



ANALYSE CLIMATIQUE HAÏTI



Avis de non-responsabilité :

Les opinions exprimées dans cette publication sont celles de leur(s) auteur(s) et ne représentent pas nécessairement celles des Nations Unies, y compris le PNUD, ni des Etats Membres.

Préparé par Martin Saraceno, Consultant International
martin.saraceno@gmail.com

29 Novembre 2014

Table des matières

1 _ Haïti : généralités	4
2 _ Climat : passé récent et présent	5
2.1 _ Observations générales	5
2.2 _ Analyse de la base de données CRU	5
2.2.1 _ Analyse spatiale : Température	6
2.2.2 _ Analyse spatiale : Précipitation	6
2.2.3 _ Analyse temporelle	7
3 _ Climat : le futur selon les modèles à haute résolution spatiale	8
3.1 _ Analyse du modèle PRECIS	9
3.1.1 _ Tendances du climat récent	9
3.1.2 _ Tendances du climat futur	10
3.2 _ Conclusions et analyses du climat futur	11
4 _ Autres facteurs qui affectent le climat d'Haïti	12
4.1 _ Variabilité interannuelle	12
4.2 _ Élévation du niveau de la mer	12
4.3 _ Estimation de la vulnérabilité d'Haïti aux CC	13
5 _ Documentation Calculs	16
Références	18
Annexe I : Table et figures données CRU	19
Annexe II: Echam	26
Annexe III: Hadley	62

1

Haïti: Généralités

Haïti occupe la partie occidentale de l'île d'Hispaniola, qu'elle partage avec la République Dominicaine. Le relief d'Haïti est dominé par des montagnes escarpées entrecoupées de vallées fluviales et terrains côtiers plats.

Avec son littoral s'étendant sur 1771 km et une population de plus de 8 millions d'habitants, Haïti est densément peuplée : une grande partie de la population réside près de la côte.

En dépit d'être le premier pays d'Amérique latine à accéder à l'indépendance, Haïti a une longue histoire de violence politique et de déséquilibre économique. Les pressions démographiques ont conduit à la dégradation extrême de l'environnement extrême, avec une estimation de 98% des forêts défrichées pour obtenir du bois de chauffe (PANA, Haïti). Ces facteurs entre autres ont laissé la plupart de la population haïtienne extrêmement vulnérable aux catastrophes naturelles. Les ouragans et les tempêtes tropicales frappent régulièrement Haïti, provoquant des inondations massives et des glissements de terrain meurtriers. En Janvier 2010, Haïti a été décimée par un tremblement de terre sans précédent de magnitude de 7.3.

Les chocs répétés et dévastateurs des catastrophes naturelles (ouragans, inondations, sécheresses, tremblements de terre) sont plus difficiles à gérer quand le pays ne dispose pas de plans de gestion de l'environnement à long terme. Afin de réduire la vulnérabilité d'Haïti à ces dangers, des mesures d'adaptation doivent être intégrées dans la planification du développement dans les différents domaines liés à la gestion de l'eau, à l'agriculture, à la pêche, à l'utilisation des terres et à la foresterie.

2

Climat: Passé Récent et Présent

2.1_Observations générales

Grâce à l'orographie, le climat d'Haïti peut se diviser en deux : dans les régions montagneuses d'Haïti prévaut le climat subtropical, alors que c'est le régime tropical qui prédomine dans les plaines.

Les températures journalières varient généralement entre 19°C et 28°C en hiver et entre 23°C et 33°C en été. Les précipitations varient selon la topographie variée de l'île. Les régions centrales reçoivent plus de précipitations que le nord et l'ouest du pays. Les versants nord et les pentes exposées au vent dans les régions montagneuses reçoivent jusqu'à trois fois plus de précipitations que les pentes sous le vent. Les précipitations annuelles dans les montagnes sont en moyenne de 1200 mm, tandis que les précipitations annuelles dans les basses terres ne dépassent pas 550 mm. La plaine des Gonaïves et la partie orientale de la plaine du Cul-de-Sac sont les régions les plus sèches du pays, où, combiné avec la température, le taux d'évaporation est élevé (Water Resource Assesment of Haiti).

L'île est soumise à la variabilité entraînée par les conditions El Niño. La saison des pluies est longue, en particulier dans les régions du nord et du sud de l'île, avec deux pics prononcés survenant entre Mars et Novembre.

2.2_Analyse de la base de données CRU

La base de données Climate Research Unit CRU TS3.10 (Harris et al, 2014) est construite à partir des données mensuelles de plusieurs stations météorologiques du monde. Les anomalies des stations sont interpolées dans cette base de données dans une grille de 0.5x0.5 degrés de latitude / longitude couvrant la surface terrestre de la planète (à l'exception de l'Antarctique), et combinées avec une climatologie existant pour obtenir des valeurs mensuelles absolues. Bien que cette base de données soit disponible de 1901 à 2013, nous avons considéré seulement la période 1970-2013. L'analyse des résultats obtenus est présentée ci-dessus en faisant référence aux figures qui sont présentées dans l'annexe I.

2.2.1_Analyse spatiale : Température

La moyenne de température pour la période 1970-2013 varie selon la région considérée. Les régions nord et ouest présentent les températures moyennes majeures, avec des valeurs entre 25 et 26.5 °C. Les régions centrale et sud-est présentent des valeurs entre 22.5 et 24°C (Fig. 1.1).

La tendance de la température pour la période 1970-2013 présente des valeurs majeures à 0.1 °C/décade significative seulement au nord et au sud du pays (Fig. 1.2). La valeur majeure est de 0.14 °C/décade. Considérant une augmentation constante de 0.12°C/décade signifie que dans 100 ans la température moyenne aura augmenté de 1.2 degré.

Les moyennes saisonnières (Fig. 1.3) indiquent clairement que la saison la plus chaude dans tout le pays est l'été, entre juin et août. Malgré la résolution des données, qui n'est pas suffisante pour distinguer précisément les régions montagneuses, on observe que dans les quatre saisons la région la plus fraîche est le sud-est, coïncidant avec une région montagneuse encore couverte par un pourcentage de végétation importante.

La tendance des moyennes saisonnières (Fig. 1.4) indique que l'augmentation de la température s'est produite surtout pendant l'été (juin-juillet-août) avec des valeurs qui vont jusqu'à 0.17 °C/décade. En primevère il n'y a pas eu d'augmentation significative de la température.

2.2.2_Analyse spatiale : Précipitation

La moyenne des précipitations mensuelles pour la période 1970-2013 indique que la précipitation varie entre 70 et 190 mm/mois selon la région considérée (Fig. 1.5). Les régions plus humides se trouvent au sud alors que les plus sèches sont au nord.

La tendance de la précipitation (Fig. 1.6) ne montrant aucune valeur significative, indique qu'il n'y a pas eu de grands changements dans la moyenne de précipitation entre les années 1970-2013.

Les cartes des moyennes saisonnières de la précipitation (Fig. 1.7) montrent clairement que la saison la plus sèche est l'hiver (décembre, janvier, février) et que les régions plus humides sont bien au sud du pays comme le présente la Fig. 1.5.

Les valeurs de tendance de la précipitation (Fig. 1.8) sont significatives seulement dans le sud-est du pays pendant l'été (juin-juillet-août) et dans la région centrale des Cayes.

2.2.3_Analyse temporelle

La climatologie de la précipitation et des températures (Fig. 1.9) moyennes dans tout le pays indique bien que :

- 1 La température a une distribution uni-modale, avec un maximum en août de 26.8°C et des valeurs minimales de 23°C en janvier.
- 2 La précipitation a une distribution bimodale avec un maximum en mai et une autre en octobre.

Dans les figures 1.10, 1.11, 1.12 et 1.13 les climatologies de la température et de la précipitation sont calculées en considérant les points indiqués avec une croix magenta dans la Fig. 1.1. On observe que les distributions uni et bi-modales pour la précipitation et la température sont présentes dans tous les cas alors que les valeurs maximales sont très différentes : aux alentours des Cayes, la précipitation moyenne mensuelle en octobre est de 400mm, alors qu'au nord elle est seulement de 130mm pour le même mois

Conclusions analyse base de données CRU

L'analyse de la base de données CRU indique qu'il n'y a pas eu de grands changements dans le régime de précipitation dans le passé alors qu'on constate que le patron de température a eu une augmentation considérable. L'augmentation de la température est principalement prononcée en été. Les observations in-situ telles que faites indiquent que la précipitation est bien majeure dans les régions montagneuses (c.f. section 2.1 ci dessus) se retrouvant partiellement dans cette base de données, probablement due à la basse résolution spatiale (0.5x0.5 degrés) de la base de données. Il est important aussi de noter que ces phénomènes de petite échelle due à l'élévation sont difficiles à reproduire avec n'importe quel modèle numérique.

3

Climat : Le futur selon les modèles à haute résolution spatiale

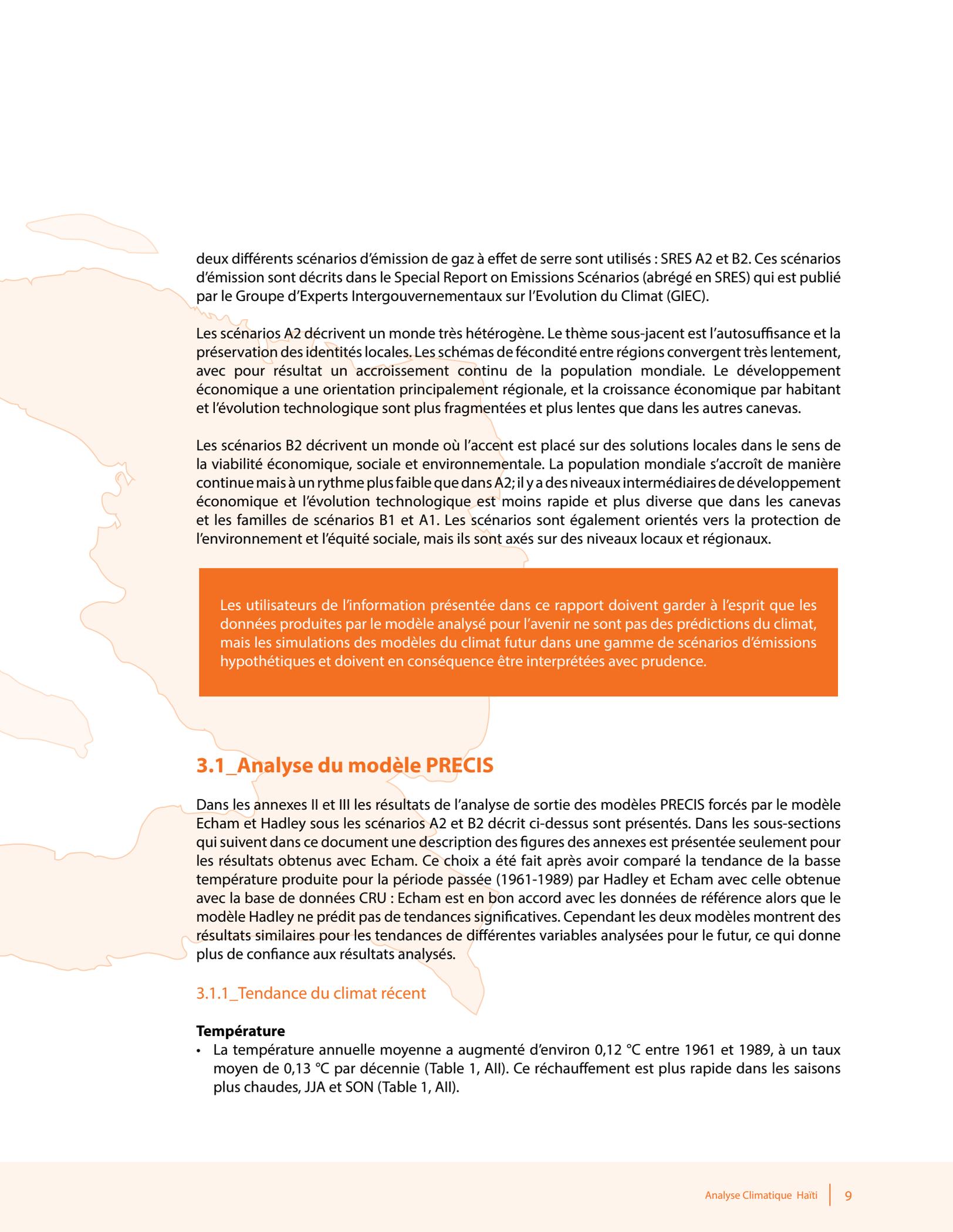
Pour anticiper sur les futurs changements climatiques, nous devons prévoir comment l'effet de serre va changer dans l'avenir. Une gamme de scénarios d'émissions a été développée dans le rapport spécial du IPCC sur les scénarios d'émissions qui reflètent un certain nombre de différentes façons dont le monde pourrait se développer («scénarios») et les conséquences pour la population, la croissance économique, l'utilisation de l'énergie et de la technologie.

Pour estimer l'effet que ces émissions ont sur le climat mondial, les modèles climatiques globaux (GCM, d'accord aux sigles en anglais) sont employés. Les GCM décrivent les éléments et les processus physiques importants dans l'atmosphère, les océans et la surface de terre qui composent le système climatique. Un inconvénient de GCM est leur échelle spatiale, qui est typiquement de quelques centaines de kilomètres de résolution. Afin d'étudier les effets du changement climatique, il est nécessaire de prévoir les changements sur des échelles beaucoup plus fines. Une des techniques pour s'y faire est l'utilisation des modèles climatiques régionaux (RCM). Les RCM ont le potentiel d'améliorer la représentation de l'information sur le climat qui est important pour l'évaluation de la vulnérabilité d'un pays aux changements climatiques. Les RCM sont forcés à partir de conditions aux frontières latérales (CL) issues soit des sorties de GCM soit des réanalyses globales de basse résolution. Les CL sont générés par les principaux centres de modélisation climatique des pays développés.

Les données utilisées ici sont produites par le RCM PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies). PRECIS est une RCM portable qui peut être exécutée sur un ordinateur personnel et appliquée à une zone du globe pour générer des scénarios détaillés sur les changements climatiques. Ce modèle a été développé par le Centre Hadley et est parrainé par le ministère britannique de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales (DEFRA), le ministère britannique du Développement international (DFID) et le Programme des Nations Unies - Fonds pour l'environnement mondial (UNDP-GEF).

Les sorties du modèle PRECIS pour Haïti sont disponibles à l'adresse internet suivante: <http://precis.caribbeanclimate.bz/countries-outputs>

Le modèle a été forcé avec les CL produites par deux GCM : HadCM3, développé par le Centre Hadley au Royaume Uni et Ecam, développé à l'institut Max-Planck en Allemagne. Pour les deux modèles,



deux différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre sont utilisés : SRES A2 et B2. Ces scénarios d'émission sont décrits dans le Special Report on Emissions Scénarios (abrégé en SRES) qui est publié par le Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur l'Evolution du Climat (GIEC).

Les scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

Les scénarios B2 décrivent un monde où l'accent est placé 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 dans A2; il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas et les familles de scénarios B1 et A1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Les utilisateurs de l'information présentée dans ce rapport doivent garder à l'esprit que les données produites par le modèle analysé pour l'avenir ne sont pas des prédictions du climat, mais les simulations des modèles du climat futur dans une gamme de scénarios d'émissions hypothétiques et doivent en conséquence être interprétées avec prudence.

3.1_Analyse du modèle PRECIS

Dans les annexes II et III les résultats de l'analyse de sortie des modèles PRECIS forcés par le modèle Echam et Hadley sous les scénarios A2 et B2 décrit ci-dessus sont présentés. Dans les sous-sections qui suivent dans ce document une description des figures des annexes est présentée seulement pour les résultats obtenus avec Echam. Ce choix a été fait après avoir comparé la tendance de la basse température produite pour la période passée (1961-1989) par Hadley et Echam avec celle obtenue avec la base de données CRU : Echam est en bon accord avec les données de référence alors que le modèle Hadley ne prédit pas de tendances significatives. Cependant les deux modèles montrent des résultats similaires pour les tendances de différentes variables analysées pour le futur, ce qui donne plus de confiance aux résultats analysés.

3.1.1_Tendance du climat récent

Température

- La température annuelle moyenne a augmenté d'environ 0,12 °C entre 1961 et 1989, à un taux moyen de 0,13 °C par décennie (Table 1, All). Ce réchauffement est plus rapide dans les saisons plus chaudes, JJA et SON (Table 1, All).

- La fréquence des jours et nuits chauds a augmenté de 10% depuis 1961 (Table 1, All). Le changement le plus significatif par décennie (5% pour les jours chauds et 7% pour les nuits chaudes) est observé pendant le trimestre JJA (Table 1, All).
- La fréquence de jours et nuits froids a diminué de 10% depuis 1961 (Table 1, All). Le changement le plus significatif par décennie est de -3% pour les jours froids en SON alors qu'il est de -3%, -6% et -5% pour les nuits froides respectivement pendant les trimestres MAM, JJA et SON (Table 1, All).

