

ANNEXE 9B

Evaluation du changement climatique

EVALUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Préparé pour
Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd

Rapport préparé par



SRK Consulting (UK) Limited
UK31243

DROITS D'AUTEUR ET CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Les droits d'auteur (et tout autre droit de propriété intellectuelle applicable) de ce document et toute donnée ou tout modèle qui l'accompagnent et qui sont créés par SRK Consulting (UK) Limited (SRK) sont réservés par SRK et protégés par la législation internationale sur les droits d'auteur et autres. Les droits d'auteur sur tout élément constitutif de ce document tel que les illustrations sont détenus et réservés par le détenteur des droits d'auteur tel que mentionné dans ce document.

L'utilisation de ce document est strictement soumise aux conditions concédées par SRK aux destinataires désignés de ce document ou aux personnes auxquelles SRK a consenti à ce qu'il soit transféré (les « destinataires »). Sauf accord contraire de SRK, ceci ne confère aucun droit à aucun tiers. Ce document ne peut être utilisé ou invoqué à aucune fin autre que celle pour laquelle il est indiqué dans le présent document, et SRK ne peut être tenu responsable d'aucune perte ni aucun dommage causé par une telle utilisation ou invocation. Dans le cas où le destinataire du présent document souhaiterait en utiliser la teneur à l'appui de toute fin au-delà ou en dehors de celle expressément indiquée ou pour lever des fonds auprès d'un tiers lorsque le document n'est pas utilisé dans sa forme complète à cette fin, le destinataire doit, avant une telle utilisation, présenter à SRK une ébauche de tout rapport ou document produit par lui susceptible d'incorporer une partie quelconque de la teneur de ce document pour examen afin que SRK puisse s'assurer que celui-ci est présenté d'une manière qui reflète fidèlement et raisonnablement tout résultat ou toute conclusion produits par SRK.

Ce document ne peut être distribué à un tiers que dans son intégralité, comme le prévoit SRK, et ne peut être reproduit ou diffusé dans le domaine public (en tout ou en partie) ni sous aucune forme remaniée, abrégée ou autrement modifiée sauf accord exprès de SRK. Aucune autre œuvre du titulaire des droits d'auteur ne peut être séparée du présent document, utilisée ni reproduite à aucune autre fin que dans le cadre du présent document dans son intégralité, sous licence de SRK. Dans le cas où ce document serait divulgué ou distribué à un tiers, aucun dit tiers ne sera habilité à accorder foi aux informations, garanties ou déclarations susceptibles de figurer dans ce document, et les destinataires de ce document devront indemniser SRK de toute réclamation, toute perte et tout coût qui pourraient être encourus par SRK concernant ces dits tiers.

© SRK Consulting (UK) Limited 2022

version : Mar22_v1

Entité juridique SRK :	SRK Consulting (UK) Limited	
Adresse de SRK :	5th Floor Churchill House 17 Churchill Way Cardiff, CF10 2HH Pays de Galles, Royaume-Uni.	
Date :	août, 2022	
Numéro du projet :	UK31243	
Directeur de projet chez SRK :	Tony Rex	Consultant d'entreprise (hydrogéologie)
Gestionnaire de projet chez SRK :	Dylan John	Consultant supérieur (gestion de projet)
Entité juridique cliente :	Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd	
Adresse du client :	6 St. James Square, Londres SW1Y 4AD Angleterre, Royaume-Uni.	

Table des matières

1	INTRODUCTION	1
2	PRINCIPAUX CONSTATS	2
3	CONTEXTE REGIONAL	4
3.1	Climat.....	4
3.2	Politiques d'adaptation au changement climatique	4
4	CONTEXTE DES PROJECTIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	4
4.1	Introduction	4
4.2	Sixième rapport d'évaluation du GIEC [RE6]	5
4.3	Aperçu de la modélisation du changement climatique	5
4.3.1	Profils représentatifs d'évolution de concentration selon la CMIP 5	6
4.3.2	Scénarios socio-économiques partagés selon la CMIP 6.....	6
4.4	Ensemble de données des modèles climatiques	8
4.5	Évaluation du changement climatique	9
5	RESULTATS	9
5.1	Précipitations	9
5.2	Température	12
5.3	Marges du changement climatique pour la pluviométrie nominale	16
5.3.1	Contexte et approche	16
5.3.2	Résultats.....	17
6	ANALYSE COMPARATIVE AVEC L'EVALUATION NATIONALE	20
6.1	Bilan historique	20
6.2	Projections de changement climatique.....	20
6.3	Comparaison des analyses	21
7	IMPLICATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'EXPLOITATION MINIERE.....	22
8	CONCLUSIONS	23
9	RÉFÉRENCES	I

Liste des Tableaux

Tableau 2-1 :	résumé des facteurs du changement climatique.....	3
Tableau 4-1 :	résumé des scénarios SSP-RCP utilisés dans cette étude	7
Tableau 5-1 :	anomalie des précipitations annuelles moyennes (en pourcentage des PAM) pour les trois horizons chronologiques, d'après les SSP2-4.5 et SSP5-8.5	10
Tableau 5-2 :	résumé de l'anomalie de la TAMA (%) sur la zone de Simandou.....	15
Tableau 5-3 :	résumé de l'anomalie de la TAMA (°C) sur la zone de Simandou.....	15
Tableau 5-4 :	changement relatif de l'intensité ou profondeur pluviométrique nominale par rapport au scénario de référence [%] du groupe 1 (Pic de Fon)	18
Tableau 5-5 :	facteurs de relèvement (en pourcentage) du changement climatique pour les durées de tempête jusqu'à 24 heures et les périodicités quinquennale à centennale.....	18
Tableau 5-6 :	changement relatif de l'intensité ou profondeur pluviométrique nominale par rapport au scénario de référence [%] du groupe 2	19
Tableau 5-7 :	facteurs de relèvement (en pourcentage) du changement climatique pour les durées de tempête jusqu'à 24 heures et les périodicités quinquennale à centennale du groupe 2.....	19
Tableau 6-1 :	changements à l'échelle nationale de la température de l'air et des précipitations annuelles en Guinée par rapport à la référence de 1961-1990 pour le RCP4.5 (MEEF 2019)	20

Liste des Figures

Figure 4-1 :	Chronologies des profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) de 1900 à 2300 (CMIP5)	6
Figure 4-2 :	scénarios socio-économiques partagés (SSP) (O'Neill et al., 2017)	7
Figure 5-1 :	représentation en boîte à moustaches de l'anomalie des PAM (%) sur la zone du projet de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite).....	11
Figure 5-2 :	carte thermique de l'anomalie des précipitations projetée	12
Figure 5-3 :	représentation en boîte à moustaches de l'anomalie de la TAMA (%) sur la zone de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite).....	13
Figure 5-4 :	représentation en boîte à moustaches de l'anomalie de la TAMA (°C) sur la zone de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite).....	14
Figure 5-5 :	température annuelle moyenne historique dans la zone de Simandou jusqu'à 2100	15
Figure 5-6 :	carte thermique de l'anomalie des températures projetée	16
Figure 6-1 :	anomalie de la température de l'air (°C) en Guinée d'ici 2100 (MEEF 2019)	21
Figure 6-2 :	anomalie des précipitations annuelles moyennes (%) pour la Guinée d'ici 2100 (MEEF 2019)	21

ÉVALUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE SIMANDOU

1 INTRODUCTION

SRK a préparé une évaluation du changement climatique du site de Simandou, en Guinée, d'après les informations disponibles auprès du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son sixième rapport d'évaluation (RE6) (Masson-Delmotte et al., 2021).

Cette évaluation était fondée sur les modèles de circulation générale (MCG), classe de modèles informatisés pour la prévision météorologique, la compréhension du climat et la projection du changement climatique, aussi appelés communément modèles climatiques mondiaux (MCM). L'analyse se fondait sur les données NEX-GDDP-CMIP6 (*Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections*) de la NASA.

Bien que les données historiques observées puissent servir à étudier les tendances, on fait le plus souvent appel aux modèles climatiques mondiaux pour générer des données afin d'étudier comment les variables météorologiques clés (par exemple température et pluviosité) sont susceptibles de changer à l'avenir à l'échelle mondiale ou continentale.

La modélisation du changement climatique du projet a été réalisée à l'aide d'une compilation des MCM disponibles et en les analysant à l'aide d'un script spécialement conçu par SRK avec le logiciel R. Les résultats de l'analyse fournissent une estimation du changement escompté des différents paramètres climatiques d'un endroit précis, en l'occurrence la zone du projet de Simandou, par rapport aux conditions de référence. Des études historiques menées par l'office météorologique du Royaume-Uni ont évalué l'impact de la réduction de la ligne de crête sur la pluviométrie locales (Webster et al, 2010). Cet aspect du changement climatique est exclu de l'évaluation du changement climatique présentée ici.

2 PRINCIPAUX CONSTATS

Les effets du changement climatique se développeront au niveau planétaire sur de longues échelles chronologiques. La modélisation du changement climatique présentée ici pour la localité de Simandou a pris en compte les impacts potentiels jusqu'en 2100 par rapport à la période de référence historique de 1981 à 2014. Les différences entre les conditions futures et la référence historique sont appelées **anomalies**.

- Les tendances climatiques potentielles ont été analysées pour les paramètres météorologiques typiques, tels qu'énumérés au Tableau 2-1, sur deux périodes d'évaluation.
 - La période d'évaluation à court terme couvre les années 2020-2049 (« années 2030 »). Cette période représente celle pendant laquelle la mine devrait être opérationnelle, les changements climatiques au cours de cette période étant donc plus susceptibles d'influencer la conception et la gestion opérationnelles.
 - La période de la fin du siècle dans le tableau représente celle comprise entre 2070 et 2099 (« années 2080 »), qui prédit le climat futur à la fin du 21^e siècle. Cette période reflète les changements climatiques possibles qui sont susceptibles d'influer sur les années d'exploitation ultérieures et sur la conception de la fermeture.
- Les résultats récapitulatifs, les conclusions et les recommandations figurent dans le Tableau 2-1. La conception post-fermeture doit tenir compte de la hausse de la température et des précipitations prévue d'ici la fin du siècle. Il faut en outre ajuster l'analyse de la fréquence des inondations utilisée pour établir les critères pluviométriques afin de tenir compte des changements anticipés de l'intensité des précipitations.

Tableau 2-1 : résumé des facteurs du changement climatique

Facteur climatique	Effets sur le projet	Référence et prévisions fondées sur les scénarios socio-économiques partagés (SSP)	Prévisions des changements de paramètres par rapport à la période de référence (1981-2014), et implications sur la conception
Précipitations annuelles moyennes	Bilan hydrique Ruissellement Disponibilité en eau Recharge des aquifères	RÉFÉRENCE: 1981 - 2014 SSP2-4.5 Années 2030 - 0.5 % 2020 - 2049 SSP5-8.5 Années 2030 - 0.3 % SSP2-4.5 Années 2060 - 2.8 % 2070 - 2099 SSP5-8.5 Années 2060 - 6.4 %	Les prévisions à court terme suggèrent des changements négligeables des précipitations (MCG médians). Pour les projections de la fin du siècle, on table sur une baisse des précipitations de 6,4 % au maximum (MCG médians).
Température annuelle moyenne de l'air	Évaporation Bilan hydrique Recharge des aquifères	RÉFÉRENCE: 1981 - 2014 SSP2-4.5 Années 2030 +0.3 % 2020 - 2049 SSP5-8.5 Années 2030 +0.7 % SSP2-4.5 Années 2060 +0.4 % 2070 - 2099 SSP5-8.5 Années 2060 +1.3 %	- Les prévisions à court terme suggèrent une hausse allant jusqu'à 0,7 % (ou 2,2°C) par rapport aux conditions de référence (MCG médians). - Hausse de la température annuelle moyenne de l'air à la fin du siècle pouvant atteindre 1,3 % (ou 4,0°C) par rapport aux conditions de référence (MCG médians), ce qui est recommandé pour les considérations de conception de la fermeture.
Précipitations quotidiennes maximums pour les phénomènes d'une périodicité décennale*	Conception des ouvrages civils	RÉFÉRENCE: 1981 - 2014 SSP2-4.5 Années 2030 +15 % 2020 - 2049 SSP5-8.5 Années 2030 +15 % SSP2-4.5 Années 2060 +20 % 2070 - 2099 SSP5-8.5 Années 2060 +35 %	- Hausse à long terme des précipitations quotidiennes maximums jusqu'à 34%, et à court terme de 16%. - Il faut ajuster l'analyse de la fréquence des inondations, ainsi que les courbes IDF.

