



37ème colloque annuel
de l'Association Internationale de Climatologie
19-22 juin 2024 - Campus Condorcet Paris-Aubervilliers

*Climat et changements environnementaux :
mesures, enjeux, transitions*

*Environment and climate change:
measurements, challenges, transitions*

Actes du colloque / Conference Proceedings

Colloque organisé sous l'égide de l'AIC,
par Université Paris Cité, Université Paris 8,
les UMR PRODIG, LADYSS, LIED et UR PLACES

Comité d'organisation / Organising Committee

Salem DAHECH (Université Paris Cité – UMR PRODIG)

Malika MADELIN (Université Paris Cité – UMR PRODIG)

Véronique MICHOT (Université Paris Cité – UMR PRODIG)

Florian RAYMOND (Université Paris 8 – UMR LADYSS)

Chafia DORDOIGNE (CNRS – UMR PRODIG)

Martin HENDEL (ESIEE Paris – UMR LIED)

Karl HOARAU (CY Cergy Paris Université – UR PLACES)

Site web du colloque : <https://aic2024paris.sciencesconf.org>

Site web de l'AIC : <http://www.climato.be/aic>

Email : aic2024paris@gmail.com

Le comité scientifique international

International Scientific Committee

BELLEFLAMME Alexandre Centre de recherche de Jülich, Allemagne	FALLOT Jean-Michel Université de Lausanne, Suisse
BEN BOUBAKER Habib Université de la Manouba, Tunisie	FOISSARD Xavier Université Grenoble Alpes, France
BIGOT Sylvain Université Grenoble Alpes, France	FORTIN Guillaume Université de Moncton, Canada
BONNARDOT Valérie Université Rennes 2, France	FOURMENT Mercedes Facultad de Agronomia, Uruguay
CAMBERLIN Pierre Université de Bourgogne, France	FUNATSU Beatriz CNRS-LETG-Université de Nantes, France
CANTAT Olivier Université de Caen Normandie, France	GODARD Vincent Université Paris 8, France
CARREGA Pierre Université de Nice, France	HENIA Latifa Université de Tunis, Tunisie
CASTANET Cyril Université Paris 8, France	HENDEL Martin Université Paris Cité, France
CHARFI Sami Université de Sfax, Tunisie	HOARAU Karl Université de Cergy-Paris, France
COURAULT Romain Université Paris 1, France	HOLOBACA Iulian Université de Cluj-Napoca, Roumanie
DAHECH Salem Université Paris Cité, France	JOLY Daniel Université de Franche-Comté, France
DELBART Nicolas Université Paris Cité, France	KASTENDEUCH Pierre Université de Strasbourg, France
DOUTRELOUP Sébastien Université de Liège, Belgique	KERMADI Saida Université de Lyon 2, France
DROGUE Gilles Université de Lorraine, France	LE ROUX Renan INRAE, France
DROUIN Agathe Météo France, France	MADELIN Malika Université Paris Cité, France
DUBREUIL Vincent Université Rennes 2, France	MAHERAS Panagiotis Université de Thessalonique, Grèce
ELY Deise Fabiana Université Londrina, Brésil	MENDONCA Francisco Université Fédérale de Parana, Brésil
ESPINOZA Jhan Carlo IRD IGE, France	MICHOT Véronique Université Paris Cité, France

MORON Vincent

Université Aix-Marseille, France

NAJJAR Georges

Université de Strasbourg, France

NORRANT Caroline

Université de Lille, France

PLANCHON Olivier

Biogéosciences, France

QUENOL Hervé

CNRS-Université Rennes 2, France

RENARD Florent

Université Lyon 3, France

RAYMOND Florian

Université Paris 8, France

RICHARD Yves

Université de Bourgogne, France

ROME Sandra

Université Grenoble Alpes, France

RONCHAIL Josyane

Anciennement Université Paris Cité, France

SAGNA Pascal

Université de Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal

SALOUI Abdelmalik

Université de Fès, Maroc

SIERRA PEREZ Juan Pablo

LMD, France

SOUBEYROUX Jean-Michel

Météo-France Toulouse, France

TRABOULSI Myriam

Université Libanaise, Liban

TSIAVAHANANAHARY Jorlin

Université de Mahajanga, Madagascar

ULLMAN Albin

Université de Bourgogne, France

VANNIER Clémence

Manaaki Whenua Landcare research, Nouvelle-Zélande

VIAUX Nicolas

Université de Nice, France

VISSIN Expédit

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

ZAHARIA Liliana

Université de Bucharest, Roumanie

Le mot de l'équipe organisatrice

À l'issue de l'assemblée générale du 36^e colloque AIC de Bucarest, il a été décidé de changer le format des actes du colloque en passant des résumés étendus de quatre à six pages à de simples résumés de 2 pages au maximum contenant une illustration et une brève liste bibliographique. Ce changement apparaît comme avantageux au premier abord pour notre équipe organisatrice du 37^e colloque de l'AIC à Paris en juin 2024. Néanmoins, plusieurs auteurs et autrices ont rencontré quelques difficultés à s'adapter aux nouvelles consignes éditoriales. Nous sommes conscient·es que ce changement de format sera appliqué d'une manière plus fluide pour les prochaines éditions.