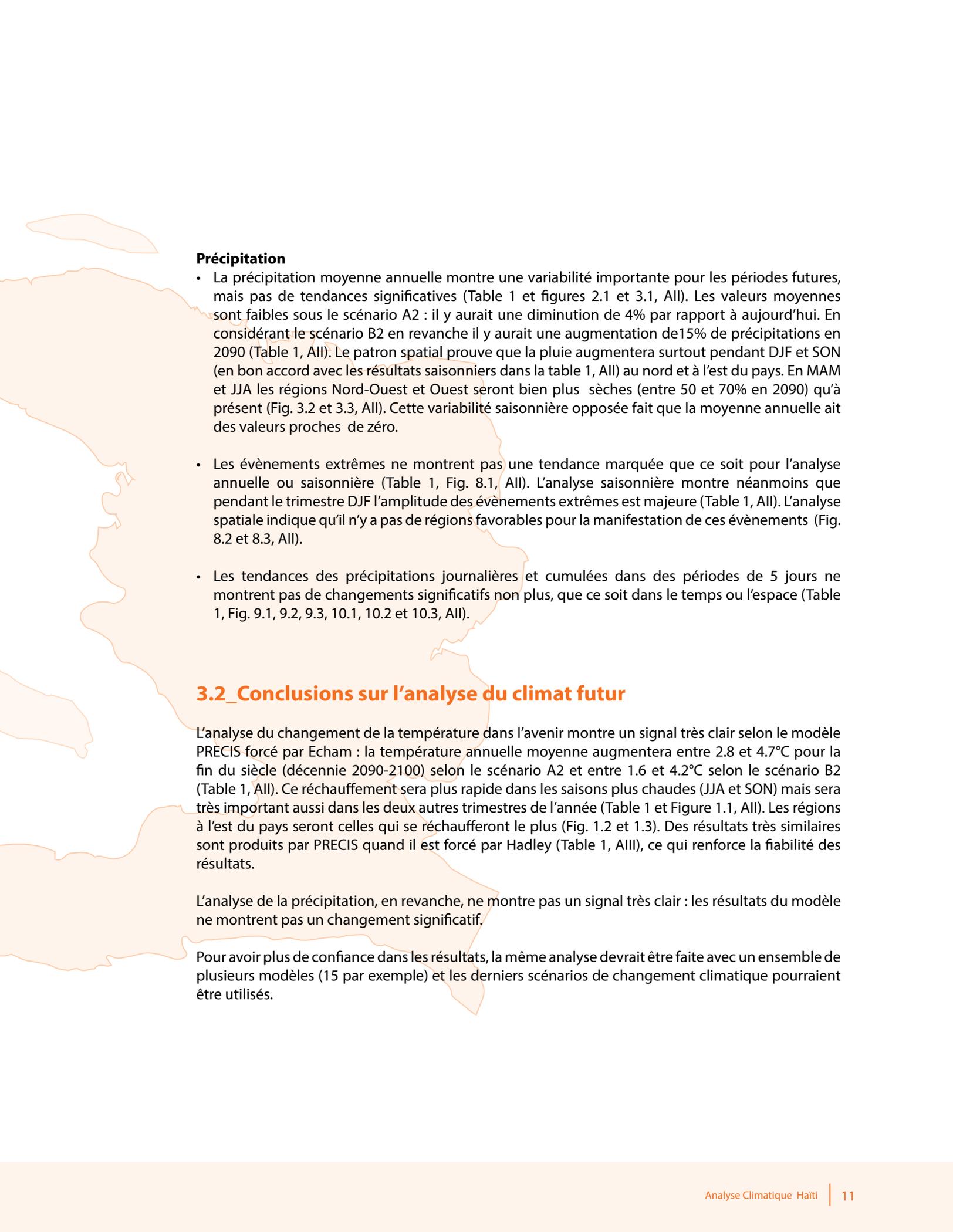
Précipitation

- La précipitation annuelle moyenne ne montre pas de changements significatifs pour la période 1961-1989, en accord avec l'analyse des données CRU. L'analyse des saisons montre des résultats similaires (Table 1, All).
- Les événements extrêmes montrent une diminution de 4% (significative) pendant la période 1961-1989. L'analyse saisonnière montre que seulement pendant le trimestre DJF cette diminution (-8%) est significative (Table 1, All).
- Les tendances de précipitation journalière et cumulées dans des périodes de 5 jours ne montrent pas de changements significatifs non plus.

3.1.2 Tendances du climat futur

Température

- La température annuelle moyenne augmentera entre 2.8 et 4.7°C pour la fin du siècle (décennie 2090-2100) selon le scénario A2 et entre 1.6 et 4.2°C selon le scénario B2 (Table 1, All). Ce réchauffement sera plus rapide dans les saisons plus chaudes, JJA et SON mais sera très important aussi dans les deux autres trimestres de l'année (Table 1 et Fig. 1.1, All). Les différences entre les scénarios A2 et B2 seront plus importantes à partir de 2060 (Figure 1.1, All). La distribution spatiale de l'augmentation de la température n'est pas homogène: les régions à l'est du pays seront celles qui se réchaufferont le plus (Fig. 1.2 et 1.3, All).
- La fréquence de jours chauds et nuits chaudes augmentera de 100% à partir de 2060 que ce soit pour les valeurs minimales ou maximales (Table 1 et figures 4.1 et 5.1, All). Les jours et nuits chauds pendant la période 2000-2040 montrent une variabilité très importante superposée à une tendance positive bien marquée (figures 4.1 et 5.1, All). La distribution géographique démontre sous le scénario B2, que la région Est du centre du pays sera celle qui aura moins de jours chauds dans l'avenir alors que le scénario A2 n'indique pas un patron spatial important (Fig. 4.2, 4.3, 5.2 et 5.3, All).
- La fréquence de jours et nuits froids diminuera de 100% à partir de 2050, que ce soit pour les valeurs minimales ou maximales (Table 1 et figures 6.1 et 7.1, All). Les jours et nuits froids montrent une distribution spatiale très homogène pour les nuits froides, alors qu'il y aura plus de jours froids dans la région est-centrale du pays (figures 6.2, 6.3, 7.2 et 7.3, All).



Précipitation

- La précipitation moyenne annuelle montre une variabilité importante pour les périodes futures, mais pas de tendances significatives (Table 1 et figures 2.1 et 3.1, All). Les valeurs moyennes sont faibles sous le scénario A2 : il y aurait une diminution de 4% par rapport à aujourd'hui. En considérant le scénario B2 en revanche il y aurait une augmentation de 15% de précipitations en 2090 (Table 1, All). Le patron spatial prouve que la pluie augmentera surtout pendant DJF et SON (en bon accord avec les résultats saisonniers dans la table 1, All) au nord et à l'est du pays. En MAM et JJA les régions Nord-Ouest et Ouest seront bien plus sèches (entre 50 et 70% en 2090) qu'à présent (Fig. 3.2 et 3.3, All). Cette variabilité saisonnière opposée fait que la moyenne annuelle ait des valeurs proches de zéro.
- Les événements extrêmes ne montrent pas une tendance marquée que ce soit pour l'analyse annuelle ou saisonnière (Table 1, Fig. 8.1, All). L'analyse saisonnière montre néanmoins que pendant le trimestre DJF l'amplitude des événements extrêmes est majeure (Table 1, All). L'analyse spatiale indique qu'il n'y a pas de régions favorables pour la manifestation de ces événements (Fig. 8.2 et 8.3, All).
- Les tendances des précipitations journalières et cumulées dans des périodes de 5 jours ne montrent pas de changements significatifs non plus, que ce soit dans le temps ou l'espace (Table 1, Fig. 9.1, 9.2, 9.3, 10.1, 10.2 et 10.3, All).

3.2_ Conclusions sur l'analyse du climat futur

L'analyse du changement de la température dans l'avenir montre un signal très clair selon le modèle PRECIS forcé par Echem : la température annuelle moyenne augmentera entre 2.8 et 4.7°C pour la fin du siècle (décennie 2090-2100) selon le scénario A2 et entre 1.6 et 4.2°C selon le scénario B2 (Table 1, All). Ce réchauffement sera plus rapide dans les saisons plus chaudes (JJA et SON) mais sera très important aussi dans les deux autres trimestres de l'année (Table 1 et Figure 1.1, All). Les régions à l'est du pays seront celles qui se réchaufferont le plus (Fig. 1.2 et 1.3). Des résultats très similaires sont produits par PRECIS quand il est forcé par Hadley (Table 1, All), ce qui renforce la fiabilité des résultats.

L'analyse de la précipitation, en revanche, ne montre pas un signal très clair : les résultats du modèle ne montrent pas un changement significatif.

Pour avoir plus de confiance dans les résultats, la même analyse devrait être faite avec un ensemble de plusieurs modèles (15 par exemple) et les derniers scénarios de changement climatique pourraient être utilisés.

4

Autres facteurs qui affectent le climat d'Haïti

4.1_Variabilité interannuelle

La variabilité interannuelle du climat des Caraïbes est fortement influencée par l'oscillation Australe - El Niño (ENSO). El Niño apporte plus de chaleur sèche que la moyenne entre Juin et Août alors que pendant La Niña les conditions climatiques sont plus froides et plus humides. Haïti est également au cœur de la ceinture des ouragans de l'Atlantique où les cyclones et les ouragans se produisent tout au long des mois d'Août, de Septembre et d'Octobre.

Les fortes précipitations associées aux cyclones et ouragans contribuent de manière significative à l'humidité totale de la saison des pluies. La formation d'ouragans est fortement liée à ENSO : l'activité des ouragans est plus fréquente pendant La Niña et l'est moins dans les années El Niño. Pourtant, plusieurs études suggèrent que les cyclones tropicaux sont susceptibles de devenir, dans l'ensemble, plus intenses sous un climat plus chaud en raison de la température de la surface maritime qui est plus élevée. Malgré le fait que la capacité de modèles pour prévoir le climat a augmenté énormément ces dernières années, les modèles ont encore beaucoup de mal à reproduire les événements extrêmes tels les ouragans. En conséquence les changements potentiels en intensité ou les prédictions sur une éventuelle modification des pistes de cyclones tropicaux dans l'avenir sont très incertains. Finalement, l'incertitude pour les changements potentiels dans les cyclones tropicaux contribue aussi à des incertitudes importantes pour l'avenir sur leur contribution pendant la saison des pluies.

4.2_Élévation du niveau de la mer

Les îles des Caraïbes sont vulnérables à l'élévation du niveau de la mer. Le rapport de la 12ème session du GIEC est très clair par rapport à l'évolution du niveau moyen de la mer, l'une des conséquences majeures du réchauffement : d'ici 2100, le niveau marin peut augmenter en moyenne de +26 à +82 cm suivant les modèles contre +18 à +59 cm dans le précédent rapport paru en 2007. Cette réévaluation est notamment due à une meilleure prise en compte de l'écoulement dans les océans arctique et antarctique des glaciers côtiers du Groenland et de l'Antarctique. La hausse du niveau moyen de la mer va continuer à augmenter au cours du 21ème siècle. Dans tous les scénarios, le taux d'élévation du niveau moyen des mers sera très probablement supérieur à celui observé au cours des années 1971-2010 en raison de l'augmentation du réchauffement des océans et l'augmentation de

la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires.

L'élévation du niveau moyen de la mer mondiale dérivée de projections climatiques CMIP5 pour 2081-2100 par rapport à 1986-2005 sera probablement de l'ordre de :

- + 0,26 à 0,55 m pour le modèle RCP2.6 ;
- + 0,32 à 0,63 m pour le modèle RCP4.5 ;
- + 0,33 à 0,63 m pour le modèle RCP6.0 ;
- + 0,45 à 0,82 m pour le modèle RCP8.5.

Les projections régionales sont néanmoins plus difficiles et il n'existe pas un consensus sur des estimations au niveau régional. En effet les résultats des études régionales diffèrent d'un endroit à un autre (Cazenave and Le Cozannet, 2014). Ceci démontre que la réponse des systèmes côtiers à l'élévation du niveau de la mer est très dépendante des milieux naturels et humains locaux (Cazenave and Le Cozannet, 2014).

4.3 Estimation de la vulnérabilité d'Haïti aux changements climatiques

Pour estimer la vulnérabilité d'Haïti aux changements climatiques, l'augmentation du niveau de la mer et la topographie d'Haïti, l'augmentation de la température dans l'air, les changements dans le régime de précipitation (en moyenne) et les changements dans le régime de précipitation (événements extrêmes) ont été considérés. Ces variables ont été utilisées pour construire des cartes normalisées entre 0 et 1, où 0 signifie qu'il n'y a pas de risque alors que 1 signifie qu'il existe un fort risque d'accord aux critères suivants, tout en considérant la résolution spatiale du modèle PRECIS :

I Augmentation du niveau de la mer et topographie d'Haïti

Une des conséquences les plus dramatiques du changement climatique est l'élévation de la surface de la mer. Telle que indiquée dans la section précédente, une élévation entre 26 et 82 cm pour la fin du siècle est prévue pour la région selon le scénario pris en compte. Pour cette simulation il est considéré une augmentation des niveaux de la mer de 20 cm, 40 cm et 60 cm à la fin des années 2050, 2070 et 2090 respectivement. En considérant une carte de la topographie à haute résolution, les régions côtières dont l'élévation est inférieure à 50 cm (plaines notamment) ont été marquées comme plus vulnérables. La Figure 1 montre comment ce risque est majeur avec le temps et dans les plaines en particulier. La résolution spatiale du modèle reste une contrainte importante au moment de faire une évaluation plus précise.

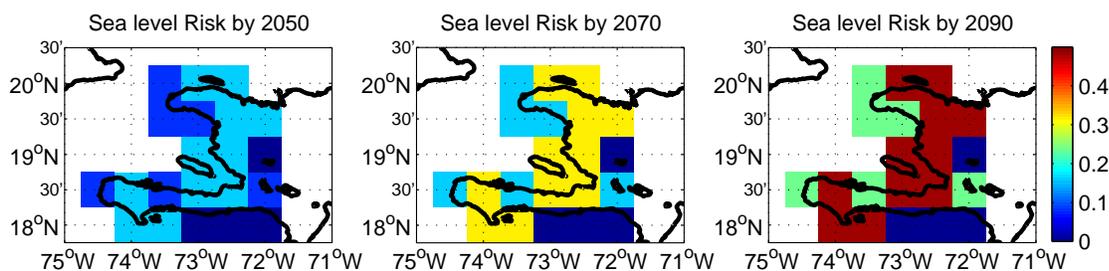


Figure 1 : risque des terres qui pourront être submergées par l'eau en considérant une augmentation du niveau de la mer de 20cm, 40cm et 60cm respectivement à la fin des années 2050, 2070 et 2090.

II Augmentation de la température

La température moyenne par décennie (2050, 2070 et 2090) et par pixel selon les sorties du modèle PRECIS forcé par Echam scenario B2 (Figure 3, annexe III) est considérée et normalisée.

III Changement dans le régime de précipitation moyenne

Le régime de précipitation moyenne par décennie (2050, 2070 et 2090) et par pixel selon les sorties du modèle PRECIS forcé par Echam scenario B2 (Figure 3, annexe III) est considéré et normalisé.

IV Changement dans le régime des événements extrêmes de précipitation

La fréquence des événements extrêmes de la précipitation (supérieurs au pourcentage 95%) en moyenne par décennie (2050, 2070 et 2090) et par pixel selon les sorties du modèle PRECIS forcé par Echam scénario B2 (Figure 3, annexe III) est considérée et normalisée.

Les quatre variables décrites ci-dessus sont ensuite utilisées pour estimer l'Index de Variabilité Climatique (VCI, Variability Climate Index) :

$$VCI = \frac{r_P \times P + r_T \times T + r_{PE} \times PE + r_{SLR} \times SLR}{abs(r_P) + r_T + r_{PE} + r_{SLR}}$$

ou P, T, PE et SLR sont respectivement la précipitation moyenne, la température moyenne, la précipitation extrême et l'élévation de la mer telles que détaillées dans les points I-IV ci-dessus. Les coefficients rx redonnent le poids donné de façon arbitraire.

Le résultat (Figure 2) est ensuite normalisé entre 0 et 1. Les valeurs plus proches de zéro indiquent les régions moins vulnérables, alors que les régions avec des valeurs plus proches de 1 indiquent les régions plus vulnérables.

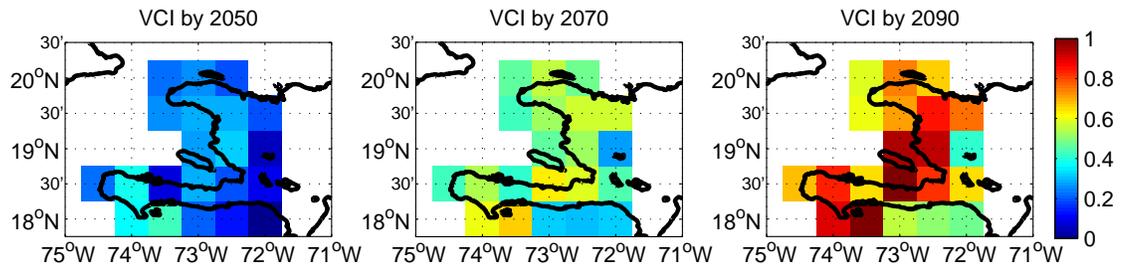


Figure 2 : Index de variabilité climatique (VCI) normalisé. La précipitation moyenne, la température moyenne, la précipitation extrême et l'élévation de la mer telles que prédites par les modèles numériques sont combinées pour calculer le VCI. Les valeurs proches de zéro (un) indiquent les régions plus ou moins vulnérables.