*La périodicité, également appelée intervalle de récurrence, désigne la durée moyenne ou durée moyenne estimée entre des phénomènes. Un phénomène dont la périodicité est décennale a une probabilité statistique de 10 % de survenir au cours d'une quelconque année donnée.

3 CONTEXTE REGIONAL

3.1 Climat

La Guinée est située dans une région tropicale exposée à l'océan Atlantique sur la côte ouest. La topographie de la Guinée se caractérise par des montagnes boisées situées à l'intérieur du pays.

Le climat du sud-est de la Guinée est dominé par la mousson ouest-africaine, et se caractérise par des températures relativement élevées et uniformes et une humidité élevée. Il y a deux saisons : une saison humide qui dure environ huit mois, de mars à octobre, et une saison sèche qui dure de novembre à février. Bien que l'on fasse ici une nette distinction entre saison humide et saison sèche, des pluies peuvent survenir en saison sèche, et le moment des début et fin de l'une ou l'autre saison varie d'une année à l'autre. Le pays est largement classé comme un climat tropical de savane humide selon la classification climatique de Köppen-Geiger. Sous les climats tropicaux de savane, la saison sèche peut être sévère, entraînant des conditions de sécheresse prévalantes.

L'évaluation détaillée du climat local et des données météorologiques disponibles sur le site est présentée séparément (SRK, 2022a).

3.2 Politiques d'adaptation au changement climatique

La Guinée est une partie non visée à l'annexe I de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), et a ratifié le Protocole de Kyoto de 2009 et l'Accord de Paris de 2016 en tant qu'engagement à s'adapter au changement climatique. Les parties non visées à l'annexe I sont reconnues comme étant vulnérables aux impacts du changement climatique tant du point de vue climatique que socio-économique.

La Guinée est également classée par l'ONU comme l'un des pays les moins développés du monde, et fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la CCNUCC en raison de sa capacité limitée à faire face au changement climatique. Dans le cadre de ses engagements, la Guinée a élaboré une stratégie nationale sur 12 ans pour s'adapter au changement climatique (MEEF, 2019), dont des réductions des émissions de gaz à effet de serre, une surveillance climatique accrue et des stratégies d'adaptation aux risques.

4 CONTEXTE DES PROJECTIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

4.1 Introduction

Par le passé, on a supposé que les données météorologiques et hydrologiques historiques constituaient un indicateur précis pour définir les conditions futures ; or, la hausse des gaz à effet de serre (GES) dans la dernière partie du 20^e siècle a façonné des changements météorologiques et hydrologiques mondiaux d'une ampleur et d'une fréquence qui dépassent tout ce que l'on a pu observer dans les archives historiques.

Par changement climatique s'entendent les variations à long terme des températures et des régimes météorologiques qui peuvent être naturels mais qui, depuis les années 1800, sont dus aux activités humaines.

Dans le contexte minier, il est judicieux de cerner les impacts potentiels des changements climatiques pour prévoir et préparer les effets liés à l'eau sur les composantes nominales des sites miniers, des bilans hydriques à la conception civile. Comprendre le changement climatique signifie reconnaître les incertitudes et adopter des mesures d'adaptation climatique à long terme pour contribuer à assurer la résilience des infrastructures du projet.

4.2 Sixième rapport d'évaluation du GIEC [RE6]

Le GIEC en est actuellement à son sixième cycle d'évaluation, au cours duquel il dresse son sixième rapport d'évaluation (RE6), la publication du rapport de synthèse étant prévue pour septembre 2022. Les principaux points concernant les effets du changement climatique présentés dans le RE6 sont résumés ci-dessous :

- Pour chaque nouveau palier du réchauffement climatique, les changements aux extrêmes continuent de s'amplifier. Par exemple, chaque demi-degré supplémentaire de réchauffement climatique entraîne une augmentation clairement perceptible de l'intensité et de la fréquence des chaleurs extrêmes, notamment les vagues de chaleur et les fortes précipitations, ainsi que les sécheresses agricoles et environnementales dans certaines régions.
- La hausse de la fréquence et de l'intensité des sécheresses hydrologiques s'amplifie avec la hausse du réchauffement climatique dans certaines régions.
- Il y aura de plus en plus de phénomènes extrêmes sans précédent dans les historiques d'observation avec un réchauffement global supplémentaire, même à 1,5°C de réchauffement global. Il est très probable que les épisodes de fortes précipitations s'intensifieront et deviendront plus fréquents dans la plupart des régions avec un réchauffement global supplémentaire.
- À l'échelle mondiale, on prévoit, avec un indice de fiabilité élevé, que les épisodes de précipitations quotidiennes extrêmes s'intensifieront d'environ 7 % pour chaque degré C de réchauffement climatique. La proportion de cyclones tropicaux intenses (catégories 4 et 5) et les pics de vitesse du vent des plus intenses devraient augmenter à l'échelle mondiale avec la hausse du réchauffement climatique (indice de fiabilité élevé).

4.3 Aperçu de la modélisation du changement climatique

Le projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP), organisé sous l'égide du groupe de travail sur la modélisation couplée du programme mondial de recherche sur le climat (PMRC), coordonne les expériences de couplage de modèles informatiques du climat terrestre. L'objectif du CMIP vise à mieux comprendre les changements climatiques passés, présents et futurs découlant de la variabilité naturelle non forcée ou en réponse aux changements du forçage radiatif dans un contexte multimodèle (Eyring et al., 2016). Actuellement, le CMIP en est à sa sixième phase (CMIP6), et comprend le plus récent effort de modélisation de la circulation générale en vue de simuler et projeter divers aspects du changement climatique.

Ces modèles comprennent une représentation nouvelle et meilleure des processus physiques, chimiques et biologiques, ainsi qu'une résolution plus élevée par rapport aux modèles climatiques examinés dans les rapports antérieurs du GIEC. Cela a amélioré la simulation de l'état moyen récent de la plupart des indicateurs à grande échelle du changement climatique et de nombreux autres aspects sur l'ensemble du système climatique.

4.3.1 Profils représentatifs d'évolution de concentration selon la CMIP 5

Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) sont quatre trajectoires de concentration (et non des émissions) des gaz à effet de serre adoptées par le GIEC en 2013 pour son cinquième rapport d'évaluation (RE5).

Les quatre RCP (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 et RCP 8.5) sont nommés d'après une plage possible de valeurs de forçage radiatif en 2100. Le forçage radiatif peut être considéré comme la différence entre l'énergie provenant du soleil et le rayonnement issu de la terre. Le forçage radiatif est fortement influencé par la composition atmosphérique, en particulier par rapport à la quantité de GES dans l'atmosphère.

À titre de contexte, le RCP 2.6 (réchauffement le plus faible) nécessite que les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) commencent à diminuer d'ici 2020, alors que dans le RCP 8.5 (réchauffement le plus élevé), les émissions du scénario continuent à augmenter tout au long du 21^e siècle. Figure 4-1 montre la variabilité des PCR de l'historique à AR5/CMIP5, y compris les projections pour les périodes postérieures à 2010 de Meinshausen et al. (2011). Au moment de la rédaction du présent rapport, il n'existait aucun MCG pertinent pour la période postérieure à 2100.

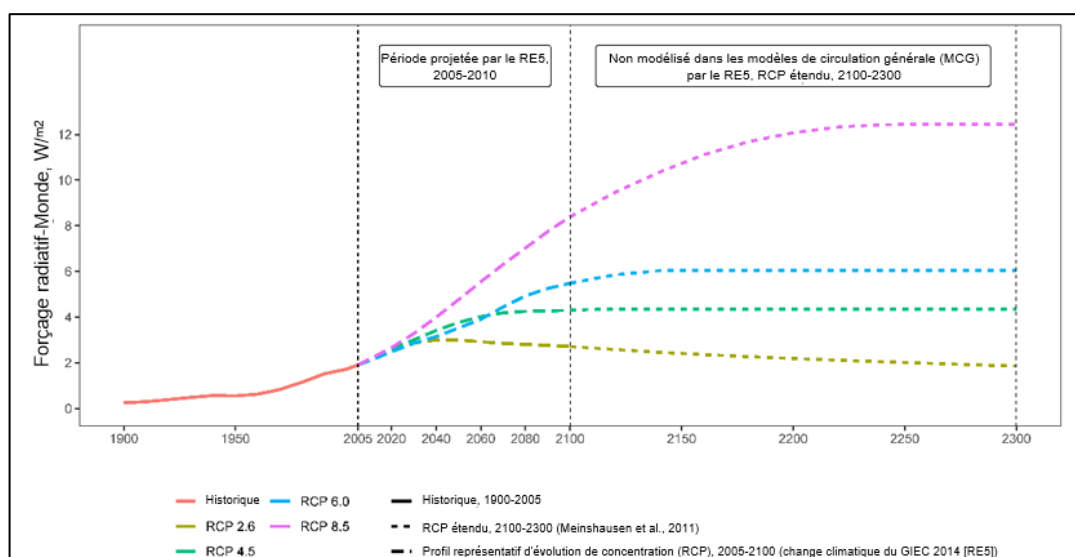


Figure 4-1 : Chronologies des profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) de 1900 à 2300 (CMIP5)

4.3.2 Scénarios socio-économiques partagés selon la CMIP 6

Un nouveau cadre a été élaboré à l'aide de scénarios qui combinent le développement socio-économique et technologique, et appelé Scénarios socio-économiques partagés. Les SSP sont des scénarios de changements socio-économiques globaux projetés jusqu'en 2100 fondés sur cinq récits décrivant des évolutions socio-économiques alternatives. Parmi ces évolutions figurent le développement durable, les rivalités régionales, les inégalités, le développement à base de combustibles fossiles et le développement intermédiaire. La description détaillée des SSP figure à l'annexe A : tableau A 1. (Riahi et al, 2017). Deux SSP décrivent des avenir où les défis en matière d'adaptation et d'atténuation sont tous deux faibles (SSP1) ou élevés (SSP3). En outre sont conçus deux « cas asymétriques » comprenant un cas dans lequel des défis élevés en matière d'atténuation se combinent avec de faibles défis en matière d'adaptation (SSP5), et inversement (SSP4). Enfin, un cas central décrit un monde confronté à des défis intermédiaires à la fois d'adaptation et d'atténuation (SSP2).

La Figure 4-2 récapitule les scénarios ayant différents défis socio-économiques en matière d'adaptation et atténuation.

