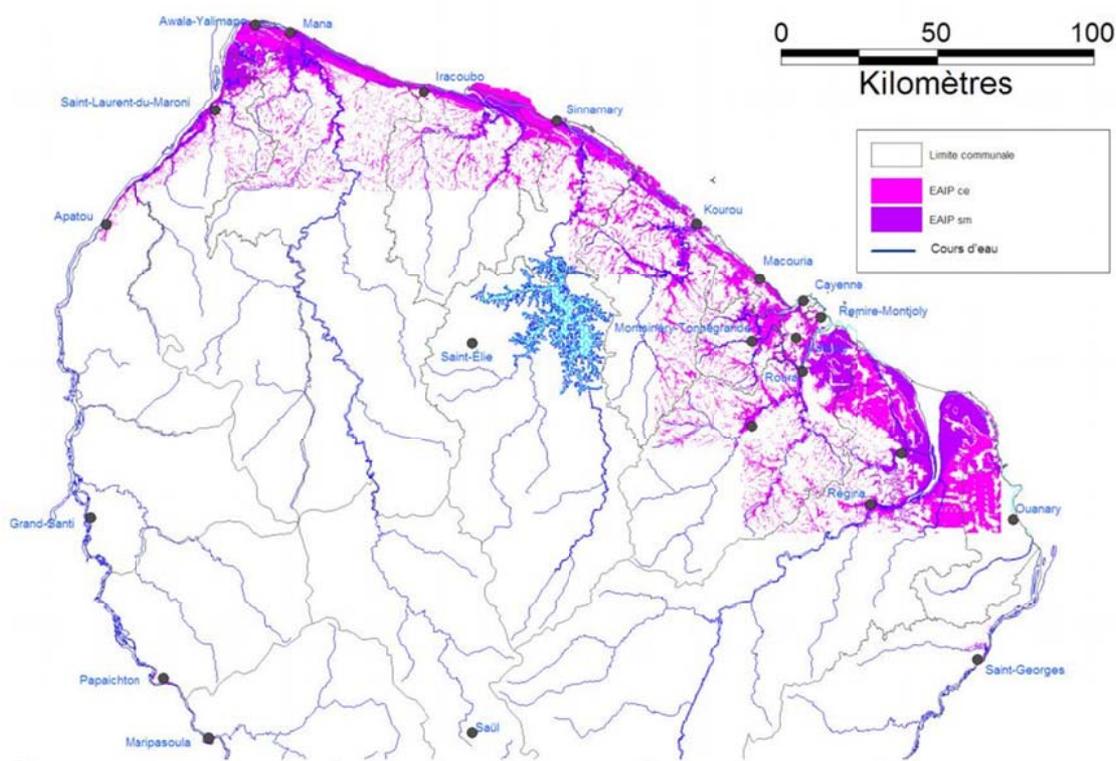


Illustration 57 Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP). ce : cours d'eau et sm : submersions marines.

En termes d'observations des effets du changement climatique sur les crues par débordement, d'après une récente étude sur les chroniques de 9 stations hydrologiques en Guyane, **l'analyse des hauteurs d'eau maximales ne montrent aucune évolution particulière** (Escouplier, 2012). De la même manière, il n'y a **pas d'évolution au niveau du record de précipitation quotidienne à l'échelle annuelle et sur le record de cumul de précipitation sur 5 jours** (Collard, 2013). Par ailleurs, il

peut être parfois particulièrement difficile de séparer l'impact du changement climatique des modifications anthropiques survenues sur les bassins, notamment dans les zones urbanisées du littorales et l'évolution des surfaces imperméabilisées.

Même si il existe beaucoup d'incertitudes sur l'évolution des précipitations, d'après les modélisations du GIEC (2007), **il faut s'attendre très probablement à des événements climatiques extrêmes plus fréquents et plus intenses dans les régions tropicales humides pour la fin du XXI^e siècle** (GIEC, 2013). Les projections régionales de Météo-France ne sont par contre pas assez robustes pour permettre d'évaluer l'évolution des précipitations extrêmes sur la Guyane.

De plus, le niveau moyen de la mer en Guyane augmente à un rythme de 3,5 mm/an (estimé entre 1993 et 2012 d'après le projet Infolittoral) et devrait s'accélérer au cours du XXI^e siècle (GIEC, 2013). **La côte d'altitude d'évacuation des eaux devrait par la même occasion augmenter et contraindre encore plus les écoulements vers la mer.** Ceci devrait aggraver les inondations sur le littoral dans l'avenir.

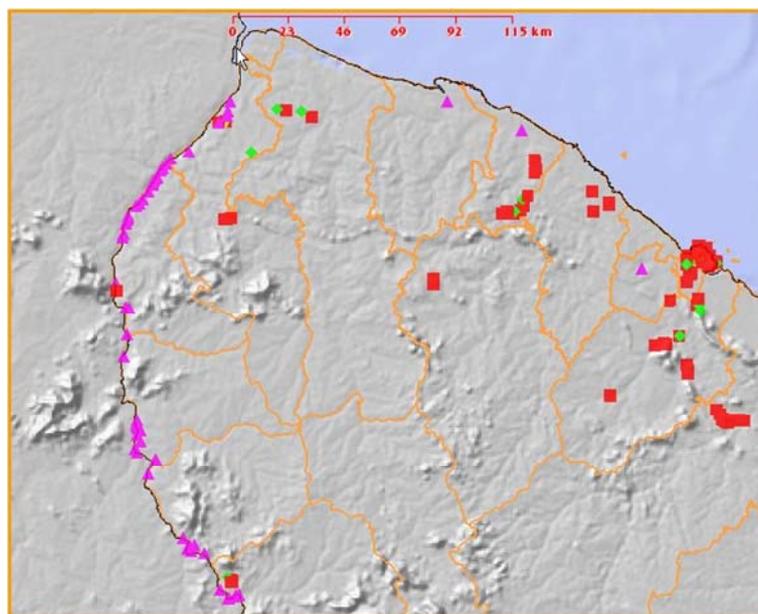
3.5.3. Mouvement de terrain

Historiquement, même si il y a eu des événements dramatiques, le département de la Guyane ne semble globalement pas sujet à des mouvements de terrain de grande ampleur. Des glissements de terrain affectent les zones à forte pente mais restent très localisés et ne causent en général pas de dégâts particuliers de par la faiblesse des enjeux présents dans ces zones. Ces phénomènes sont pour la plupart dus à une infiltration des eaux de pluie le long de l'interface altérite-substratum rocheux. Les effondrements de chaussée sont rares mais observés lors d'événements pluvieux importants. L'action anthropique peut toutefois venir amplifier cet aléa : travaux de déboisages (abatis pour l'agriculture) et de terrassements dans des secteurs vulnérables aux phénomènes de mouvements de terrain par exemple.

D'après l'inventaire des mouvements de terrains réalisé en Guyane (Théveniaut, 2004), on répertorie principalement 3 grands types de mouvements de terrain : les glissements de terrain, les éboulements (talus routiers ou fronts de taille de carrières principalement) et les phénomènes d'érosion de berges sur le Maroni principalement (Bes de Berc, 2004 ; Lasserre 2007 et Closset 2007). Des coulées de boue peuvent également survenir en conséquence de glissements de terrain ou de phénomènes érosifs intenses.

Cet inventaire a permis le recensement de 178 mouvements (Illustration 58).

Les phénomènes de coulées et d'éboulements sont plutôt rares tandis que les glissements représentent plus de la moitié des phénomènes recensés et se situent majoritairement sur l'île de Cayenne (communes de Cayenne, Rémire et Matoury) et ses environs (communes de Roura et Régina). Les autres glissements sont observés le long de la route Maripasoula-Papaïchton. Les indices d'érosion de berges sont quant à eux tous relevés sur les berges du fleuve Maroni.



Légende des mouvements de terrains

- Glissement
- ◆ Eboulement
- ◆ Coulée
- ★ Effondrement
- ▲ Erosion de berges
- Communes avec mouvements non localisés

Illustration 58 : Carte des phénomènes de mouvements de terrains recensés en Guyane
(Source : www.bdmvt.net)

Les zones les plus urbanisées, situées sur la frange littorale du département sont les plus affectées par les mouvements de terrain, et l'activité anthropique apparaît généralement être le facteur aggravant principal (défrichements, terrassements, mauvaise gestion des eaux, talutage non conforme, aménagements sur les coteaux...) tandis que l'origine du déclenchement des mouvements de terrain semble quant à elle essentiellement liée aux saisons des pluies.