Il est possible d'observer que la vulnérabilité augmentera dans toute la région à la fois qu'un patron spatial est présent dans les trois décennies : les régions plus vulnérables sont les régions centrales autour de Port-au-Prince ainsi que la région des Cayes.

5

Documentation Calculs

Cette section décrit les méthodes utilisées pour construire les figures des annexes II et III. Les annexes contiennent les résultats obtenus forçant PRECIS avec le modèle Hadley et Ecam respectivement, regroupés de la façon suivante:

A

Une table qui résume les résultats des tendances pour la moyenne spatiale sur tout le pays pour les périodes passées (1961-1989) et futures (2031-2040, 2061-2070 et 2091-2100).

B

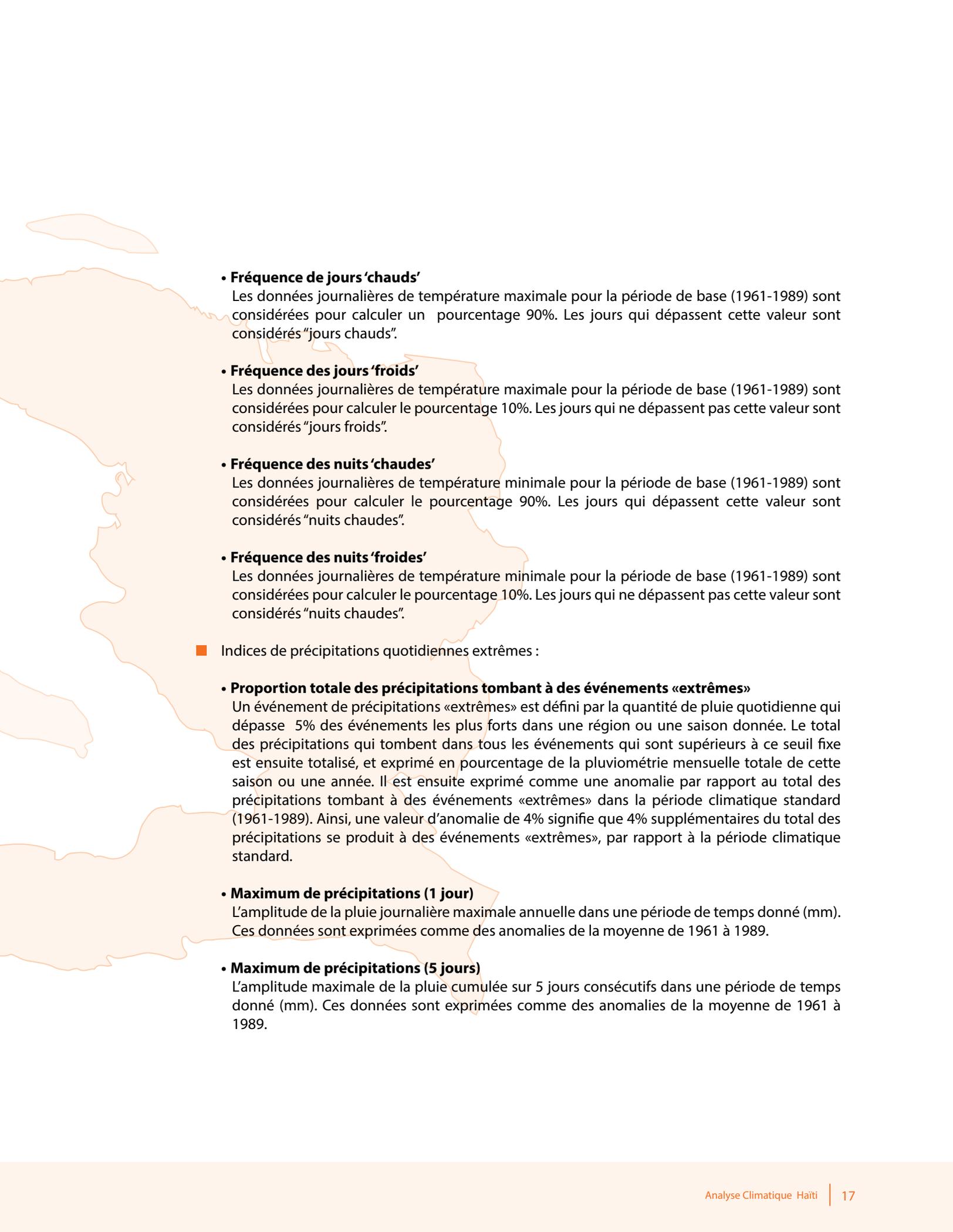
Les séries temporelles de la moyenne spatiale du pays pour la période passée et future. Les résultats obtenus avec les scénarios d'émissions futures SRES A2 et B2 ont été utilisés pour la période future. La série annuelle et les moyennes tri-mensuelles décembre-janvier-février, mars-avril-mai, juin-juillet-août, septembre-octobre-novembre sont présentées.

C

Les cartes montrant la moyenne temporelle sur chaque point pour les périodes passées (1961-1989) et futures (2031-2040, 2061-2070 et 2091-2100) sous les deux scénarios.

Les variables analysées sont :

- Température moyenne
- Moyenne des précipitations mensuelles
- Indices de températures quotidiennes extrêmes:



- **Fréquence de jours 'chauds'**

Les données journalières de température maximale pour la période de base (1961-1989) sont considérées pour calculer un pourcentage 90%. Les jours qui dépassent cette valeur sont considérés "jours chauds".

- **Fréquence des jours 'froids'**

Les données journalières de température maximale pour la période de base (1961-1989) sont considérées pour calculer le pourcentage 10%. Les jours qui ne dépassent pas cette valeur sont considérés "jours froids".

- **Fréquence des nuits 'chaudes'**

Les données journalières de température minimale pour la période de base (1961-1989) sont considérées pour calculer le pourcentage 90%. Les jours qui dépassent cette valeur sont considérés "nuits chaudes".

- **Fréquence des nuits 'froides'**

Les données journalières de température minimale pour la période de base (1961-1989) sont considérées pour calculer le pourcentage 10%. Les jours qui ne dépassent pas cette valeur sont considérés "nuits froides".

- Indices de précipitations quotidiennes extrêmes :

- **Proportion totale des précipitations tombant à des événements «extrêmes»**

Un événement de précipitations «extrêmes» est défini par la quantité de pluie quotidienne qui dépasse 5% des événements les plus forts dans une région ou une saison donnée. Le total des précipitations qui tombent dans tous les événements qui sont supérieurs à ce seuil fixe est ensuite totalisé, et exprimé en pourcentage de la pluviométrie mensuelle totale de cette saison ou une année. Il est ensuite exprimé comme une anomalie par rapport au total des précipitations tombant à des événements «extrêmes» dans la période climatique standard (1961-1989). Ainsi, une valeur d'anomalie de 4% signifie que 4% supplémentaires du total des précipitations se produit à des événements «extrêmes», par rapport à la période climatique standard.

- **Maximum de précipitations (1 jour)**

L'amplitude de la pluie journalière maximale annuelle dans une période de temps donné (mm). Ces données sont exprimées comme des anomalies de la moyenne de 1961 à 1989.

- **Maximum de précipitations (5 jours)**

L'amplitude maximale de la pluie cumulée sur 5 jours consécutifs dans une période de temps donné (mm). Ces données sont exprimées comme des anomalies de la moyenne de 1961 à 1989.

Références

Cazenave, A., and G. Le Cozannet (2013), Sea level rise and its coastal impacts, *Earth's Future*, 2, 15–34, doi:10.1002/2013EF000188.

Cover figure: "Haiti topographic map-fr" by Rémi Kaupp - Own work. Sources of data: NASA SRTM3 for terrain (public domain); NASA SWBD for coastlines and lakes NGDC ETOPO1 for bathymetry (public domain); NGDC World Data Bank II for borders and rivers (public domain); VMap-0 for miscellaneous data (public domain); UN map of Haiti for checking, 2008 Locator map: File:Karibik Haiti Position.png. Created using this tutorial by User: Sting.. Licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0-2.5-2.0-1.0 via Wikimedia Commons - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Haiti_topographic_map-fr.svg#mediaviewer/File:Haiti_topographic_map-fr.svg

Harris et al, 2014, Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset, *Int. J. Climatol.* 34: 623–642 (2014) , DOI: 10.1002/joc.3711
IPCC Third Assessment Report "Climate Change 2001" and the Synthesis Report. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/vol4/french/078.htm

Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. (2004) Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp April 2004

MDE : Ministère de l'Environnement, Haïti. PANA : Plan d'Action National d'Adaptation (PANA), 2006, Haïti.

Water resources Assessment of Haiti, http://www.gvsu.edu/cms3/assets/53940C9B-B252-5B69-626B48622A4C1002/publishedliterature/acoee_water_resources_of_haiti.p

TABLE ET FIGURES DONNÉES CRU

1. Température

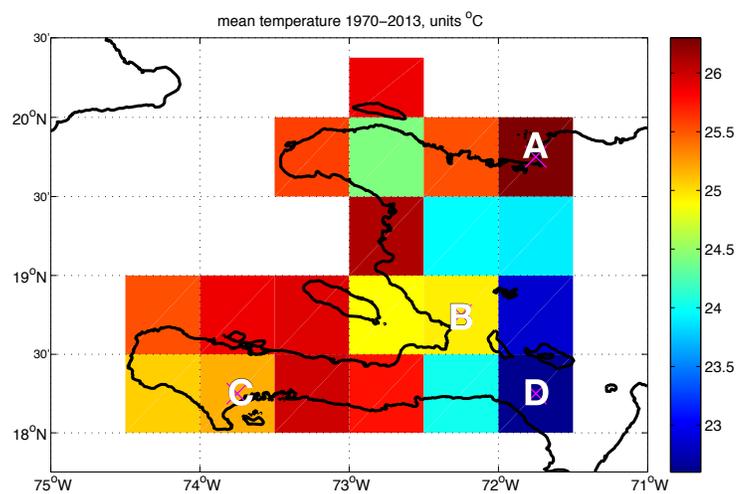


Figure 1.1: température moyenne (°C) pour la période 1970-2013.

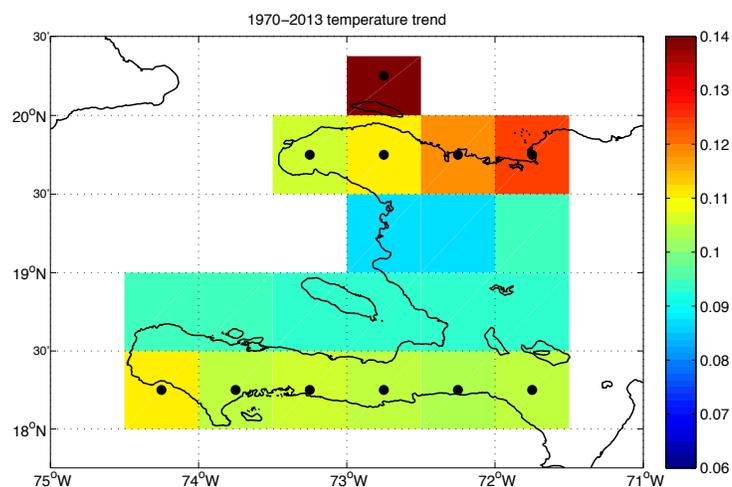


Figure 1.2: tendance de la température moyenne (°C/décade) pour la période 1970-2013. Données mensuelles CRU TS3.10. Les points noirs indiquent que la tendance est significative au 95%.

Seasonal mean temperature 1970–2013, units °C

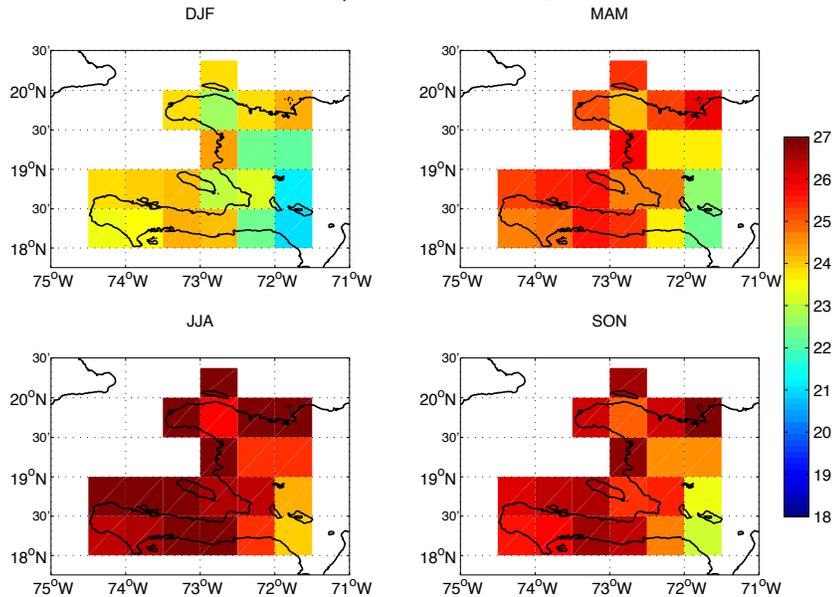


Figure 1.3: Moyennes saisonnières de la température de surface.

Seasonal mean temperature 1970–2013, units °C

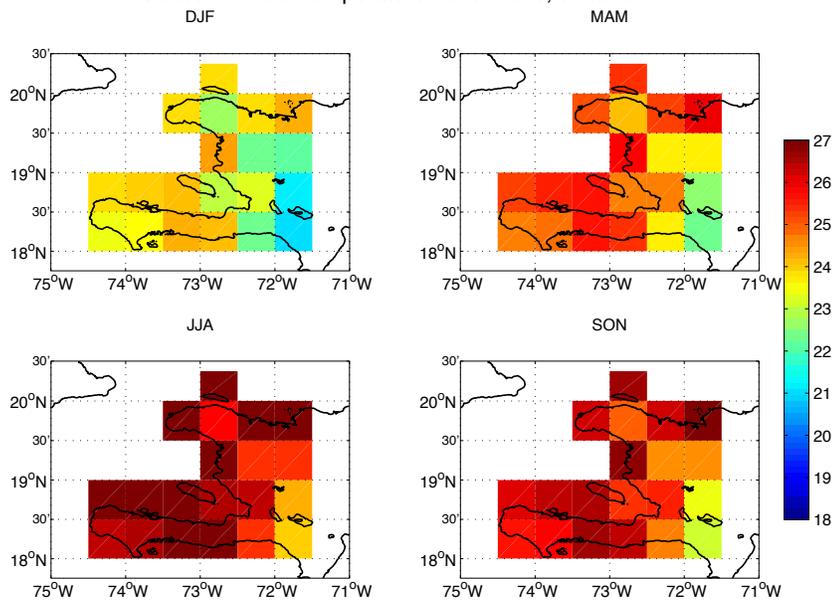


Figure 1.4: Tendence de la température saisonnière (°C/décade).
Les points noirs indiquent que la tendance est significative au 95%.

ANNEXE I

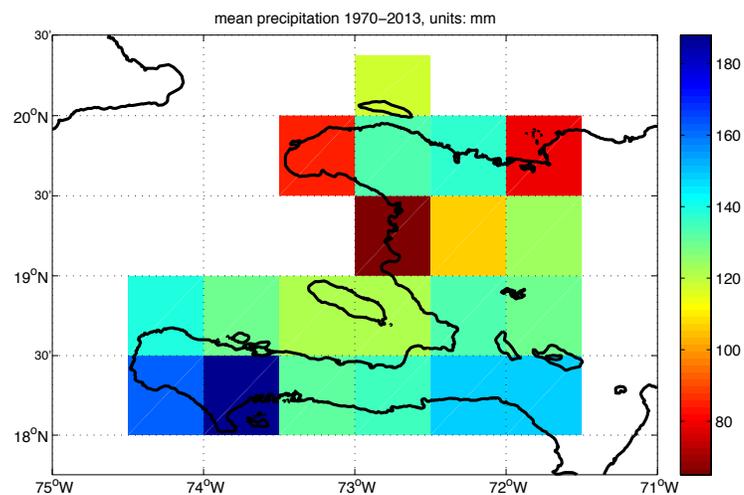


Figure 1.5: précipitation moyenne mensuelle (mm) pour la période 1970-2013. Données CRU TS3.10.