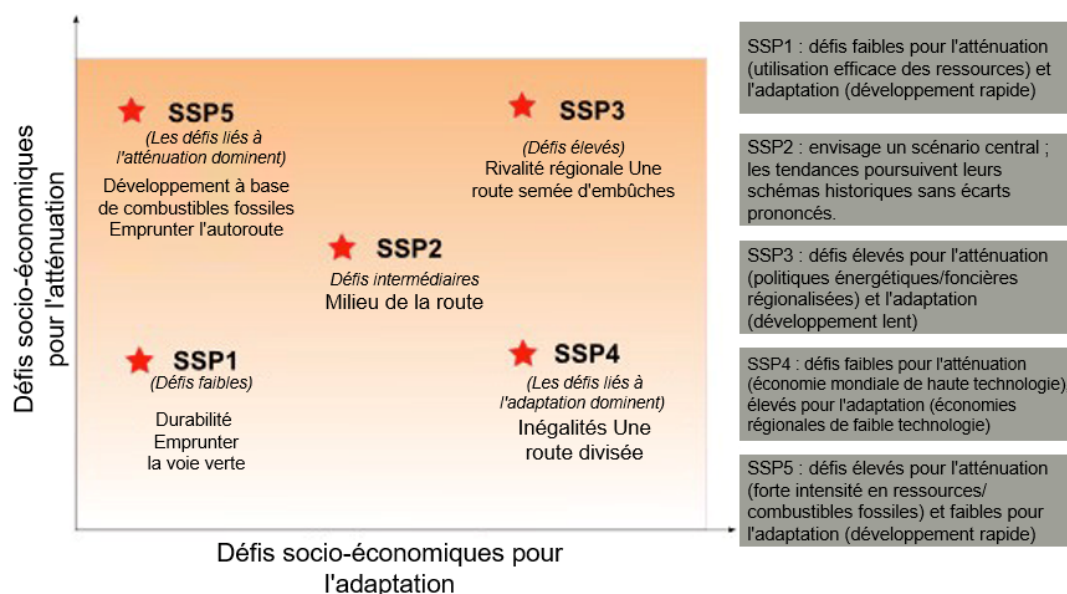


Figure 4-2 : scénarios socio-économiques partagés (SSP) (O'Neill et al., 2017)

Les nouveaux scénarios figurant dans le RE6 s'inscrivent dans un cadre matriciel de scénarios socio-économiques partagés et de profils représentatifs d'évolution de concentration, à savoir le nouveau cadre SSP-RCP. Les simulations RCP du CMIP5 précédente servent à fournir des informations climatiques aux scénarios intégrés, et sont combinées avec les scénarios socio-économiques et d'utilisation de l'énergie, d'émissions et d'utilisation foncière basés sur les SSP en vue de procéder à une analyse intégrée. Par conséquent, les scénarios RCP du CMIP5 précédente (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5) ont de nouvelles versions dans la CMIP6.

O'Neill et al (2017) ont défini quatre scénarios de niveau 1 qui couvrent un large éventail d'incertitudes dans le forçage futur. Ces scénarios à jour s'appellent SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 et SSP5-8.5, chacun se traduisant par des niveaux de forçage radiatif de 2100 similaires à leurs prédécesseurs du RE5.

Pour ce rapport, les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5 représentent les résultats projetés pour un climat futur d'après la réponse sociétale et économique actuelle au changement climatique, et un climat futur où l'on table sur des changements marqués, respectivement.

Tableau 4-1 : résumé des scénarios SSP-RCP utilisés dans cette étude

Scénario SSP-RCP	Description
SSP2-4.5	Mise à jour du scénario RCP4.5 (CMIP5). Avec un forçage radiatif supplémentaire de 4,5 W/m ² d'ici l'an 2100, représente le scénario moyen des futures émissions de gaz à effet de serre. Ce scénario suppose que des mesures de protection climatique sont adoptées.
SSP5-8.5	Avec un forçage radiatif supplémentaire de 8,5 W/m ² d'ici l'an 2100, ce scénario représente le plafond de l'éventail de scénarios.

4.4 Ensemble de données des modèles climatiques

L'ensemble de données NEX-GDDP-CMIP6^a comprend des scénarios climatiques mondiaux à échelle réduite dérivés des soumissions aux MCG menées dans le cadre du CMIP6 et sur deux des quatre scénarios de niveau 1 élaborés à l'appui du RE6 du GIEC. En outre, les projections issues du projet d'intercomparaison de modèles de scénarios (O'Neill et al., 2016) sont incluses dans cet ensemble de données dont des scénarios quotidiens ont été produits et distribués par l'intermédiaire de la grille mondiale de données fédérées (*Earth System Grid Federation*).

L'ensemble de données est un ensemble de projections issus de 35 modèles et de deux scénarios SSP-RCP (SSP2-4.5 et SSP5-8.5). Il procure des estimations quotidiennes des températures et précipitations maximums et minimums à l'aide d'une méthode de désagrégation spatiale corrigée (BCSD) quotidienne (Thrasher, et al., 2012). Les données couvrent l'ensemble du globe avec une résolution spatiale de 0,25° (env. 25 km) pour les périodes de 1950 à 2014 (historique) et de 2015 à 2100 (projections climatiques).

Les variables disponibles dans l'ensemble de données quotidien sont l'humidité relative près de la surface, l'humidité spécifique près de la surface, les précipitations totales, le rayonnement à ondes longues de la plongée des eaux de surface, le rayonnement à ondes courtes de la plongée des eaux de surface, la vitesse du vent près de la surface et la température quotidienne maximum, minimum et moyenne de l'air près de la surface.

Les MCG du CMIP6 appliqués à échelle réduite par la NASA dans le cadre du projet NEX-GDDP-CMIP6 comprennent des scénarios climatiques à échelle réduite pour le globe dérivés de 35 MCG. L'aperçu des modèles appliqués dans l'analyse est présenté à l'annexe A : Tableau A 2.

Les changements futurs sont évalués pour deux des quatre scénarios d'émissions de gaz à effet de serre de « niveau 1^b » dits « scénarios socio-économiques partagés » (PPS) (voir l'explication plus détaillée à la section 4.3).

De nombreux modèles du CMIP6 montrent des températures plus élevées à la fin du 21^e siècle comparativement aux simulations des modèles correspondants du projet d'intercomparaison précédent du CMIP5, mais selon Wyser et al., 2020, cela est dû à des changements dans les concentrations de GES prescrites. Une partie du réchauffement supplémentaire du CMIP6 a auparavant été attribuée à la plus grande sensibilité climatique de nombreux modèles du CMIP6, mais les projections des CMIP5 et CMIP6 pour le 21^e siècle sont difficiles à comparer entre elles non seulement car les modèles diffèrent, mais aussi parce que les conditions de forçage ne sont pas égales.

L'analyse du changement climatique du projet a été réalisée à l'aide d'une compilation des rapports d'évaluation du GIEC et en procédant à l'analyse de plusieurs modèles climatiques à l'aide d'un script spécialement conçu par SRK avec le logiciel R (équipe principale R, 2021). Les résultats de l'analyse fournissent des estimations du changement escompté de la température et des précipitations spécifiquement pour la région du projet de Simandou par rapport aux conditions de référence.

^a NEX-GDDP-CMIP6 (*Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections*) de la NASA ; CMIP6

^b Le niveau 1 est désigné comme regroupant les scénarios du 21^e siècle, et a été considéré avec la plus haute priorité dans la conception expérimentale dans le cadre des scénarios socio-économiques partagés - profils représentatifs d'évolution de concentration (SSP-RCP) (O'Neill et al., 2016).

4.5 Évaluation du changement climatique

Les simulations du CMIP6 prédisent les conditions futures jusqu'en 2100, représentant les conditions futures à la fin du 21^e siècle, tandis que les simulations historiques datant de 1981 à 2014 peuvent être considérées comme représentatives de la période historique récente du climat terrestre.

Les analyses du changement climatique doivent tenir compte des principes suivants :

- Il existe des risques inhérents à la sélection d'un seul modèle ou d'un petit nombre de modèles en raison des informations limitées qu'ils suggèrent sur la variabilité des paramètres météorologiques (Knutti et al., 2010).
- La capacité d'un modèle unique de prédire les conditions actuelles est vaguement, voire pas du tout, liée à la capacité de prévoir les conditions futures (Knutti et al., 2010 ; Reifen et Toumi, 2009).
- Il est vivement recommandé d'utiliser plusieurs MCG et scénarios pour représenter les conditions dans le contexte du changement climatique (Najafi et Moradkhani, 2015).

Au vu de ces concepts, tous les modèles de changement climatique appliqués sont pondérés de façon égale au cours des analyses effectuées ici. Les MCG comportent une incertitude inhérente aux hypothèses et considérations des modèles climatiques. Afin de mieux gérer ces incertitudes et la variabilité des modèles, SRK en a inclus autant que possible, ce qui permet d'explorer l'éventail de conséquences d'après ces scénarios en appliquant le concept « un modèle, un vote », où chaque modèle-scénario de changement climatique est considéré comme ayant autant de chances de survenir que les autres.

L'analyse présentée ici évalue le changement médian par rapport à la période de référence d'après tous les MCG considérés. Les résultats, qui montrent le taux de changement, peuvent s'appliquer aux statistiques climatiques propres au site élaborées pour la période de référence. Cette correction, dite correction des biais, se fonde sur l'examen climatique présenté ici. En fin de compte cependant, il faut reconnaître que nous avons affaire à un système chaotique non linéaire couplé, et donc que la prédiction à long terme des états climatiques futurs est incertaine.

5 RESULTATS

Les prévisions climatiques sont présentées jusqu'en 2100, ce que l'on estime être l'horizon raisonnable maximum jusqu'où étendre les prévisions. Le changement climatique futur est évalué sur les tranches chronologiques futures : (1) de 2021 à 2049 ; (2) de 2040 à 2069 et (3) de 2070 à 2099 ; ces périodes seront appelées respectivement les années 2030, 2050 et 2080. Les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5 représentent les projections moyennes et plafonds (sans supposer de mesures de protection climatique immédiates) de la période de référence 1981-2014.

5.1 Précipitations

La Figure 5-1 présente les résultats de la projection des précipitations annuelles moyennes (PAM) modélisée statistiquement à l'aide de tracés boîte à moustaches. Dans ces graphiques, la barre centrale épaisse dans la « boîte » représente la médiane (le point médian), la boîte elle-même contenant la moitié centrale de la plage de données (quartiles médians), tandis que les « moustaches » indiquent la variabilité en dehors des quartiles supérieur et inférieur. Les valeurs statistiques aberrantes sont ensuite tracées individuellement au-delà des « moustaches ».

Analyse statistique de la période des années 2030 ; à savoir que le changement à court terme des PAM suggère un changement annuel moyen négligeable estimé entre **-0,5** et **-0,3 %** pour les SSP2-4.5 et SSP5-8.5, respectivement.

À la fin du siècle, on s'attend à ce que les précipitations annuelles moyennes varient entre **-2,8** (SSP2-4,5) et **-6,4 %** (SSP5-8,5).

Les résultats n'indiquent aucun changement des tendances annuelles à court terme des précipitations, et une tendance baissière à long terme. Le résumé des statistiques est présenté au Tableau 5-1. Notez que le tableau présente la médiane de l'ensemble de MCG et les quartiles supérieur et inférieur entre crochets.

Tableau 5-1 : anomalie des précipitations annuelles moyennes (en pourcentage des PAM) pour les trois horizons chronologiques, d'après les SSP2-4.5 et SSP5-8.5

Scénario	Années 2030	Années 2050	Années 2080
	2020-2049	2040-2069	2070-2099
SSP2-4.5	-0,5	-1,3	-2,8
	(-3,6, 4,6)	(-6,7, 5)	(-6,3, 4,6)
SSP5-8.5	-0,3	-2,8	-6,4
	(-6,5, 4,8)	(-12,3, 3)	(-18,7, 0,7)

La Figure 5-2 présente les cartes thermiques montrant l'anomalie de précipitations prévue dans les deux scénarios analysés. Une carte thermique est une représentation bidimensionnelle de données où l'intensité de la couleur représente l'amplitude des valeurs. Par exemple, les anomalies indiquant des conditions plus humides sont colorées en plus foncé et plus intense, alors que les couleurs plus claires représentent les anomalies indiquant des conditions plus sèches. Ces cartes thermiques résument l'anomalie des précipitations modélisées pour des décennies jusqu'à 2100, par mois civil. Le tableau A4 de l'annexe A contient les valeurs quantitatives des cartes thermiques. Les chiffres présentés dans les tableaux sont des médianes de modèles globaux indépendants, et ne représentent pas des incréments à appliquer aux valeurs historiques, car il n'y a aucune corrélation entre les conditions climatiques en mois pour chaque année respective.