A l'échelle régionale, l'important couvert forestier de la Guyane contribue cependant à protéger le territoire des mouvements de terrains.

Pour qu'un mouvement de terrain apparaisse en un lieu donné, il faut que soit réuni en ce lieu un certain nombre de facteurs d'instabilité. Certains facteurs d'instabilité sont permanents :

- La **pesanteur**, qui est le moteur du phénomène ;
- La **pen**te, qui régit directement l'équilibre des efforts mécaniques ;
- La **morphologie**, notamment la présence d'escarpements rocheux et leur géométrie, qui est déterminante dans la survenance de chutes de blocs ;

- **Les actions d'altération**, qui diminuent la résistance au frottement, modifient les caractéristiques de certains matériaux (diminution de la cohésion, déstructuration des formations, érosion, etc.);
- La **nature des terrains** (lithologie), qui conditionne directement leur sensibilité aux glissements, coulées et instabilités rocheuses ;
- La **structure des terrains**, c'est-à-dire l'empilement des couches géologiques (stratigraphie, pendage) et les discontinuités (fracturation, failles, joints), qui sont déterminantes pour l'apparition d'une surface de rupture.

D'autres facteurs d'instabilités sont variables dans le temps. Ils sont dits déclenchant ou aggravant :

- Les **précipitations**, responsables de la quantité d'eau dans le sol à un moment donné, eau qui augmente les pressions interstitielles et la mise en charge des terrains (glissements, coulées) et qui diminue les frottements dans les fissures (chutes de blocs) ;
- Les **activités humaines** : de nombreux phénomènes ont pour origine des terrassements, création de talus routiers par exemple, qui modifient la pente d'équilibre des versants ;
- Le **couvert végétal** : plus il sera dense, plus il réduira significativement la surface de la zone de réception d'éboulements, en freinant les blocs. Les racines des végétaux, qui s'introduisent dans les discontinuités et les agrandissent, peuvent soit provoquer des chutes de blocs, soit influencer sur la cohésion des altérites (ou latérites). Dans les terrains meubles, un équilibre peut être observé entre le facteur de stabilisation et de déstabilisation de ces terrains par la masse et le développement racinaire du couvert végétal. A l'extrême, les zones dénudées ou incendiées favorisent le ruissellement, l'érosion, voire le départ en masse de matériaux en coulées.

Les conditions climatiques jouent un rôle prépondérant dans le déclenchement des mouvements de terrain, via des paramètres tels que les précipitations, les modifications de températures ou encore l'évolution de l'humidité. La modification du régime des précipitations couplée aux variations de températures dans l'air aura donc des répercussions i) sur les glissements de terrain, en générant des risques d'instabilité mécanique, et ii) sur les phénomènes d'érosion de berges.

Dans l'état actuel des connaissances, concernant les projections régionales à l'horizon 2040-2070 pour les précipitations, on constate une grande hétérogénéité des résultats en fonction des modèles climatiques. Pour les précipitations, il n'y a pas été identifiée de tendance claire quel que soit le modèle ou la saison considérée. Cependant, le GIEC prévoit des phénomènes extrêmes plus intenses et plus fréquents d'ici la fin du siècle.

Bien qu'aucune tendance nette n'ait pu être définie pour l'évolution des précipitations en Guyane, il est admis que l'importance des facteurs déclenchant des glissements de terrain est en augmentation.

En termes de conséquences directes on peut en déduire une **probable augmentation des phénomènes mouvements de terrain liés à la pluviométrie**. En cas d'augmentation des pluies, les phénomènes de saturation des sols seront plus fréquents, ce qui devrait augmenter la fréquence d'occurrence des phénomènes superficiels (comme les coulées de boue). D'autre part, si les épisodes pluvieux exceptionnels (dits intenses) sont amenés à augmenter, la fréquence d'occurrence des instabilités de faible à moyenne ampleur et l'intensité des événements de grande ampleur devrait s'accroître.

Les phénomènes d'instabilité de berges pourront également augmenter. Ils sont liés, pour un part, aux variations importantes du niveau du fleuve entre la période sèche et la saison des pluies qui provoquent un phénomène d'alternance entre des berges dégagées et ennoyées. Avec des phénomènes climatiques saisonniers plus marqués dans l'avenir, le phénomène de fluage du niveau du fleuve pourrait être amené à prendre de l'ampleur et donc à accroître les actions érosives sur les berges. Ces instabilités sont également à mettre en lien avec les perturbations anthropiques générées par le trafic fluvial des pirogues et le phénomène de batillage qu'il crée sur les berges.

De plus, l'urbanisation et la pression des facteurs anthropiques devraient s'accroître dans les années à venir. En tenant compte de la pression démographique et de la pression foncière, les phénomènes de déforestation ainsi que d'urbanisation peu contrôlée sur les pentes des collines et des monts, en particulier sur l'Île-de-Cayenne, devraient être amenés à augmenter. Cette évolution, bien que non liée à l'évolution du climat, pourrait conduire à aggraver significativement les risques liés aux mouvements de terrain.

Ces évolutions probables demanderont un contrôle plus strict de l'urbanisation (respect des zones rouges du PPR mouvements de terrain de l'Île-de-Cayenne, respect des normes géotechniques pour les talutages, ...), une gestion contrôlée des réseaux d'évacuation des réseaux d'eau des zones urbanisées (dimensionnement et entretien) mais également la mise en place de systèmes de suivi (exemple du suivi visuel de la colline de Baduel, mis en place par un protocole de la DDE en mai 2010) et de surveillance pour acquérir des données permettant de mieux corrélérer les évolutions climatiques (notamment des précipitations) avec les événements.

Il paraît important de développer la culture du risque et d'améliorer la gestion et la prévention des risques naturels en Guyane. Pour cela plusieurs mesures pourraient être envisagées :

- **Améliorer la connaissance des aléas et des enjeux dans les zones vulnérables** : approfondir les connaissances sur les submersions marines extrêmes et l'impact du changement climatique sur le littoral, améliorer les connaissances sur le risque inondation sur le bassin du Maroni par exemple.
- **Développer l'observation** : suivre l'évolution des enjeux dans les espaces à risque et mettre en place un suivi structuré sur long terme des aléas.

- **Généraliser les dispositifs de veille et d'alerte.**
- **Prendre en compte l'évolution des risques naturels par rapport au changement climatique dans l'aménagement du territoire et l'urbanisation :** ces actions peuvent dans un premier temps s'appuyer sur des dispositifs existants et/ou en cours d'élaboration du niveau national : mise à jour les PPR en intégrant les nouvelles connaissances sur le changement climatique (en particulier en ce qui concerne les risques littoraux), prise en compte le changement climatique dans les documents d'aménagement de type SCOT et SAR (Schéma d'Aménagement Régional), limitation du développement de l'urbanisation spontanée dans les espaces à risque.
- **Préserver les espaces naturels qui jouent un rôle de protection et minimisent les effets des aléas naturels (prévenir notamment le déboisement sur les colines où le risque de mouvement de terrain est important).**

3.6. LA RESSOURCE EN EAU

L'eau représente une ressource importante de la Guyane. Tout d'abord elle assure 60% de ses besoins en électricité, à travers le barrage hydroélectrique de Petit-Saut, d'autre part les fleuves représentent le principal moyen de communication vers l'intérieur du territoire et assurent l'essentiel de l'approvisionnement en eau potable. L'adduction en eau potable représente en effet le principal usage de l'eau, assurée à 95 % en volume à partir de prélèvements dans les eaux de surface. La ressource en eau en Guyane peut paraître abondante, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 2000 à 4000 mm/an. Cependant, cette ressource est sujette à une variabilité interannuelle et saisonnière très importante.

Deux facteurs sont susceptibles d'impacter la ressource en eau, la modification du régime des précipitations au niveau quantitatif et l'augmentation du niveau de la mer sur le plan qualitatif.

D'après l'Office de l'eau, 16,7 millions de m³ ont été prélevés en 2008 pour la consommation humaine, principalement sur la bande côtière à proximité des principales agglomérations du littoral dans le Maroni, le Kourou, et la Comté (illustration suivante).