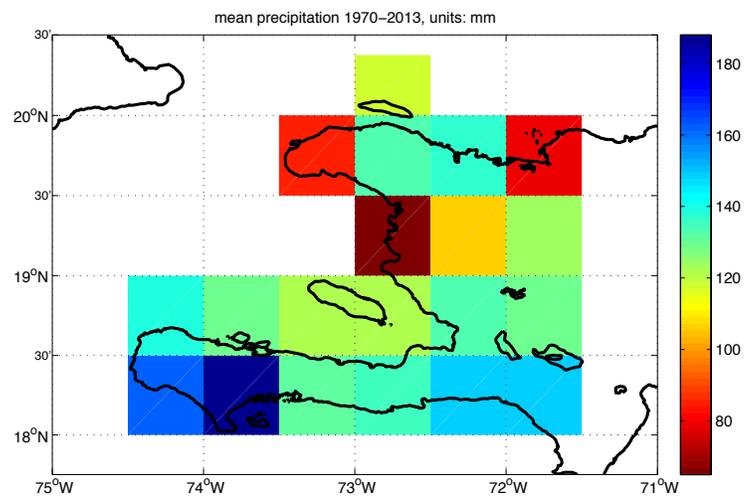
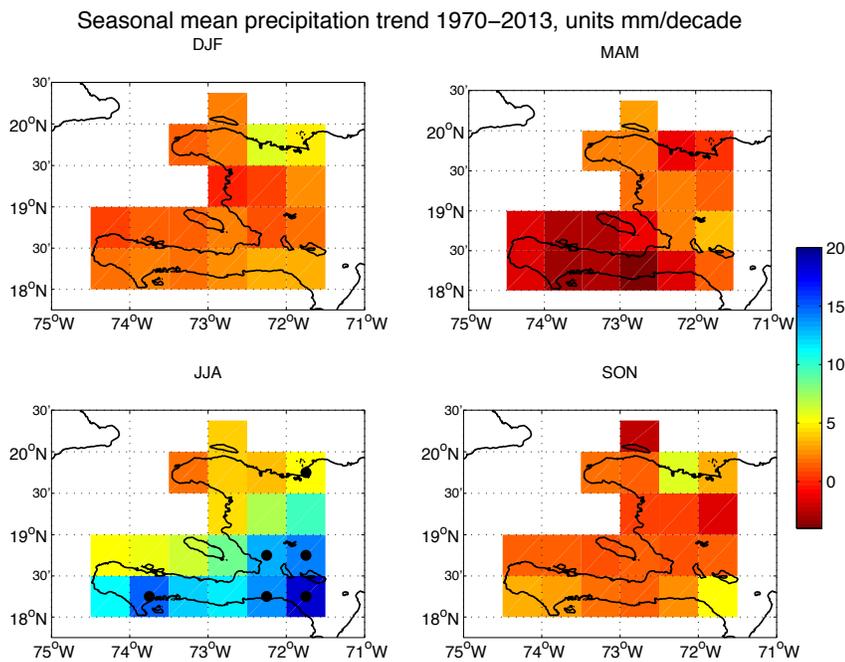
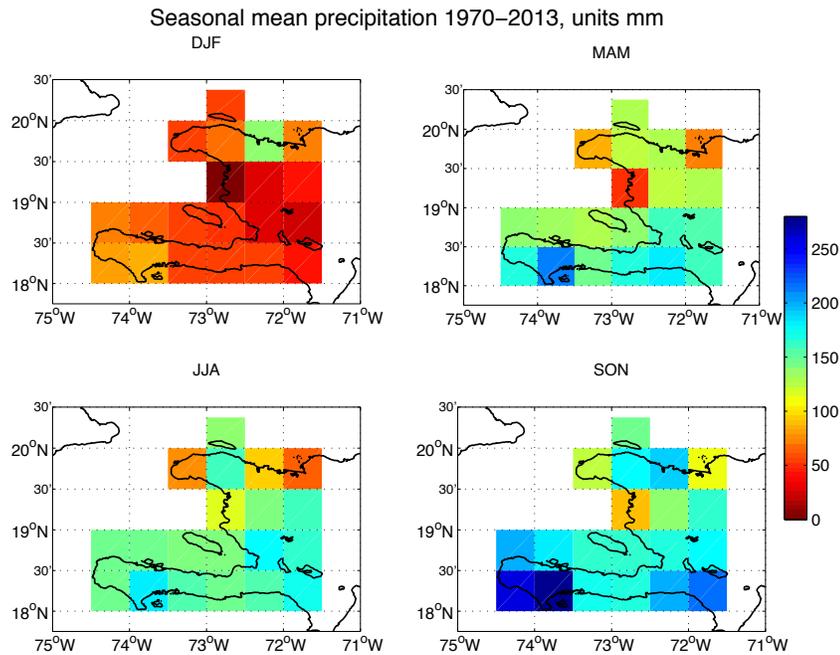


Figure 1.6: tendance de la précipitation moyenne mensuelle (mm/décade) pour la période 1970-2013. Données CRU TS3.10. Aucun point ne montre une valeur significative au 95%.



Climatologies température et précipitation

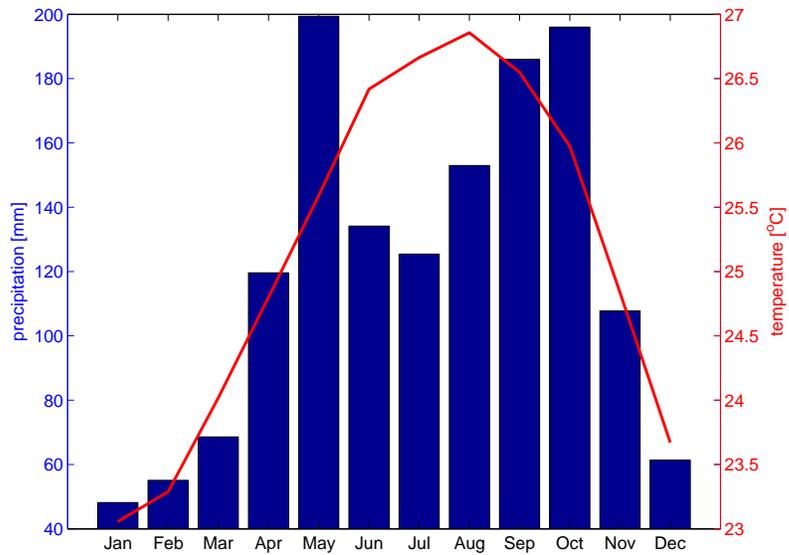


Figure 1.9 : climatologie mensuelle de la moyenne spatiale pour la période 1970-2013. Précipitation en bleu (mm) et température en rouge (°C).

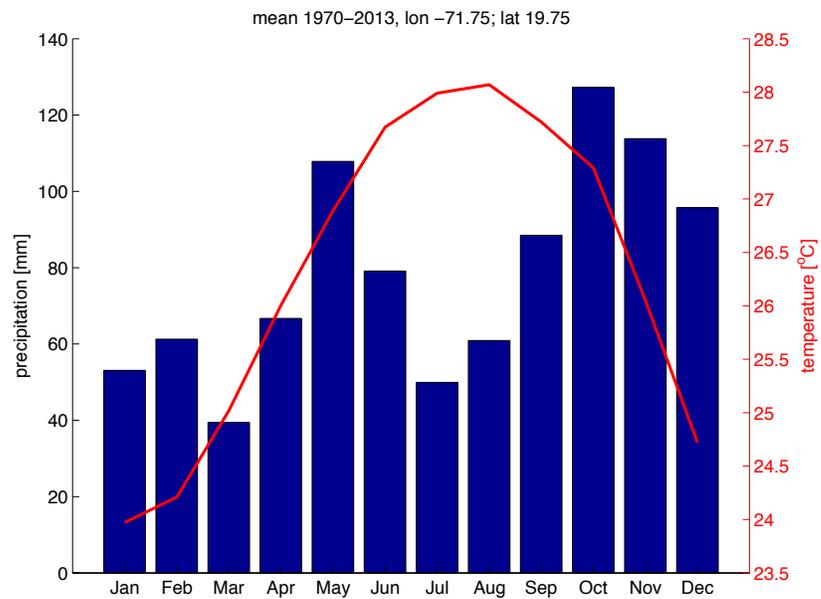


Figure 1.10 : climatologie mensuelle pour le point A (voir Fig. 1.1) pour la période 1970-2013. Précipitation en bleu (mm) et température en rouge (°C).

ANNEXE I

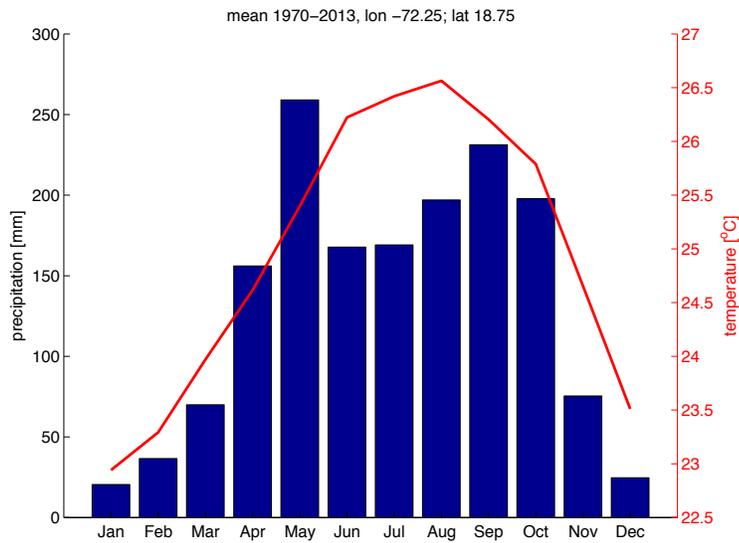


Figure 1.11 : climatologie mensuelle pour le point B (voir Fig. 1.1) pour la période 1970-2013. Précipitation en bleu (mm) et température en rouge (°C).

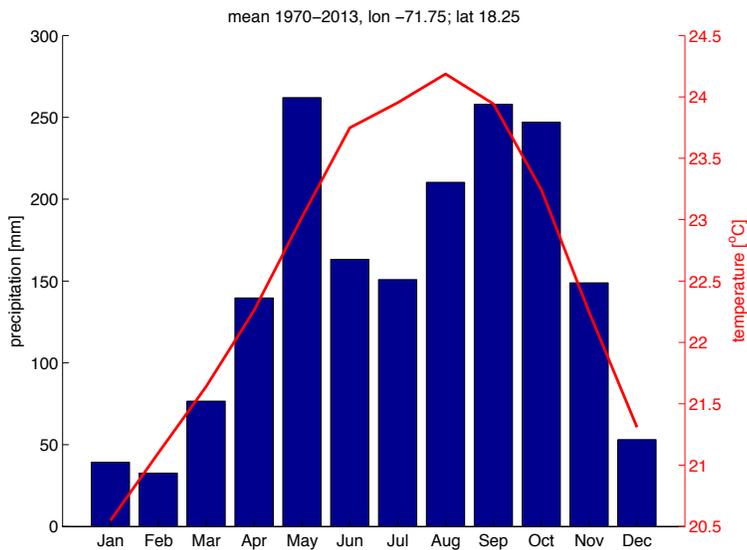


Figure 1.12 : climatologie mensuelle pour le point D (voir Fig. 1.1) pour la période 1970-2013. Précipitation en bleu (mm) et température en rouge (°C).

ANNEXE I

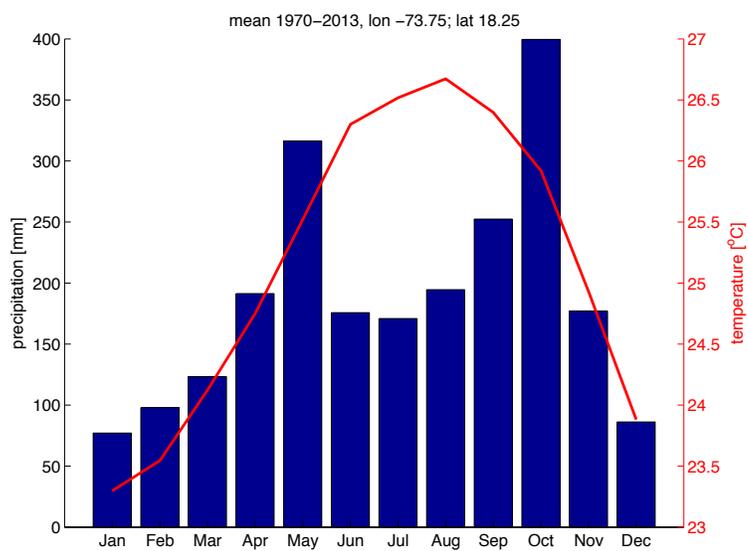


Figure 1.13 : climatologie mensuelle pour le point C (voir Fig. 1.1) pour la période 1970-2013. Précipitation en bleu (mm) et température en rouge (°C).

ECHAM

Dans cette annexe les résultats obtenus avec PRECIS considérant le forçage du modèle Echam sont présentés.

Légendes des figures et tables :

Pour chaque des suivantes variables une section de la Table 1 et trois figures sont produites:

- Température moyenne
- Moyenne des précipitations mensuelles
- Fréquence de jours 'chaud'
- Fréquence des jours 'froid'
- Fréquence des nuits 'chaud'
- Fréquence des nuits 'froid'
- Proportion de total des précipitations tombant à des événements «extrêmes»
- Maximum des précipitations 1 jour
- Maximum des précipitations de 5 jours

La description des calculs faits pour obtenir les variables listées ci-dessus est précisée dans le document annexe « Documentation calculs».

Table 1:

La moyenne et la tendance pour la période 1961-1989 sont indiquées dans les colonnes 2 et 3. Les valeurs mensuelles sont d'abord moyennes spatialement. Les tendances significatives au 95% sont indiquées avec une étoile noire dans la colonne 4. Dans la colonne 5 le scénario utilisée (A2 ou B2) est indiquée. Les colonnes suivantes indiquent l'incrément (minimum, moyenne et maximum) enregistré pour les périodes des années 2050, 2070 et 2090.

Figure 1:

Moyenne pendant les périodes contrôle (1961-1989) et futures (2070-2099). Les valeurs mensuelles sont d'abord moyennes spatialement puis par an (lignes en gras). Les lignes rouges et bleues correspondent au scénario A2 et B2 respectivement. Les régions ombragées correspondent aux valeurs minimum et maximum de chaque année.

Figure 2 :

Moyenne pendant les périodes futures (2050', 2070', 2090') sur chaque pixel pour le scénario A2.

Figure 3 :

Moyenne pendant les périodes futures (2050', 2070', 2090') sur chaque pixel pour le scénario B2.

