



XXIX^e Colloque de
l'Association Internationale
de Climatologie



Climat et pollution de l'air



*Actes du Colloque organisé à Besançon
du mercredi 6 au samedi 9 juillet 2016*

Editeurs scientifiques

Jean-Michel FALLOT, Daniel JOLY, Nadine BERNARD

Colloque organisé par l'Institut de géographie et durabilité (IGD) de l'Université de Lausanne (UNIL, Suisse) et par les laboratoires Théma et Chrono-Environnement de l'Université Bourgogne Franche-Comté (UBFC) site de Besançon (France)

Ce volume est édité par Jean-Michel FALLOT (IGD-UNIL), Daniel JOLY (ThéMA-UBFC) et Nadine BERNARD (Chrono-Environnement, UBFC) dans le cadre du XXIX^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), qui s'est tenu à Besançon du 6 au 9 juillet 2016. Il rassemble pour chaque sous-thème, dans l'ordre alphabétique selon le nom du premier auteur, les résumés élargis de 2 conférences invitées et de 75 présentations validées par le Comité scientifique. Ce panel d'articles présente des recherches sur plusieurs thèmes de climatologie (Climat et pollution de l'air, Climatologie appliquée, Topoclimatologie et agroclimatologie, Variabilités et aléas climatique, Modélisation climatique, Télédétection et climat, Climat et ressources en eau) confrontant des travaux issus de l'observation et de la modélisation du climat.

Composition du comité scientifique

BEN BOUBAKER Habib (Université de La Manouba, Tunisie)	LAUFFENBURGER Mireille (Université de Nancy, France)
BIGOT Sylvain (Université de Grenoble-Alpes, France)	MADÉLIN Malika (Université Paris 7, France)
BONNARDOT Valérie (Université Rennes 2, France)	MAHERAS Panagiotis (Université de Thessalonique, Grèce)
CAMBERLIN Pierre (Université Bourgogne Franche Comté, France)	MARTIN Nicolas (Université de Nice, France)
CANTAT Olivier (Université de Caen Basse-Normandie, France)	MENDONCA Francisco (Université fédérale de Parana, Brésil)
CARREGA Pierre (Université de Nice, France)	MOREL Béatrice (Université de La Réunion, France)
CHAMPEAUX Jean-Luc (Retraité Météo-France, France)	PAUL Patrice (Retraité Université de Strasbourg, France)
CLAPPIER Alain (Université de Strasbourg, France)	PLANCHON Olivier (Université Rennes 2, France)
DAHECH Salem (Université de Sfax, Tunisie)	POHL Benjamin (Université Bourgogne Franche-Comté, France)
DROGUE Gilles (Université de Lorraine, France)	PONCHE Jean-Luc (Université de Strasbourg, France)
DUBREUIL Vincent (Université de Rennes 2, France)	QUENOL Hervé (Université Rennes 2, France)
ENDLICHER Wilfried (Université de Berlin, Allemagne)	RICHARD Yves (Université Bourgogne Franche-Comté, France)
ERPICUM Michel (Université de Liège, Belgique)	ROME Sandra (Université de Grenoble-Alpes, France)
FORTIN Guillaume (Université de Moncton, Canada)	SAGNA Pascal (Université de Cheikh Anta Diop, Sénégal)
FRATIANNI Simona (Université de Turin, Italie)	SOUBEYROUX Jean-Michel (Météo-France Toulouse, France)
FURY René (Retraité Météo-France, France)	TRABOULSI Myriam (Université libanaise, Liban)
HENIA Latifa (Université de Tunis, Tunisie)	VANDIEPENBECK Marc (Institut Royal Météorologique, Belgique)
HOARAU Karl (Université de Cergy-Pontoise, France)	VERMOT-DESROCHES Bruno (Météo-France Besançon, France)
KASTENDEUCH Pierre (Université de Strasbourg, France)	VISSIN Expédit (Université d'Abomey-Calvi, Bénin)
KERMADI Saida (Université de Lyon 2, France)	ZAHARIA Liliana (Université de Bucarest, Roumanie)

Ce colloque a bénéficié de l'aide financière et logistique des partenaires suivants :



Climat et pollution de l'air

© Photo couverture : J.-M. Fallot – 18 mai 2016
Usine d'incinération SATOM à Monthey avec les Dents du Midi en arrière-plan
(vallée du Rhône dans le Chablais en Suisse)



XXIX^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie

Climat et pollution de l'air

*Actes du Colloque organisé à Besançon
du mercredi 6 au samedi 9 juillet 2016*

Editeurs scientifiques

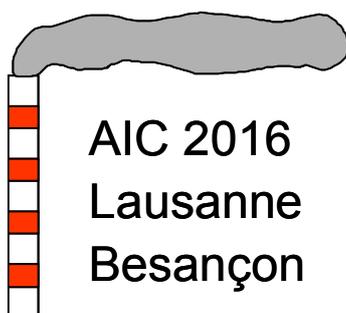
Jean-Michel FALLOT (IGD, UNIL)

Daniel JOLY (Théma, UBFC)

Nadine BERNARD (Chrono-Environnement, UBFC)

Sommaire

Introduction au XXIX ^{ème} colloque de l'AIC	8
Thème 1 : Climat et pollution de l'air	11
Thème 2 : Climatologie appliquée	93
Thème 3 : Topclimatologie et agroclimatologie	179
Thème 4 : Variabilités et aléas climatiques	229
Thème 5 : Télédétection et climat, Modélisation climatique	393
Thème 6 : Climat et ressources en eau	425
Table des matières	487
Index des auteurs	492



Les opinions défendues dans cet ouvrage n'engagent que les auteurs ; elles ne sauraient être imputées aux institutions auxquelles ils appartiennent ou qui ont financé leurs travaux

Bâtiments de l'IFR SLHS
Université Bourgogne Franche-Comté site de Besançon (France)

Responsables du colloque

Jean-Michel FALLOT (Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne)

Daniel JOLY (Théma, Université Bourgogne Franche-Comté)

Nadine BERNARD (Chrono-Environnement, Université Bourgogne Franche-Comté)

