

## PROJECTIONS CLIMATIQUES CMIP6 À L'ÉCHELLE DU SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE : ÉVOLUTION DES CONTRAINTES THERMO-PLUVIOMÉTRIQUES POUR LES PRINCIPAUX AGROSYSTÈMES ASSOCIANT CACAO, HÉVÉA, PALMIER À HUILE ET MANIOC

Sylvain BIGOT<sup>1</sup>, Dominique DUMAS<sup>2</sup>, Téléphore Y. BROU<sup>3</sup>, Dabissi D. NOUFE<sup>4</sup>, Pauline DIBI<sup>5</sup>, Kouadio C. N'DA<sup>5</sup>, Stéphanie D. K. HOUPHLET<sup>6,7,1</sup>, François MUNOZ<sup>7</sup>, Arona DIEDHIOU<sup>1</sup>, Christian CILAS<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Université Grenoble Alpes - Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), CS 40 700 - 38058 Grenoble cedex 9, France. [sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr)

<sup>2</sup> Université de Lyon - UMR Environnement Ville Société (EVS), France

<sup>3</sup> Université de La Réunion - Laboratoire Océan Indien : Espaces et Sociétés (OIES), France

<sup>4</sup> Université Nangui-Abrogoua - Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>5</sup> Université Félix Houphouët-Boigny - Institut de Géographie Tropicale (IGT), Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>6</sup> Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>7</sup> Université Grenoble Alpes - Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LIPhy), France

<sup>8</sup> CIRAD (UMR PHIM) Montpellier, France / CIRAD, DGDRS, Abidjan, Côte d'Ivoire

**Résumé :** La Côte d'Ivoire est au cœur d'enjeux agro-écologiques et socio-économiques considérables, ses filières étant rendues très vulnérables par le changement climatique. Les analyses présentées s'appuient sur les simulations climatiques CMIP6 (et sur certains indicateurs provenant des données CMIP5) à l'échelle du sud-est du pays, représentatif de grandes plantations industrielles associées à un foncier villageois très dynamique. Les résultats indiquent qu'au-delà des hausses attendues des températures, ce sont surtout les séquences pluviométriques et leur évolution intrasaisonnière qui vont conditionner les tolérances des principales productions agricoles du Sud-Comoé, malgré certaines incertitudes des simulations numériques.

**Mots-clés :** Agroclimatologie tropicale, Côte d'Ivoire, climat futur, projections CMIP6.

### Introduction

En février 2022, l'agence de presse internationale Reuters alerte sur une absence de précipitations récurrente depuis plusieurs semaines sur la plupart des régions ivoiriennes productrices de cacao, réduisant significativement les récoltes annuelles attendues, alors que la Côte d'Ivoire demeure le premier producteur mondial (avec 2 034 000 t en 2021, soit 39,1 %). A l'échelle nationale, les agriculteurs interrogés déclarent en effet que le manque de pluie combiné à des périodes de forte chaleur va conduire à une diminution des rendements et de la qualité des produits agricoles (Reuters, 2022). Au-delà de cette culture, c'est en fait l'ensemble du système agronomique et des associations culturales qui est affecté par cet aléa climatique et, plus largement, par le changement climatique en cours. L'enjeu est majeur, car avec 780 000 tonnes produites en 2019, la Côte d'Ivoire est aussi le premier pays producteur de caoutchouc en Afrique et le sixième à l'échelle mondiale, l'hévéaculture étant en forte expansion dans toute la partie méridionale du pays (Benoist, 2020). Le pays se positionne aussi comme le 3<sup>ème</sup> producteur africain d'huile de palme, avec près de 17 % de la production totale et 219 000 t d'exportation (Cumunel, 2020). Selon les projections agricoles, la hausse de production de noix de palme devrait être de 94 % pour 2030, avec un triplement des exportations. A ce triptyque de cultures industrielles insérées dans l'économie mondiale s'ajoute souvent en association celle du manioc, dont la demande nationale a fortement augmenté du fait d'une meilleure transformation et commercialisation, et aussi du fait de son potentiel de stockage 'sur pied' et de ses moindres exigences agronomiques. Combiné à ces enjeux agricoles, les évolutions climatiques régionales conditionnent aussi fortement les dynamiques écosystémiques et évolutions paysagères, dans un contexte de déforestation historique et de paysages post-forestiers très dégradés, pour évoluer vers des solutions d'adaptation, de séquestration du carbone et de préservation des espaces agricoles ou naturels grâce, par exemple, au développement de l'agroforesterie (N'Guessan *et al.*, 2019 ; Amani *et al.*, 2021).