ANNEXE II

TABLE 1

Echam	Observed Mean 1961-89	Observed Trend 1961-89		Projected changes by the 2050s			Projected changes by the 2070s			Projected changes by the 2090s		
				Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Temperature												
	°C	Change in °C per decade		Change in °C			Change in °C			Change in °C		
Annual	26.4	0.128	* A2	0.6	1.9	3.1	1.9	3.1	3.9	2.8	3.8	4.7
			B2	1.1	2.1	3.1	1.1	2.5	3.2	1.6	2.9	4.2
DJF	25.7	0.112	A2	0.6	1.8	2.6	1.9	2.9	3.5	2.8	3.5	4.3
			B2	1.1	1.9	2.7	1.1	2.4	3.2	1.6	2.8	3.4
MAM	26.0	0.081	A2	1.0	1.7	3.1	2.1	3.0	3.6	3.2	3.7	4.3
			B2	1.1	2.0	3.1	1.6	2.4	3.1	2.4	2.9	3.5
JJA	27.2	0.161	* A2	1.2	2.0	2.7	2.1	3.2	3.9	3.1	3.8	4.7
			B2	1.6	2.1	2.5	2.0	2.5	2.9	2.2	2.9	3.4
SON	26.7	0.140	* A2	1.4	2.2	2.9	2.5	3.2	3.9	3.2	4.0	4.6
			B2	1.4	2.2	3.0	2.2	2.6	3.1	2.1	3.0	4.2
Precipitation												
	mm per month	Change in mm per decade		Change in mm per month			Change in mm per month			Change in mm per month		
Annual	26.4	0.128	A2	-24	1	52	-29	0	66	-30	-1	44
			B2	-35	3	79	-26	1	47	-35	4	69
DJF	25.7	0.112	A2	-12	3	23	-13	2	17	-14	1	26
			B2	-12	3	31	-10	3	28	-12	6	69
MAM	26.0	0.081	A2	-24	2	46	-25	0	66	-30	-7	28
			B2	-35	1	45	-24	6	47	-35	6	47
JJA	27.2	0.161	A2	-21	-4	52	-29	-7	19	-26	-8	22
			B2	-16	2	27	-26	-7	20	-21	-1	41
SON	26.7	0.140	A2	-14	3	29	-16	5	32	-25	9	44
			B2	-12	7	79	-15	0	19	-21	3	22

ANNEXE II

TABLE 1 (suite)

Echam	Observed Mean 1961-89	Observed Trend 1961-89		Projected changes by the 2050s			Projected changes by the 2070s			Projected changes by the 2090s		
				Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Precipitation (%)												
	mm per month	Change in % per decade		% Change			% Change			% Change		
Annual	28.2	-5.98	A2	-78	3	205	-81	-4	153	-86	-4	244
			B2	-82	15	539	-92	-2	266	-84	15	531
DJF	12.9	-14.92	A2	-74	26	205	-81	18	153	-86	18	226
			B2	-82	30	267	-92	31	266	-84	45	531
MAM	34.6	2.50	A2	-78	-2	113	-72	-17	104	-79	-36	70
			B2	-69	-1	211	-81	2	131	-70	15	121
JJA	35.7	-4.84	A2	-58	-16	183	-73	-25	48	-70	-24	51
			B2	-52	5	82	-69	-27	60	-60	-2	169
SON	29.8	-4.49	A2	-62	3	108	-57	9	101	-75	26	244
			B2	-64	25	539	-76	-12	96	-64	5	125
Frequency of Hot Days (TX90p)												
	% Frequency	Change in frequency per decade		Future % frequency			Future % frequency			Future % frequency		
Annual	10.0	4.12	* A2	36	90	100	87	99	100	90	100	100
			B2	53	92	100	80	97	100	75	98	100
DJF	9.9	2.13	A2	36	85	100	93	99	100	90	99	100
			B2	53	88	100	80	93	100	75	96	100
MAM	9.9	3.09	A2	56	86	100	87	99	100	97	100	100
			B2	53	90	100	84	96	100	90	98	100
JJA	10.0	5.24	* A2	67	95	100	100	100	100	100	100	100
			B2	77	96	100	97	100	100	87	99	100
SON	10.0	1.65	A2	67	94	100	97	100	100	100	100	100
			B2	57	94	100	97	100	100	97	100	100

ANNEXE II

TABLE 1 (suite)

Echam	Observed Mean 1961-89	Observed Trend 1961-89		Projected changes by the 2050s			Projected changes by the 2070s			Projected changes by the 2090s		
				Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Frequency of Hot Nights (TN90p)												
	% Frequency	Change in frequency per decade		Future % frequency			Future % frequency			Future % frequency		
Annual	9.9	4.30	* A2	34	94	100	89	100	100	93	100	100
			B2	67	97	100	54	98	100	64	99	100
DJF	9.6	2.77	A2	36	90	100	89	99	100	93	100	100
			B2	67	94	100	54	95	100	64	98	100
MAM	9.9	2.03	A2	34	86	100	94	100	100	100	100	100
			B2	69	94	100	81	98	100	94	100	100
JJA	10.0	6.58	* A2	93	100	100	100	100	100	100	100	100
			B2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SON	9.8	4.09	A2	93	100	100	100	100	100	100	100	100
			B2	93	100	100	100	100	100	97	100	100
Frequency of Cold Days (TX10p)												
	% Frequency	Change in frequency per decade		Future % frequency			Future % frequency			Future % frequency		
Annual	10.0	-2.45	* A2	0	0	7	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	4	0	0	3	0	0	4
DJF	10.1	-3.04	A2	0	1	7	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	4	0	0	3	0	0	4
MAM	10.0	-1.04	A2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
JJA	10	-2.71	A2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SON	10.0	-3.48	* A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANNEXE II

TABLE 1 (suite)

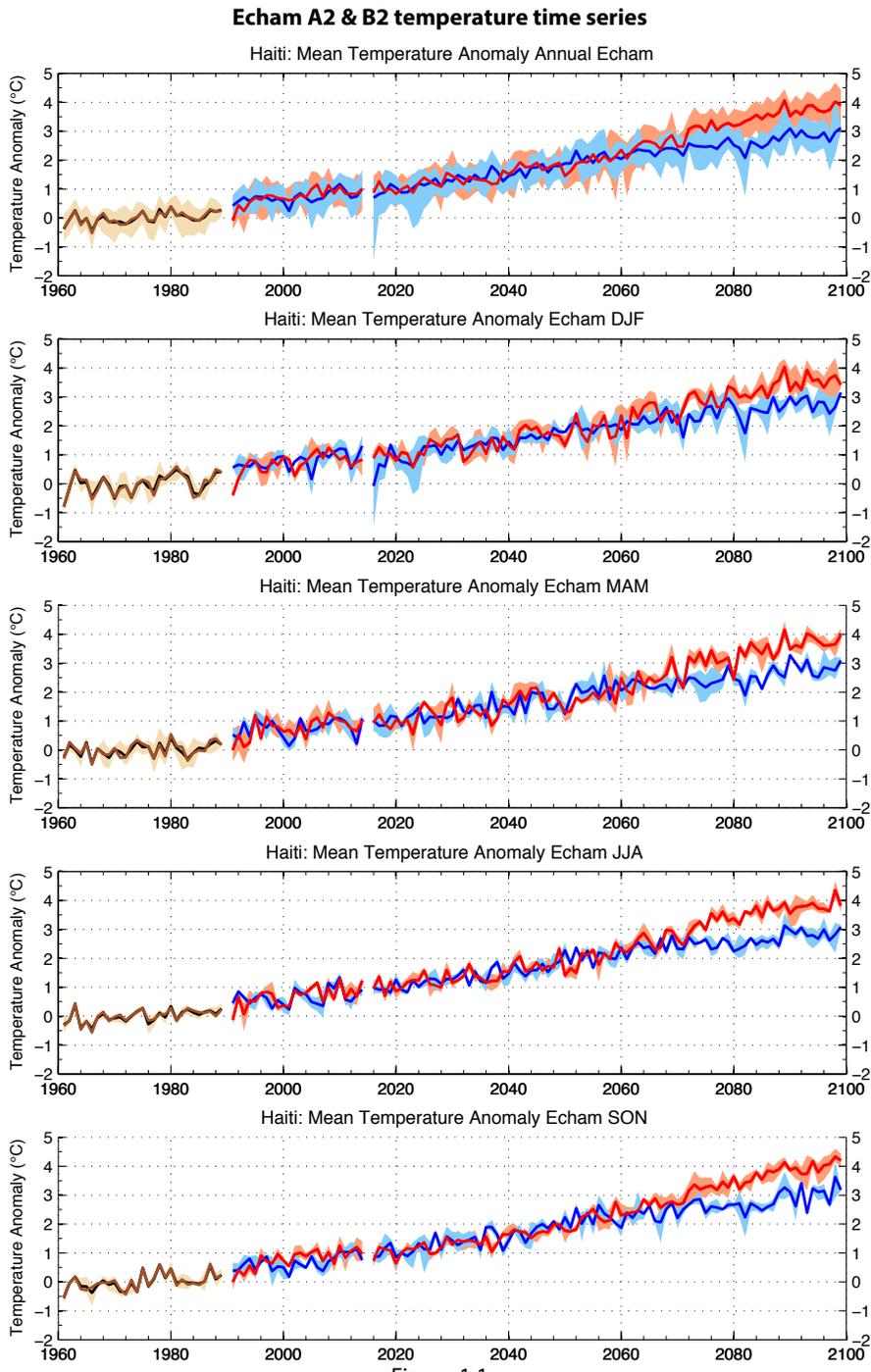
Echam	Observed Mean 1961-89	Observed Trend 1961-89		Projected changes by the 2050s			Projected changes by the 2070s			Projected changes by the 2090s		
				Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Frequency of Cold Nights (TN10p)												
	% Frequency	Change in frequency per decade		Future % frequency			Future % frequency			Future % frequency		
Annual	10.0	-3.82	* A2	0	0	7	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	6	0	0	11
DJF	10.1	-3.03	A2	0	0	7	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	3	0	0	11
MAM	10.0	-3.47	* A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	6	0	0	0
JJA	10	-5.73	* A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SON	9.9	-4.77	* A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% total rainfall falling in Heavy Events (R95pct)												
	%	Change in % per decade		Change in %			Change in %			Change in %		
Annual	24.1	-4.24	* A2	-14	2	18	-8	1	14	-7	3	17
			B2	-11	4	22	-7	3	12	-3	7	20
DJF	41.4	-7.60	* A2	-33	5	22	-44	0	16	-44	3	14
			B2	-30	4	19	-12	5	16	-36	11	45
MAM	26.9	-4.46	A2	-29	2	20	-29	-3	11	-33	-14	-3
			B2	-33	0	15	-29	5	13	-33	8	21
JJA	18.1	-1.52	A2	-17	1	25	-16	1	13	-17	1	8
			B2	-16	4	12	-13	2	7	-21	5	15
SON	20.9	-2.31	A2	-23	-1	6	-27	5	21	-4	16	36
			B2	-27	9	33	-27	-2	15	-24	3	18

ANNEXE II

TABLE 1 (suite)

Echam	Observed Mean 1961-89	Observed Trend 1961-89		Projected changes by the 2050s			Projected changes by the 2070s			Projected changes by the 2090s		
				Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Maximum 1-day rainfall (RX1day)												
	mm	Change in mm per decade		Change in mm			Change in mm			Change in mm		
Annual	9.4	-1.48	A2	-2	2	12	-4	-1	6	-4	-2	3
			B2	-4	1	16	-5	0	5	-4	6	57
DJF	5.1	-0.29	A2	-3	2	16	-4	0	4	-4	0	7
			B2	-3	0	2	-1	2	7	-3	6	61
MAM	8.7	-1.27	A2	-4	2	11	-4	-2	7	-6	-3	-1
			B2	-6	0	15	-5	0	6	-7	1	10
JJA	5.1	-0.19	A2	-2	0	8	-2	-1	2	-2	0	1
			B2	-1	0	3	-2	0	3	-2	0	4
SON	5.0	-0.02	A2	-1	0	2	-2	0	4	-1	1	2
			B2	-3	2	20	-2	-1	2	-2	1	8
Maximum 5-day rainfall (RX5day)												
	mm	Change in mm per decade		Change in mm			Change in mm			Change in mm		
Annual	26.5	-4.06	A2	-11	1	18	-9	-2	19	-7	-4	-2
			B2	-11	0	29	-13	1	14	-8	7	58
DJF	11.0	-1.54	A2	-6	1	20	-8	-2	3	-6	1	9
			B2	-7	0	10	-2	3	10	-5	8	73
MAM	24.6	-4.61	A2	-10	2	20	-11	-3	21	-17	-8	0
			B2	-15	-1	31	-12	1	16	-19	3	17
JJA	15.5	-0.35	A2	-5	0	12	-6	-1	4	-7	-2	3
			B2	-4	2	9	-5	0	9	-7	1	7
SON	15.5	-0.65	A2	-3	1	3	-5	2	18	0	5	9
			B2	-7	3	36	-5	-1	10	-3	2	6