Comité d'organisation de Besançon (logistique)

Daniel JOLY (Théma, UBFC)

Florian LITOT (Théma, UBFC)

Anna BIEDAK (Théma, UBFC)

Sophie SCHIAVONE (Théma, UBFC)

Françoise GUALDI (Théma, UBFC)

Jérôme VALANCE (Théma, UBFC)

Nadine BERNARD (Chrono-Environnement, UBFC)

Comité d'organisation de Lausanne (partie scientifique)

Jean-Michel FALLOT (IGD, UNIL)

Graziele MUNIZ MIRANDA (IGD, UNIL)

Martin CALIANNI (IGD, UNIL)

Emmanuel REYNARD (IGD, UNIL)

Marianne MILANO (IGD, UNIL)

Stéphane UTZ (IGD, UNIL)

Coordonnées des organisateurs responsables

Logistique

Laboratoire Théma

UMR 6049 CNRS

Université Bourgogne Franche-Comté

32, Rue Mégevand

F-25030 Besançon Cedex

France

Courriel : daniel.joly@univ-fcomte.fr

Site web Théma : <http://thema.univ-fcomte.fr/>

Site web du colloque : <http://thema.univ-fcomte.fr/aic2016>

Partie scientifique

Institut de géographie et durabilité

Université de Lausanne

Bâtiment Géopolis

Quartier UNIL-Mouline

CH-1015 Lausanne

Suisse

Courriel : Jean-Michel.Fallot@unil.ch

Site web IGD : www.unil.igd.ch

Ce colloque a bénéficié de l'aide financière et logistique des partenaires suivants :

Université de Lausanne (UNIL)



Institut de géographie et durabilité (IGD) de l'UNIL

Institut de géographie
et durabilité

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)



Laboratoire ThéMA



Laboratoire Chrono-Environnement



Université Bourgogne Franche-Comté (UBFC)



Conseil Régional Bourgogne Franche-Comté

région **BOURGOGNE**
FRANCHE-COMTÉ

Variabilités et aléas climatiques

EVOLUTION CLIMATIQUE DU BENIN DE 1950 A 2010 ET SON INFLUENCE SUR LES EAUX DE SURFACE

AMOUSSOU E.^{1,2}, TOTIN VODOUNON S. H.^{1,2}, CLEDJO F. P.², ALLAGBE Y. B. S.³, AKOIGNONGBE J. S. A.², HOUNDENOU C.², MAHE G.⁴, CAMBERLIN P.⁵, BOKO M.², PERARD J.⁵

¹Département de Géographie et Aménagement du Territoire de l'Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin. ajernest@yahoo.fr, sourouhenri@yahoo.fr

²Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) /Université d'Abomey-Calavi, 03 BP1122, Cotonou, Bénin, ernestamoussou@gmail.com, bokomichel@gmail.com

³Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE), BP 677 Abomey-Calavi, allagbeyemalin@gmail.com

⁴IRD- HydroSciences Montpellier, Université de Montpellier 2, Case courrier MSE, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5-France, gil.mahe@ird.fr, gilmahe@hotmail.com

⁵Centre de Recherches de Climatologie, Laboratoire Biogéosciences, Université de Bourgogne, France, camber@u-bourgogne.fr, perardj@u-bourgogne.fr

Résumé – En Afrique Occidentale et au Bénin en particulier, la variabilité /changement climatique influence la disponibilité des ressources en eau de surface. Ainsi, cette étude vise à analyser le champ pluviométrique du Bénin à partir des cinquante-trois (53) postes pluviométriques de 1950 à 2010 d'une part et les hauteurs de pluie et la température moyenne des six stations synoptiques et celles d'hydrométrie des fleuves Niger au Bénin, Pendjari, Ouémé, Mono et Couffo d'autre part. Il ressort de l'analyse une tendance des précipitations à la baisse et à la hausse des températures. Cette baisse est plus marquée dans le domaine soudanien (au Nord de 8°N) que dans le domaine subéquatorial (au Sud de 8°N). Cette diminution des lames d'eau précipitée en ces trente dernières années a amplifié de 2 à 3 fois voire 4 fois le déficit d'écoulement dans les cours d'eau béninois. Cette baisse très marquée ajoutée aux problèmes environnementaux engendre un assèchement rapide des ressources en eau, préjudiciable à la disponibilité et à la gestion des eaux de surface.

Mots-clés : Bénin, climat, ressources en eau de surface, tendance, grands bassins-versants.

Abstract – *Climate change of Benin for the period 1950-2010 and its impact on surface water.* In West Africa and Benin in particular, variability / climate change affects the availability of surface water resources. Thus, this study aims to analyze the rainfall field of Benin from the fifty three (53) meteorological stations from 1950 to 2010 and to detect the rainfall amounts and the average temperature of six synoptic stations and the hydrometric stations of Niger river in, Benin, Pendjari, Ouémé, Mono and Couffo. From the analysis a trend of declining precipitation and of rising temperatures have been highlighted. This decrease is more pronounced in the Sudanese area (north of 8 ° N) and in the sub-equatorial area (south of 8 ° N). This decrease of precipitation in the past thirty years has amplified 2-3 times or even four times the flow deficit in the course of Benin river. This decrease added to the environmental problems generates a rapid drying up of water resources, damaging the availability and management of the surface water.

Keywords: Benin, climate, surface water resources, trend, large basins-slopes.

Introduction

Les effets du réchauffement du système climatique sont ressentis à l'échelle globale : hausse des températures moyennes, élévation du niveau moyen de la mer et fonte massive des glaciers continentaux en sont les manifestations les plus visibles (IPCC, 2007). Ils s'accroissent et résultent davantage des activités humaines que des cycles astronomiques (Baud *et al.*, 2013). Face à ces stress climatiques, les sociétés tentent de s'adapter et de trouver des solutions sur le long terme. Les populations les plus vulnérables à ces modifications climatiques se trouvent dans des zones où se juxtaposent une forte croissance de la population, une pauvreté récurrente, une absence de vision politique et, bien souvent, l'inaccessibilité aux données climatiques de base.