Dans ce contexte, en s'appuyant sur des résultats scientifiques fondamentaux et appliqués, la Côte d'Ivoire veut renforcer la résilience de son agriculture face aux changements climatiques qui affectent ses principaux

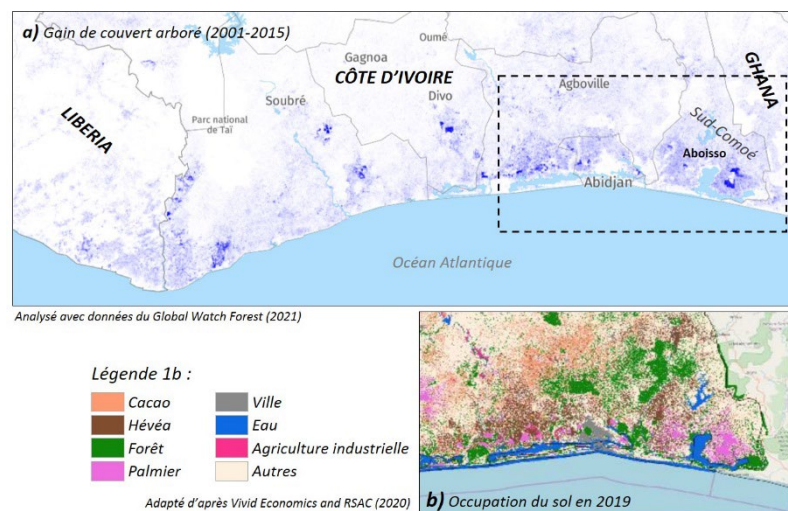
secteurs agricoles, en particulier la région sud-est (district de la Comoé), mise en valeur et très largement déforestée depuis les années 1970 au profit de plantations de rente (cacao, palmiers à huile, hévéa). Les résultats présentés dans cet article concernent spécifiquement les projections issues des dernières données CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*) pour comprendre les principales évolutions attendues de certaines contraintes agroclimatiques thermo-pluviométriques à moyen et long terme. Ces précisions climatologiques à l'échelle régionale doivent permettre de raffiner et améliorer les diverses applications et modélisations des conditions agronomiques et hydrométéorologiques en Afrique (Nooni *et al.*, 2021 ; Della Sala *et al.*, 2021). L'ensemble de ce travail de recherche s'effectue dans le cadre d'un projet franco-ivoirien soutenu par la Région Auvergne-Rhône-Alpes (Pack Ambition International) intitulé « *Evolution des agrosystèmes d'Abidjan à Aboisso et apports des services climatiques en Côte d'Ivoire : projections, résilience et aide à la décision* », et associant notamment les Universités de Grenoble, Lyon, La Réunion, ainsi que celles de Félix Houphouët-Boigny et de Nangui-Abrogoua à Abidjan.

## 1. La zone d'étude du Sud-Comoé

### 1.1. Associations culturelles et enjeux agro-écologiques

Le Sud-Comoé (7278 km<sup>2</sup>, avec une population d'environ 670 000 habitants) est une région ivoirienne située dans le District de la Comoé, avec pour chef-lieu la ville d'Aboisso. Elle est frontalière du Ghana à l'est et bordée par l'océan Atlantique au sud (figure 1). C'est une des régions ivoiriennes les plus représentatives et dynamiques sur le plan agricole, qui associe des plantations et infrastructures industrielles mais aussi une large mosaïque de plantations paysannes et coopératives, autour des filières cacao/hévéa/huile de palme (le manioc servant de production commerciale complémentaire intercalée). L'essentiel des gains en couvert forestier dans toute la partie méridionale du pays ces 2 dernières décennies est déterminé par l'extension des plantations, en particulier les grandes exploitations industrielles (palmiers) dans toute la périphérie d'Aboisso.