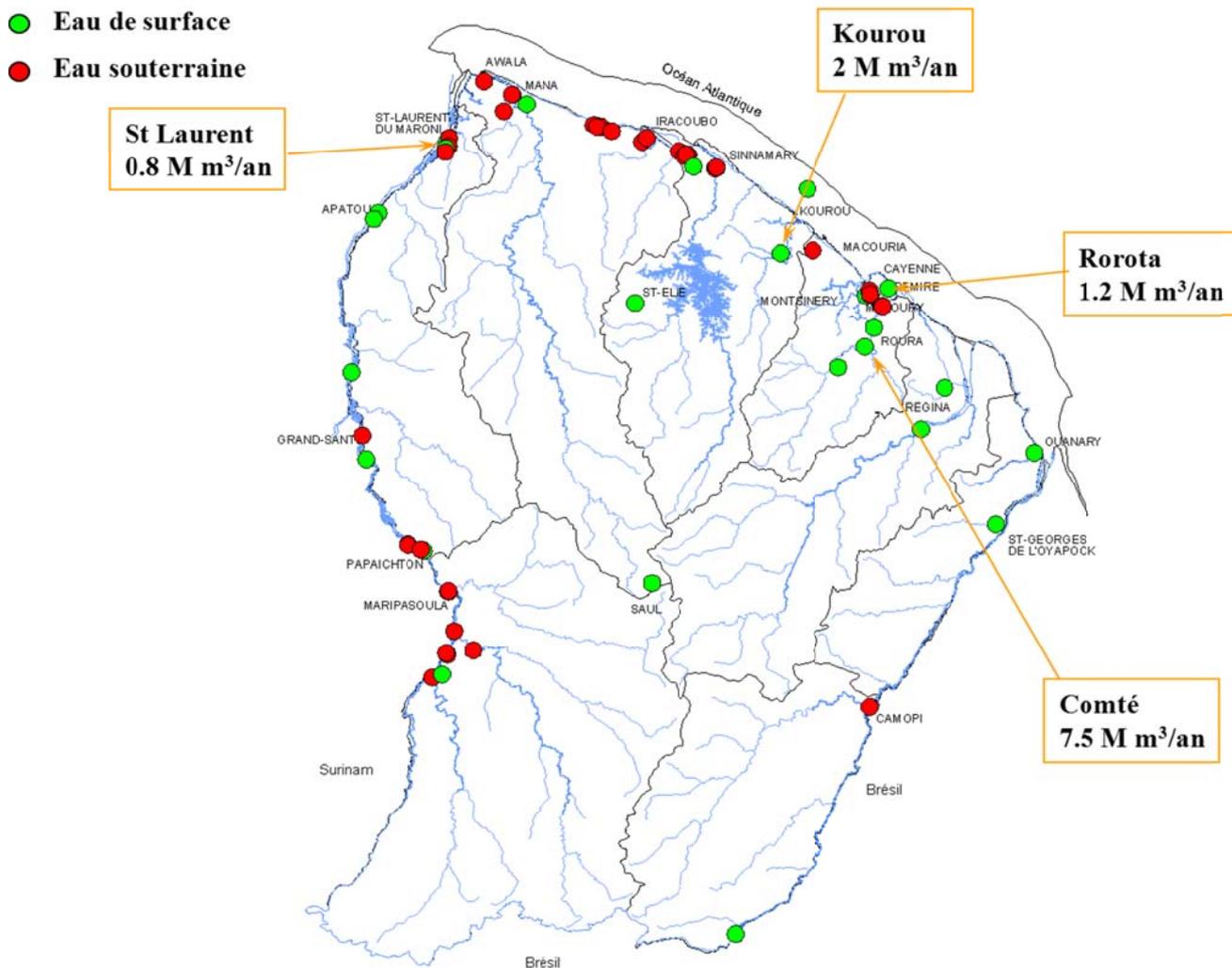


Illustration 59 : Localisation des captages d'eau potable (Communication orale BRGM, 2008)

Ces eaux de surface, prélevées à proximité des estuaires, sont particulièrement vulnérables à l'influence de la marée. En effet, les cours d'eau peuvent subir l'influence de la marée jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres depuis l'embouchure des fleuves. En cas de déficit pluviométrique marqué, en fin de saison sèche, le niveau des cours d'eau diminue entraînant une remontée du biseau salé plus en amont qu'à la normale et rendre impropre les eaux à la consommation humaine. Ces situations, ont déjà eu lieu en 2004 et en 2009 ce qui a obligé à restreindre la consommation d'eau des populations de certaines agglomérations (Cayenne et Saint Laurent du Maroni). Ces situations de crise ont permis une véritable prise de conscience de la vulnérabilité de l'approvisionnement en eau potable des principales agglomérations.

Les effets du changement climatique, avec l'augmentation du niveau de la mer et le risque d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des saisons sèches, devrait aggraver la vulnérabilité des captages d'eau situés à proximité de la côte.

Il faut également rappeler que 15% de la population en Guyane n'a pas accès à l'eau potable dans les sites isolés et les écarts (PRSE, 2007) et les besoins en eaux sont en forte augmentation. D'après le SAR, les clients de la SGDE (Société Guyanaise Des Eaux) et les volumes consommés ont augmenté de 25% entre 1995 et 2005. L'accès à l'eau représente donc un enjeu majeur d'aménagement du territoire dans les prochaines années avec l'augmentation de la population et l'amélioration de la qualité de vie.

La réponse des hydrosystèmes à des changements de conditions (précipitations, évapotranspiration, infiltration, élévation du niveau marin) ne peut être caractérisée que par une modélisation hydrologique. Pour évaluer comment les hydrosystèmes de Guyane pourraient évoluer avec les changements climatiques et des usages de l'eau, il serait donc nécessaire de poursuivre les travaux de modélisation réalisés dans le cadre du projet Explore 2070 (MEDDTL, 2011).

De plus, le réseau hydrométrique, géré par la DEAL Guyane permet de suivre la ressource eau et de mieux comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes, n'est pas encore optimal. Le nombre de stations de mesures hydrométriques a fortement diminué depuis ces dernières années par manque de moyens. Les nouveaux outils d'altimétrie spatiale radar (mesure de la variation des hauteurs d'eau) pourrait permettre de compléter le réseau hydrométrique. Des travaux de validation de cette technique sur les cours d'eau en Guyane ont déjà été menés par l'UMR ESPACE-DEV de l'IRD de Cayenne (Escouplier, 2012) et sont assez concluants.

Ces derniers aspects pourront être développés dans le cadre de la mise en place d'une cellule de veille hydrologique par la DEAL Guyane qui vise à mieux anticiper les phénomènes hydrologiques extrêmes, en développant des outils de prévision des crues et des étiages, et améliorer les connaissances sur le fonctionnement des hydrosystèmes.

Enfin, l'aspect transfrontalier dans la gestion de la ressource en eau est un élément essentiel à prendre en compte car la Guyane partage deux grands bassins versants avec ses pays voisins (Oyapock et Maroni).

3.7. L'ÉNERGIE

Concernant la production électrique, on peut distinguer deux schémas distincts entre le littoral et l'intérieur (Illustration 60).

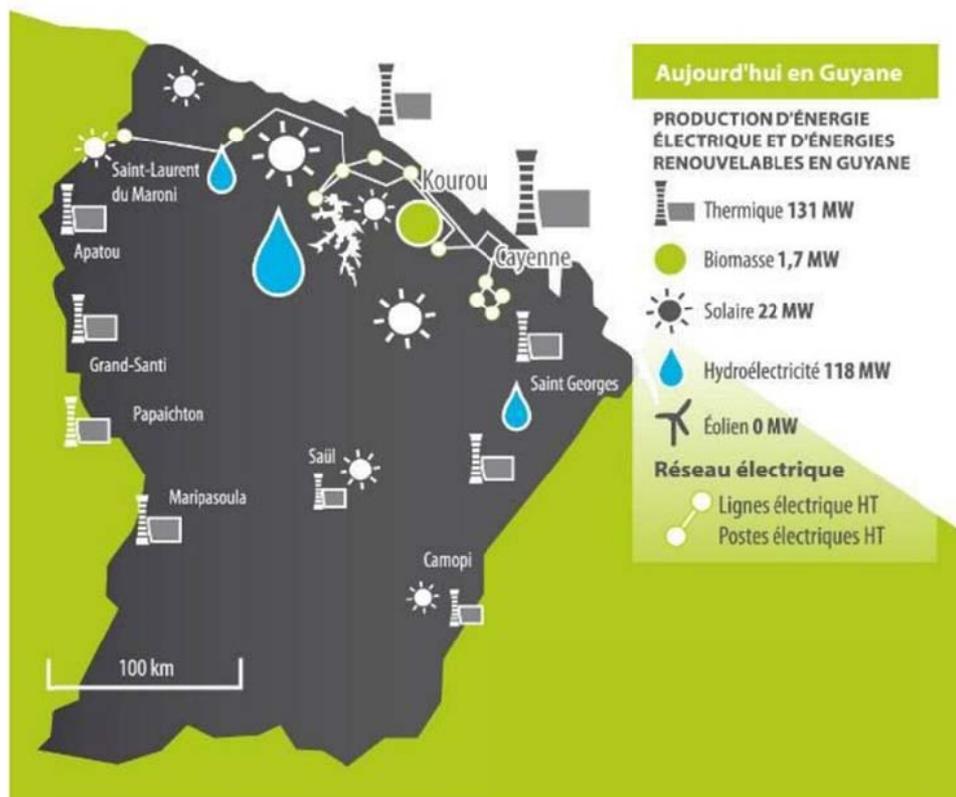


Illustration 60 : Moyens de production d'électricité en Guyane (SRCAE, 2012)