L'équipe organisatrice rassemble la plupart des géographes climatologues exerçant en région parisienne : Salem DAHECH, Malika MADELIN, Véronique MICHOT (Université Paris Cité), Florian RAYMOND (Université Paris 8), Martin HENDEL (ESIEE Paris) et Karl HOARAU (CY Cergy Paris Université). Cette équipe élargie a mis en œuvre son expérience et l'apport des quatre laboratoires de ses membres : PRODIG, en particulier Chafia DORDOIGNE, LADYSS, LIED et PLACES pour réussir cet événement annuel.

Sur le plan logistique, le déroulement du colloque quelques semaines avant les Jeux olympiques à Paris a été un défi de taille. Il a été surmonté par la volonté sans faille de l'équipe organisatrice qui a opté vers une date en juin (précoce par rapport à la date habituelle du colloque qui se tient d'habitude début juillet) et pour le Centre des colloques du campus Condorcet à Paris-Aubervilliers comme lieu du colloque. Ce choix est justifié par l'implantation des UMR PRODIG et LADYSS dans ce campus doté d'excellents moyens logistiques mais aussi permettant aux congressistes venant d'ailleurs de bénéficier d'un hébergement à prix abordable.

La centralité de Paris et son accessibilité depuis la France et l'étranger ont été des facteurs d'attrait pour les 145 congressistes inscrits au colloque. Après, un travail d'expertise fait par un comité international composé de 57 membres spécialistes, seuls 90 travaux ont été acceptés pour publication (sur les 142 propositions reçues). Ces travaux sont répartis entre 54 communications orales et 36 posters. Le thème général du colloque porte sur « Climat et changements environnementaux : mesures, enjeux, transitions » et les principaux sous-thèmes sont : observation et modélisation du climat, télédétection et climat, climatologie urbaine, agroclimatologie, extrêmes climatiques et risques climatiques. Outre les présentations orales et sous forme de poster, deux conférences plénières ont été programmées : Laurent MENUT (chercheur CNRS, Laboratoire de Météorologie Dynamique) sur « Analyse et prévision de cas de pollution atmosphérique à l'échelle régionale » et Yann FRANÇOISE (adjoint au directeur et responsable du pôle Climat à la Direction de la Transition Ecologique et du Climat, Ville de Paris) sur « L'adaptation au changement climatique, la nouvelle priorité des villes ».

Sur le plan géographique, les travaux proposés couvrent environ une vingtaine de pays et s'inscrivent dans diverses échelles, allant du global, au régional, à la mésoéchelle et au local. Ils attestent de l'importance du climat pour les sociétés. En effet, certains travaux s'attardent sur l'observation des extrêmes climatiques comme les fortes chaleurs et les

pluies diluviennes et leurs impacts sur la santé humaine et les enjeux socio-économiques. D'autres contributions développent les mesures d'adaptation des sociétés face au changement climatique à diverses échelles. À titre d'exemple, quelques papiers en climatologie urbaine montrent des solutions de rafraîchissement des villes à été chaud.

À la lecture du programme, il ressort clairement un nombre important de communications portant sur des travaux menés aux échelles fines, particulièrement en climatologie urbaine. Ces contributions sont motivées par une hausse sans cesse de l'urbanisation, une nécessité croissante d'adapter les villes aux changements climatiques manifestés en partie par une recrudescence accrue des canicules. De surcroît, ces travaux mettent en avant une utilisation de plus en plus fréquente de la géomatique et des applications informatiques nouvelles.

Très bon colloque !

L'équipe organisatrice

Index des mots-clefs / Keyword index

A

adaptation · 19, 70, 90, 100, 150
 agriculture · 19
 agriculture de précision · 58
 aires protégées communautaires · 150
 ambiance bioclimatique · 15
 Amérique du Sud · 170
 analyse
 analyse des séries temporelles · 116
 analyses urbaines · 106
 arbres · 37