**figure 1. a)** Gain de couvert arboré (en bleu sur la carte) dans la partie sud de la Côte d'Ivoire (résolution spatiale Landsat de 30 m) entre 2001 et 2015 (cartographie établie à partir du portail *Global Forest Watch*) ; l'apport arboré correspond ici à toute végétation de plus de 5 m de haut, donc essentiellement des plantations, même si la méthodologie de détection peu aussi identifier des espaces forestiers. **b)** Zoom (d'après l'encadré en pointillé indiqué sur la carte a) des principales classes d'occupation du sol dans le sud-est du pays en 2019 (adapté d'après la carte établie à l'échelle nationale par Vivid Economics).



### 1.2. Contraintes et vulnérabilité agro-climatiques des principales cultures de rente

Le régime pluviométrique moyen du sud de la Côte d'Ivoire possède un pic principal en juin (266 mm selon la normale 1981-2010 à la station d'Abidjan, soit 18 % du cumul annuel) et un secondaire en octobre (123 mm, soit 7 %). Avec 1441 mm/an, les conditions agronomiques sont donc en théorie optimales une grande partie de l'année (en dehors des mois enregistrant moins de 100 mm, soit la période DJFM, ainsi que la petite saison sèche du mois d'août) pour les cultures étudiées ; les productions peuvent être pratiquées par exemple 8 mois sur 12 pour les palmiers à huile, et 10 pour l'hévéa, avec des fréquences de récolte élevées (tous les 10 à 15 jours pour les palmiers à huile, et tous les 4 jours environ pour l'hévéa ; Priyadarshan, 2017). Cependant, alors que l'hévéaculture requiert plutôt un climat tropical humide avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1500 et 2500 mm (et un minimum de 1100 mm sans période de sécheresse de plus de

4 mois), les plantations du sud-est ivoirien se développent donc dans des conditions limites, avec des rendements potentiels moindres, et surtout, avec une vulnérabilité élevée aux variations météo-climatiques, en particulier les périodes prolongées de sécheresse (Benoist, 2020). En outre, dans cette région, avec des sols hydromorphes ferrallitiques schisteux et granitiques, la pédologie n'est pas optimale d'un point de vue agronomique pour l'hévéaculture, ce qui explique qu'historiquement, les plantations restaient limitées, avec une prévalence par exemple pour les ananeraies. Pour le cacao, l'optimum pluviométrique se situe entre 1200 et 3000 mm/an, avec une tolérance pour 1 à 3 mois relativement sec, et un risque agronomique fort dès que les cumuls sont inférieurs à 900 mm/an (FAO, 2007).

Sur le plan thermique, une température inférieure à environ 23°C pour le palmier à huile et à 18°C pour l'hévéa engendre un ralentissement de la croissance tandis que la température ne doit pas excéder 34°C (contrainte variable en fonction évidemment du taux d'humidité de l'air). L'optimum thermique est plutôt de 22-25°C/an pour le cacao, avec une tolérance jusqu'à 38°C pour les températures maximales. Mais au-delà des conditions moyennes, c'est plus la distribution intra-saisonnière des conditions thermo-pluviométriques et l'incidence de périodes atypiques (longueurs et intensité des épisodes secs ou humides, chauds ou très chauds) qui peuvent conditionner la pérennité éco-physiologique et la rentabilité future de ces plantations à vocation industrielle, en particulier le cacaoyer (Schroth *et al.*, 2016).

Un focus group réalisé dans le village d'Assouba (département d'Aboisso) en novembre 2021 par les chercheurs de ce programme avec une quinzaine de planteurs villageois (hévéa, palmier, manioc) a aussi permis de confirmer que la demande en services agroclimatiques repose surtout sur un meilleur diagnostic de ces séquences pluviométriques évolutives, qui perturbent les itinéraires techniques, abaissent les rendements, avec parfois une augmentation des pressions parasitaires (hévéa et cacaoyer notamment), et nuisent aux programmations socio-économiques des futures exploitations ; alors que les aléas thermiques et l'évolution au réchauffement sont déjà a priori mieux compris et intégrés dans les plans de gestion agronomique.