Les précipitations à Simandou sont saisonnières, la saison sèche s'étendant de novembre à février, et la saison humide de mars à octobre. La Figure 5-2 suggère un retard du début de la saison humide. Cela est visible dans le scénario SSP2-4.5, et accentué davantage dans le scénario SSP5-8.5 qui montre un net allongement de la saison sèche et des anomalies négatives accrues dans la partie principale de la saison humide (juin à septembre).

Les deux scénarios montrent également des anomalies positives accrues à la fin de la saison humide. Ces dernières tendances, qui se manifestent dans les dernières décennies du siècle, sont à prendre avec circonspection.

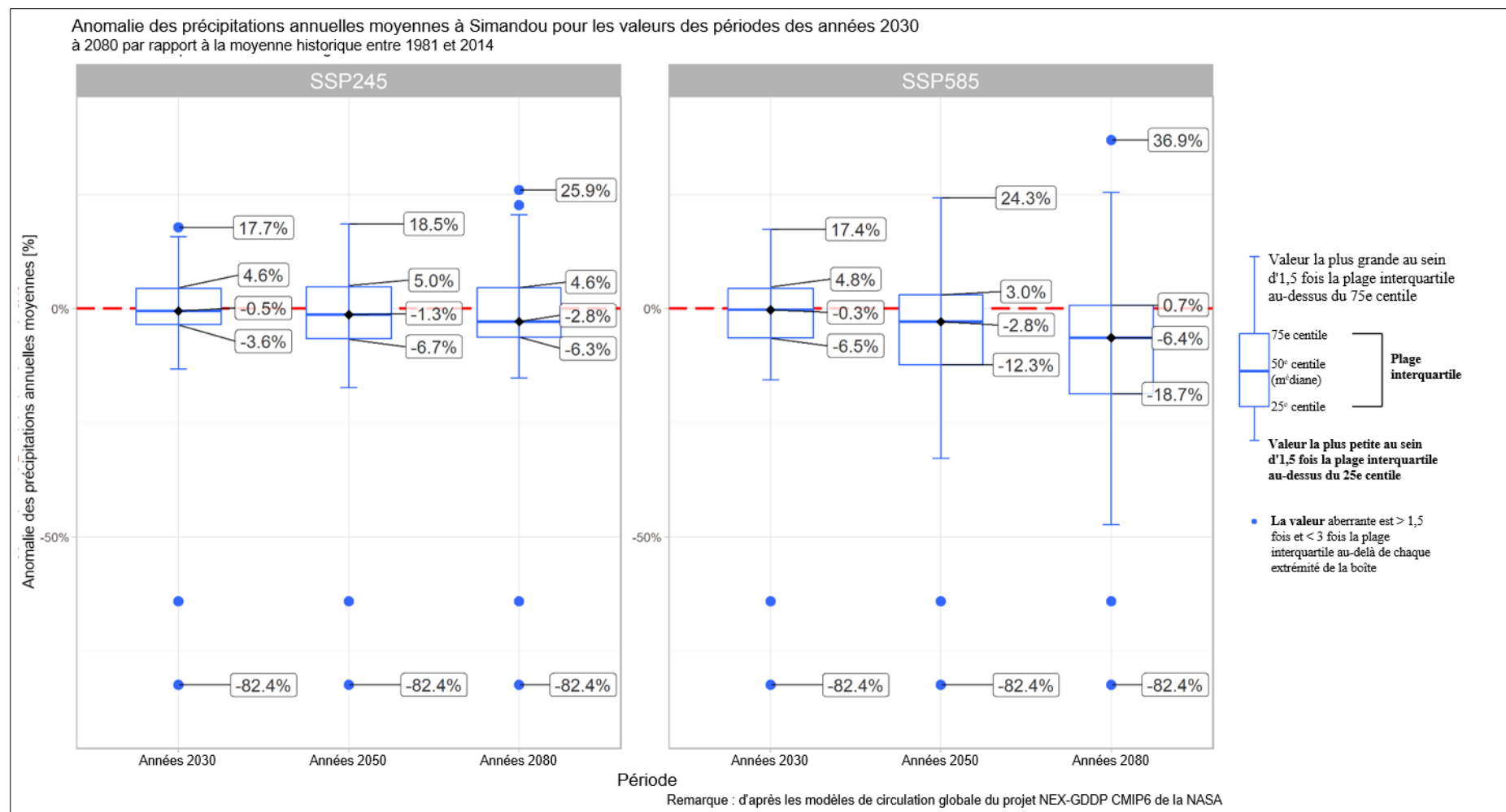


Figure 5-1 : représentation en boîte à moustaches de l'anomalie des PAM (%) sur la zone du projet de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite)

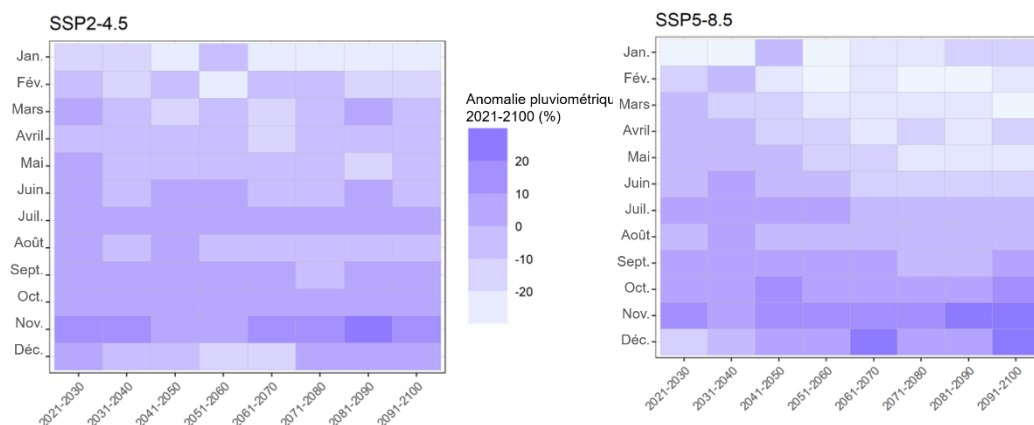


Figure 5-2 : carte thermique de l'anomalie des précipitations projetée

5.2 Température

En général, les simulations thermiques des MCG sont plus fiables que les simulations pluviométriques.

L'ampleur des anomalies de la température annuelle moyenne de l'air (TAMA) des horizons chronologiques à court terme, au milieu du siècle et à la fin du siècle est présentée à la Figure 5-3 en pourcentage, et à la Figure 5-4 en degrés Celsius. La TAMA de référence historique hypothétique est de 24°C.

Le résumé statistique des anomalies modélisées est présenté dans le Tableau 5-2 et le Tableau 5-3, en montrant la médiane de l'ensemble de MCG et les quartiles supérieur et inférieur entre crochets.

Les MCG sont alignés sur une augmentation prévue de la TAMA d'ici la fin du siècle, avec des valeurs médianes de **+0,7 %** (ou 2,2°C) et **+1,3 %** (ou 4,0°C) par rapport aux conditions de référence dans l'horizon chronologique de la fin du siècle pour les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5, respectivement.

À court terme, on prévoit une hausse médiane de **+0,4%** (ou 1,1°C) de la TAMA pour les SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

La température est une variable utilisée dans le calcul de l'évaporation potentielle (quotidienne). La hausse de la TAMA entraînera une augmentation de l'évaporation annuelle potentielle. SRK envisagera d'estimer une marge de relèvement pour l'évaporation potentielle quotidienne calculée pour le changement climatique au moment de l'estimation du bilan hydrique du site et de l'évaluation des impacts sur les eaux de surface et souterraines après fermeture.

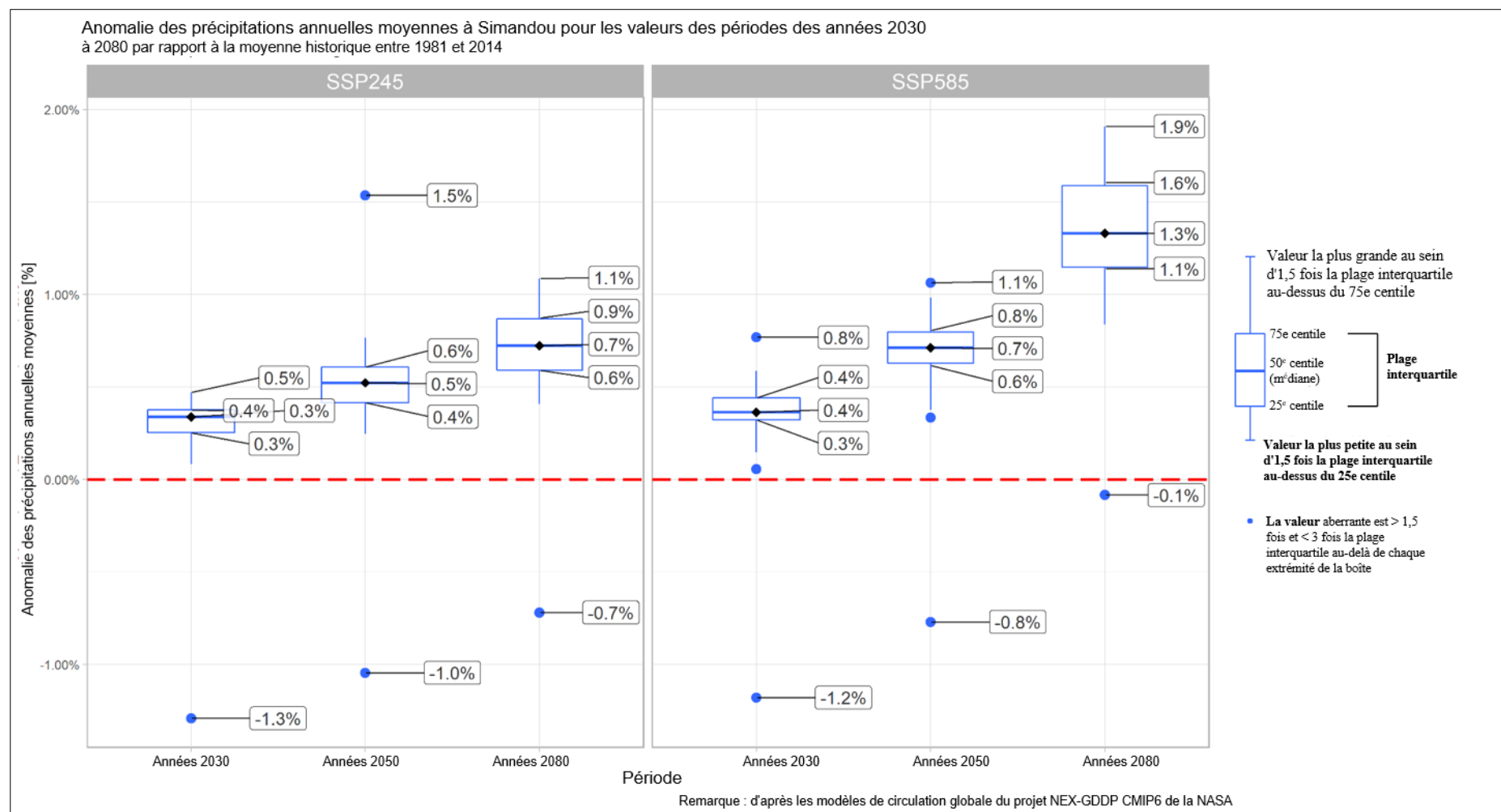


Figure 5-3 : représentation en boîte à moustaches de l'anomalie de la TAMA (%) sur la zone de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite)