En Afrique Occidentale et au Bénin en particulier, les populations sont de plus en plus vulnérables à la variabilité / changement climatique. Ceci se traduit par un déficit très marqué

de la ressource en eau, privant cette population à l'accès à l'eau. Ces ressources en eau de surface de plus en plus utilisées pour l'alimentation en eau potable dans les grandes villes du Bénin (comme c'est le cas de l'Okpara dans les villes de Parakou et Tchaourou) ont connu une diminution drastique après les années 1970. Plusieurs chercheurs (Boko, 1988 ; Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2006 ; Vissin, 2007 ; Totin, 2010, Amoussou *et al.*, 2012 ; Boko *et al.*, 2014 ; etc.) ont travaillé sur la variabilité climatique du Bénin des années 1960 à nos jours et ont noté une variation climatique marquée par une augmentation des températures et une baisse des précipitations suivie d'une légère reprise au cours des années 1990. Mais ce retour des précipitations n'est pas comparable à celles des années 1960 sur le plan de quantité. De plus, ces lames d'eau précipitées sont inégalement réparties dans le temps et dans l'espace provoquant une dégradation des ressources en eau de surface. Cette étude présente une évolution spatiale des précipitations au Bénin de 1950 à 2010, une variation mensuelle des températures et pluies des stations synoptiques du Bénin. L'analyse des tendances pluviométriques, thermométriques et hydrométriques sur les deux normales (1951-1980 et 1981-2010) a permis d'analyser l'impact des modifications climatiques sur les ressources en eau.

Situé en Afrique de l'Ouest, la climatologie du Bénin se réfère aux mécanismes zonaux et méridiens des climats de l'Afrique tropicale occidentale. Ainsi, le Bénin bénéficie d'un climat subéquatorial caractérisé par le régime bimodal (deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches alternées) au Sud et un climat soudanien déterminé par un régime unimodal (une saison pluvieuse et une saison sèche) au Nord.

Allongé entre 6°17' et 12°30' de latitude nord, le Bénin draine ces cours d'eau du nord au sud sur 672 km avant de rejoindre l'Océan Atlantique.

1. Démarche méthodologique

Pour cette étude, les données utilisées sont : la pluviométrie de 53 stations réparties sur le territoire béninois, la température des six stations synoptiques (Cotonou, Bohicon, Savè, Parakou, Kandi et Natitingou) et les débits des fleuves Niger au Bénin (Sota à Coubéri), Pendjari (Porga), Ouémé (Bétérou et Bonou), Mono (Athiémé) et Couffo (Lanta). Les données climatologiques couvrent la période 1950-2010. Par contre les débits ne couvrent pas les deux normales (1951-1980 et 1981-2010), mais se situent au moins relativement entre la période d'étude.

Les données climatologiques ont servi à cartographier l'évolution spatiale des lames d'eau précipitées sur le territoire béninois et à extraire le champ de pluie sur la période 1950-2010 par krigeage ordinaire. Pour la comparaison des échantillons entre les deux normales (1951-1980 et 1981-2010), le déficit (De) en % est calculé :

$$De = \frac{\mathcal{X}_2 - \mathcal{X}_1}{\mathcal{X}_1} \times 100$$

Il a permis de comparer la variation pluviométrique, thermométrique et hydrométrique intervenue sur le territoire béninois avant et après les années 1980.

2. Résultats et discussion

2.1. Evolution climatique au Bénin

La figure 1 (a & b) présente l'évolution moyenne annuelle des précipitations au Bénin sur la période 1950-2010. Il ressort de l'analyse de cette figure 1 que les hauteurs de pluies moyennes annuelles varient dans l'espace. Elles oscillent de 840 à 1321mm avec une baisse

très marquée dans la période 1981-2010 (Figure 1b). Elles diminuent légèrement du sud au nord et de l'est à l'ouest à l'exception du nord-ouest où la répartition des pluies est plus forte (1200 à 1350 mm voire 1500 mm) et pourrait s'expliquer par les effets orographiques car les sommets varient ici entre 400 et 800 m.