ANNEXE II



ANNEXE II

Echam A2, temperature

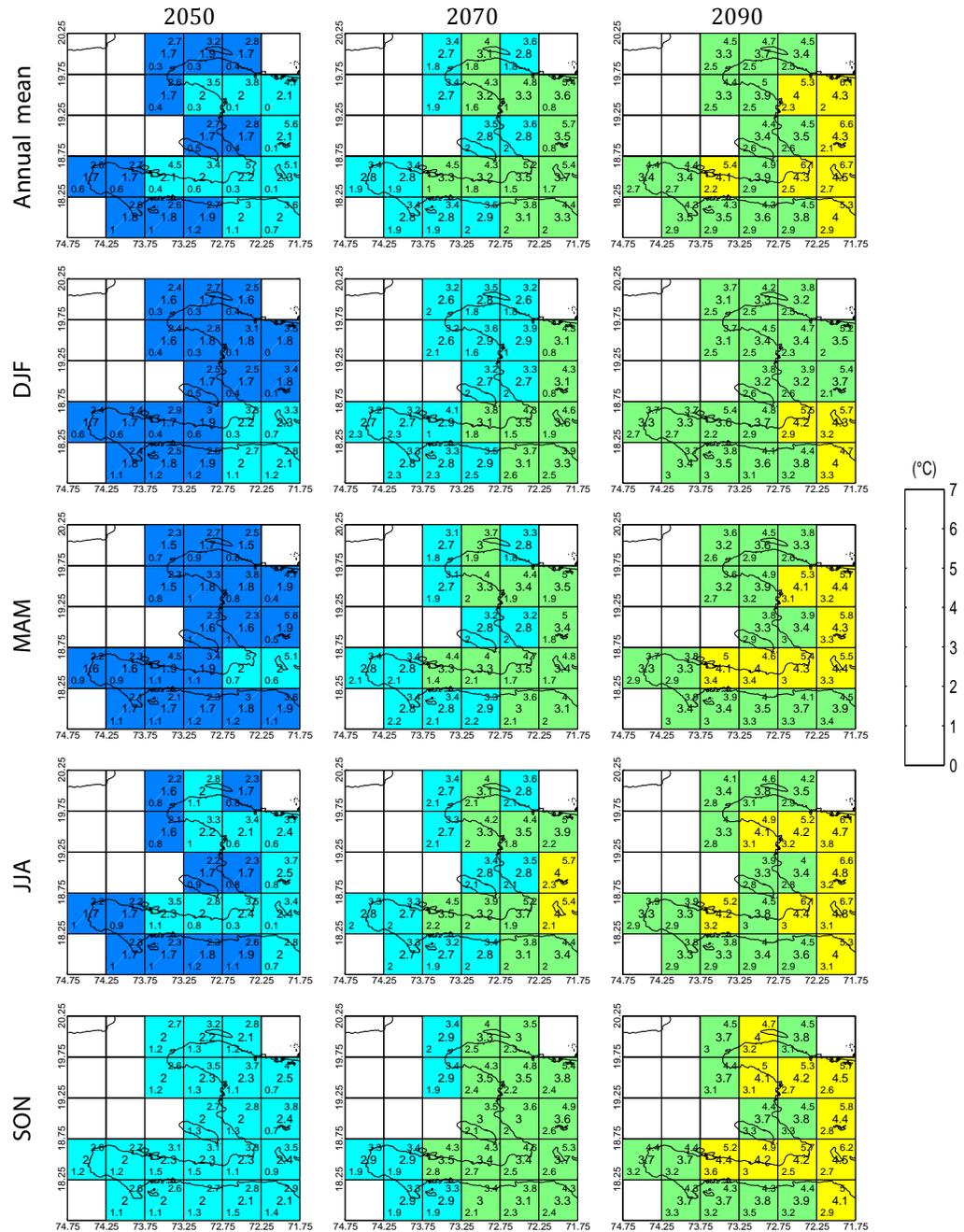


Figure 1.2

ANNEXE II

Echam B2, temperature

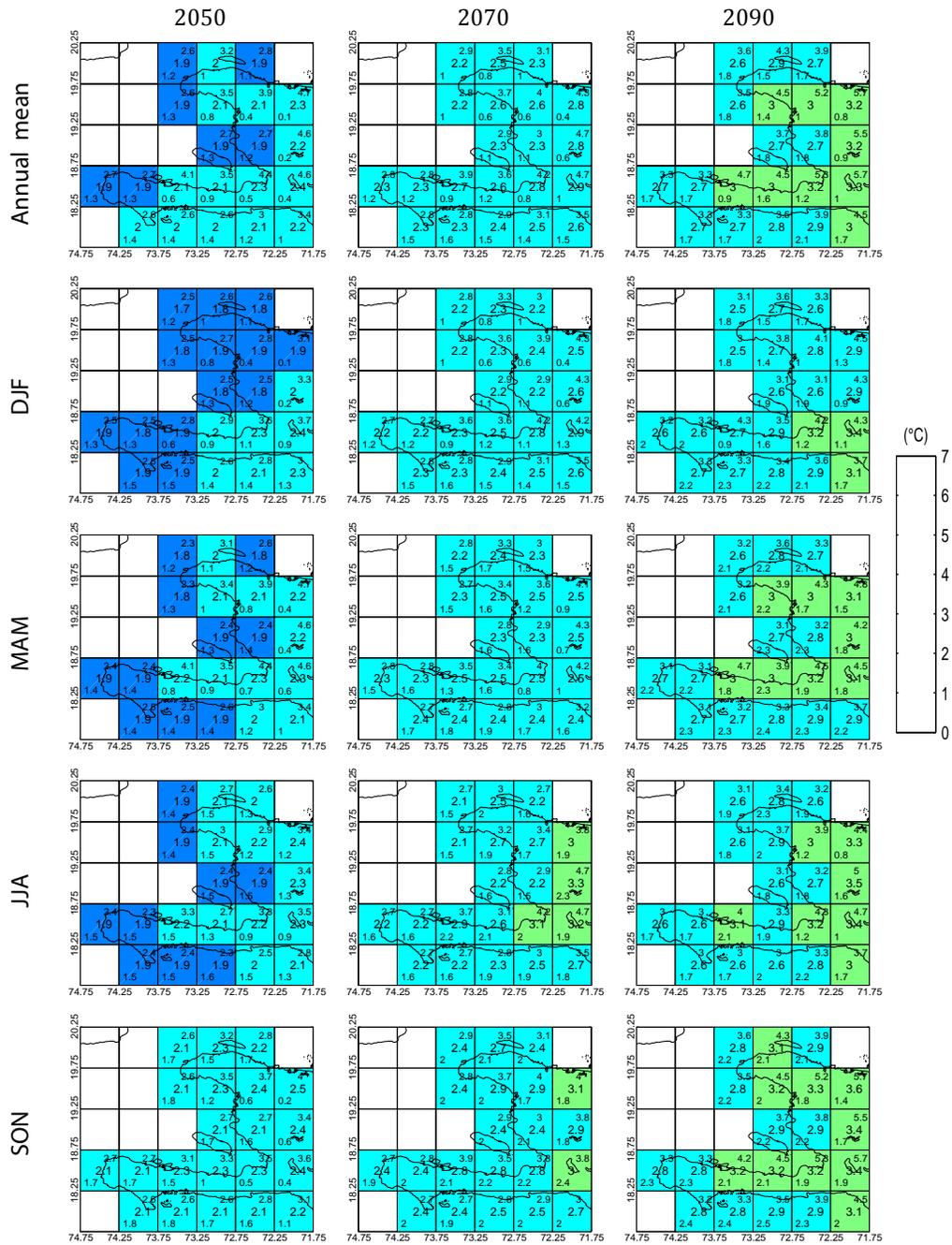


Figure 1.3

Echam Absolut precipitation

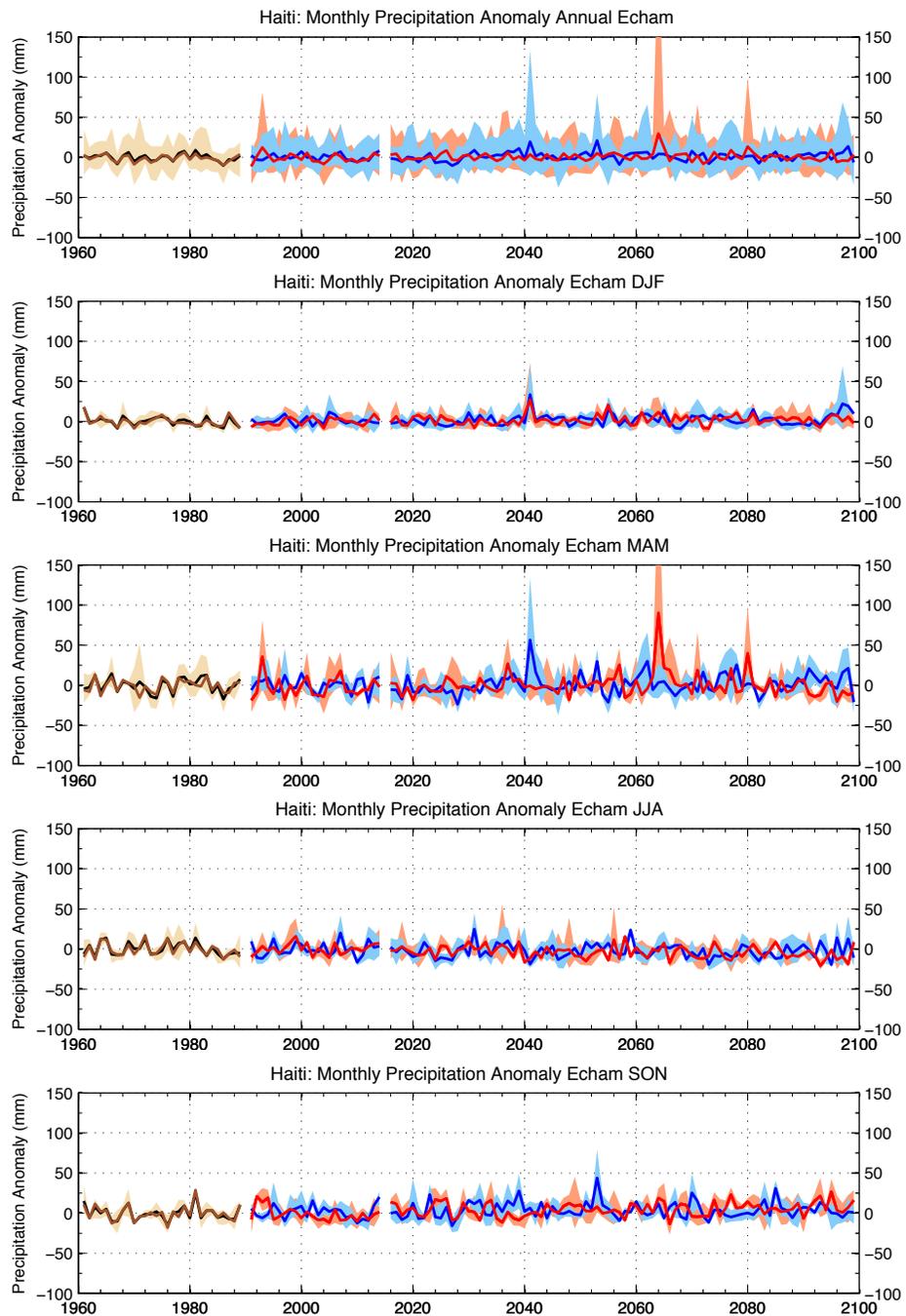


Figure 2.1

ANNEXE II

Echam A2 precipitation anomaly

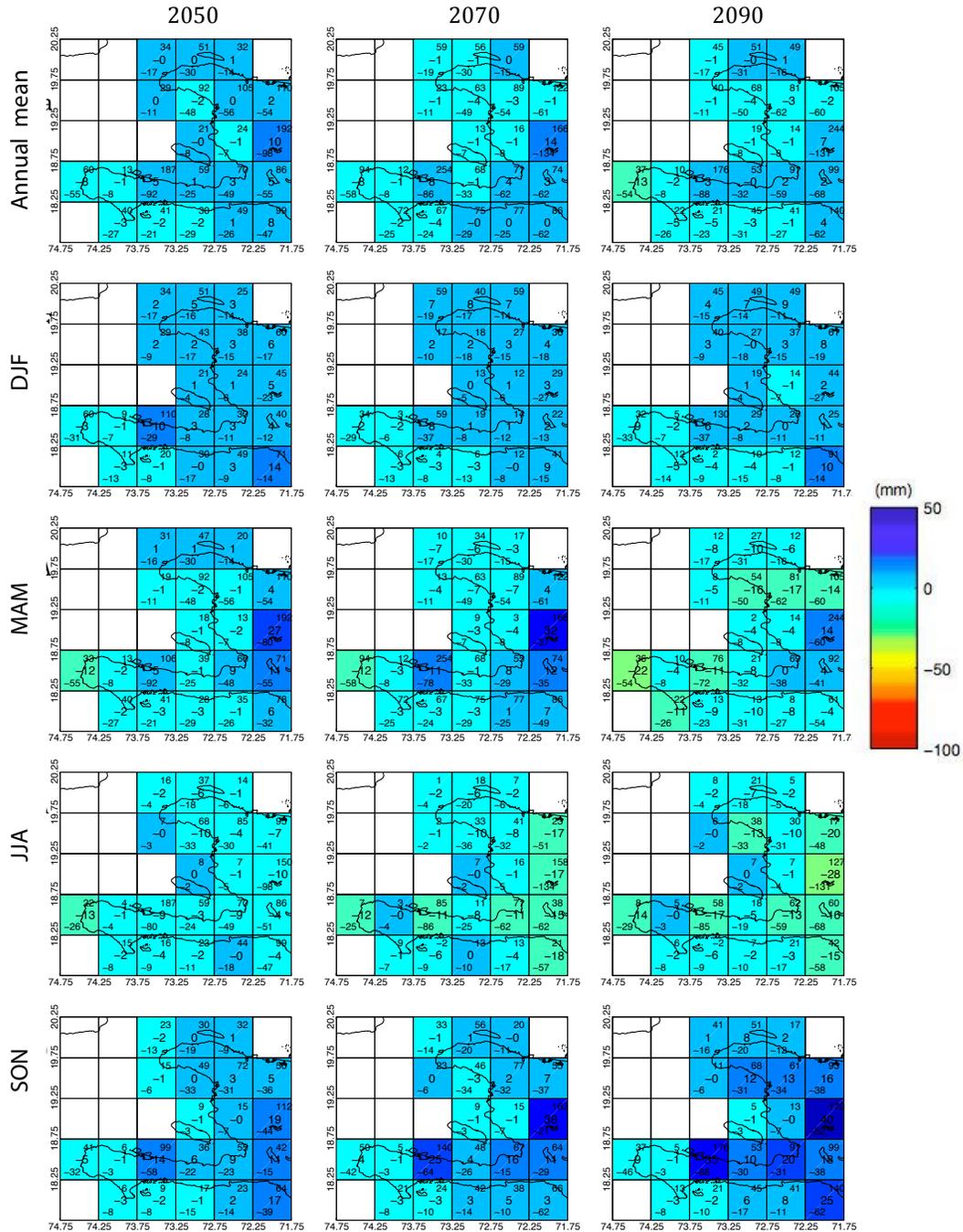


Figure 2.2

ANNEXE II

Echam B2 precipitation anomaly

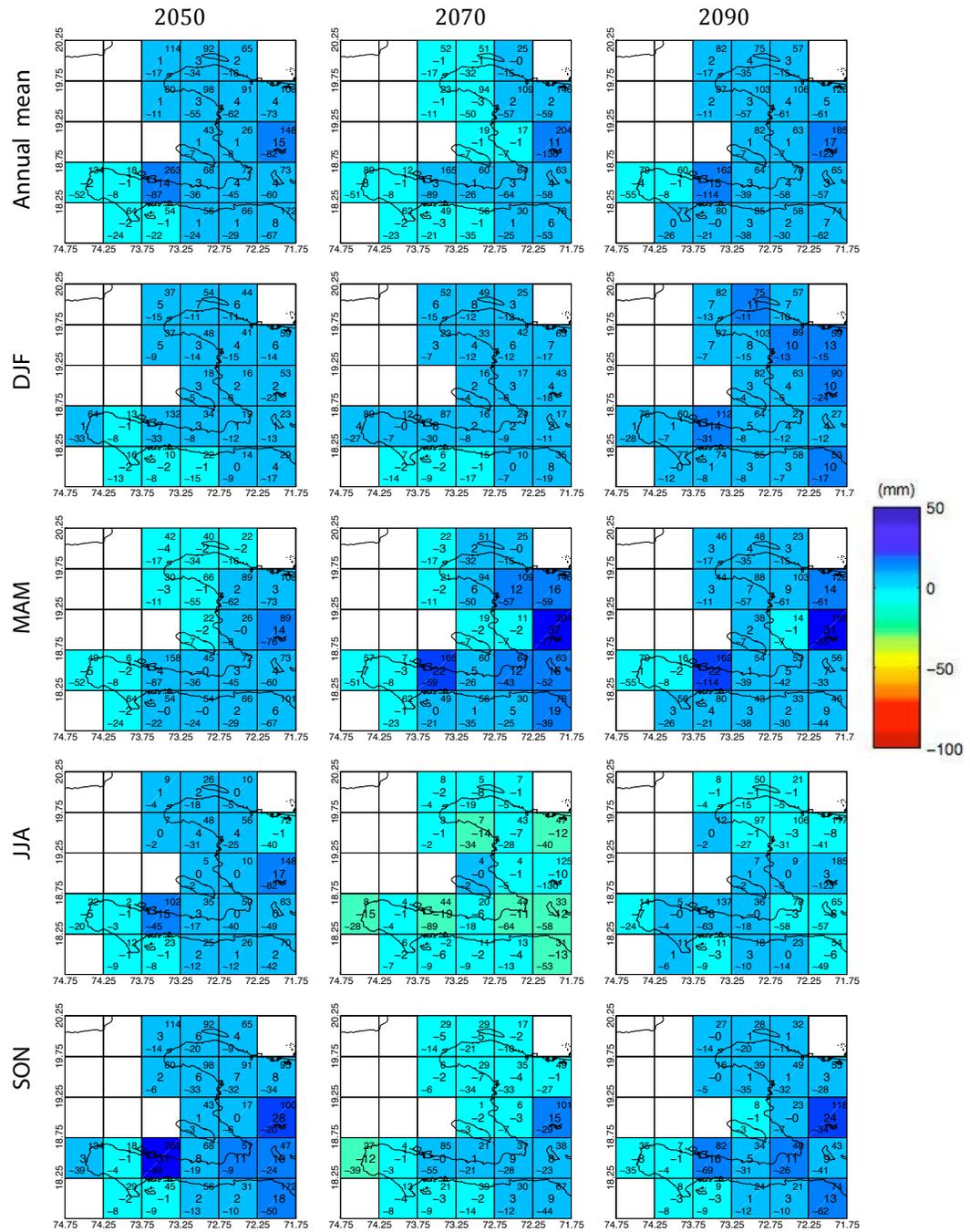