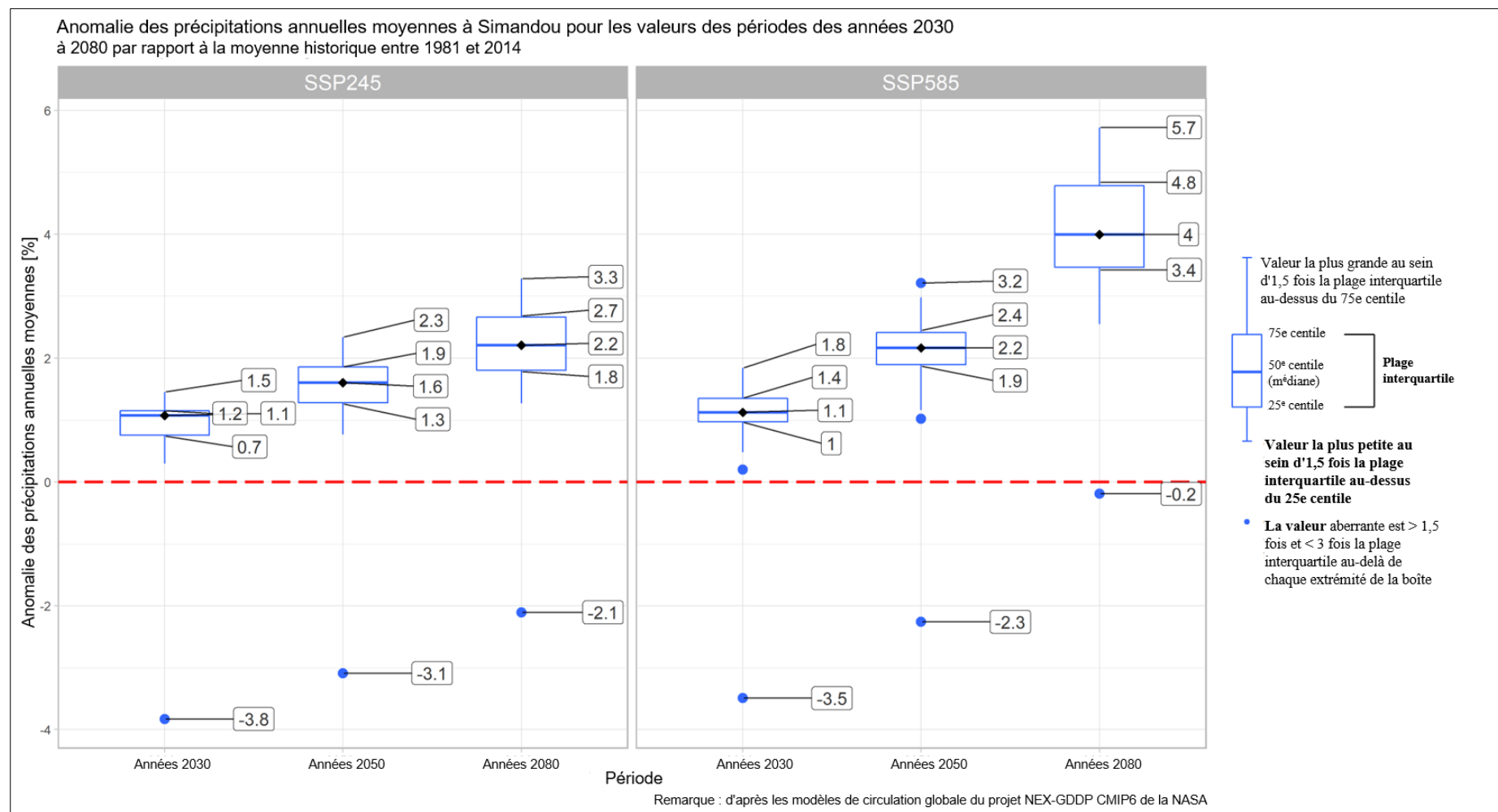


Figure 5-4 : représentation en boîte à moustaches de l'anomalie de la TAMA (°C) sur la zone de Simandou (scénario SSP2-4.5 à gauche, scénario SSP5-8.5 à droite)

Tableau 5-2 : résumé de l'anomalie de la TAMA (%) sur la zone de Simandou.

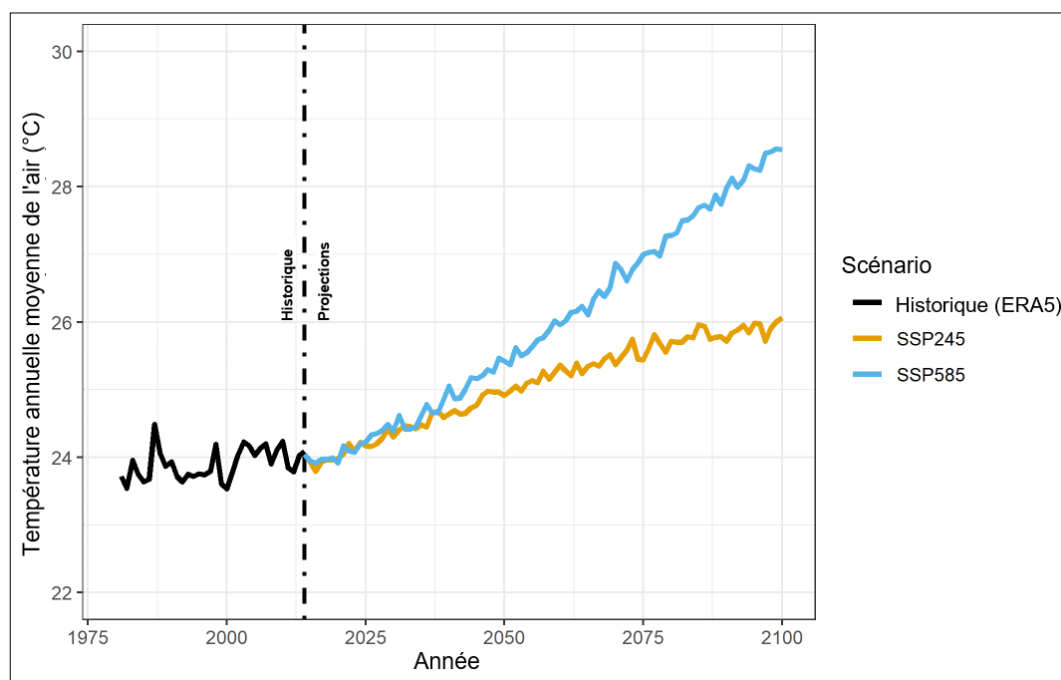
Scénario	Années 2030	Années 2050	Années 2080
	2020-2049	2040-2069	2070-2099
SSP2-4.5	0.3	0.5	0.7
	(0,3, 0,4)	(0,4, 0,6)	(0,6, 0,9)
SSP5-8.5	0.4	0.7	1.3
	(0,3, 0,4)	(0,6, 0,8)	(1,1, 1,6)

Tableau 5-3 : résumé de l'anomalie de la TAMA (°C) sur la zone de Simandou.

Scénario	2030s	2050s	2080s
	2020-2049	2040-2069	2070-2099
SSP2-4.5	1.0	1.6	2,2
	(0,7, 1,1)	(1,2, 1,8)	(1,8, 2,6)
SSP5-8.5	1,1	2,1	4.0
	(0,9, 1,3)	(1,8, 2,4)	(3,4, 4,8)

La Figure 5-5 met en lumière les projections thermiques obtenues à l'aide des simulations des modèles du CMIP6 pour la période de référence de 1981 à 2014. Les projections sont effectuées selon les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

Selon le scénario SSP2-4.5 (à savoir que les émissions de CO₂ sont maintenues à un niveau intermédiaire), la TAMA devrait atteindre **26°C** d'ici la fin du siècle. On prévoit que la TAMA augmentera jusqu'à plus de **28°C** d'ici la fin du 21^e siècle selon le scénario SSP5-8.5.

**Figure 5-5 : Température annuelle moyenne historique dans la zone de Simandou jusqu'à 2100**

La Figure 5-6 présente une carte thermique par décennie de l'anomalie de la température moyenne projetée selon les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Le tableau A3 de l'annexe A contient les valeurs quantitatives des cartes thermiques. Les chiffres présentés dans les tableaux sont des médianes de modèles globaux indépendants, et ne représentent pas des incréments à appliquer aux valeurs historiques, car il n'y a aucune corrélation entre les conditions climatiques en mois pour chaque année respective.

La température mensuelle moyenne dans la région du projet de Simandou montre une variation saisonnière limitée et se situe actuellement entre environ 22°C de juillet à septembre, et environ 25°C en février et mars.

Les anomalies de température à la hausse sont prononcées au cours des mois de novembre à juin ; tous les mois présentent toutefois une tendance haussière.

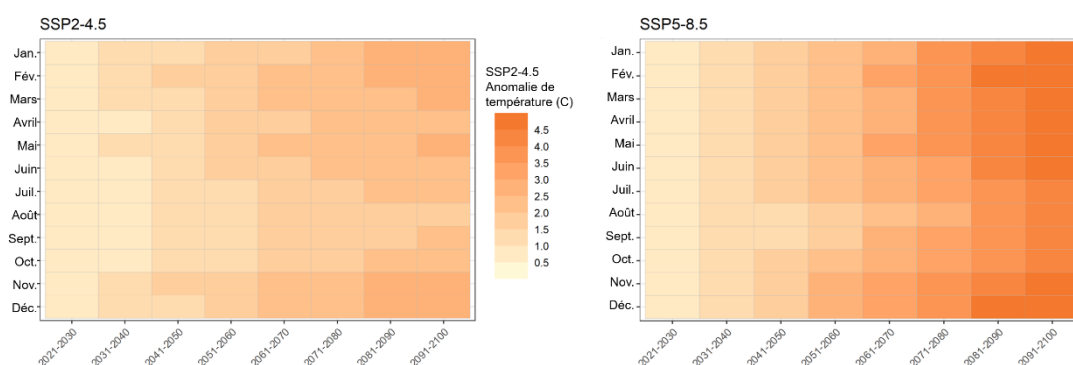


Figure 5-6 : carte thermique de l'anomalie des températures projetée

5.3 Marges du changement climatique pour la pluviométrie nominale

5.3.1 Contexte et approche

En plus de provoquer une hausse pluviométrique sur une échelle chronologique annuelle, le changement climatique peut entraîner une hausse de l'intensité des précipitations qui, à son tour, entraînera probablement des changements dans la réponse au ruissellement.

Les courbes d'intensité, durée et fréquence (IDF) constituent souvent la base nominale des ouvrages de gestion des ressources hydriques. On peut analyser les résultats des MCG afin de dériver des marges ou facteurs à appliquer pour relever l'intensité des précipitations afin de permettre aux conceptions d'intégrer les changements climatiques futurs.

SRK a procédé à une analyse des projections de changement climatique afin d'en dériver des marges ou des facteurs de relèvement pour ajuster les courbes IDF élaborées par SRK (SRK, 2022b). La méthodologie appliquée par SRK s'est fondée sur celle élaborée pour le Canada (Simonovic et al., 2016 et Schardong et al., 2021). La méthodologie décrit comment les précipitations seront modifiées dans les conditions du changement climatique jusqu'en 2100, et comment cela affectera les courbes IDF. La méthode appliquée était la suivante :

- On applique une analyse statistique pour adapter la répartition théorique sélectionnée aux données pluviométriques historiques et futures. On applique la répartition de Gumbel, dont les paramètres ont été calculés à l'aide de la méthode des moments L.