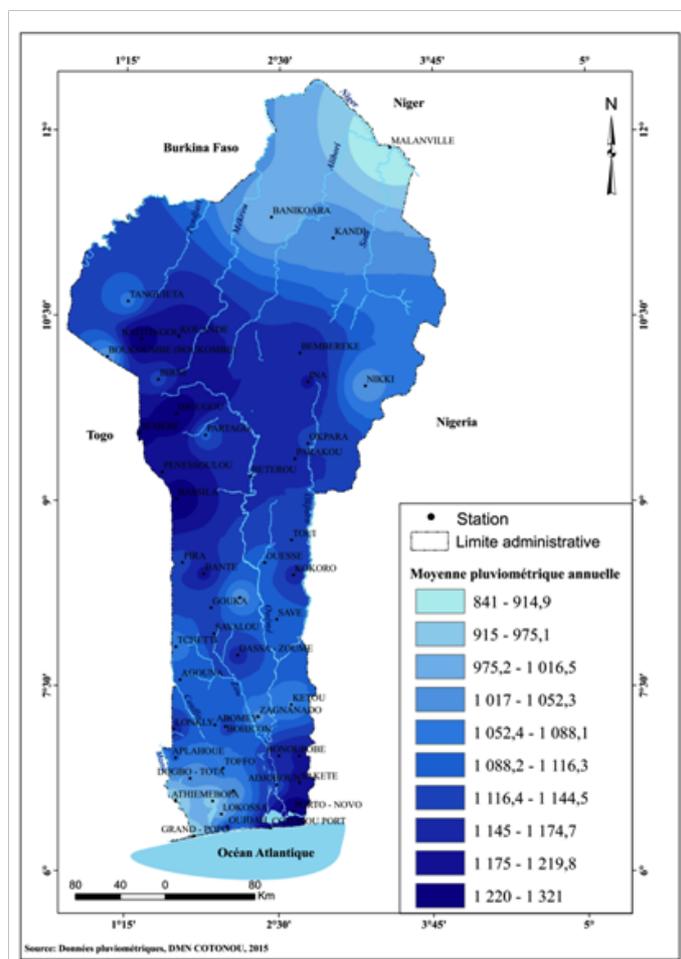


Figure 1a. Précipitations moyennes annuelles (1950-2010) au Bénin

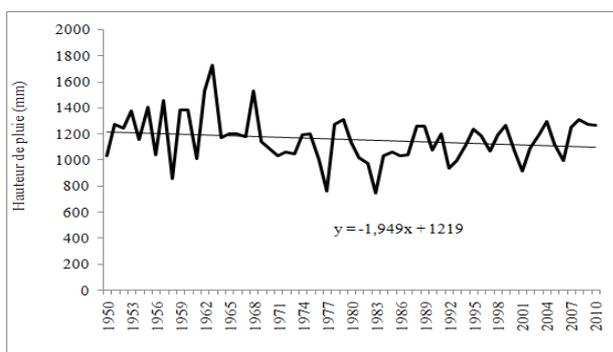


Figure 1b. Variabilité interannuelle des précipitations (1950-2010) au Bénin

Cependant, ces précipitations sont plus abondantes au sud (1295 mm annuellement) qu'au nord (1142 mm annuellement) du territoire soit un écart de 153 mm. Les précipitations les plus importantes sont enregistrées d'avril à octobre (Figures 2 et 3). Au cours de cette période, où les précipitations sont inégalement réparties sur le territoire, le sud (compris entre la côte et 8°N) est très arrosé en juin (Figure 3b), comparativement à la partie nord qui reçoit les pluies

Ces reliefs élevés jouent un rôle d'amplificateur de la pluviogenèse, car les vents océaniques, chargés de vapeur d'eau, déversent leur humidité en abordant ces reliefs et créent ainsi un gradient vertical de précipitations (Klassou, 1996 ; Amoussou, 2010).

Dans la région du littoral, la partie est enregistre la plus forte pluviométrie (1100 à 1300 mm voire 1400 mm) contrairement à la partie ouest où elle varie entre 950 à 1100 mm. Cette diminution des précipitations d'est en ouest (Figure 1a) pourrait s'expliquer par le fait que la région côtière s'inscrit dans la diagonale de sécheresse qui s'étend du Bénin au Ghana (Boko, 1988 ; Houndénou, 1999). Celle-ci s'explique par l'upwelling côtier saisonnier lié au parallélisme des côtes par rapport à la mousson et qui génère une divergence inhibitrice des précipitations (Amoussou, 2010).

Les modèles cartographiques ont permis d'établir les cartes mensuelles de pluie du Bénin de 1950 à 2010. Il ressort que les cartes des moyennes mensuelles de précipitations (Figure 2) et le régime des pluies (Figure 3) calculées sur soixante-un ans (1950-2010) montrent que le territoire béninois reçoit une faible quantité de pluie de novembre à mars (toujours moins de 70 mm mensuellement).

les plus abondantes de juillet à septembre (Figure 3b). Ceci pourrait s'expliquer par l'effet cumulé de la mousson et du relief comme l'avait souligné Amoussou (2010) dans le bassin du fleuve Mono partagé entre le Bénin et le Togo.

En outre, les précipitations commencent un peu plus tôt au sud (à deux saisons pluvieuses) qu'au nord (à une saison pluvieuse) du territoire, et la variation pluviométrique du champ moyen mensuel montre le découpage de l'année en deux grandes périodes : une humide (avril-octobre) et une sèche ou moins arrosée (novembre-mars) qui s'appliquent quasiment à l'ensemble du territoire au cours de la période 1950-2010.

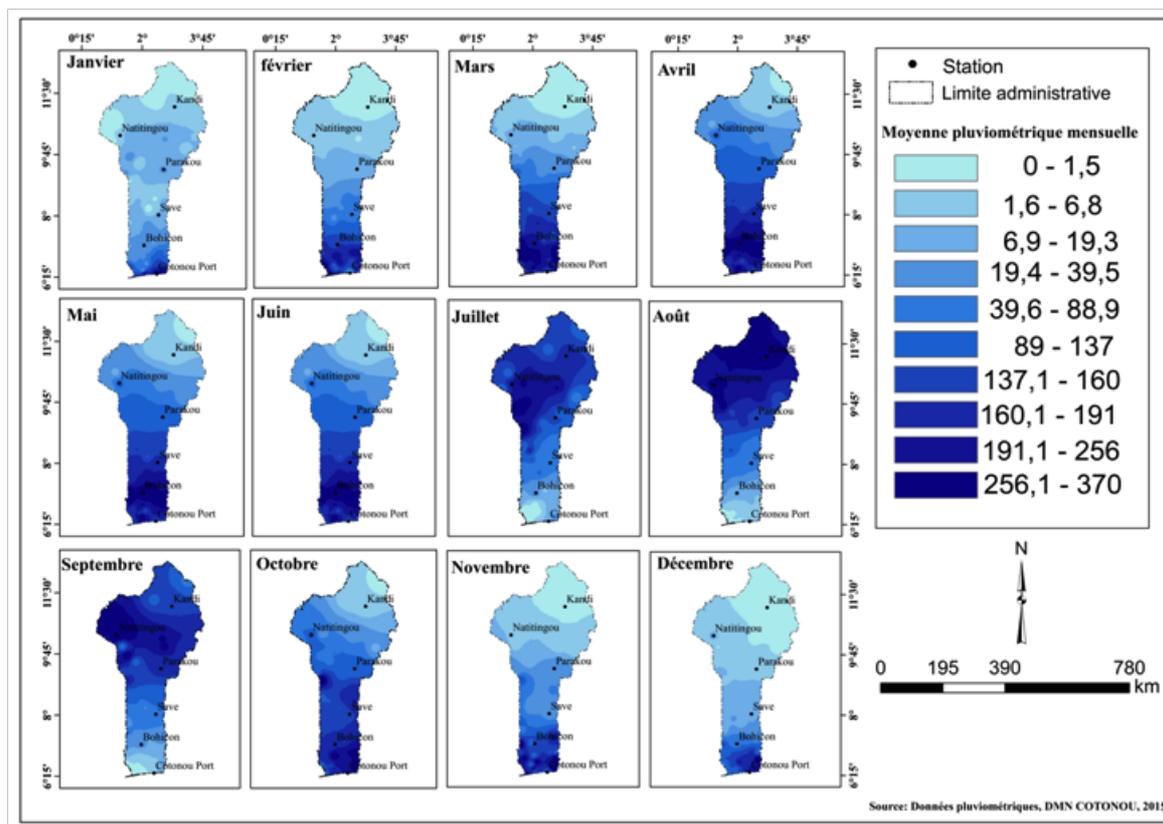


Figure 2. Variation des champs moyens mensuels de précipitations du territoire béninois de 1950 à 2010 (janvier à décembre).