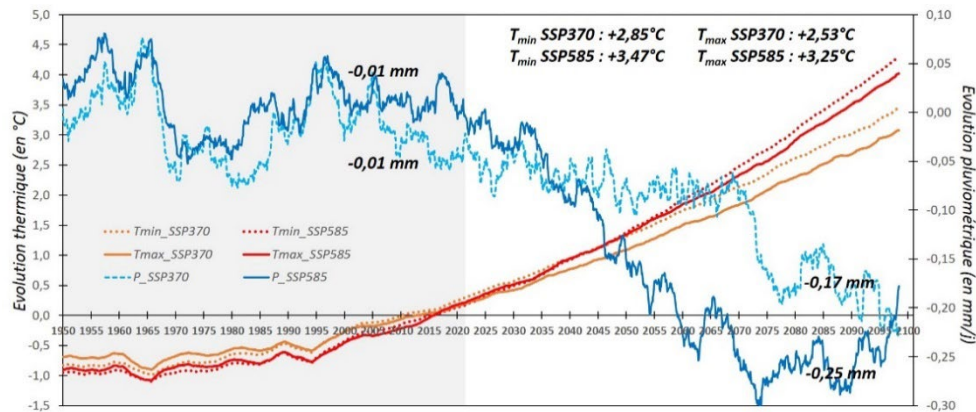
## 2. Données et méthodes : analyses des projections CMIP5 et CMIP6

La sixième phase du projet d'intercomparaison des modèles couplés (CMIP6) est une version actualisée de la phase 5 (CMIP5) avec des niveaux de forçage radiatif similaires pour 2100, mais en ayant ajouté des conditionnalités socio-économiques ; les scénarios appelés RCP (*Representative Concentration Pathway*) dans la phase 5 sont désormais appelés SSP (*Shared Socioeconomic Pathways*) pour la phase CMIP6, avec les scénarios dits SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5. Les données climatiques analysées dans ce travail proviennent du portail en libre accès *Climate Explorer* fournissant un ensemble de produits issus de l'observation, des réanalyses ou de la modélisation numérique du climat : [climexp.knmi.nl/start.cgi](http://climexp.knmi.nl/start.cgi). Les projections CMIP5 et CMIP6 y sont disponibles soit sous forme de synthèse (moyenne inter-modèle, en retenant un membre par modèle ou bien tous les membres), soit avec le détail pour chacun des 40 modèles utilisés. Les analyses pour cet article se focalisent surtout sur les projections CMIP6 à échéance 2100 selon les deux scénarios futurs SSP3-7.0 et SSP5-8.5 (*i.e.* avec un forçage radiatif additionnel important de 7 W/m<sup>2</sup> d'ici 2100, le scénario SSP3-7.0 comblant en fait l'écart entre les scénarios précédents RCP6.0 et RCP8.5 de l'expérience CMIP5 ; le scénario SSP5-8.5 représente un forçage de 8,5 W/m<sup>2</sup>, soit la limite supérieure de la gamme des scénarios actuels, et peut être interprété comme proche du scénario RCP8.5, mais désormais avec des conditions socio-économiques).

Les données CMIP5 sont également utilisés dans ce travail via les produits calculés sur les extrêmes et produisant des indices thermo-pluviométriques établis selon la méthodologie de l'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) et détaillés dans Sillman *et al.* (2013), ces indicateurs n'étant pas encore disponibles pour les données CMIP6 dans *Climate Explorer*. Cinq variables sont sélectionnées car ayant de forts impacts agroclimatiques : le nombre de jours durant lesquels les précipitations (P) sont supérieures à 1 mm ( $P_{>1mm}$ ) ou 10 mm ( $P_{>10mm}$ ), le cumul des précipitations maximales consécutives sur 5 jours (RX5, en mm/5j), ainsi que les indices CDD (*Consecutive Dry days*) et CWD (*Consecutive Wet Days*) qui correspondent respectivement au maximum annuel de jours secs ou humides consécutifs.