- On applique un algorithme d'optimisation pour ajuster les relations analytiques (équations) aux courbes IDF.
- L'algorithme de mise à jour de IDF combine les données pluviométriques historiques avec les données des MCG afin d'élaborer l'IDF des périodes futures.

Chacun des 35 modèles climatiques mondiaux a fourni les précipitations quotidiennes maximums annuelles des périodes historiques (de référence) et prévues par scénario.

L'analyse de la fréquence des précipitations de Simandou a conduit à l'élaboration de deux ensembles de courbes IDF, l'un pour Pic de Fon et l'autre pour Ouéléba, appelés respectivement Groupe 1 et Groupe 2 (SRK, 2022).

Sachant que la méthodologie IDF repose sur des données jaugées, les stations ARG_WY1 et AWS_MAF ont été choisies comme représentatives du groupe 1 et du groupe 2, respectivement (voir le rapport analytique IDF de SRK, 2022).

Après application de la méthodologie sur tous les MCG et l'analyse des valeurs médianes, les analyses se sont traduites par un changement projeté pour la gamme de périodicités : 5, 10, 20, 50, 100 et 200 ans, et des durées de tempête d'une à 24 heures.

5.3.2 Résultats

Les Tableau 5-4 et Tableau 5-5 présentent des résultats abrégés considérés comme pertinents pour le processus nominal des IDF du groupe 1 (Pic de Fon) et du groupe 2 (Ouéléba), respectivement. Le changement projeté varie selon la durée de la tempête, la périodicité et l'horizon chronologique. Pour les périodicités de 5 à 100 ans, le facteur de relèvement recommandé pour le scénario SSP2-4.5 est généralement de l'ordre de 20 % dans les années 2030 pour le groupe 1, et de 25 % pour le groupe 2. Pour le scénario SSP5-8.5, les facteurs de relèvement varient de 20 % dans les années 2030 à 40 % dans les années 2080 (groupe 1), et de 25 % dans les années 2030 à 45 % dans les années 2080 (groupe 2). Ces facteurs de relèvement distillés sont résumés dans le Tableau 5-5 et recommandés pour utilisation en conception hydraulique.

Tableau 5-4 : changement relatif de l'intensité ou profondeur pluviométrique nominale par rapport au scénario de référence [%] du groupe 1 (Pic de Fon)

Périodicité quinquennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	10	10	10	25
6	15	20	20	40
24	20	20	20	40
Périodicité vicennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	15	20	20	40
6	15	20	20	40
24	15	20	10	40
Périodicité centennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	Années 2030	Années 2080	Années 2030	Années 2080
1	20	20	30	50
6	20	20	20	35
24	20	25	25	25

Périodicité décennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	10	10	10	35
6	15	20	15	35
24	15	20	15	35
Périodicité de 50 ans				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2080s	2030s
1	20	20	20	40
6	20	20	20	30
24	20	20	20	30
Périodicité de 200 ans				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	Années 2030	Années 2080	Années 2080	Années 2030
1	30	35	30	60
6	30	30	30	35
24	30	30	30	30

Tableau 5-5 : facteurs de relèvement (en pourcentage) du changement climatique pour les durées de tempête jusqu'à 24 heures et les périodicités quinquennale à centennale

Scénario	Années 2030	Années 2080
SSP2-4.5	20 %	20 %
SSP5-8.5	20 %	40 %

Tableau 5-6 : changement relatif de l'intensité ou profondeur pluviométrique nominale par rapport au scénario de référence [%] du groupe 2

Périodicité quinquennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	10	15	15	30
6	15	15	15	30
24	10	10	10	20
Périodicité vicennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	25	30	30	50
6	25	20	20	45
24	15	15	15	30
Périodicité centennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	35	45	40	70
6	35	30	30	50
24	30	35	35	45

Périodicité décennale				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2030s	2080s
1	20	25	20	40
6	20	20	20	40
24	10	10	10	25
Périodicité de 50 ans				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2080s	2030s
1	30	40	35	60
6	25	30	30	50
24	25	20	25	40
Périodicité de 200 ans				
Durée de la tempête [h]	SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	2030s	2080s	2080s	2030s
1	40	50	45	75
6	40	40	40	55
24	35	35	40	55

Tableau 5-7 : facteurs de relèvement (en pourcentage) du changement climatique pour les durées de tempête jusqu'à 24 heures et les périodicités quinquennale à centennale du groupe 2

Scénario	Années 2030	Années 2080
SSP2-4.5	25 %	25 %
SSP5-8.5	25 %	45 %

6 ANALYSE COMPARATIVE AVEC L'EVALUATION NATIONALE

Les projections de changement climatique déterminées dans les sections ci-dessus ont été comparées aux constats publiés par le ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts guinéen :

- MEEF (2018) : deuxième communication nationale à la CCNUCC. La communication nationale est une obligation faite aux signataires de la Convention de communiquer les mesures prises pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre et toute vulnérabilité et impact envers le changement climatique. Le présent document examine les MCG tirés du rapport d'évaluation 4, génération de modèles plus anciens que ceux utilisées par SRK.
- MEEF (2019) : stratégie nationale d'adaptation au changement climatique et plan d'action. Les résultats du changement climatique à l'échelle nationale ont été évalués à l'aide du logiciel SimCLIM et se fondent sur un ensemble de 40 MCG du CMIP5, également une génération de modèles plus anciens que ceux utilisés par SRK.

6.1 Bilan historique

La tendance de TAMA sur la période 1961-2010 est positive dans toute la Guinée. Entre la période d'évaluation de 1961-2010 et la période de référence historique de 1961-1990, la TAMA a augmenté entre 0,1 et 0,8°C selon la région (MEEF 2018).

La tendance des précipitations annuelles sur la période 1961-2010 est négative dans toute la Guinée. Entre la période de 1981-2010 et la période de référence historique de 1961-1990, les PAM ont diminué entre 1,8 et 7,4 %. La diminution la plus faible a été observée dans le sud-est (-1,8 %), où se trouve le site du projet de Simandou.

6.2 Projections de changement climatique

Les informations ci-dessous sont extraites des projections de changement climatique telles que présentées par le MEEF (2019) pour le RCP4.5 dans le cadre du CMIP5. Les variations de la température de l'air et des précipitations ont été analysées pour l'ensemble du pays. Le Tableau 6-1 présente l'anomalie de température de l'air et de précipitations projetée due au changement climatique dans le cadre du RCP4.5 pour plusieurs périodes.

Tableau 6-1 : changements à l'échelle nationale de la température de l'air et des précipitations annuelles en Guinée par rapport à la référence de 1961-1990 pour le RCP4.5 (MEEF 2019)

Période	Température de l'air	Précipitations totales
2020	+0,5 à +0,7°C	+0,4 à +0,6 %
2030	+0,7 à +1,0°C	+0,6 à +0,8 %
2050	+1,1 à +1,5°C	+1,3 à +1,6 %
2075	+1,4 à +2,0°C	+1,3 à +1,6 %
2100	+1,4 à +2,0°C	+1,2 à +1,5 %

La Figure 6-1 et la Figure 6-2 montrent la variation prévue du changement climatique dans le pays pour la température de l'air et les précipitations annuelles, respectivement, selon le MEEF (2019). Les variations régionales au sein du pays suggèrent que la plus forte hausse de la température de l'air surviendra dans le nord-est. Dans la région sud-est, où se trouve le projet de Simandou, on prévoit que la hausse de la température de l'air ne soit que faible à modérée. Les précipitations annuelles moyennes devraient augmenter le plus dans le sud-est par rapport au reste du pays, d'1,6 % au maximum toutefois.

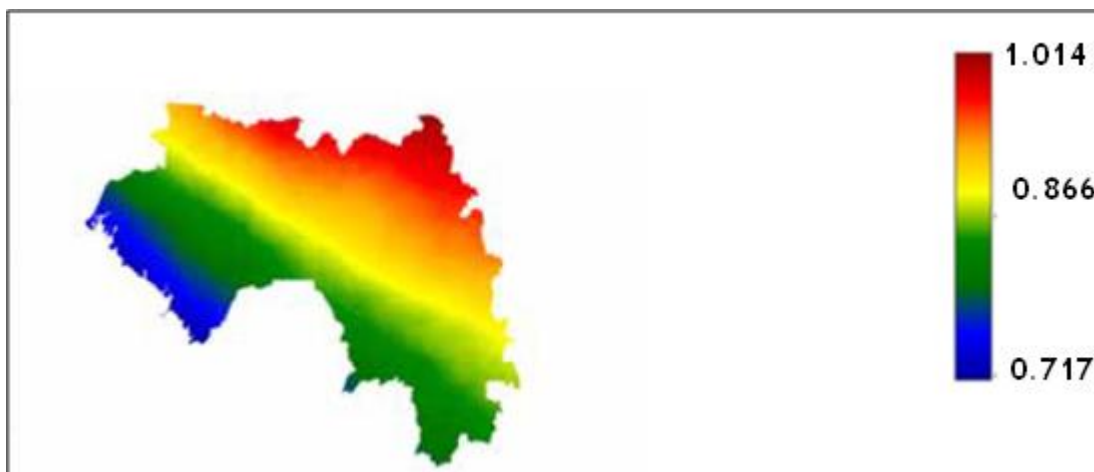


Figure 6-1 : anomalie de la température de l'air (°C) en Guinée d'ici 2100 (MEEF 2019)

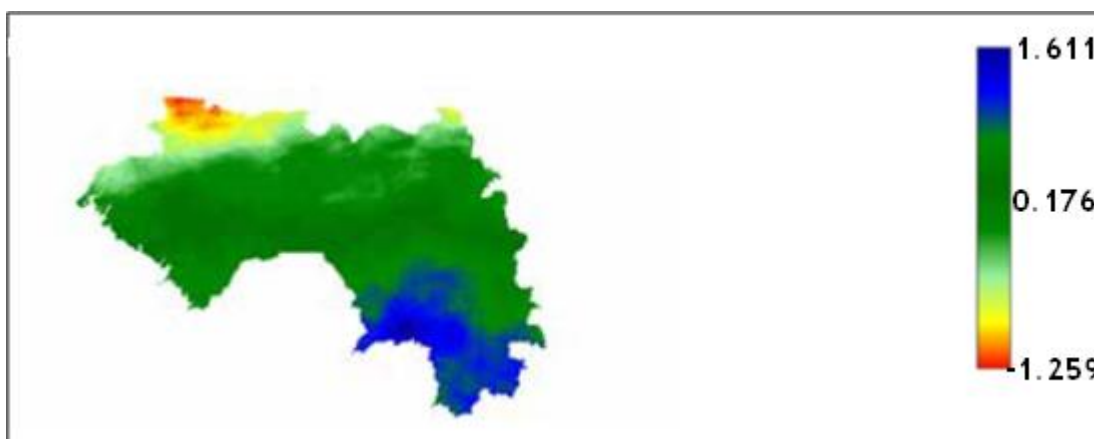


Figure 6-2 : anomalie des précipitations annuelles moyennes (%) pour la Guinée d'ici 2100 (MEEF 2019)

6.3 Comparaison des analyses

Le logiciel SimCLIM employé dans la modélisation MEEF utilise la simple mise à l'échelle des régimes appliquée aux MCG, alors que l'ensemble de données NEX-GDDP-CMIP6 utilisé dans l'analyse SRK comprend une correction de biais locale ainsi qu'une réduction d'échelle spatiale sur les MCG. La comparaison suggère que :

- Les différences dans les projections entre l'analyse des MCG de SRK et l'analyse régionale du MEEF (2019) peuvent être attribuées à des différences dans les techniques de réduction d'échelle.

- Les MCG et les modèles d'analyse régionale sont tous deux alignés sur la tendance générale des changements des précipitations annuelles moyennes et de la température de l'air au cours des prochaines décennies.