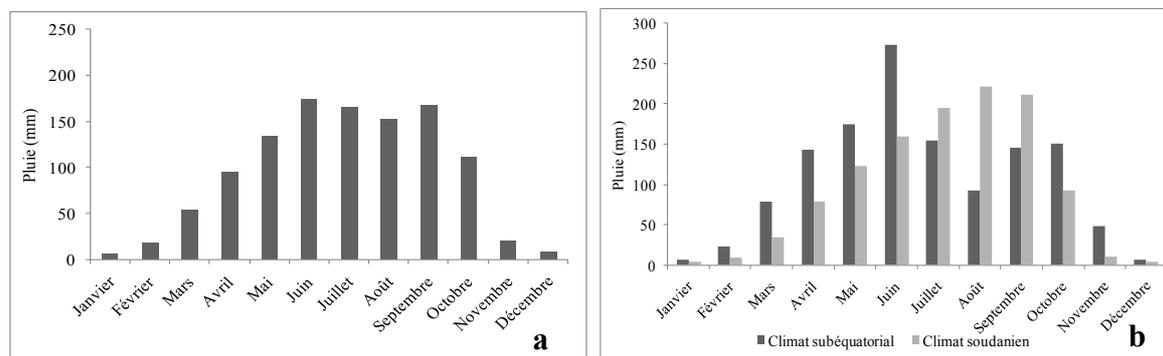


Figure 3. Variation des champs moyens mensuels de précipitations du territoire béninois de 1950 à 2010

La figure 4 présente l'évolution mensuelle et annuelle de température de 1950 à 2010 au Bénin. A l'échelle mensuelle (Figure 4a), tous les mois ont connu une augmentation de leur température ces trente dernières années (1981-2010) d'au moins de 0,4°C comparativement à la normale 1951-1980. De plus, annuellement, on assiste à une hausse significative de la

température au Bénin (Figure 4b) et par conséquent à une forte évapotranspiration potentielle, préjudiciable aux ressources en eau.

La dynamique pluviale (instabilité des régimes et diminution des pluies) observée sur le territoire béninois est complétée par l'étude comparative de la variabilité temporelle des lames d'eau précipitées des périodes 1951-1980 et 1981-2010.

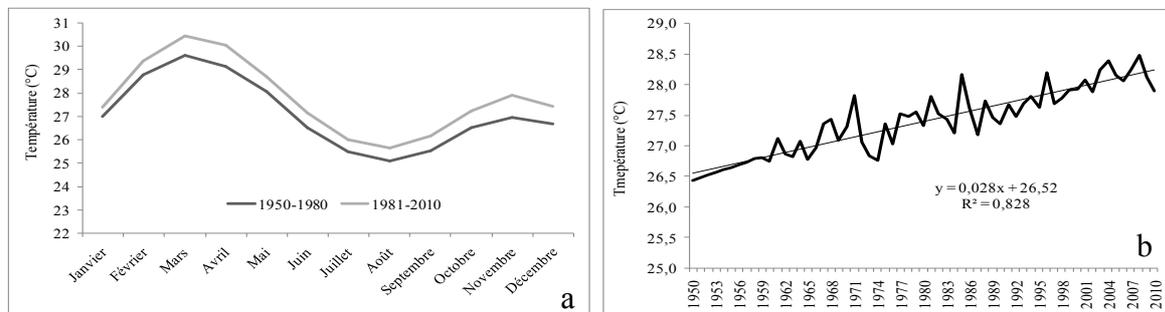


Figure 4. Evolution mensuelle (a) et annuelle (b) des températures de 1950-2010 au Bénin

Le tableau I présente le récapitulatif de l'évolution des précipitations sur les deux sous-périodes. Il ressort de cette analyse que toutes les stations synoptiques du Bénin à l'exception de celle de Cotonou ont connu une baisse des précipitations de 2 à 13 % (tableau I). Cette baisse est plus marquée au nord du Bénin (Natitingou : -13 %, Kandi : -10 %) où la plupart des cours d'eau prennent leur source. La légère reprise des précipitations de 7 % à la station de Cotonou aéroport est conforme à l'augmentation des pluies dans le golfe de Guinée ces quinze dernières années signalés par certains auteurs (Crétat *et al.*, 2013). Ils ont même expliqué que les inondations récurrentes observées ces dernières années en Afrique de l'Ouest et même en Afrique sont les conséquences de la légère reprise des précipitations et de sa mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps.

Tableau 1. Récapitulatif de l'évolution des précipitations des stations synoptiques du Bénin des deux périodes (1951-1980 et 1981-2010)

	<i>Bohicon</i>	<i>Cotonou</i>	<i>Savè</i>	<i>Parakou</i>	<i>Kandi</i>	<i>Natitingou</i>
1951-1980	1263,2	1344,8	1143,4	1176,1	1085,4	1361,3
1981-2010	1130,9	1441,3	1068,6	1147,4	973,0	1183,3
Ecart (%)	-10	7	-7	-2	-10	-13

Cette baisse des précipitations ajoutée à l'augmentation de la température et à l'impact des actions anthropiques sur l'environnement ont fortement marqué l'évolution des ressources en eau au Bénin et par conséquent de la disponibilité en eau.