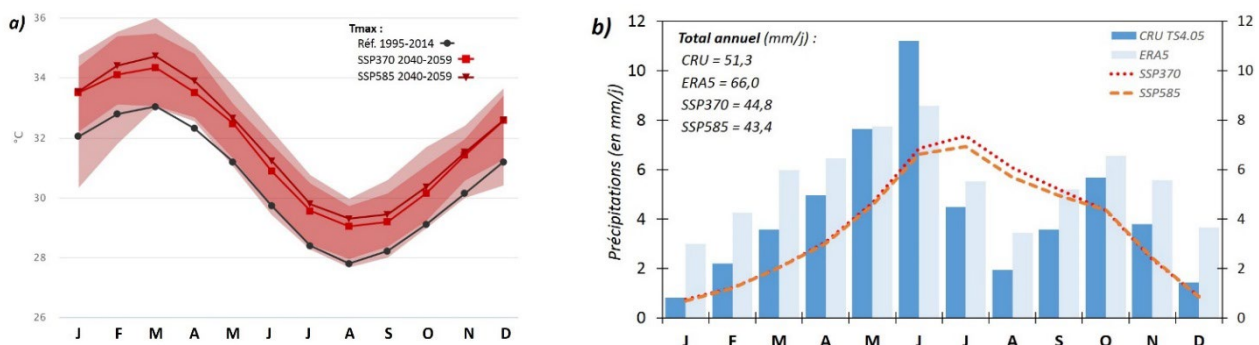
### 3. Résultats et discussion

Les projections CMIP6 montrent une augmentation très significative des températures régionales, avec une hausse moyenne de 2,85°C pour les températures minimales et de 2,53°C pour les maximales pour le scénario SSP3-7.0 d'ici la fin du siècle, et respectivement de +3,47°C et +3,25°C pour le scénario SSP5-8.5 (figure 2). Les  $T_{\min}$  vont donc enregistrer une augmentation plus importante que les  $T_{\max}$ , indiquant bien que c'est toute la gamme des températures et des phases saisonnières/journalières qui sont affectées. Les précipitations subissent une diminution qui débute dès les décennies 2020-2040, et qui s'accélère ensuite d'ici la fin du siècle, pour atteindre une baisse de 0,17 et 0,25 mm/j pour les deux scénarios étudiés (figure 2). Cela va à l'encontre des constats généraux pour l'Afrique de l'Ouest qui concluent plutôt à une tendance future à l'humidification des régions équatoriales (Nooni *et al.*, 2021).



**figure 2.** Projections climatiques CMIP6 (moyenne inter-modèle selon les 2 scénarios SSP3-7.0 et SSP5-8.5) sur la période 1950-2100 des anomalies (d'après la normale 1950-2020) des températures maximales et minimales (axe des ordonnées de gauche ; en °C) et des précipitations (axe des ordonnées de droite ; en mm/j) à l'échelle du sud-est de la Côte d'Ivoire : en grisé est indiquée la période passée 1950-2021 ; les valeurs en gras représentent l'évolution calculée entre les normales 1991-2020 et 2071-2100 ; d'après les données obtenues via *Climate Explorer*.

À l'échelle saisonnière, tous les mois de l'année se réchaufferont, mais ce sont surtout ceux du trimestre FMA qui enregistreront la plus forte hausse, les  $T_{\max}$  moyennes attendues à cette période dépassant 34°C, et pouvant même atteindre 36°C (figure 3a). La saison sèche de JAS sera aussi affectée par un réchauffement significatif, ce qui alerte sur une évolution de l'évapotranspiration et de la vulnérabilité végétale durant cette période critique. Bull *et al.* (2019) montrent également que pour l'ensemble des zones cacaoyères ivoiriennes, les températures ont augmenté en toutes saisons, le trimestre le plus sec étant devenu plus chaud d'environ 0,7°C au cours des trois dernières décennies. Mais ils montrent aussi, comme pour nos résultats, que ce trimestre devient globalement plus humide, la variabilité interannuelle des précipitations augmentant.