Le littoral est caractérisé par la présence du barrage de Petit-Saut qui produit environ 60% de l'énergie consommée en Guyane. De très grande capacité, il est apte à stocker plusieurs mois de production électrique. De plus, grâce à une production stable au fil de la journée il permet de structurer le réseau. Cependant, en période sèche la production est soutenue par les centrales thermiques, principalement de Dégrad-des-Cannes. La production d'électricité du littoral représente 98% de la production totale (Plan Régional des Énergies Renouvelables et de l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie - PRERURE, 2012).

L'intérieur, principalement le long des fleuves frontaliers, est quant à lui électrifié localement dans les principaux bourgs. Il ne représente que 2% de la production, bien que la consommation soit en forte croissance (+8,3% entre 2000 et 2009). On

considère qu'environ 35% de la population de l'intérieur n'est pas desservie en électricité (schéma départemental d'électrification rurale, 2004).

Le système électrique guyanais est donc caractérisé par sa disparité, sa vulnérabilité (précarité du couple besoins - production) et sa dépendance importante à l'énergie thermique, avec des coûts d'exploitation élevés, fonctions des variations du coût du pétrole (illustration suivante).

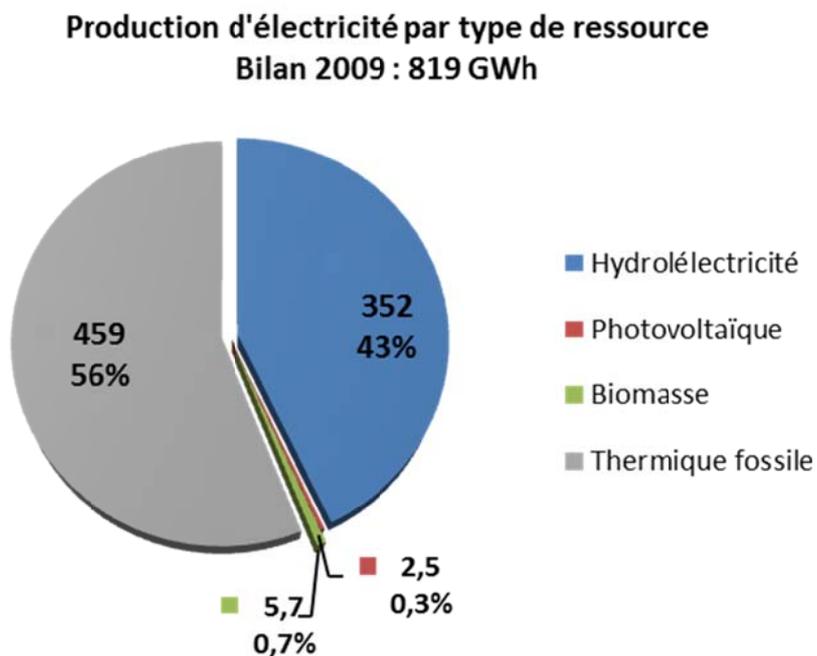


Illustration 61 : Production d'électricité par type de ressource (PRERURE, 2012)

D'un point de vue de la consommation, on constate une forte augmentation (+28% entre 2000 et 2009 d'après le PRERURE, 2012), liée à une forte croissance démographique, une augmentation du taux d'équipement des ménages et un développement du parc automobile, si l'on considère la consommation liée au transport. D'ailleurs ce dernier poste représente la moitié des consommations d'énergies, suivi par les secteurs résidentiels et tertiaires (illustration suivante).

Bilan énergie finale de la Guyane en 2009 : 2 995 GWh
Méthode incluant les consommations d'énergie grise des transports aérien et maritime

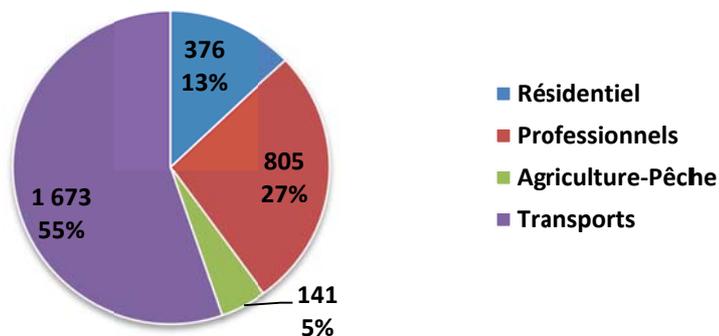


Illustration 62 : Bilan des consommations d'énergie en Guyane (PRERURE, 2012)

La consommation électrique connaît une croissance soutenue avec une augmentation de 3,8% entre 2000 et 2009 sur le littoral. La tendance est encore plus marquée dans les communes de l'intérieur. En effet, la consommation électrique a doublé entre 2000 et 2009 pour passer de 6,5 à 13,3 GWhe, avec un taux de croissance moyen qui s'élève à 8,3% par an. La dynamique démographique de l'intérieur et le rattrapage des taux d'équipements en sont les principaux facteurs.

Les principaux secteurs de consommation électrique sont le résidentiel avec un part de 43 % suivi du secteur tertiaire qui représente 35% des consommations (illustration suivante).

Consommation électrique par secteur en 2009	MWhe	%
Résidentiel	321 549	43%
<i>Résidentiel littoral (97%)</i>	<i>312 453</i>	
<i>Résidentiel intérieur (3%)</i>	<i>9 096</i>	
Tertiaire	261 609	35%
Industrie	163 187	22%
Eclairage public	7 561	1%
Agriculture	705	0,1%
TOTAL	754 610	

Illustration 63 Répartition sectorielle des consommations d'électricité en 2009 (PRERURE, 2009)

Le changement climatique pourrait affecter la part de l'électricité produite de manière renouvelable, principalement l'hydroélectricité, qui se révèle la plus vulnérable aux variations climatiques, impliquant en cas d'augmentation de l'aléa une production énergétique aléatoire. Le barrage de Petit Saut apparait comme un élément primordial du système électrique du littoral : il est capable de produire jusqu'à 60% de l'énergie électrique consommée en Guyane. Mais ce type de production est soumis à d'importantes fluctuations liées aux variations pluriannuelles de la pluviométrie.

Si le changement climatique génère des modifications dans la saisonnalité des précipitations, avec par exemple des saisons sèches plus longues, un des impacts pourrait être une augmentation de la consommation de carburant fossile pour compenser le déficit de production du barrage. Ce phénomène a déjà été observé lors des années de faible hydraulité telles que 2003 et 2009, durant lesquelles la part de la production thermique a dû quasi équilibrer (2003) voire dépasser (2009) celle du barrage de Petit-Saut (illustration suivante).