Figure 2.3

Echam relative precipitation, A2 & B2

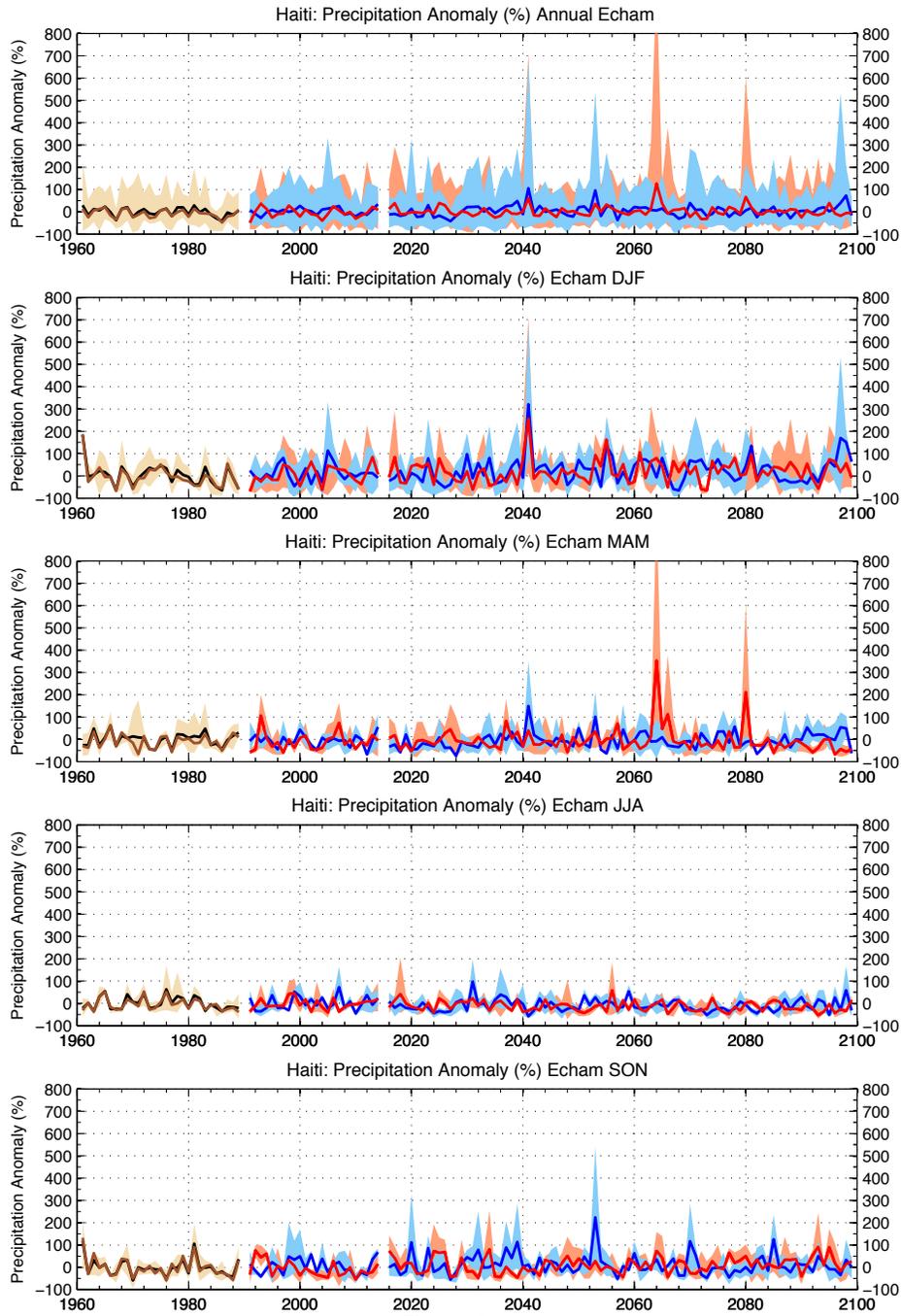


Figure 3.1

ANNEXE II

Echam relative precipitation, B2

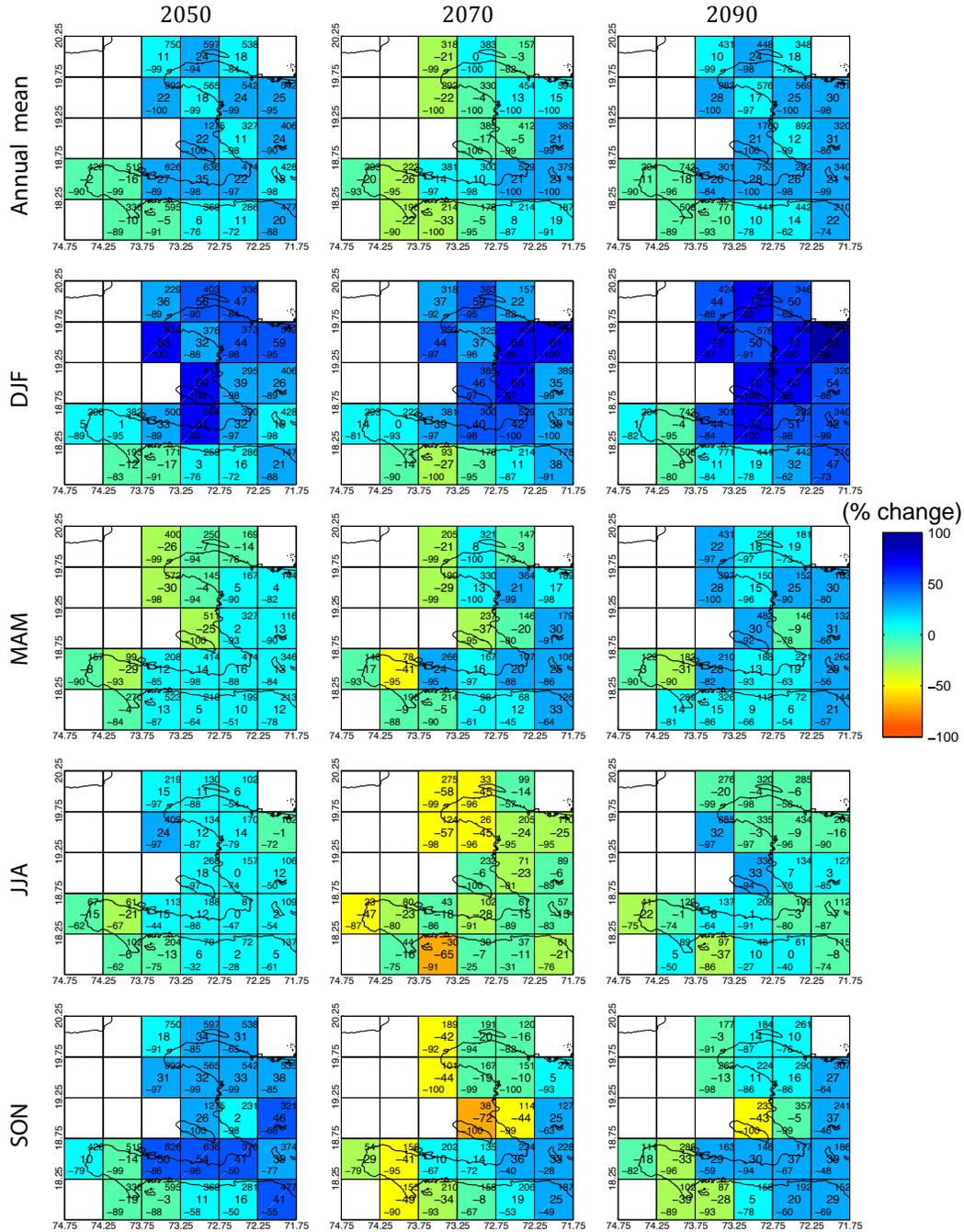


Figure 3.3

ANNEXE II

Echam hot day frequency

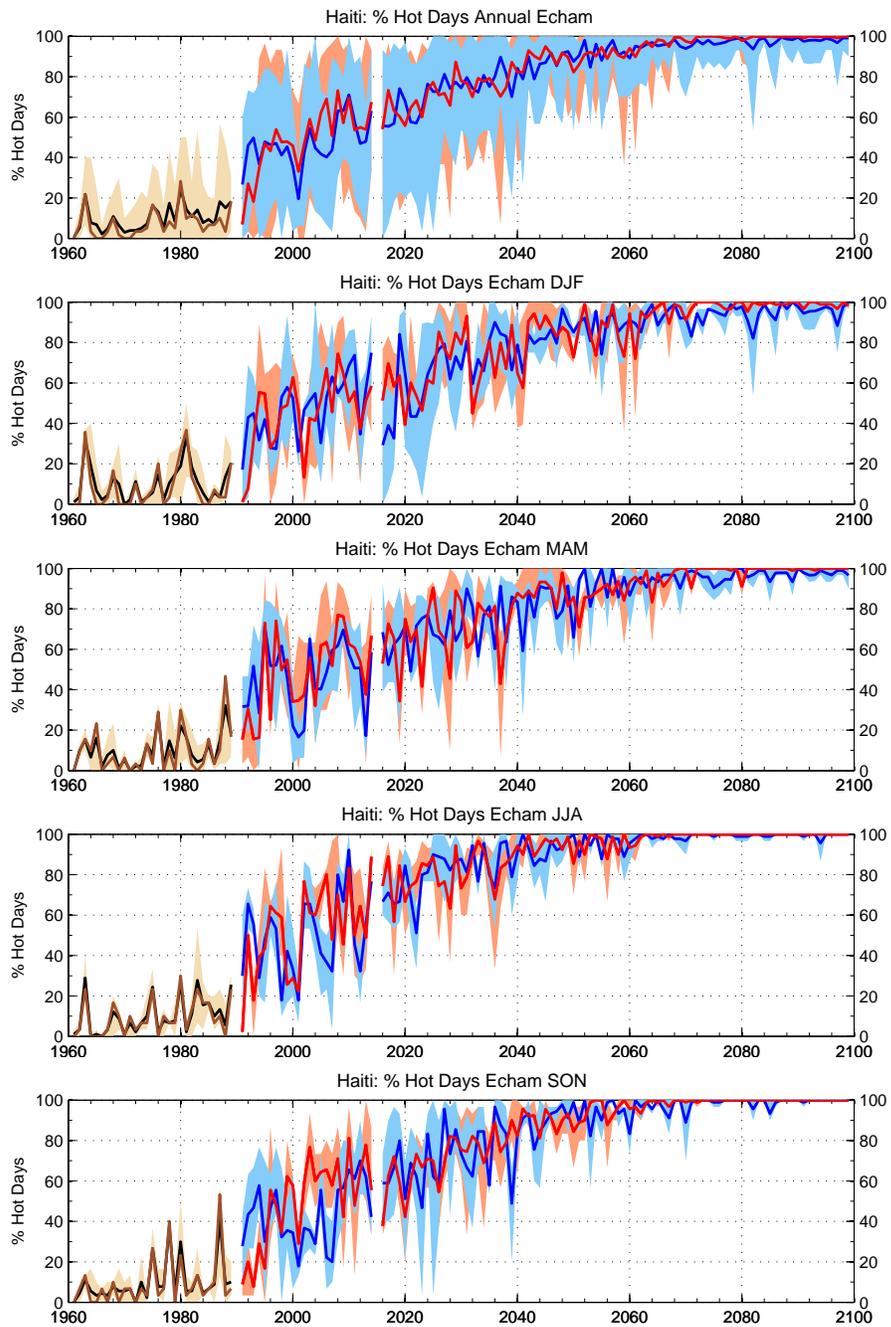


Figure 4.1

ANNEXE II

Echam A2 hot day frequency

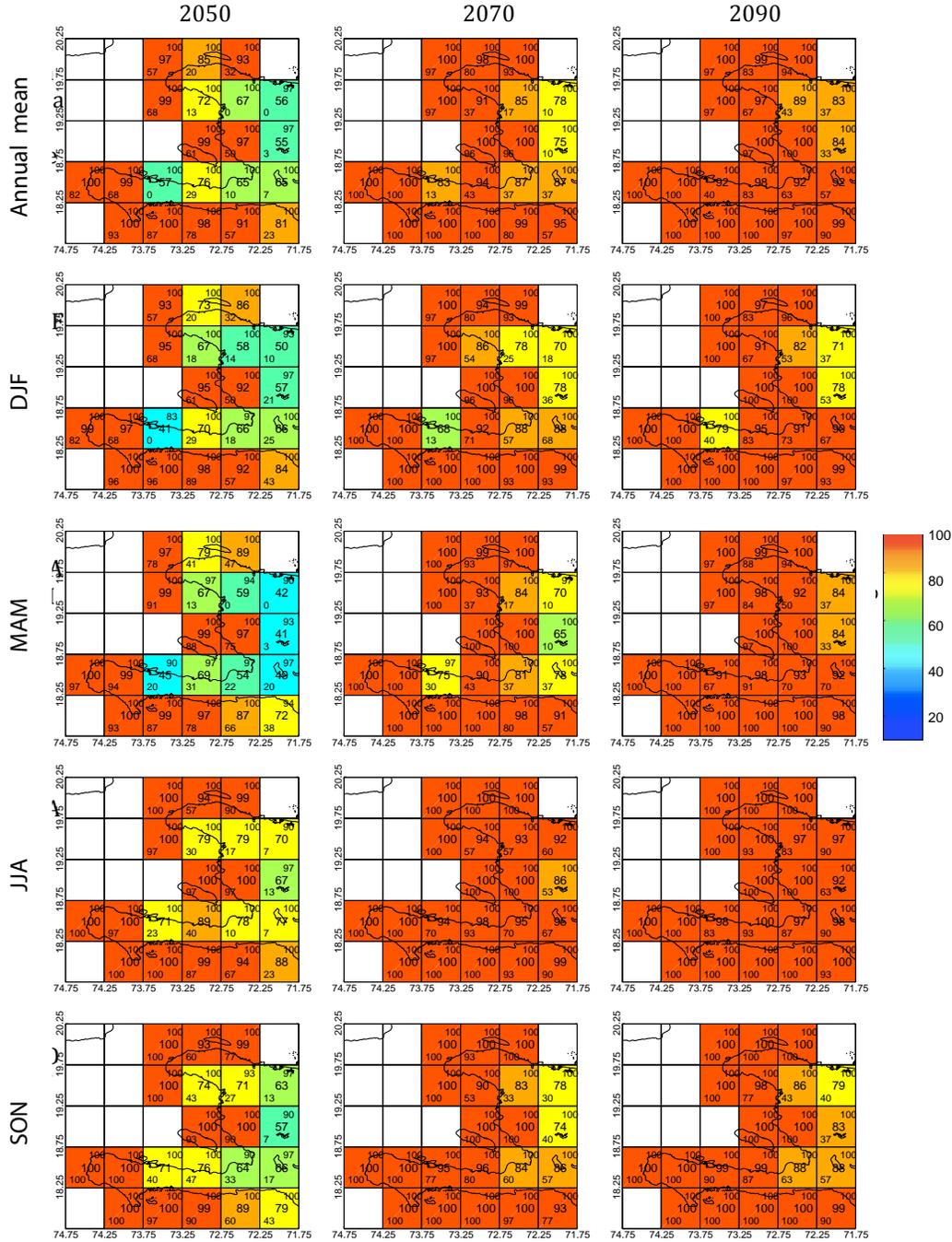


Figure 4.2

Echam B2 frequency hot days

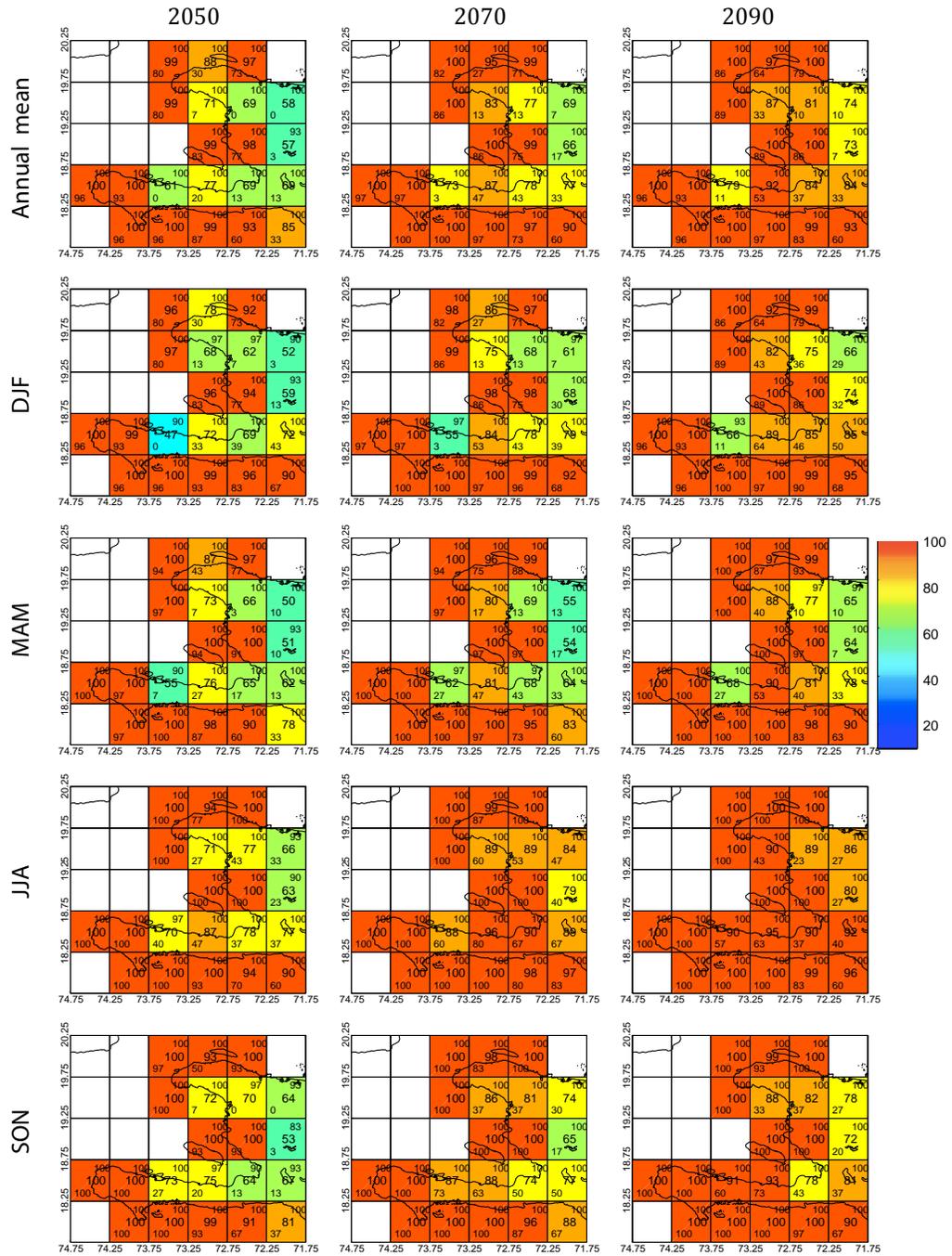