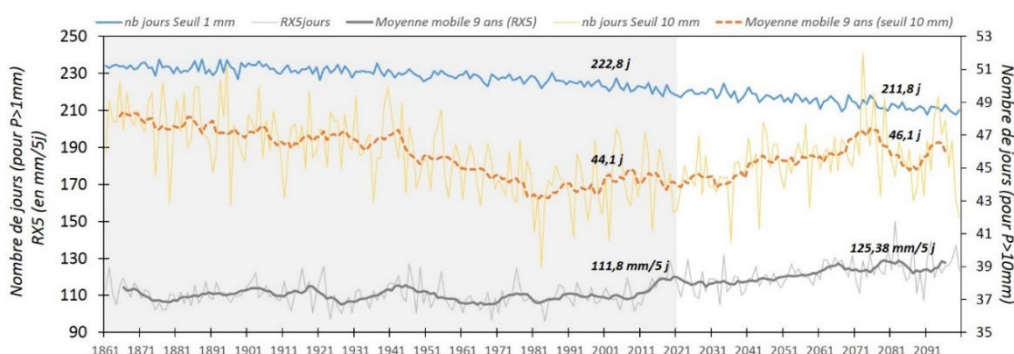


**figure 3.** Évolution des régimes thermo-pluviométriques dans le sud-est de la Côte d'Ivoire : **a)** régime des températures maximales (en °C) de référence (1995-2014) comparé à ceux des scénarios SSP3-7.0 et SSP5-8.5 en 2040-2059 (l'enveloppe des percentiles 10 et 90 % est indiquée ; calculé à partir des données régionales du *Climate Change Knowledge Portal*) ; **b)** Comparaison des quatre régimes pluviométriques moyens (en mm/j) calculés à l'échelle d'un

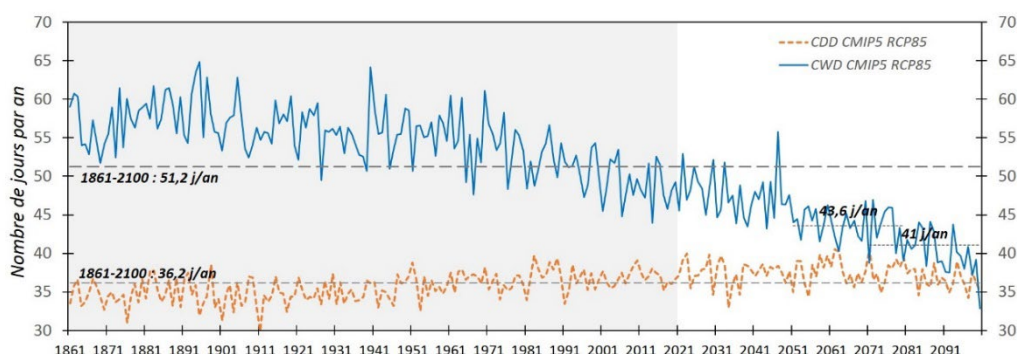
indice régional à partir de l'observation (données CRU TS4.05, 1970-2020), des réanalyses ERA5 (1979-2020) et des projections CMIP6 (moyenne de tous les modèles, 2071-2100) selon les deux scénarios SSP3-7.0 et SSP5-8.5 ; le total annuel en mm est indiqué en haut à gauche ; d'après les données *Climate Explorer*.

Un élément important apparaît cependant lors de l'étude du régime pluviométrique annuel, puisque le cycle décrit par les simulations CMIP6, avec des cumuls à la baisse, n'est pas du tout représentatif d'une réalité climatologique bimodale (figure 3b). Les projections ne représentent en effet qu'une saison pluviométrique culminant en juin-juillet, sans reprise lors des mois de SON. La modélisation numérique du climat, même lorsque la résolution spatiale s'améliore, conserve toujours des difficultés pour représenter et modéliser les régimes pluviométriques tropicaux humides, surtout lorsqu'on utilise comme pour ce travail les synthèses inter-modèles. Les simulations CMIP6 de beaucoup de modèles ont toujours tendance à sous-estimer les cumuls des précipitations (Ajibola *et al.*, 2020).