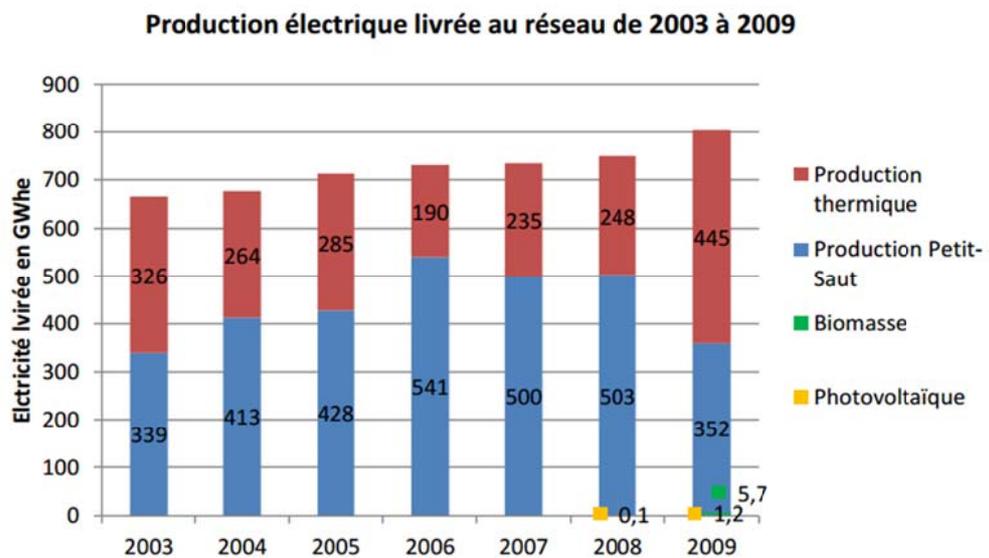


Illustration 64 Part relative de chaque source de production d'électricité entre 2003 et 2009 (PREURE, 2012)

Ceci pourrait avoir des conséquences en termes de vulnérabilité de la production et de dépendance du système électrique aux énergies fossiles, coûteuses et émettrices de gaz à effet de serre. Dans tous les cas, on observe que la part de la production thermique augmente continuellement, en lien avec une croissance de la demande non compensée par les autres sources d'énergie, notamment renouvelables.

Les installations de plus petites capacités telles que les centrales dites « au fil de l'eau » (Illustration 65), sans ennoisement de surface forestière, mais d'une capacité limitée (ordre de grandeur jusqu'à 5 MW), pourraient également être affectées si l'intensité des étiages tend à augmenter.



Illustration 65 : Centrale hydroélectrique "au fil de l'eau" sur le fleuve Mana (Source : Mairie de Mana)

La consommation électrique pourrait également augmenter avec l'élévation des températures dans les prochaines décennies. En effet, si les valeurs maximales et minimales augmentent, le confort thermique des logements et des bâtiments pourrait être dégradé, notamment en saison sèche, avec pour conséquence un recours plus important à la climatisation. Cependant, il faut rappeler que les conditions climatiques actuelles sont déjà proches de la limite de confort thermique. Ce point explique en partie le taux d'équipement en climatisation en forte augmentation en Guyane : entre 2000 et 2009, il est passé de 19,5 à 44 % des ménages (PRERURE, 2012). Il faut savoir que le développement de la climatisation explique environ 65% de l'augmentation de la consommation électrique moyenne des ménages sur la période précitée. On peut donc s'attendre à une augmentation de la consommation électrique des ménages dans les années à venir. L'augmentation du taux de pénétration de la climatisation dans les ménages est cependant plutôt liée à des considérations socio-économiques qu'à un effet de l'augmentation des températures.

Des mesures incitatives pour améliorer le confort thermique des bâtiments en employant des techniques alternatives à la climatisation électrique pourraient être envisagées dès la conception des nouvelles constructions et la rénovation des bâtiments anciens.

Enfin, la question de la construction d'un nouveau barrage hydroélectrique sur la Mana est posée afin de pallier à la forte croissance des besoins en production électrique dans les années à venir. Si un tel projet aboutit, il sera nécessaire de prendre en compte les effets potentiels du changement climatique dans son dimensionnement et dans les études qui accompagneront sa mise en œuvre.

3.8. INCERTITUDES

A l'heure actuelle **il reste encore difficile de caractériser de manière précise les impacts que pourrait avoir le changement climatique sur le territoire guyanais.**

Il existe de nombreuses incertitudes quant à l'évolution du climat futur régional, notamment sur **l'évolution de la pluviométrie et des extrêmes climatiques.** L'évaluation de la réponse au changement climatique des écosystèmes forestiers par exemple ou encore des hydrosystèmes reste donc encore délicate.

De plus, il apparaît qu'il serait utile de développer les recherches sur le changement climatique et ses effets en Guyane. On peut citer à titre d'exemple les initiatives de l'IFREMER ou de l'UMR ECOFOG qui ont développé ou développent cette problématique dans leurs activités de Recherche. IFREMER, dans le cadre du projet CHALOUPE (CHangement gLObal, de la dynamiqUe de la biodiversité marine exploitée et de la viabilité des Pêcheries), initié en 2006, a étudié les impacts potentiels sur la diversité ichthyologique (poissons) et la pêche côtière. De son côté l'UMR ECOFOG, à travers son projet de recherche ClimFor (2011-2014), propose d'étudier les conséquences du changement climatique sur les services éco-systémiques de la forêt guyanaise. Cependant, les nombreuses incertitudes, évidentes à la lecture de ce rapport de synthèse, montrent l'étendue du champ des recherches restant à mener pour progresser dans la connaissance du changement climatique et de ces effets.

Une autre limite dans l'évaluation des impacts du changement climatique concerne la **difficulté de discriminer la part du changement climatique par rapport aux autres facteurs (humains, socio-économique, variabilité naturelle du climat, etc.)** qui peuvent se combiner aux perturbations enregistrées. Par exemple, dans le cas de la santé l'influence du climat sur la dynamique des vecteurs pathogènes est assez difficile à mettre en évidence. De manière similaire, il est actuellement très difficile d'identifier quelle part de l'érosion côtière est liée à la montée du niveau de la mer. Les interactions entre les facteurs humains et naturels sont en effet très complexes et ne permettent pas généralement d'arriver à des conclusions claires sur l'influence des paramètres climatiques.

Enfin, le niveau de connaissance et d'information de certains milieux, comme par exemple les écosystèmes marins et côtiers, ne permettent pas d'appréhender l'ensemble des interactions que pourrait avoir les effets du changement climatique sur certaines composantes environnementales ou socio-économiques du territoire guyanais. Il faut donc continuer à améliorer les connaissances, notamment en rapport aux conditions climatiques, afin de répondre plus précisément à la question des impacts qui découlent des aléas futurs attendus. Dans cet objectif, l'acquisition de données nouvelles sur le territoire et le développement des observatoires sur le long terme sont des éléments clés.

La problématique de l'incertitude n'est pas spécifique à la Guyane mais plutôt à l'évaluation des effets du changement climatique à l'échelle régionale qui reste toujours délicate quel que soit le secteur étudié. Cela encourage la réalisation d'études

spécifiques sur la sensibilité/vulnérabilité des systèmes à des changements de conditions climatiques et mais aussi anthropiques.

4. Pistes de réflexion sur l'adaptation

Dans son troisième rapport d'évaluation le GIEC définit l'adaptation comme *« l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques »*.

Les processus d'adaptation visent à réduire la vulnérabilité du territoire, avec des actions qui permettent de réduire les impacts effectifs ou d'améliorer la capacité d'adaptation.

4.1. CONTEXTE NATIONAL

En 2011, l'ONERC (Office National sur les Effets du Réchauffement Climatique) a publié le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC, 2011). Les éléments ci-après en sont issus.

Dans son introduction ce plan rappelle que l'adaptation des territoires aux changements climatiques est un enjeu majeur et que celle-ci doit être envisagée comme un complément aux mesures d'atténuations (i.e. de réduction des émissions de CO₂) déjà engagées. Ce plan est prévu pour une période de 5 ans, il a fait l'objet d'une vaste consultation nationale en 2010.

Ce plan rappelle que diverses actions permettent de réduire les impacts négatifs ou d'améliorer la capacité d'adaptation :

- anticiper et prévenir les risques éventuels,
- organiser des moyens de remise en état rapide après des catastrophes impliquant des facteurs climatique (par exemple en rétablissant rapidement la distribution électrique après un événement extrême),
- faire évoluer les modes de vie pour éviter les risques.

L'adaptation aux changements climatiques repose sur 3 grands principes :

- la réduction de l'exposition des enjeux ;
- la réduction de la sensibilité des enjeux ;
- le renforcement de la résilience des enjeux et des systèmes naturels.

On considère que l'adaptation peut être de deux types. Elle peut être à la fois spontanée, ce qui correspond à une réponse immédiate et non réfléchie face à une contrainte climatique, ou bien planifiée lorsqu'elle résulte de décisions stratégiques délibérées, fondées sur des mesures adaptées pour parvenir à une condition souhaitée.

Une « politique d'adaptation » anticipe donc par définition des problèmes à venir. Les mesures d'adaptations peuvent être physiques (construction d'ouvrage de protection côtière, par exemple), institutionnelles (mécanisme de gestion de crise), stratégiques

(choix de développer une activité ou installer des populations à un endroit définit), mais aussi concerner l'amélioration des connaissances par la mise en œuvre de programme de recherche ou l'information et la sensibilisation du public et des décideurs.