B

bassin
 bassin d'Oum Er Rbia · 88
 bassin de la rivière Iguaçú-Sarapuí (RJ/Brésil) · 136
 Bénin
 Banikoara · 172
 Bohicon · 21
 commune de Dangbo · 184
 Dangbo · 104
 Natitingou · 15
 bilan hydrique · 112, 188
 bioclimat annuel · 76
 biodiversité · 178
 Brésil
 bassin de la rivière Iguaçú-Sarapuí (RJ/Brésil) · 136
 Curitiba · 126
 Itajubá · 78
 Jaboatão dos Guararapes · 48
 Olinda · 60
 brise
 brise de mer · 162
 brise littorale · 96
 brise thermique · 122, 186
 front de la brise · 96
 Bulgarie · 148

C

Canada · 80
 catastrophes naturelles · 82
 chaleur
 chaleur extrême · 144
 fortes chaleurs · 19
 champ thermique · 60
 champs atmosphériques · 64
 changement climatique · 44, 68, 76, 88, 100, 112, 118, 128, 132, 134, 138, 144, 150, 160, 162, 166, 170, 178
 changement thermique et pluviométrique · 140
 changements observés · 46
 classification · 64
 climat · 23

climat futur · 50
 climat urbain · 48, 60, 94, 180
 météo-climatologie locale · 58
 microclimat urbain · 56, 108, 130
 composition des baies · 162
 confort thermique · 56, 122
 contextes synoptiques · 98
 Côte d'Ivoire · 17, 164
 Aboisso · 164
 Cocody · 52
 couverts · 142
 couverture neigeuse · 66
 covariance des turbulences · 134
 culture
 culture du café · 170
 cultures agricoles · 140
 cyclones méditerranéens · 148

D

Danube · 46
 densification urbaine · 146
 densité de la neige · 66
 descellement · 130
 désertification · 112
 dommage · 52, 166
 données crowdsourcées · 120
 DRIAS · 160

E

écosystème lagunaire · 118
 Emberger · 76
 énergie · 33
 enneigement · 38
 ENSO · 82
 environnement urbain · 124
 épisodes de sécheresse · 42
 équivalent en eau de la neige · 38
 espace refuge · 92
 état hydrique · 37
 Euro-Atlantique · 44
 évaporation · 128
 évapotranspiration · 130
 évolution · 138
 Explore2 · 160
 extrême
 extrême de chaleur · 35, 154
 extrêmes climatiques · 17, 138

F

filère économique · 100
 forêt
 forêt urbaine · 11
 France · 110, 166
 Bretagne · 62
 Bretagne et Pays de Loire · 144
 Cévennes · 31
 Champagne · 142

Dijon · 29
 Grenoble · 154
 Paris · 156
 Paris XIII · 13
 Pays de la Loire · 19
 Romilly · 156
 territoire grenoblois · 106

G

gelées · 142
 gradient · 120

H

hauteurs géopotentielles · 174
 hydrologie · 31

I

îlot de chaleur urbain · 11, 29, 48, 54, 62, 78, 94, 120, 122, 180
 îlot de chaleur urbain de surface · 72
 impacts · 100, 126, 184
 impact sanitaire · 164
 incertitude · 50
 indicateurs · 158
 indices · 80
 indice d'aridité · 112
 indice de gravité de la sécheresse · 116
 indices climatiques · 25, 42, 132
 indices normalisés · 172
 infrarouge
 infrarouge thermique · 108
 inondations · 52, 104, 126, 136, 164, 182, 184
 intelligence artificielle · 58
 interpolation · 54
 inversion thermique · 98, 186

K

krigeage avec régression · 94

L

Landsat 8/9 · 72
 LASER/F · 114
 LCZ · 35, 62
 Liban
 Zahlé · 186
 logiciel à usage gratuit · 56

M

Madagascar · 23, 168, 178
 sud-ouest de Madagascar · 150
 Maroc · 158
 Atlas de Béni Mellal · 68
 bassin d'Oum Er Rbia · 88
 bassin versant de Derna · 68
 Casablanca · 72
 Casablanca-Settat · 86
 Oum Er Rbia · 66
 Méditerranée · 27
 mesures · 108
 mesures microclimatiques · 11, 102
 réseau de mesure · 31
 méthodologie d'évaluation du terrain · 140
 micro-capteurs · 124
 micro-dendrométrie · 37
 MOD10A · 66
 modèle, modélisation · 40
 modèle thermo-radiatif · 114
 modélisation · 108
 modélisation à haute résolution · 124
 modélisation microclimatique · 84
 modélisation spatiale · 54
 morphologie urbaine · 84

N

narratifs · 50
 NP Reanalysis · 25
 Nunica · 21

O

observations anciennes · 156
 oscillation nord-atlantique · 88

P

parc · 33, 122
 paroxysme de chaleur · 27
 participation citoyenne · 92
 pêcheurs artisanaux · 118
 perception · 90, 118
 performance · 21
 phénologie · 23
 pluies, précipitations · 42, 46, 82, 148, 168, 174, 188
 pluies intenses · 136
 pluviogramme · 21
 pluviométrie · 52
 température/précipitation · 25
 politiques d'adaptation climatique · 92
 pollution
 PM₁₀ · 13
 pollution de l'air · 13
 pollution particulaire · 124