2.2. Dynamique des écoulements de surface

Le tableau II présente l'évolution des écoulements de surface dans certains bassins-versants du Bénin. On note une baisse très marquée des écoulements de surface dans le domaine soudanien que dans le domaine subéquatorial. Cette baisse de 46 % est plus de quatre fois plus marquée dans le bassin de la Sota à Coubéri où la pluviométrie est en baisse de 10 %, ce qui est conforme aux résultats de Vissin (2007) dans le bassin béninois du fleuve Niger.

Dans le domaine subéquatorial, où les cours d'eau (Ouémé et Mono) ont un régime tropical, il ressort que les écoulements ont connu une baisse de 7 à 9 %. Par contre le Couffo à Lanta à régime calqué sur les deux domaines climatiques a connu une baisse des écoulements de 29 %. La faible baisse des écoulements dans le domaine subéquatorial pourrait être attribuée à la légère reprise des précipitations dans le golfe de Guinée.

Tableau 2. Récapitulatif de l'évolution des écoulements de surface au Bénin des deux sous-périodes

Bassins-versants	Domaine soudanien			Domaine subéquatorial		
	Sota à Coubéri	Pendjari à Porga	Ouémé à Bétérou	Ouémé à Bonou	Mono à Athiéme	Couffo à Lanta
1951-1980	34,1	62,4	57,1	181,8	117,3	5,8
1981-2010	18,6	38,8	42,0	166,1	109,2	4,1
Ecart (%)	-46	-38	-27	-9	-7	-29

Conclusion

Au terme de cette recherche, il faut retenir que le Bénin a connu une baisse des précipitations et une hausse des températures de 1950 à 2010. Cette baisse des précipitations est plus accentuée dans la sous période 1981-2010 que dans la sous-période 1951-1980. La hausse des températures d'environ de 0,4°C est plus marquée de 1981-2010 que sur la sous période 1951-1980. La baisse de 6 % des précipitations et la hausse en moyenne 0,7°C de température ont amplifié inégalement la baisse des écoulements de surface. Ainsi, cette baisse des écoulements est plus marquée dans les bassins du nord que ceux du sud, ce qui justifie l'abondance de la disponibilité des ressources en eau au sud qu'au nord du Bénin. Par conséquent, la baisse des précipitations dans le domaine soudanien n'est pas sans conséquence sur les ressources en eau et donc sur la disponibilité en eau au Bénin (c'est le cas par exemple de la pénurie en eau potable dans la ville de Parakou surtout entre décembre-mai due à l'assèchement dramatique du fleuve Okpara).

Bibliographie

- Amoussou E., 2010. *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahéme-Couffo (Afrique de l'Ouest)* (Thèse de Doctorat). CRC-CNRS-UMR5210, Université de Bourgogne, France.
- Amoussou E., Camberlin P. et Mahé G., 2012. Impact de la variabilité climatique et du barrage de Nangbéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo au Bénin. *Hydrological Sciences Journal*, **57**, 805-817.
- Baud P., Bourgeat S., Bras C., 2013. *Dictionnaire de géographie*. Paris, Editions Hatier, 607 p.
- Boko M., 1988. *Climats et communautés rurales du Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne, Dijon, France.
- Boko M., Amoussou E., Totin H. & Sèjamè A. R., 2014. Climate change and the availability of water resources in Bénin. *Brazilian Journal of Climatology*, **10**, 7-19.
- Crétat J., Vizy K. E. et Cook H. K., 2013: How well are daily intense rainfall events captured by current climate models over Africa? *Climate Dynamics*, **42**, 2691-2711.
- Houndénou C., 1999. *Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : L'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation* (Thèse de Doctorat). Université de Bourgogne, Dijon, France.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. Dans S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (éds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp.3-29). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Klassou S. D., 1996. *Evolution climato-hydrologique récente et conséquences sur l'environnement : l'exemple du bassin versant du fleuve Mono (Togo-Bénin)* (Thèse de Doctorat). Université de Bordeaux III, 472 p.
- Ogouwalé E., 2006. *Changement climatique dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et perspectives de la sécurité alimentaire* (Thèse de doctorat). EDP/FLASH, Université Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin.
- Totin, V. S. H., 2010. *Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable* (Thèse de Doctorat). Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin.
- Vissin E. W., 2007. *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne, Dijon, France.

Table des matières

Introduction au XXIX^{ème} colloque de l'AIC	8
---	---

Climat et pollution de l'air

Cellier P., Genermont S., Huber L. Interactions changement climatique, pollution de l'air et agriculture	13
Josse B., Marecal V., Arteta J., Guth J. Changement climatique et qualité de l'air	19
Castelhana F. J., Mendonça F. Pollution de l'air par les particules totales en suspension (TSP) à Curitiba (Brésil)	27
Dahech S., Bouaziz R. Perception de la pollution atmosphérique à Sfax (centre-est de la Tunisie)	33
Diokhane A. M., Sagna P., Diop C., Sambou P. C., Dioh A. J. M. N. Importante dégradation de la qualité de l'air à Dakar au premier trimestre 2015 : éléments d'explication	39
Euichi H., Dahech S. Variations temporelles des particules fines (PM10) dans la ville de Gabes (Sud-Est tunisien)	45
Hachicha N., El Melki T. Contribution à l'étude des effets des brises littorales sur les concentrations d'O ₃ et de CO en milieu urbain : cas de la banlieue d'El Mourouj (Tunis)	51
Joly M., Josse B., Arteta J., Guth J., Plu M. Prévision de la qualité de l'air à haute résolution sur la France	57
Martin N. Pics de pollution par l'ozone à Nice : comparaison entre 2007 et 2015 des mesures itinérantes et des conditions météorologiques associées	63
Mendonça, F. A., Castelhana, F. J. Les types de temps et la qualité de l'air à Curitiba (Brésil)	69
Renard F., Fujiki K., Langlois De Septenville W., Soto D. L'augmentation de la pollution atmosphérique par temps de brouillard à Lyon	75
Roussel I. Qui contrôle les pics de pollution ? La situation météorologique ou le préfet ?	81
Zito S., Richard Y., Pohl B., Pergaud J., Dodet M.-F., Codet-Hache O., Dumaitre F., Jeanneret M., Tissot A.-C., Thévenin D., Monteiro S., Thévenin T., Joly D. Ilot de chaleur urbain et qualité de l'air, Dijon, hiver 2014-2015	87