Le plan national d'adaptation au changement climatique comprend une liste d'actions auxquelles se sont engagés un certain nombre d'organismes (dont, entre autres, le BRGM et Météo-France). Ces actions ont été élaborées avec ces organismes. Elles mettent l'accent sur les principes et besoins suivants :

- Améliorer la connaissance sur les effets du changement climatique afin d'éclairer les décisions publiques en matière d'adaptation ;
- Intégrer l'adaptation dans les politiques publiques existantes, afin de garantir la cohérence d'ensemble et de refléter la nature transversale de l'adaptation ;
- Informer la société sur le changement climatique et l'adaptation, afin que chacun puisse s'approprier les enjeux et agir. Il s'agit de faire partager les connaissances sur les risques dus aux impacts du changement climatique pour impliquer les acteurs concernés et améliorer l'acceptation des actions d'adaptations.

Vingt domaines ont été traités à partir des principes précités ci-dessus. Ces domaines reprennent 20 thèmes tels que la santé, l'eau, les risques naturels, la biodiversité, la formation, la recherche, la gouvernance, etc. Pour chaque thématique 6 actions ont été retenues regroupant plusieurs mesures concrètes.

Ce plan national ne traite que des mesures qui relèvent du niveau national. La territorialisation de l'adaptation relève des Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) et des Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET).

L'adaptation au changement climatique pose également la question des incertitudes sur l'ampleur du changement climatique. Dans ce contexte, le plan qualifie les mesures d'adaptation de la manière suivante :

- Des mesures sans-regret, qui sont bénéfiques même en l'absence de changement climatique ;
- Des mesures réversibles, qui laissent la possibilité de changer de stratégie d'adaptation ultérieurement ;
- Des mesures robustes pour plusieurs scénarios de changement
- Des mesures qui augmentent la marge de sécurité, comme les révisions de la cartographie des zones potentiellement à risque ;
- Des mesures à temps long de mise en place ;
- Les mesures qui peuvent être ajustées ou révisées périodiquement pour les différents acteurs en fonction de l'évolution des connaissances.

4.2. L'ADAPTATION A L'ECHELLE REGIONALE

En Guyane, la croissance démographique accroît la pression sur les écosystèmes et risque, dans l'avenir, d'accroître l'exposition des populations aux aléas climatiques. Il apparaît donc nécessaire d'anticiper ces évolutions en adoptant une stratégie régionale d'adaptation au changement climatique permettant de réduire la vulnérabilité du territoire aux conséquences du changement climatique.

A ce titre, en juin 2010 la DIREN Guyane a lancé une consultation régionale pour contribuer à l'élaboration du plan national d'adaptation au changement climatique au sein d'un groupe de travail eau-risques naturels-santé (DIREN, 2010). Cette réunion avait notamment pour objectif de discuter de la spécificité de la situation guyanaise par rapport à la situation nationale. A cette occasion les enjeux en termes d'adaptations ont été abordés. Par ailleurs, dans le cadre de cette étude un séminaire d'échange sur le changement climatique et l'adaptation régionale a été organisé le 19 avril 2013 par la Région, l'Ademe, la DEAL, le BRGM et WWF.

D'autre part, il est important de préciser que la Guyane est déjà engagée dans une dynamique d'adaptation à travers le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) adopté en 2012. Ce document stratégique décline à l'échelle régionale les objectifs nationaux et internationaux en termes d'adaptation aux changements climatiques et doit s'assurer de la cohérence territoriale des actions menées par les collectivités. A terme, les orientations prises dans le SRCAE doivent être déclinées à l'échelle des collectivités (communauté de commune et ville) dans les Plans Climat Energie Territoriaux (PCET).

Il est ainsi spécifié dans le SRCAE que les connaissances sur le changement climatique en Guyane sont encore relativement modestes, c'est pourquoi les orientations concernant l'adaptation portent avant tout sur l'observation, l'acquisition de connaissances et l'étude de la vulnérabilité du territoire.

Sont présentés ici quelques éléments de réflexion sur les pistes d'adaptations aux changements climatiques en Guyane.

4.2.1. Renforcer l'observation régionale

L'objectif est de disposer d'outils de mesures sur le long terme des évolutions liées aux changements climatiques à travers différents indicateurs de suivi à l'échelle régionale. Un certain nombre d'observatoires ou de systèmes de suivi existent (climat, hydrologie, qualité de l'air, forêt, pêche par exemple) mais ils ne sont pas encore suffisamment mis en cohérence pour répondre à la question du changement climatique de manière transversale.

Il est aussi important de favoriser la création de nouveaux systèmes de suivi et d'observation complémentaires à ceux déjà existant. A titre d'exemple il n'existe pas encore d'observatoire structuré à l'échelle régionale de la dynamique côtière en Guyane.

4.2.2. Améliorer la connaissance sur les effets du changement climatique et la vulnérabilité du territoire

Les nombreuses incertitudes ne permettent pas encore de connaître avec précision les effets des changements climatiques sur un certain nombre d'enjeu d'importance pour le territoire. Il est donc nécessaire de poursuivre et d'initier certains travaux afin d'évaluer et spatialiser la vulnérabilité du territoire. Il serait ainsi intéressant d'envisager de :

- Améliorer les projections climatiques régionales en poursuivant les travaux de « descente d'échelle » ;
- Evaluer la sensibilité des écosystèmes forestiers et marins aux variations climatiques et identifier des indicateurs de suivi adaptés pour ces milieux ;
- Développer des outils de modélisation des hydrosystèmes de surface et intégrer les projections climatiques pour évaluer la vulnérabilité de la ressource en eau ;
- Cartographier de manière précise la vulnérabilité du littoral à l'élévation du niveau de la mer ;
- Favoriser la mise en place de groupe de travail et de recherche sur les interactions entre le changement climatique et certaines thématiques où les connaissances sont encore peu développées en Guyane (la santé par exemple).

4.2.3. Développer la coopération régionale

Le fonctionnement des systèmes naturels ne s'arrête pas aux frontières, il est donc important de développer les actions de coopération avec les Etats voisins que ce soit en matière d'observation ou d'amélioration des connaissances. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les enjeux tels que la ressource en eau, où la Guyane partage de grands bassins versants (Maroni et Oyapock) avec le Brésil et le Surinam.

4.2.4. Actions opérationnelle de cours et moyens terme

Sont présentées dans ce paragraphe quelques mesures opérationnelles sectorielles qui peuvent être prises à court et moyen terme. Un certain nombre de ces mesures ne sont d'ailleurs pas spécifique à l'adaptation au changement climatique et peuvent répondre à d'autres objectifs.

- Mener une réflexion sur l'utilisation d'espèces et l'adoption de pratiques agricoles, en prenant en compte leur capacité d'adaptation aux futures conditions climatiques.

- Intégrer les projections climatiques dans la conception des ouvrages, les plans d'aménagements et les études prospectives.
- Identifier et protéger les milieux naturels jouant un rôle de tampon ou de défense par rapport aux effets du changement climatique.
- Limiter la fragmentation des milieux naturels.
- Diversifier et sécuriser les approvisionnements en eau potable sur le littoral dans secteurs exposés à l'intrusion d'eaux salines.
- Améliorer l'accès à l'eau potable dans les secteurs isolés.
- Améliorer la prise en compte des risques naturels et le respect des PPR existants.
- Réévaluer et mettre à jour les PPR Littoraux en fonction de l'avancée des nouvelles connaissances.
- Améliorer le confort thermique des bâtiments en limitant le recours à la climatisation dès la conception des constructions.
- Favoriser le développement des ressources renouvelables pour la production d'électricité et prendre en compte les projections climatiques dans la conception des futurs projets hydroélectriques.

4.2.5. Sensibiliser et informer la société guyanaise sur le changement climatique et l'adaptation

Même si les problématiques liées au changement climatique sont difficilement perceptibles et nécessite une vision sur le long terme, l'information et la prévention de la population et des décideurs apparaissent également comme un des axes essentiel de l'adaptation au changement climatique. C'est un élément nécessaire afin d'éveiller les consciences aux risques encourues pour soutenir l'acceptabilité des mesures d'adaptations.

- Mettre à disposition les données concernant les aléas et les enjeux exposés au changement climatique.
- Sensibiliser les populations les plus vulnérables.

Il serait également utile de réitérer l'organisation périodique de journées d'échanges sur le changement climatique entre les scientifiques et des acteurs en charge de la gestion et de l'aménagement du territoire à l'image du séminaire initié en avril 2013 dans le cadre de cette étude. Ces initiatives permettent en outre de mettre en réseau les connaissances et instaurer une veille scientifique sur la question du changement climatique.