7 IMPLICATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'EXPLOITATION MINIÈRE

L'analyse du changement climatique est en train de devenir une norme industrielle pour l'évaluation hydrologique visant à éclairer la conception des travaux de génie civil. L'analyse affecte les évaluations telles que le bilan hydrique du site, l'analyse des défaillances des barrages et la conception des ouvrages de génie civil.

Un climat changeant peut poser des défis considérables aux sociétés minières et aux gouvernements chargés de réglementer cette industrie. Il faut tenir compte de l'accroissement de la variabilité climatique et des phénomènes météorologiques extrêmes dans la conception et la construction des infrastructures minières et du corridor de transport. L'impact du changement climatique sur la biodiversité et les ressources hydriques doit également être pris en compte, en particulier lorsque des impacts sont anticipés indépendamment de l'activité minière envisagée. Il s'agit d'une priorité particulière pour Simandou, où l'aquifère du gisement joue un rôle crucial dans le maintien des débits de saison sèche vers le réseau hydrographique local et des rejets printaniers vers les habitats essentiels.

La prise en compte du changement climatique lors de l'élaboration de projets est désormais considérée comme une bonne pratique industrielle, et doit être incluse comme domaine d'incertitude dans la conception (*ICMM • S'adapter à un climat changeant : bâtir la résilience dans l'industrie minière et métallurgique*, 2019.).

En faisant appel aux projections climatiques, il peut s'avérer possible d'atténuer les changements climatiques, de s'y adapter et de construire des infrastructures minières sûres.

L'adaptation climatique offre des perspectives au secteur minier et métallurgique. La réduction de l'exposition aux risques climatiques peut réduire les coûts, préserver ou améliorer les revenus, améliorer les relations avec les parties prenantes et contribuer à identifier de nouveaux débouchés commerciaux. Elle offre également l'occasion de réfléchir à des stratégies de fermeture minière qui pourraient atténuer certains des impacts du changement climatique.

L'évaluation des risques et opportunités liés au changement climatique est recommandée pour cerner les implications des conclusions de ce rapport sur le projet de Simandou. L'évaluation doit impliquer toutes les parties prenantes et disciplines concernées.

8 CONCLUSIONS

Les conclusions et recommandations sont présentées dans la section Principaux constats, au début de ce rapport.

Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.

Desana Stambuk
Consultante principale en hydrotechnique
SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.

Dylan John
Consultant supérieur, gestion de projet
Chef de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.

Tony Rex
Consultant d'entreprise (hydrogéologie)
Directeur de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.

Victor Muñoz
Consultant principal en hydrotechnique
SRK Consulting (UK) Limited

9 RÉFÉRENCES

- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M.N., Rashid, I.U., Kamil, S., Abid, M.A., O'Brien, E., Ismail, M., Reboita, M.S., Sörensson, A.A., Arias, P.A., Alves, L.M., Tippet, M.K., Saeed, S., Haarsma, R., Doblas-Reyes, F.J., Saeed, F., Kucharski, F., Nadeem, I., Silva-Vidal, Y., Rivera, J.A., Ehsan, M.A., Martínez-Castro, D., Muñoz, Á.G., Ali, Md.A., Coppola, E., Sylla, M.B., 2021. Évaluation des performances du CMIP6 et changements de température et de précipitations prévus en Amérique du Sud. *Earth Syst Environ* 5, 155–183. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Fischer, E.M., Knutti, R., 2016. La hausse des fortes précipitations constatée confirme la théorie et les modèles initiaux. *Nature Clim Change* 6, 986–991. <https://doi.org/10.1038/nclimate3110>
- ICMM • S'adapter à un climat changeant : bâtir la résilience dans l'industrie minière et métallurgique [WWW Document], n.d. URL <https://www.icmm.com/en-gb/guidance/environmental-stewardship/adapting-climate-change-2019> (accès le 12/10/21).
- GIEC , 2021 : résumé à l'intention des décideurs. Dans : *Changement climatique 2021 : base de la science physique. Contribution du groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou (éds.)].
- GIEC, 2021 : *Changement climatique 2021 : base de la science physique. Contribution du groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou (éds.)].
- Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., Meehl, G.A., 2010. Défis de la combinaison des projections de plusieurs modèles climatiques. *Journal of Climate* 23, 2739–2758. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3361.1>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., Zhou, B. (éds.), 2021. *Changement climatique 2021 : base de la science physique. Contribution du groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge University Press.
- Milly, P.C.D., Bétancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J., 2008. La stationnarité est morte : où va gestion hydrique ? *Science* 319, 573–574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
- Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (MEEF), 2018. *Seconde communication nationale à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/GUINEA%20-%20SCN-1.pdf>
- Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (MEEF), 2019. *Stratégie nationale sur le changement climatique*. <https://meef-guinee.org/wp-content/uploads/2021/05/Strategie-Nationale-sur-le-changement-climatique.pdf>
- Najafi, M.R., Moradkhani, H., 2015. Analyse d'ensembles multi-modèles des extrêmes de ruissellement en vue des évaluations des impacts sur le changement climatique. *Journal of Hydrology* 525, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.045>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Changement environnemental mondial*, 42, 169-
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B.M., 2016. Projet d'intercomparaison de modèles de scénarios (ScenarioMIP) du CMIP6. *Élaboration de modèles géoscientifiques* 9, 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- R Core Team, 2021. *R : langage et environnement pour l'informatique statistique*. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Reifen, C., Toumi, R., 2009. Projections climatiques : les performances passées ne sont-elles aucune garantie de compétences futures ? *Geophysical Research Letters* 36. <https://doi.org/10.1029/2009GL038082>
- Riahi, K. et al, 2017. *Scénarios socio-économiques partagés (SSP) : vue d'ensemble*

- Rico, M., Benito, G., Salgueiro, A.R., Díez-Herrero, A., Pereira, H.G., 2008. Défaillances de bassins de retenue des déchets signalées. *Journal of Hazardous Materials* 152, 846–852. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.050>
- Schardong, A., Gaur, A., P. Simonovic, S., Sandink, D., 2021. Manuel technique de l'outil informatisé d'élaboration de courbes intensité-durée-fréquence dans un climat changeant, v.5.0.
- Schlumberger Water Services (2012). Projet de minerai de fer de Simandou. Études d'ingénierie finale. Gestion hydrique minière. Réf. : 50837/R3. Décembre 2012
- Simonovic, S.P., Schardong, A., Sandink, D., Srivastav, R., 2016. Outil en ligne d'élaboration de courbes intensité-durée-fréquence dans un climat changeant. *Environmental Modelling & Software* 81, 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.016>
- SRK, mine de Simandou 2022 ; analyse de l'intensité et de la profondeur-durée-fréquence pluviométriques.
- SRK, 2022a. Mine de Simandou ; rapport climatique de référence.
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., van Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Tokarska, K.B., Hurtt, G., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Meehl, G., Moss, R., Bauer, S.E., Boucher, O., Brovkin, V., Byun, Y.-H., Dix, M., Gualdi, S., Guo, H., John, J.G., Kharin, S., Kim, Y., Koshiro, T., Ma, L., Olivié, D., Panickal, S., Qiao, F., Rong, X., Rosenbloom, N., Schupfner, M., Séférian, R., Sellar, A., Semmler, T., Shi, X., Song, Z., Steger, C., Stouffer, R., Swart, N., Tachiiri, K., Tang, Q., Tatebe, H., Voldoire, A., Volodin, E., Wyser, K., Xin, X., Yang, S., Yu, Y., Ziehn, T., 2021. Projections des modèles climatiques du projet d'intercomparaison de modèles de scénarios (ScenarioMIP) du CMIP6. *Earth System Dynamics* 12, 253–293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>
- Webster S., Perry M. et Vosper S. (2010) Étude climatologique de la région des collines de Simandou en Guinée. Phase 3 : étude de modélisation numérique étendue des impacts de l'exploitation minière. Rapport final à Schlumberger Water Services, 13/01/2010, The Met Office, R.-U.
- Wyser, K., Kjellström, E., Koenigk, T., Martins, H., Döscher, R., 2020. Prévisions climatiques plus chaudes dans EC-Earth3-Veg : rôle des changements dans les concentrations de gaz à effet de serre du CMIP5 au CMIP6. *Environ. Res. Lett.* 15, 054020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab81c2>
- Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, 2018. Seconde communication nationale à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
- Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, 2018. Stratégie nationale sur le changement climatique

Abréviations

GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
RE5	Cinquième rapport d'évaluation du GIEC
RE6	Sixième rapport d'évaluation du GIEC
CMIP	Projet d'intercomparaison de modèles couplés
CMIP6	Sixième phase du CMIP
CO ₂	Dioxyde de carbone
MCG	Modèle de circulation générale
GES	Gaz à effet de serre
IDF	Intensité-Durée-Fréquence
TAMA	Température annuelle moyenne de l'air
PAM	Précipitations annuelles moyennes
MEEF	Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (Guinée)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEX-GDDP-CMIP6	NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections CMIP6
RCP	Profil représentatif d'évolution de concentration
SSP	Scénario socio-économique partagé
NU	Nations Unies
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
PMRC	Programme mondial de recherches sur le climat

Glossaire

Adaptation : processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation s'emploie à modérer ou éviter les préjudices ou à exploiter les opportunités bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat prévu et à ses effets. (de : *GIEC, RE5, GT2, glossaire*)

Scénarios de référence : RCP qui ne comprennent aucune cible spécifique d'atténuation climatique. Le terme scénario de référence s'utilise souvent de manière interchangeable avec scénario de base et scénario sans politique

Forçage climatique : facteurs qui entraînent des changements du climat terrestre tels qu'émissions de gaz à effet de serre et changement d'affectation foncière

Modèle climatique : représentation numérique du système climatique d'après les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, leurs interactions et les processus de rétroaction, et tenant compte de certaines de ses propriétés connues. (de : *GIEC, RE5, GT2, glossaire*)

Projections climatiques : réponse simulée du système climatique à un scénario de forçage climatique futur (p. ex. émission ou concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols) généralement dérivée à l'aide de modèles climatiques (*adapté du GIEC, RE5, GT2, glossaire*)

Ensemble : groupe de simulations de modèles climatiques par opposition à une projection de modèle climatique unique

Modèle de circulation générale (MCG)/modèle climatique mondial (MCM) : modèles numériques représentant les processus physiques dans l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la surface terrestre

Évaluations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) : évaluations scientifiques mondiales récurrentes du climat

Incertitude du modèle : différences entre les projections climatiques dues au choix du modèle climatique

Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) : les RCP sont des scénarios de forçage radiatif principalement basés sur la quantité de forçage radiatif présente à la fin du 21^e siècle. Les RCP ont servi à façonner les MCG du CMIP5 dans le cadre du cinquième rapport d'évaluation du GIEC.

Scénario : trajectoires quantitatives et trames qualitatives de l'avenir. Les événements naturels imprévisibles et rares non liés à l'influence humaine sur le climat ne sont pas inclus dans l'ensemble des scénarios analysés et présentés dans le RE6.

Scénarios socio-économiques partagés : différents scénarios décrivant comment la société pourrait évoluer à l'avenir. Cela comprend la spéculation sur différentes variables telles que croissance démographique, inégalité des revenus et consommation/demande énergétique.

Socio-économique : comprend des facteurs tels que population, produit intérieur brut et autres facteurs socio-économiques pertinents pour comprendre les implications du changement climatique.

ANNEXE

A INFORMATIONS AFFERENTES

Tableau A 1 : résumé des récits des SSP.