Climatologie appliquée

Amorim M. C. C. T., Dubreuil V. Intérêts des images visible et infrarouge du satellite Landsat-8 pour modéliser l'ilot de chaleur urbain à Presidente Prudente (SP) – Brésil	95
Bigot S., Philippon N., Gond V., Moron V., Pokam W., Bayol N., Boyemba F., Kahindo B., Samba G., Ngomanda A., Gapia M., Yongo O. D., Laurent J.-P., Gourlet-Fleury S., Doumenge C., Forni E., Camberlin P., Martiny N., Dubreuil V., Brou T. État actuel des réseaux de mesures éco-climatiques en Afrique centrale : Les ambitions du projet de recherche international <i>FORGREENE</i>	101
Boko N. P. M., Medeou F. K., Vissin E. W., Amelung B., Houssou C. S., Błażejczyk K. Ambiances climato-touristiques à l'horizon de 2020-2039 dans l'espace côtier béninois (Afrique de l'Ouest)	107

Charfi S.	Variabilité spatio-temporelle du confort thermique dans la métropole de Tunis pendant la saison chaude	113
Fратиanni S., Giaccone E., Colombo N.	Estimation de la couverture neigeuse à l'aide de la température de surface du sol dans le glacier rocheux du Col de Solen (Alpes occidentales italiennes) : installation expérimentale et premiers résultats	119
Giaccone E., Fratianni S., Mari S., Antognini M., Ambrosi C., Scapozza C.	Le pergélisol au sud des Alpes suisses (Tessin) : étude de sept glaciers rocheux et relations avec le climat	125
Holobâca I. H	Relations entre les quantités journalières des précipitations et les types de circulation atmosphérique en Roumanie	131
Jarraya M., Beltrando G.	Poussées d'asthmes à Sfax (Tunisie) : aspects multiples de vulnérabilité accrue par le contexte climatique	137
Kastendeuch P. P., Najjar G., Philipps N., Nerry F., Roupioz L., Colin J., Luhah R.	Mesures pour l'étude des ambiances climatiques à Strasbourg lors de la canicule de juillet 2015	143
Najjar, G., Colin J., Kastendeuch P., Ngao J., Saudreau M., Landes T., Ameglio T., Roupioz L., Luhah R., Guillemin S., Schreiner G., Kleinpeter J., Bruckmann F., Obrecht P., Nerry F.	Étude du rôle du végétal, en particulier les arbres, dans la création de microclimats en milieu urbain	149
Pinson L., Ruas A., Masson V.	Différentiation de températures intérieures et extérieures par type d'appartements pendant une canicule à Paris	155
Planchon O., Schneider P., Cantat O., Allinne C.	Les connaissances gréco-romaines de l'Antiquité en climatologie tropicale	161
Roupioz L., Kastendeuch P., Najjar G., Landes T., Nerry F., Colin J., Luhah R.	Validation du modèle laser/F par des images thermiques dans le cadre de la campagne bioclimatologique sur Strasbourg	167
Schiavone S., Tolle F., Bernard E., Friedt J. M., Griselin M., Joly D.	Évaluation de l'influence des facteurs climatiques sur le bilan de masse du glacier Austre Loven (Spitsberg, 79°N) par une approche multivariée	173

Topoclimatologie et agroclimatologie

Abderrahmani B., Dobbi A., Hassini N.	Impact de la sécheresse sur les paramètres agronomiques du blé tendre en zones arides et semi-arides en Algérie	181
Avila F.	L'enneigement exceptionnel des Alpes japonaises	187
Ben Fraj T., Abderrahmen A., Ben Ouezdou H., Reynard E., Milano M., Calianno M., Fallot J.-M.	Les Jessour dans le Sud-Est tunisien : un système hydroagricole ancestral dans un milieu aride	193
Carmello V., Alvares D., Dubreuil V., Sant'anna Neto J. L.	Comparaison des précipitations pendant la période de culture de soja dans deux régions au Brésil	199
Chevalier F., Doll N., Bonnardot V., Planchon O., Burgos S., Quénoil H.	Identification et variabilité des circulations de brises dans des régions viticoles de la bordure helvétique sud-ouest du lac Léman	205

Correa M. G. G., Galvani E.	211
Évaluation de l'effet orographique dans le bassin versant du Piquiri – Paraná/Brésil	
Philippon N., De Lapparent B., Gond V., Bigot S., Brou T., Camberlin P., Cornu G., Dubreuil V., Martiny N., Morel B., Moron M., Seze G.	217
Apport de l'analyse des cycles diurnes de nébulosité et de radiation solaire pour comprendre le cycle saisonnier moyen d'activité photosynthétique de la forêt en Afrique centrale	
Prăvălie R., Zaharia L., Bandoc G., Mitof I.	223
Tendances du bilan hydrique climatique et impact sur la productivité agricole au sud-ouest de la Roumanie	