Figure 4.3

ANNEXE II

Echam hot night frequency

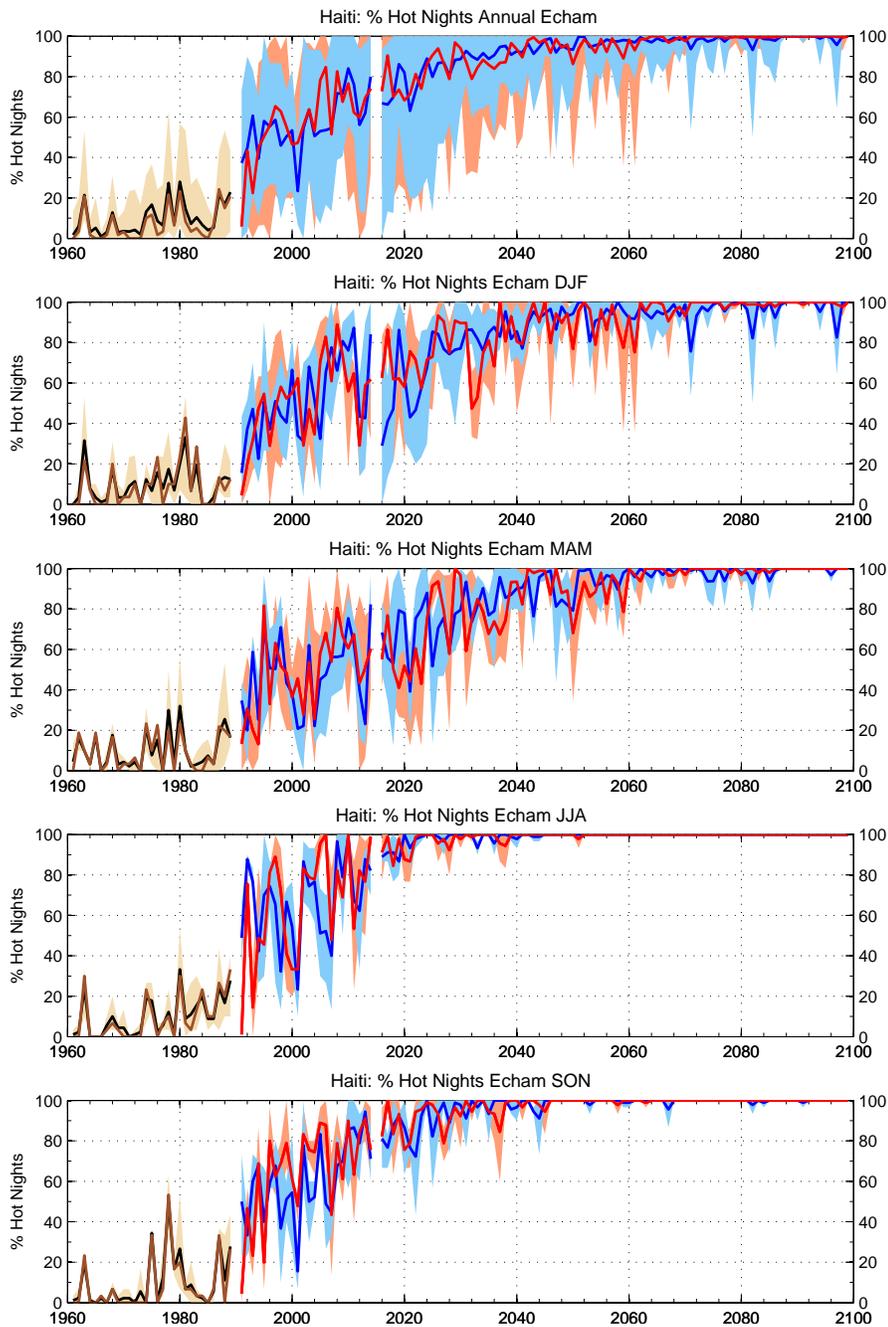


Figure 5.1

ANNEXE II

Echam A2 Hot night frequency

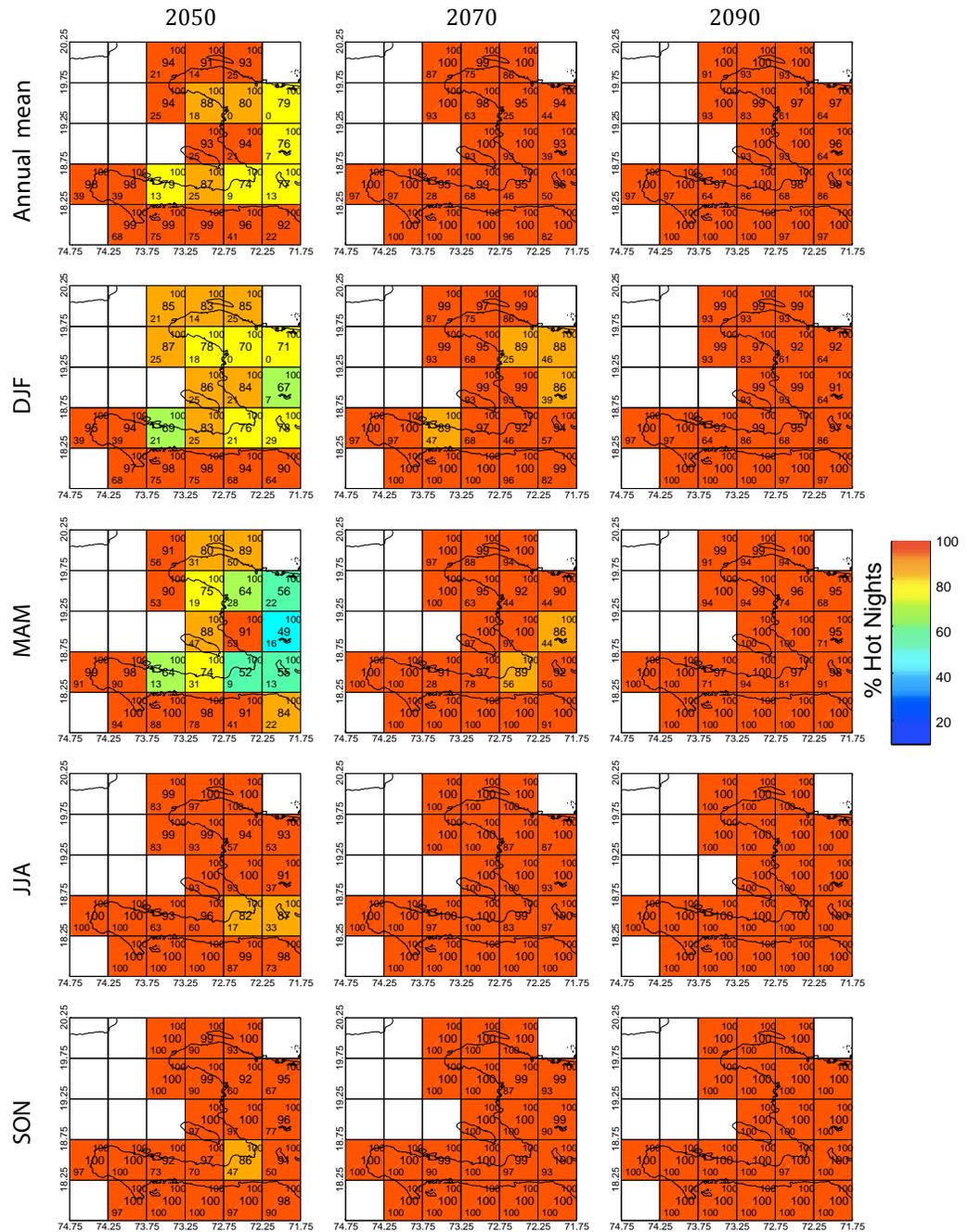


Figure 5.2

ANNEXE II

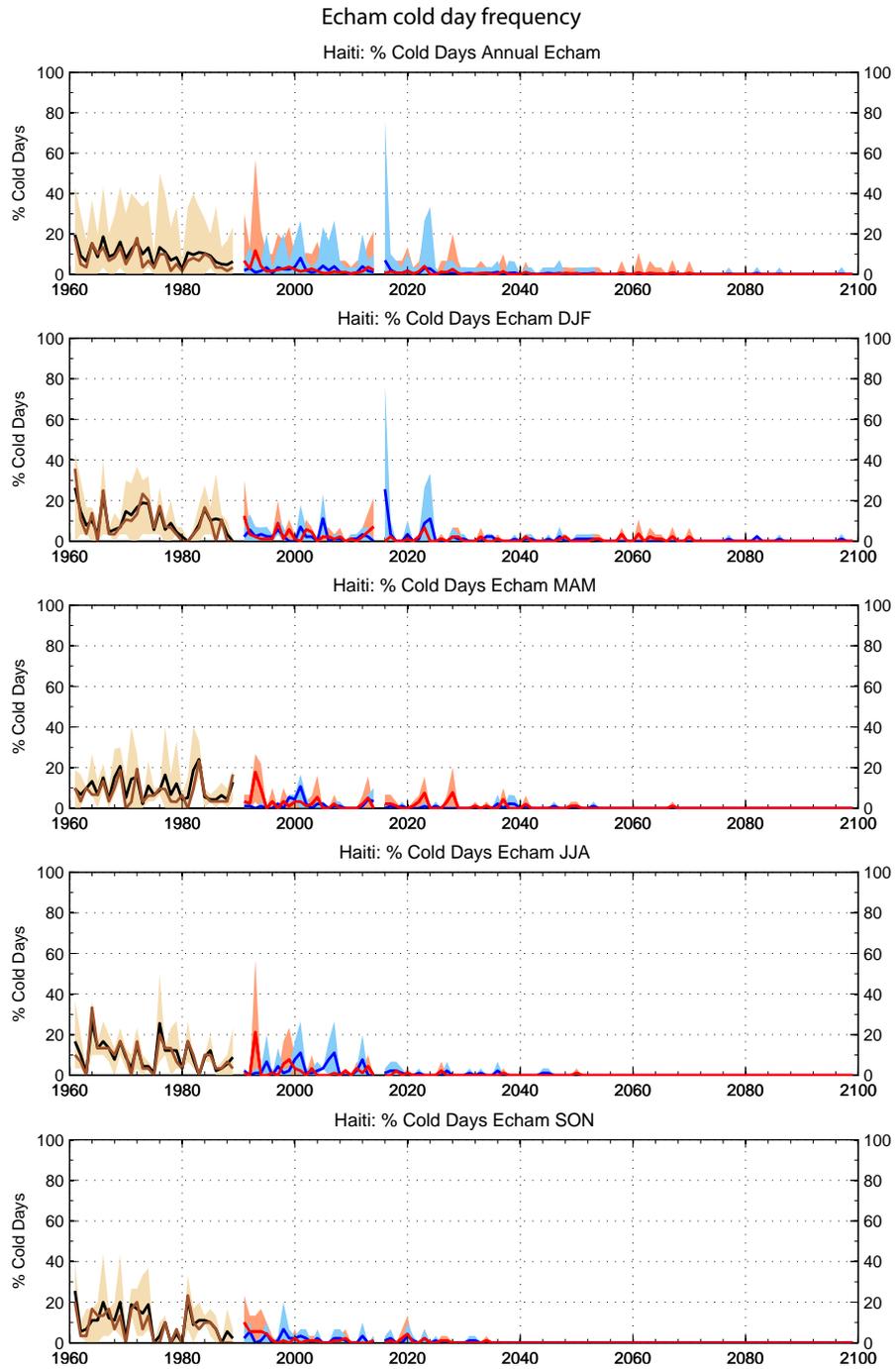


Figure 6.1

ANNEXE II

Echam A2 cold day frequency

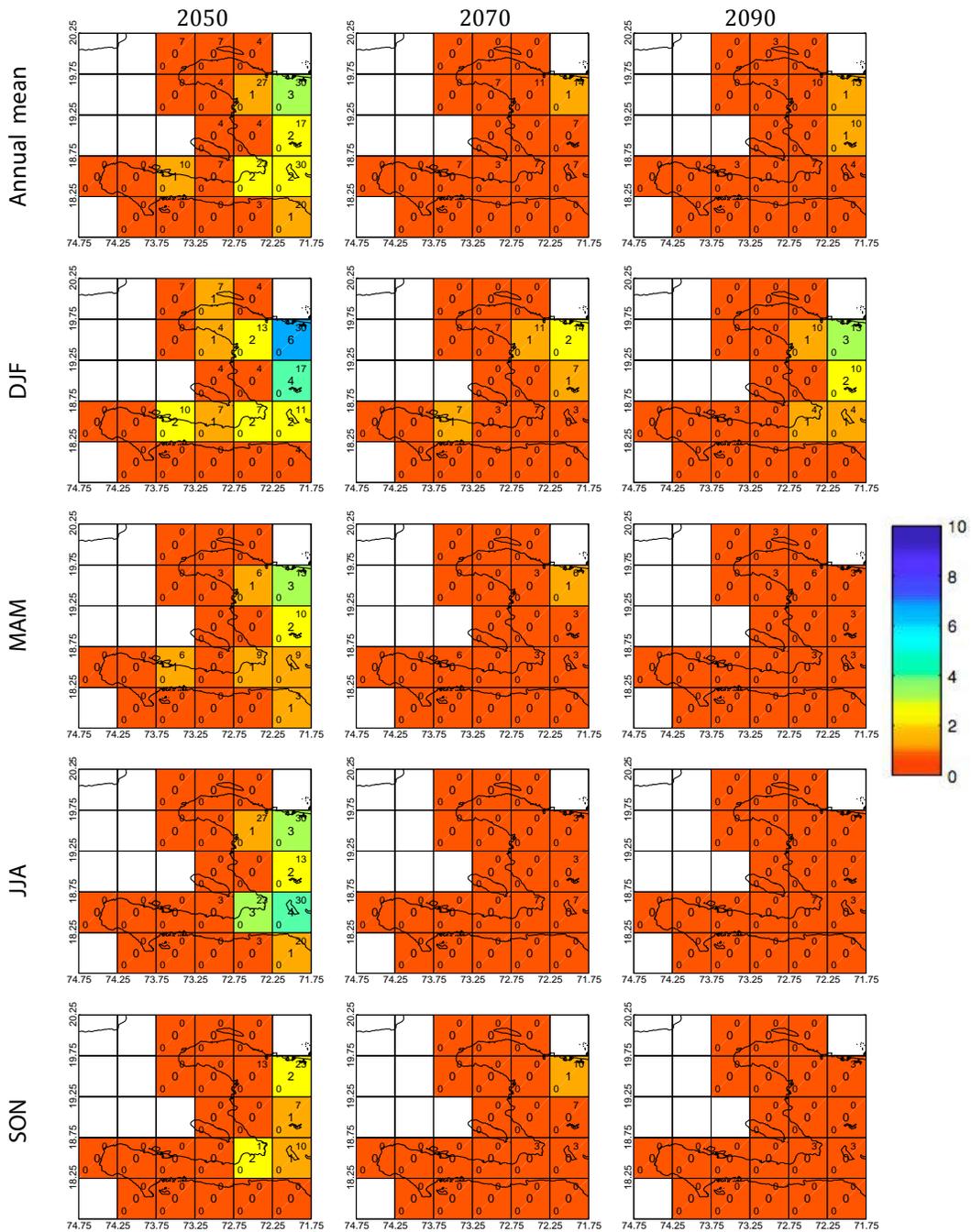


Figure 6.2

Echam B2 Cold day frequency

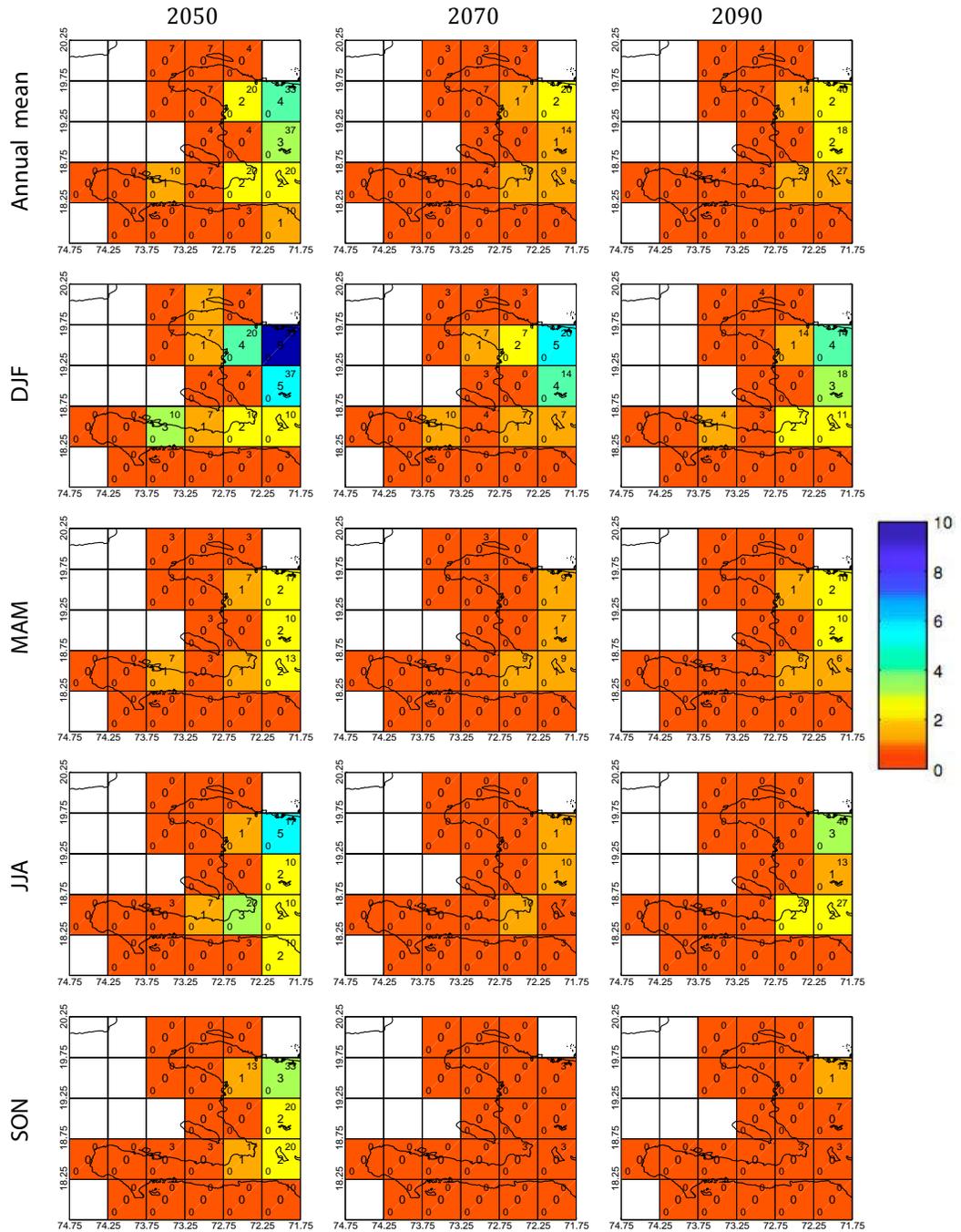


Figure 6.3