L'évolution des principales contraintes agroclimatiques affecte le nombre de jours de pluie, mais ce sont surtout les pluies les plus intenses (>10 mm/j) et les séquences pluviométriques qui vont évoluer (figure 4). Les épisodes de pluies maximales cumulées sur 5 jours (indicateur appelé RX5) vont ainsi théoriquement passer de 111 mm à plus de 125 mm d'ici 2071-2100 selon le scénario RCP8.5 des simulations CMIP5. Les séquences sèches (selon l'indice CDD) vont légèrement augmenter (~38 j/an), mais ce sont surtout très nettement les séquences humides (selon l'indice CWD) qui vont diminuer, passant d'environ 52 j/an en moyenne, à 41 j/an à la fin du siècle (figure 5). Ces modifications dans la temporalité des précipitations conditionnent des périodes intra-saisonnières de sécheresse plus longues qui peuvent avoir des impacts agroclimatiques négatifs sur les rendements des cultures et les différentes productions, aussi bien industrielles que villageoises.



**figure 4.** Projections climatiques CMIP5 (moyenne inter-modèle du scénario RCP8.5) sur la période 1861-2100 pour 3 variables liées aux précipitations (P) à l'échelle du sud-est de la Côte d'Ivoire : le nombre de jours durant lesquels P est supérieur à 1 mm (axe des ordonnées de gauche) ou supérieur à 10 mm (axe des ordonnées de droite ; la moyenne mobile de 9 ans est indiquée en gras), et les cumuls des précipitations maximales consécutives sur 5 jours (RX5, en mm ; axe des ordonnées de gauche ; la moyenne mobile de 9 ans est indiquée en gras). En grisé est indiquée la période passée 1861-2021 ; les valeurs indiquées sur les courbes représentent l'évolution calculée entre les normales 1991-2020 et 2071-2100 ; d'après les données *Climate Explorer*.



**figure 5.** Projections climatiques CMIP5 (moyenne inter-modèle) du nombre de jours par an sur la période 1861-2100 pour les indices CDD (*Consecutive Dry days*) et CWD (*Consecutive Wet Days*) à l'échelle du sud-est de la Côte d'Ivoire ;

en grisé est indiquée la période passée 1861-2021 ; les traits horizontaux pointillés correspondent à la moyenne des indices sur toute la période, ou bien pour CWD (en pointillées) aux 2 moyennes 2051-2080 et 2071-2100 ; d'après les données *Climate Explorer*.

Alors que régionalement, l'agroforesterie est considérée comme une solution majeure pour assurer la durabilité à long terme des espaces forestiers associés aux paysages et productions agricoles (Amani *et al.*, 2021), ces évolutions des contraintes thermo-pluviométriques remettent en cause certains choix et techniques de cultures. Ainsi, la transformation des cacaoyères de plein soleil en système partiellement ombragé (*i.e.* possédant au moins 30 % de couverture de canopée) pourrait s'avérer complexe étant donné l'augmentation des épisodes secs et de l'évapotranspiration potentielle. L'évolution agrobiologique ainsi que celle des itinéraires techniques s'avèrent ici majeure pour s'adapter aux nouvelles conditions bioclimatiques et répondre aux exigences des politiques et objectifs nationaux. Car comme évoqué auparavant, déjà situées dans un espace agroclimatique à la limite de la tolérance pluviométrique, la plupart des plantations de ce territoire Sud-Comoé pourrait subir une forte vulnérabilité dans les prochaines décennies, surtout si la diminution des précipitations est en plus favorisée par des épisodes plus chauds. Les plantations villageoises, réparties sur de petites parcelles de quelques hectares et représentant des milliers d'exploitants, auront du mal à y faire face sans un plan d'adaptation (ACI – Agriculture Climato-Intelligente) très précis reposant sur des modèles de cultures tenant compte de toutes ces nouvelles variables agronomiques. Les plantations industrielles, malgré la demande de produire des produits certifiés (voire bio) et/ou via l'agroforesterie, devront peut-être plutôt revoir leurs modes de production en gérant mieux les ressources en eau et la qualité des sols. Bunn *et al.* (2019) ont ainsi estimé par modélisation agro-économique les pertes de production liées aux évolutions climatiques attendues pour 2050, uniquement pour le secteur cacaoyer ivoirien et sans mesure d'adaptation dès maintenant, à 1,1 milliard de dollars par an.