Variabilités et aléas climatiques

Amoussou E., Totin Vodounon S. H., Cledjo F. P., Allagbe Y. B. S., Akognongbe J. S. A., Houndenou C., Mahe G., Camberlin P., Boko M., Pérard J.	231
Evolution climatique du Bénin de 1950 à 2010 et son influence sur les eaux de surface	
Buffon E. A. M., Mendonça F. A.	237
Inondations urbaines et leptospirose humaine : risques et vulnérabilité à San José dos Pinhais (Brésil)	
Carablaiaș S., Grecu F., Chitan A.	243
Tendances pluviométriques et risques géomorphologiques dans le Parc naturel des Portes de Fer en Roumanie	
El Melki T.	249
Précipitations saisonnières à Tunis-Carthage et indices de radiosondages	
Eveno M., De Rességuier L., Van Leeuwen C., Cantat O., Quénoil H., Planchon O.	255
Analyse de la variabilité spatio-temporelle du climat dans le vignoble de Saint-Emilion : étude combinée des types de temps et des types de circulation	
Faci M., Matari A., Oubadi M., Farhi Y.	261
Analyse des journées de forte chaleur en Algérie	
Fehri N., Hlaoui Z.	267
Étude de l'évolution des séries pluviométriques dans des stations de plaines intérieures de la Tunisie	
Gnele J. E., Soglohoun H. T., Gibigaye M.	273
Contraintes pluviométriques à la production agricole dans la dépression d'Issaba dans la commune de Pobe (Bénin)	
Hanchane M.	279
Variabilité des pluies exceptionnelles dans le bassin versant de Selous (Maroc) : intensité et période de retour selon l'hypothèse de non-stationnarité temporelle	
Hoarau K., Pirard-Hoarau F.	285
Quel est le cyclone tropical le plus intense du globe depuis l'existence des données ?	
Ibiassi Mahoungou G., Ndinga P., Maniaka F. W.	291
Problématique de la modification des régimes pluviométriques du Sud-Congo (République du Congo) de 1932 à 2012	
Juvanon Du Vachat R.	297
La conférence climat de Paris en 2015 : enjeux et perspectives	
Karambiri B. L. C. N., Dipama J. M., Vissin E. W.	303
Variabilité hydroclimatique dans le bassin versant du gourou au Burkina Faso	
Maheras P., Kolyva-Machera F., Tolika K., Anagnostopoulou C.	309
Les précipitations exceptionnelles de l'année 2014 dans la Grèce septentrionale	
Marchand J.-P., Planchon O., Bonnardot V.	315
La variabilité des types de temps mensuels au XVIII ^e siècle à Laval : approche méthodologique	

Nouaceur Z.	
Analyse de la variabilité pluviométrique sur près d'un demi-siècle au Maghreb central (Maroc, Algérie, Tunisie)	321
Oueslati B., Sambou M.-J. G., Pohl B., Rome S., Moron V., Janicot S.	
Les vagues de chaleur au Sahel : caractérisation, mécanismes, prévisibilité	327
Pulina M. A.	
Tendances des températures extrêmes en Sardaigne pendant la période 1951- 2010	333
Raymond F., Ullmann A., Camberlin P., Drobinski P.	
Épisodes secs en hiver dans le bassin méditerranéen : variabilité et forçages atmosphériques (1957-2013)	339
Rome S., Oueslati B., Moron V., Pohl B., Diedhiou A.	
Les vagues de chaleur au Sahel : définition et principales caractéristiques spatio-temporelles (1973-2014)	345
Rousseau D.	
Variabilité des températures mensuelles en France à l'échelle séculaire : caractérisation du Petit âge glaciaire	351
Sare B. A., Yabi I. F., Houssou C. S., Sinsin B.	
Analyse de la qualité de la saison pluvieuse dans la périphérie de la réserve de biosphère transfrontalière du W (Bénin)	357
Sebaibi A. B., Kazi-Tani L. M.	
Evolution du climat et son impact sur l'environnement de la région de l'Oranie (nord-ouest de l'Algérie)	363
Totin V. S. H., Amoussou E., Odoulami L., Boko M., Blivi B. A.	
Seuils pluviométriques des niveaux de risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest)	369
Traboulsi M.	
Évolution des précipitations au Proche-Orient. Relation avec les paramètres d'altitude (température et géopotential 500 hPa)	375
Vandiepenbeeck M., Mievis P.	
Les vagues de chaleur en Belgique	381
Yabi I., Issa M.-S., Zakari S., Afouda F.	
Instabilité intrasaisonnière des pluies dans le département de l'Atacora (nord-ouest du Bénin)	387

Téledétection et climat, Modélisation climatique

Bennour T., Guettouche M. S.	
Un système d'information géographique pour l'analyse des données climatiques de l'Algérie	395
O. Abidine M. M., El Aboudi A., Inejih C. A., O. Soule A.	
Téledétection et SIG en appui à la caractérisation du climat en Mauritanie : cas du Parc national du Diawling (PND) et sa zone périphérique	401
Filahi S., Mouhir L., Tramblay Y.	
Évaluation des modèles climatiques au Maroc : indices des précipitations et des températures	407
Receanu R., Fallot J.-M.	
Distribution spatio-temporelle des précipitations de type PMP utilisant un modèle de champ de pluie : application en Suisse	413
Ullmann, A., Roucou, P.	
Le concept de « Time of Emergence » appliqué aux températures maximales d'été sur le bassin méditerranéen	419

Climat et ressources en eau

Beulant A.-L., Viel C., Soubeyrou J.-M., Demerliac S., Ceron J.-P.	
Une nouvelle application des prévisions saisonnières en France pour la gestion de la ressource en eau	427
Bodian A., Bacci M., Diop M.	
Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin de la Casamance	433
Calianno M., Reynard E.	
Influence des facteurs climatiques sur la distribution de l'eau d'irrigation dans le vignoble de Montana (Suisse)	439
Etene C. G.	
Variabilité pluviométrique et problème d'approvisionnement en eau dans la ville de Parakou au Bénin	445
Hajri J., Hajri M.	
La sécurité hydrique en Tunisie face aux changements climatiques	451
Mami A., Yebdri D.	
Les ressources en eau superficielle et la vulnérabilité face aux changements climatiques dans le bassin de l'Oued Mouillah	457
Milano M., Reynard E., Ruelland D., Servat E.	
Importance de la résolution spatiale et temporelle des approches régionales de modélisation du stress hydrique	463
Miranda G. M., Reynard E., Milano M., Guerrin J.	
Les caractéristiques climatiques de la crise hydrique de 2013-2014 dans la région métropolitaine de Sao Paulo, Brésil	469
Moroşanu G. A.	
Analyse de la sensibilité du modèle hydrologique GR4J à l'évapotranspiration estimée avec différentes méthodes. Étude de cas : le bassin hydrographique de la rivière Jiu	475
Stan F. I., Neculau G., Zaharia L., Ioana-Toroimac G., Mihalache S.	
Variabilité de l'évaporation et impact sur la ressource en eau du Lac Căldăruşani (Roumanie)	481
Index des noms des auteurs	492