4.2.6. Intégrer l'adaptation dans les politiques publiques existante

Les dispositifs réglementaires actuels favorisent l'intégration de la question de l'adaptation au changement climatique dès l'élaboration ou la mise à jour des documents de planification et d'aménagement tels que le SAR (Schéma

d'Aménagement Régional), le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux), les PPR (Plan de Prévention des Risque), les PLU (Plan local d'Urbanisme), les SCOT (Schéma de Cohérence Territorial), etc.

Ces mécanismes de prévention des risques et d'aménagement du territoire doivent être alimentés par des réflexions menées à des échelons régionaux ou locaux, portant plus spécifiquement sur les questions d'atténuation et d'adaptation au changement climatique (ex : SRCAE, PECT).

On peut se demander comment mettre en œuvre en pratique ces mécanismes institutionnels en faveur de l'adaptation, alors même que les impacts du changement climatique sont généralement mal connus. Il existe des méthodes (par exemple le Robust Decision Making, (Lempert et Schlessinger, 2002 ; Hallegatte, 2009) qui ont été élaborées pour aider à la prise de décision dans un contexte d'incertitudes fortes. Elles consistent à évaluer dans quelle mesure des stratégies d'adaptation envisagées sont pertinentes pour un certain nombre de critères. Ainsi, il s'agit par exemple de se demander si les mesures envisagées peuvent apporter des bénéfices immédiats, si elles sont réversibles ou robustes (voir plus haut). Ces outils sont aujourd'hui dans le domaine de la recherche. Cependant, en complément d'une étude de la vulnérabilité du territoire, cette approche pourrait être mise en œuvre assez facilement et devrait apporter un éclairage supplémentaire utile pour les politiques publiques.

5. Conclusion

Cette étude permet de dresser un état des lieux sur les effets du changement climatique et les conséquences potentielles sur différents systèmes naturels et socio-économiques en Guyane. Certains changements sont déjà observés à l'échelle régionale depuis plusieurs décennies, telle que l'augmentation de la température ou du niveau de la mer. Cependant, il existe encore de **nombreuses incertitudes** quant aux projections climatiques et particulièrement sur les précipitations. Ceci n'est pas propre à la Guyane mais aux études régionales des effets du changement climatique qui restent toujours délicates par rapport aux mécanismes climatiques décrits à l'échelle mondiale. Les changements sont donc difficiles à quantifier au plan régional mais, d'après le GIEC, il se dégage des **grandes tendances avec un probable allongement de la saison sèche consécutif d'une diminution de la pluviométrie et des événements de pluies extrêmes plus fréquents et plus intenses d'ici la fin du XXI^e siècle. Par ailleurs, la température et le niveau de la mer devraient continuer à augmenter.**

Le degré de connaissance sur les conséquences de ces évolutions climatiques sur chaque thématique sectorielle étudiée est très hétérogène. La problématique du changement climatique est en effet encore très récente et apparaît comme assez peu abordée par la communauté scientifique en Guyane.

Cependant, cela ne doit pas empêcher la Guyane d'adopter dès à présent une stratégie **d'adaptation à l'échelle régionale**. Cette stratégie devra notamment mettre l'accent sur l'amélioration des connaissances, l'observation et l'étude de la vulnérabilité du territoire afin d'agir en conséquence pour anticiper et limiter les effets du changement climatique.

6. Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

LECOMTE P., MOISAN M., BREHM N., HABCHI-HANRIOT N., 2011, A propos de l'impact du changement climatique en Guyane – Texte proposé à l'ONERC dans le cadre du rapport annuel « spécial DOM », Rapport BRGM/RP-60751-FR.

ALEAS CLIMATIQUES

CAZENAVE A. ET W. LLOVEL., 2010. Contemporary sea level rise. Annual Review of Marine Science, 2, 145-173, doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081105.

CHURCH J.A., N.J. WHITE, R. COLEMAN, K. LAMBECK ET J.X. MITROVICA., 2004. Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period. Journal of Climate, 17(13), 2609–25.

COLLARD F-X., 2013. Changement climatique en Guyane : étude complémentaire sur les données hydroclimatiques et de la qualité de l'air. Office Régional de l'Air, Météo-France, BRGM. 29 pages.

DUVAL T., 2011. Les sources de variabilité climatique en Antilles-Guyane. Rapport de master 1 Université Antilles-Guyane.

ENFIELD D.B., CID-SERRANO L., 2010. Secular and multidecadal warmings in the North Atlantic and their relationships with major hurricane activity. International Journal of Climatology, 2010. 30(2): p. 174-184.

GIEC., 2000. Scénarios d'émissions Rapport spécial du Groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat Publié sous la direction de N. Nakicenovic et R. Swart. IPCC, Geneva, Switzerland.

GIEC., 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Equipe de rédaction principale, Pachauri R.K. et Reisinger A. 114 pages.

GIEC., 2013. Twelfth Session of Working Group I : Approved Summary for Policymakers, 36 pages.

GRINSTED A., MOORE J.C., JEVREJEVA S., 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100AD. Climate Dynamics, 34 (4), 461-472, doi:10.1007/s00382-008-0507-2.

JEVREJEVA S., A. GRINSTED, J.C. MOORE, S. HOLGATE, 2006. Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records. Journal of the Geophysical Research, 111:C09012, doi:10.1029/2005/JC003229.

LABAT, D., ESPINOZA, J.-C., RONCHAIL, J., COCHONNEAU, G., DE OLIVEIRA, E., DOUDOU, J.C., GUYOT, J.-L., 2012. Fluctuations in the monthly discharge of Guyana Shield rivers, related to Pacific and Atlantic climate variability. *Hydrological Sciences Journal* 0, 1–11.

MEDDTL., 2011. Explore 2070, Eau et Changement Climatique – Hydrologie de surface, Climat et Hydrologie DOM. Rapport d'étape n°3, 201 pages.

METEO-FRANCE., 2012. Changement climatique en Guyane : état des connaissances. Note de synthèse, Météo-France Direction Interrégionale Antilles-Guyane, 68 pages.

Meyssignac B., Llovel W., Becker M. and Cazenave A., 2012. An assessment of two-dimensional past sea level reconstructions over 1950 -2009 based on tide gauge data and different input sea level grids, *Surveys in Geophysics*, published online 2012/01/24, [DOI 10.1007/s10712-011-9171-x](https://doi.org/10.1007/s10712-011-9171-x).

MICHAEL R., RAUPACH, GREGG MARLAND, PHILIPPE CIAIS, CORINNE LE QUÉRÉ, JOSEPH G. CANADELL, GERNOT KLEPPER, CHRISTOPHER B. FIELD., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO2 emissions. *PNAS*, vol 104 n°24, 6 pages.

NOAA, AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index, 2005. National Oceanic and atmospheric administration.

ONREC (2010) Synthèse – Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles. Direction générale de l'énergie et du climat, 6 pages.

PLATON S., CAZENAVE A., DELECLUSE P., DORFLIGER N., GAUFRES P., IDIER. D., JAMOUS M., LE COZANNET G., LE TREUT H., PEINGS Y., sous la direction de JOUZEL J., (2012) Evolution du niveau de la mer. Le climat de la France au XXI^e siècle, volume 3. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 49 pages.

RAHMSTORF S., A. CAZENAVE, J.A. CHURCH, J.E. HANSEN, R.F. KEELING, D.E. PARKER ET R.C.J. SOMERVILLE., 2007. Recent climate observations compared to projections. *Science*, 316, 709, doi:10.1126/science.1136843.

SLANGEN, KATSMAN, VAN DE WAL, VERMEERSEN, RIVA., 2011. Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Clim dyn*, 19 pages.

The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 2001. 28(10): p. 2077-2080.

WANG C., S. DONG, A.T. EVAN, et al., 2012. Multidecadal Covariability of North Atlantic Sea Surface Temperature, African Dust, Sahel Rainfall, and Atlantic Hurricanes. *Journal of Climate*, 2012. 25(15): p. 5404-5415.

FORET

AMUI-VEDEL., 2010. Climate change Impact on the ecosystem of the Guiana Shield. ECOFOG, CIRAD, WWF, Mété-France. 83 pages.

BETTS, R.A., P.M. COX, M. COLLINS, P.P. HARRIS, C. HUNTINGFORD AND C.D. JONES., 2004. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theor. Appl. Climatol.* 78: 157-175.