## Conclusion

La perspective est désormais de pouvoir raffiner et décliner ces analyses en modélisations agro-climatologiques par filière, mais aussi en supports à la connaissance et à la médiation scientifique pour des usagers et décideurs. L'objectif est de pouvoir disposer d'informations, d'outils de gestion et d'aide à la décision pour tenir compte des évolutions bioclimatiques et des vulnérabilités futures ; mais aussi de pouvoir développer et proposer aux planteurs des diagnostics adaptés aux échelles géographiques des territoires cultivés (informations agro-climatiques).

**Remerciements** : les auteurs remercient la Région AURA (Auvergne-Rhône-Alpes) pour son soutien financier dans le cadre du projet incitatif Pack Ambition International 2020 (n° 20 006900 01-40892).

## Bibliographie

- Ajibola F. O., Zhou B., Gnitou G. T., Onyejuruwa A., 2020. Evaluation of the performance of CMIP6 HighResMIP on West African precipitation. *Atmosphere*, **11**, 1053.
- Amani B. H. K., N'Guessan A. E., Derroire G., N'dja J. K., Elogne A. G. M., Traoré K., Zo-Bi I. C., Hérault B., 2021. The potential of secondary forests to restore biodiversity of the lost forests in semi-deciduous West Africa. *Biological Conservation*, **259**, 109154.
- Benoist A., 2020. Filière en Côte d'Ivoire : Analyse fonctionnelle et diagnostic agronomique. Rapport d'étude Cirad, réalisé pour le FIRCA et l'APROMAC, Montpellier, France, 48 p.
- Bunn C., Fernandez-Kolb P., Lundy M., 2019. Climate Smart Cocoa in Côte d'Ivoire. CCAFS Info Note, Cali, Colombia: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), 12 p.
- Cumunel M., 2020. La filière palmier à huile en Côte d'Ivoire, un condensé des enjeux du développement durable. Note 13, Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde (FARM), 23 pages.
- Della Sala P., Cilas C., Gimeno T. E., Wohl S., Opoku S. Y., Gainusa-Bogdan A., Ribeyre F., 2021. Assessment of atmospheric and soil water stress impact on a tropical crop: the case of Theobroma cacao under Harmattan conditions in eastern Ghana. *Agricultural and Forest Meteorology*, **311**, 108670.
- FAO, 2007. ECOCROP. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. [gaez.fao.org/pages/ecocrop](http://gaez.fao.org/pages/ecocrop)

- N'Guessan A. E., Kassi N'dja J., Yao O. N., Amani B. H. K., Gouli R. G. Z., Piponiot C., Zo-Bi I. C., Hérault B., 2019. Drivers of biomass recovery in a secondary forested landscape of West Africa. *Forest Ecology and Management*, **433**, 325-331.
- Nooni I. K., Hagan D. F. T., Wang G., Ullah W., Lu J., Li S., Dzakpasu M., Prempeh N. A., Lim Kam Sian K. T. C., 2021. Future changes in simulated evapotranspiration across continental Africa based on CMIP6 CNRM-CM6. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **18**, 6760.
- Priyadarshan P.M., 2017. *Biology of Hevea Rubber*. Springer International Publishing AG, India, 251 p.
- Reuters, 2022. Dry spell persists in Ivory Coast, raising fears for cocoa crop. By L. Coulibaly, 31 janvier 2022 : [www.reuters.com/world/africa/dry-spell-persists-ivory-coast-raising-fears-cocoa-crop-2022-01-31/](http://www.reuters.com/world/africa/dry-spell-persists-ivory-coast-raising-fears-cocoa-crop-2022-01-31/)
- Schroth G., Läderach P., Martinez-Valle A. I., Bunn C., Jassogne L., 2016. Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation. *Science of the Total Environment*, **556**, 231-241.
- Sillmann J., Kharin V. V., Zwiers F. W., Zhang X., Bronaugh D., 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 1: Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res.*, **118 (4)**, 1716-1733.