Scénario SSP	Description
SSP1	Durabilité : emprunter la voie verte (défis faibles pour l'atténuation et l'adaptation) <i>Le monde évolue progressivement, mais de manière généralisée, vers une voie plus durable, en mettant l'accent sur un développement plus inclusif qui respecte les limites environnementales perçues. La gestion du patrimoine mondial s'améliore lentement, les investissements éducatifs et sanitaires accélèrent la transition démographique et l'accent mis sur la croissance économique évolue vers une priorité plus marquée au bien-être humain. Contrées par une volonté croissante d'atteindre les objectifs de développement, les inégalités se réduisent à la fois entre les pays et au sein des pays. La consommation s'oriente vers une faible croissance matérielle et une intensité énergétique et en ressources moindre.</i>
SSP2	Milieu de la route (défis moyens pour l'atténuation et l'adaptation) <i>Le monde suit un chemin dans lequel les tendances sociales, économiques et technologiques ne s'écartent pas nettement des schémas historiques. Le développement et la croissance des revenus évoluent de manière inégale, certains pays réalisant des progrès relativement satisfaisants tandis que d'autres sont en deçà des attentes. Les institutions mondiales et nationales travaillent à la réalisation des objectifs de développement durable, mais progressent lentement. Les systèmes environnementaux se dégradent, bien qu'il y ait quelques améliorations et que l'intensité de l'utilisation des ressources et de l'énergie diminue globalement. La croissance démographique mondiale est modérée, et se stabilise dans la seconde moitié du siècle. L'inégalité des revenus persiste ou ne s'améliore que lentement, et les défis subsistent pour réduire la vulnérabilité aux changements sociétaux et environnementaux.</i>
SSP3	Rivalité régionale : une route semée d'embûches (défis élevés pour l'atténuation et l'adaptation) <i>La résurgence du nationalisme, les inquiétudes quant à la compétitivité et à la sécurité ainsi que les conflits régionaux poussent certains pays à se concentrer de plus en plus sur des problèmes intérieurs ou, tout au plus, régionaux. Au fil du temps, les politiques s'orientent de plus en plus vers les questions de sécurité nationale et régionale. Les pays se concentrent sur la réalisation des objectifs de sécurité énergétique et alimentaire dans leurs propres régions, au détriment d'un développement plus large. Les investissements dans le développement éducatif et technologique diminuent. Le développement économique est lent, la consommation est intensive en matières premières et les inégalités persistent ou s'aggravent avec le temps. La croissance démographique est faible dans les pays industrialisés, et élevée dans les pays en développement. Une faible priorité internationale à s'atteler aux préoccupations environnementales entraîne une forte dégradation de l'environnement dans certaines régions.</i>
SSP4	Inégalités : une route divisée (défis faibles pour l'atténuation, défis élevés pour l'adaptation) <i>Des investissements très inégaux dans le capital humain, combinés à des disparités croissantes en termes d'opportunités économiques et de pouvoir politique, conduisent à des inégalités et une stratification croissantes entre les pays et au sein de ceux-ci. Au fil du temps, le fossé se creuse entre une société connectée internationalement qui contribue à des secteurs de l'économie mondiale intensifs en connaissances et capitaux, et une mosaïque de sociétés à faibles revenus et peu instruites travaillant dans une économie à forte intensité de main-d'œuvre et faible technologie. La cohésion sociale se dégrade, et les conflits et troubles se répandent de plus en plus. Le développement technologique est élevé dans l'économie et les secteurs de haute technologie. Le secteur énergétique globalement connecté se diversifie grâce à des investissements à la fois dans des combustibles à forte intensité de carbone comme le charbon et le pétrole non conventionnel, mais également dans des sources d'énergie à faible intensité de carbone. Les politiques environnementales sont axées sur les problématiques locales touchant les régions à revenu moyen et élevé.</i>
SSP5	Développement des combustibles fossiles : emprunter l'autoroute (défis élevés pour l'atténuation, défis faibles pour l'adaptation) <i>Le credo de ce monde se porte de façon croissante sur les marchés concurrentiels, l'innovation et les sociétés participatives pour parvenir à des progrès technologiques rapides et au développement du capital humain comme voie du développement durable. Les marchés mondiaux sont de plus en plus intégrés. Il y a par ailleurs de forts investissements dans la santé, l'éducation et les institutions en vue d'améliorer le capital humain et social. Dans le même temps, la pression en faveur du développement économique et social s'accompagne de l'exploitation d'abondantes ressources en combustibles fossiles et de l'adoption de modes de vie à forte intensité de ressources et d'énergie dans le monde entier. Tous ces facteurs aboutissent à une croissance rapide de l'économie mondiale, alors que la population mondiale culmine et diminue au 21^e siècle. Les problèmes environnementaux locaux tels que la pollution atmosphérique sont gérés avec succès. On croit en la capacité de gérer efficacement les systèmes sociaux et écologiques, y compris grâce à la géo-ingénierie si nécessaire.</i>

Tableau A 2 : modèles climatiques mondiaux (MCM) examinés dans le cadre de la phase 6 du projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP6) et dont l'échelle à été réduite par la NASA dans le cadre du projet NEX-GDDP

Institut/centre climatique	Pays	Nom du MCM
Centre climatique de Pékin	Chine	BCC-CSM1.1
Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatiques	Canada	CanESM2
Centre national de recherches météorologiques, Centre Européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique	France	CNRM-CM6-1 CNRM-ESM2-1
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Bureau of Meteorology	Australie	ACCESS-CM2 ACCESS-ESM1.5
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence	Australie	CSIRO-Mk3.6.0
Institut Pierre-Simon Laplace	France	IPSL-CM6A-LR
Institut de recherche atmosphérique et océanique (Université de Tokyo), Institut national d'études environnementales et Agence japonaise des sciences et technologies marines et terrestres	Japon	MIROC-ES2L
		MIROC6
Institut météorologique Max Planck	Allemagne	MPI-ESM1-2-HR MPI-ESM1-2-LR
Institut de recherche météorologique	Japon	MRI-CGCM3
National Centre for Atmospheric Research	États-Unis	CCSM2 CESM2-WACCM
Centre de recherche climatique de Bjerknes, Institut météorologique norvégien	Norvège	NorESM1-M
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	États-Unis	GFDL-CM4 (gr1) GFDL-ESM2G (gr2) GFDL-ESM4
Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italie	CMCC-CM2-SR5 CMCC-ESM2
Consortium EC-Earth	Union européenne	EC-Earth3 EC-Earth3-Veg-LR
Académie chinoise des sciences	Chine	FGOALS-g3
National Aeronautics and Space Administration National Aeronautics and Space Administration Institut Goddard d'études spatiales	États-Unis	GISS-E2-1-G
Projet britannique de modélisation du système terrestre	RU	HadGEM3-GC31-LL HadGEM3-GC31-MM UKESM1-0-LL
Centre de recherche sur le changement climatique Institut indien de météorologie tropicale	Inde	IITM-ESM
Académie russe des sciences, Institut de mathématiques numériques	Russie	INM-CM4-8 INM-CM5-0
Institut national des sciences météorologiques	République de Corée	KACE-1-0-G
Institut coréen des sciences et technologies océaniques	République de Corée	KIOST-ESM
Institut de recherche météorologique de l'agence météorologique du Japon	Japon	MRI-ESM2-0
Université des sciences et technologies informatiques de Nanjing	Chine	NESM3
Centre climatique norvégien	Norvège	NorESM2-LM NorESM2-MM

Tableau A3 : anomalie des température saisonnières des SSP-4.5 et SSP5-8.5

Anomalie de température (°C) du SSP2-4.5								
mois	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
Jan.	0.8	1.2	1.5	1.9	1.9	2.4	2.6	2.6
Fév.	0.9	1.2	1.5	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8
Mars	0.7	1.0	1.4	1.7	2.1	2.4	2.4	2.7
Avril	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.3	2.4
Mai	0.8	1.1	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7
Juin	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.1	2.3	2.3
Juil.	0.6	0.9	1.2	1.5	1.6	1.9	2.0	2.1
Août	0.6	0.9	1.1	1.4	1.5	1.8	1.9	2.0
Sept.	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0
Oct.	0.6	0.9	1.2	1.5	1.6	1.9	2.0	2.2
Nov.	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5	2.7
Déc.	0.8	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.8

Anomalie de température (°C) du SSP5-8.5								
mois	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
Jan.	0.9	1.3	1.8	2.4	3.0	3.8	4.5	5.3
Fév.	1.0	1.3	1.9	2.4	3.0	3.6	4.5	5.2
Mars	0.7	1.3	1.7	2.2	2.8	3.6	4.4	5.1
Avril	0.7	1.1	1.6	2.1	2.8	3.5	4.2	4.8
Mai	0.8	1.2	1.8	2.3	3.1	3.8	4.4	5.1
Juin	0.8	1.1	1.7	2.2	2.8	3.5	4.2	4.7
Juil.	0.7	1.1	1.5	2.0	2.6	3.2	3.8	4.3
Août	0.7	1.0	1.4	1.9	2.4	3.0	3.6	4.1
Sept.	0.7	1.1	1.5	2.0	2.5	3.1	3.6	4.1
Oct.	0.7	1.1	1.6	2.0	2.6	3.2	3.8	4.3
Nov.	0.9	1.3	1.9	2.6	3.1	3.7	4.5	5.4
Déc.	0.9	1.3	1.9	2.6	3.3	4.0	4.8	5.6

Tableau A4 : anomalie des précipitations saisonnière des SSP-4.5 et SSP5-8.5

Anomalie des précipitations [%] du SSP2-4.5								
mois	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
Jan.	-19.6	-19.7	-27.0	-5.9	-28.4	-32.9	-25.0	-26.2
Fév.	-7.6	-17.6	-1.7	-21.3	-8.4	-0.6	-10.6	-17.9
Mars	4.5	-5.0	-12.7	-8.5	-16.2	-6.3	0.0	-8.9
Avril	-0.8	-4.0	-3.8	-9.3	-10.2	-5.2	-9.4	-9.6
Mai	0.2	-0.5	-3.1	-9.3	-1.6	-4.9	-10.3	-8.3
Juin	0.0	-0.4	0.3	0.1	-0.9	-2.9	0.6	-1.6
Juil.	2.9	3.5	2.6	3.8	3.4	3.4	3.2	5.7
Août	0.9	-1.1	0.3	-0.6	-1.0	-1.1	-0.6	-1.8
Sept.	3.8	2.8	2.0	2.4	0.9	-0.5	0.9	1.8
Oct.	3.8	3.4	3.8	3.4	6.2	1.8	5.3	3.8
Nov.	14.1	10.9	5.6	7.2	15.5	13.7	20.7	13.7
Déc.	3.6	-4.4	-2.3	-11.5	-10.8	2.3	3.4	4.3

Anomalie des précipitations [%] du SSP5-8.5								
mois	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100
Jan.	-41.7	-31.2	-4.7	-35.1	-28.8	-23.7	-10.3	-17.1
Fév.	-12.1	-8.3	-24.9	-35.3	-24.9	-36.0	-31.1	-29.8
Mars	-2.9	-10.7	-18.8	-27.2	-24.4	-26.5	-25.7	-35.2
Avril	-0.3	-7.1	-14.8	-17.7	-20.6	-19.4	-20.8	-16.9
Mai	-2.2	-4.1	-5.2	-10.3	-19.6	-20.3	-23.0	-20.3
Juin	-1.6	1.9	-3.9	-6.5	-12.4	-10.7	-10.4	-12.9
Juil.	5.2	0.8	0.8	0.7	-3.6	-1.9	-1.6	-2.1
Août	-0.2	0.2	-1.8	-4.8	-6.5	-9.9	-9.4	-6.7
Sept.	2.1	3.7	1.8	1.9	0.1	-0.3	-1.7	0.5
Oct.	5.8	3.6	11.7	8.3	9.6	5.3	9.8	13.6
Nov.	12.0	5.7	17.8	13.5	16.6	10.7	25.5	29.8
Déc.	-12.7	-7.5	1.8	0.5	20.2	9.0	5.3	31.0