COX P.M., BETTS R.A., COLLINS M., HARRIS P.P., HUNTINGFORD C. & JONES, C.D., 2004. Amazon dieback under climate-carbon cycle projection for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 137-156.

GIEC., 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Equipe de rédaction principale, Pachauri R.K. et Reisinger A. 114 pages.

NEELIN J. D., MUNNICH M., SU H., MEYERSON J.E. and HOLLOWAY C.E., 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103:6110-6115.

WAGNER F., VIVIEN R., STAHL C., BONAL D., HERAULT B., 2012. Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth. *PloS One* 7(4), 11 pages.

PECHE

AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES., 2009. Analyse Stratégique Régionale Guyane. DEAL Guyane, 111 pages.

BERNARD C., 2006. Changement climatique, conséquences potentielles pour la diversité ichthyologique et pour la pêche côtière en Guyane française entre 1970 et 2005, Rapport IFREMER, 87 pages

GRATIOT N., GARDEL A., Edward, ANTHONY E.J., 2007. Trade-wind waves and mud dynamics on the French Guiana coast, South America: input from ERA-40 wave data and field investigations. *Marine Geology* 236 15-26.

IEDOM (Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer), 2012. Guyane rapport annuel 2011, IEDOM, 222 pages.

LAMPERT., 2013. Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane. Rapport intermédiaire IFREMER du Marché DPMA 2012-012, 56 pages.

METEO-FRANCE., 2012. Changement climatique en Guyane : état des connaissances. Note de synthèse, Météo-France Direction Interrégionale Antilles-Guyane, 68 pages.

RIVIERRE A., 2007. Impacts des changements climatiques sur les peuplements benthopélagique du plateau continental de la Guyane. Rapport IFREMER, 70 pages.

LA SANTE

DELPLA I., JUNG A-V., BAURES E., CLEMENT M., THOMAS O., 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International* 35 (2009) p 1225-1233.

DUPUY C., BERGER F., BAUDRIMONT X., MARTRENCAR A., MOUTOU F., SPIEGEL A., DESPLANCHES N., KRIEGER N., 2011. Situation de la rage animale en Guyane. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation* n° 43 Spécial DOM-TOM, p 26-30.

DUSSART P., MATHEUS S., LABEAU B., MOUA D., BREMAND L., Institut PASTEUR de la Guyane, 2010. Rapport CNR arbovirus et virus influenza, région Antilles Guyane - Année 2010, 30 p pages.

EL YAMANI M., AFSSET, 2006. Environnements et milieux – Dérèglements climatiques. http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/942813029972803120050380828406/24_dereglements_climatiques.pdf

GIROD R., 2007. Rapport d'activité de l'Unité d'entomologie médicale, Institut Pasteur de la Guyane, Année 2006. Document n°001/IPG/UEM/2007, 36 pages.

GOUDIE A.S., MIDDLETON N.J., 2001. Saharan dust storms : nature and consequences. *Earth-Science Reviews* 56, p 179-204.

KOREN I. KAUFMAN Y.J, WASHINGTON R., 2006. The Bodélé depression : a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest. *Environmental Research Letters*.

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire., 2008. Changement climatique et gestion des catastrophes environnementales. Dossier de presse, 37 pages.

PROSPERO J.M, LAMB P.J., 2003. African droughts and dust transport to the Caribbean : climate change implications. *Science* 302(5647), p 1024-1027.

ROSINE J., ARDILLON V., CARDOSO T., CASSADOU S., CHAUD P., BLATEAU A., QUENEL P., 2007. Vers une hyperendémicité de la dengue aux Antilles Guyane ? Colloque international « Chikungunya et autres arboviroses émergentes en milieu tropical », 3 et 4 décembre 2007 Saint-Pierre- La Réunion.

RISQUE

BARRAS A-V., CHANEAC L., 2010. Diagnostic et étude de l'évolution des mouvements de terrain des collines de l'île de Cayenne (Guyane Française). Rapport BRGM/RP-58749-FR, 118 pages.

BES DE BERC S., THEVENIAUT H., JOSEPH B., SEJOURNE C., 2004. Erosion des berges sur le fleuve Maroni ; exemple de Grand-Santi, Guyane – BRGM/RP-53476-FR

BRGM., 2000. Plan de prévention des risques naturels littoraux de l'île de Cayenne. Communes de Cayenne, Remire-Montjoly et Matoury, Cartographie de l'aléa, BRGM/RP-50475-FR, DDE de Guyane, 75 pages.

BRGM., 2001. Plan de prévention des risques naturels littoraux de la commune de Kourou; BRGM/RP-50802-FR, DDE de Guyane, 45 pages.

CLOSSET L. et JOSEPH B., 2007. Stabilité des berges du fleuve Maroni – Vilalge de Loka – Commune de Papaïchton (Guyane). Rapport BRGM/RP-55756-FR. 19 pages.

ESCLOUPIER E., 2012. Caractérisation hydro-climatique des cours d'eau en Guyane française à partir d'observations in-situ et de l'altimétrie radar spatiale. Rapport de stage de recherche, Université Paul Sabatier et INP Toulouse, 35 pages.

FROIDEFOND J.M., PUJOS M., ANDRE X., 1988. Migration of mud-banks and changing coastline in French Guiana. *Marine Geology*. 84, 19–30.

GARDEL A., GRATIOT N., 2005. A satellite image-based method for estimating rates of mud banks migration, French Guiana, South America. *Journal of Coastal Research*. 21, 720–728.

GRATIOT N., ANTHONY E., GARDEL A., GAUCHEREL C., PROISY C. AND WELLS, J.T., 2008. Significant contribution of the 18.6 year tidal cycle to regional coastal changes. *Nature Geoscience*. 1, 169-172.

GRATIOT N., GARDEL A., ANTHONY E., 2007. Trade-wind waves and mud dynamics on the French Guiana coast, South America: Input from ERA-40 wave data and field investigations. *Marine Geology* 236 15-26.

LASSERRE J-L., 2006. Expertise sur l'érosion des berges sur le fleuve Maroni à Loka – Commune de Papaïchton (Guyane). Rapport BRGM/RP-54923-FR. 23 pages.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, 2013. Evaluation Préliminaire du Risque Inondation – Bassin Guyane.111 pages.

NGUYEN D. et JOSEPH B., 2000. Plan de prévention des risques naturels de mouvements de terrain pour l'île-de-Cayenne – Communes de Cayenne, Remire-Montjoly, Matoury. Rapport BRGM R 40811, 33 pages.

ONREC., 2010 Synthèse – Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles. Direction générale de l'énergie et du climat, 6 pages.

PREFECTURE DE GUYANE, 2006. Dossier Départementale des Risques Majeurs.40 pages.

SOGREAH., 2002. Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux d'Awala Yalimapo. Notice de présentation et règlement, Préfecture de Guyane, 23 pages.

THEVENIAUT H., MIRLOCCA J., LAPORTE P., BES DE BERC S., JOSEPH B. et SEJOURNE C., 2004. Inventaire départemental des mouvements de terrain de la Guyane – Rapport final – BRGM/RP-53022-FR

RESSOURCE EN EAU

ESCLOUPIER E., 2012. Caractérisation hydro-climatique des cours d'eau en Guyane française à partir d'observations in-situ et de l'altimétrie radar spatiale. Rapport de stage de recherche, Université Paul Sabatier et INP Toulouse, 35 pages.

PREFECTURE DE GUYANE., 2007. Plan Régional Santé Environnement de la Guyane. Rapport. 2007.

ENERGIE

PROGRAMME REGIONAL POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE., 2012. Réactualisation du PRERURE Guyane - Plan Energétique Régional Pluriannuel de Prospection et d'Exploitation des Energies Renouvelables et d'Utilisation Rationnelle de l'Energie. Rapport final, 214 pages.

REGION GUYANE., 2012. Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie. 99 pages.

ADAPTATION

DIREN, 2010. Plan national d'adaptation au changement climatique, contribution Guyane – Groupe biodiversité/eau/risques naturels/santé. 32 pages.

GIEC, 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au troisième Rapport d'évaluation du GIEC,

HALLEGATTE S. 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change, Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 19, 240-247.

LEMPERT R.J., SCHLESINGER M. E.2000. Robust strategies for abating climate change - An editorial essay, Climatic Change, 45, 387-401.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE DU DEVELOPPEMENT DURABLE DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 2011. Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2011-2015. 188 pages.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

BRGM Guyane
Domaine de Suzini
Route de Montabo
97300 - Cayenne - France
Tél. : 05 94 30 06 24