Pologne · 188
 prévention · 182
 projection future · 152
 projet CASSANDRE · 154
 puits de carbone · 134

R

rafraîchissement · 33
 rafraîchissement des parcs · 84
 réanalyses · 64
 réchauffement · 27, 158
 réchauffement climatique · 15, 152, 172
 régénération · 168
 résilience · 104
 risques
 risque agro-climatique · 110
 risques hydroclimatiques · 184
 risques naturels · 182
 riz pluvial · 17
 Roumanie · 46, 98, 128, 174
 Cluj-Napoca · 94
 Danube · 46
 rupture · 152

S

science participative · 102
 sécheresse · 80, 86, 110, 166, 172
 sécheresse hivernale · 88
 sécurité thermique · 48
 self-organizing maps · 44
 service italien des avalanches · 38
 services écosystémiques · 70
 SIG · 33
 simulations · 108
 simulation haute-résolution · 29
 simulation microclimatique · 114, 146
 sinistralité · 110
 sites propices · 17
 station synoptique · 21
 statistiques · 58
 géostatistiques · 106
 régression multiple · 54
 stockage total d'eau · 116
 stress
 stress hydrique · 138
 stress thermique · 11, 102, 106
 structure · 23
 surchauffe urbaine · 92
 surveillance · 38
 survie humaine · 178
 systèmes ouverts · 31

T

tapia · 23
 télédétection · 37, 60

températures · 44, 82, 152, 156, 188
 température · 42
 température de l'air · 40, 180
 température de surface · 72, 114
 température maximale quotidienne · 158
 température moyenne radiante (T_{mrt}) · 35
 température/précipitation · 25
 températures minimales de l'air extrêmes · 98
 tendance · 15, 86, 128
 THRS · 37
 tourbière forestière · 70
 trafic routier · 13
 trajectoire d'adaptation · 160
 trajectoires · 148
 transect mobile · 78
 tropicalisation · 132
 Tunisie · 27, 76
 Kairouan · 40
 type de temps sensible (TTS) · 154
 types de circulation atmosphérique · 174

U

U bojeri · 168
 Uruguay · 162
 UTCI · 146
 utilisation des terres · 180

V

vagues de chaleur · 29, 64, 90
 variabilité · 80, 132
 variabilité des précipitations et température · 68
 variabilité des températures · 78
 variabilité pluviométrique · 86
 variabilité spatio-temporelle · 120
 végétalisation · 130, 146
 vigne · 142
 ville · 126
 viticulture · 144, 162
 vulnérabilité · 90
 vulnérabilité climatique · 70
 vulnérabilité humaine · 182
 vulnérabilité socio-économique · 104

Z

zone climatique locale (LCZ) · 35, 62
 zone urbaine · 37

Résumés des communications

Communication abstracts

Les opinions défendues dans cette ouvrage et toute responsabilité qui en découle n'engagent que les auteurs et elles ne sauraient pas imputées aux institutions auxquelles ils appartiennent, qui ont financé leurs travaux ou aux organisateurs du colloque. Les auteurs sont également responsables pour la qualité de la rédaction des textes et de leurs traductions en français ou en anglais.

The opinions expressed in this work and any resulting liability are the sole responsibility of the authors and cannot be imputed to the institutions they belong to, which have financed their work or to the organizers of the conference. The authors are also responsible for the quality of the writing of the texts and their translations into French or English.

MISE EN PLACE D'UNE FORÊT URBAINE POUR L'ADAPTATION DE PARIS AUX CANICULES

Charbel ABBOUD¹, Sophie PARISON², Martin HENDEL³, Laurent ROYON²

1. Université Paris Cité, LIED, UMR 8236, CNRS, 10 rue Alice Domon & Léonie Duquet, 75013 PARIS
Ville de Paris, Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD), 15 rue Jean-Baptiste Berlier 75013 PARIS
Ville de Paris, Direction de la Transition Ecologique et du climat (DTEC), 103 av de France 75639 Paris Cedex 13,
charbel.abboud@paris.fr

2. Université Paris Cité, LIED, UMR 8236, CNRS, 10 rue Alice Domon & Léonie Duquet, 75013 PARIS,
sophieparison@gmail.com, laurent.royon@u-paris.fr

3. Université Paris Cité, LIED, UMR 8236, CNRS, 10 rue Alice Domon & Léonie Duquet, 75013 PARIS
Univ Gustave Eiffel, ESIEE Paris, département SEED, F-93162, Noisy-le-Grand, France, martin.hendel@u-paris.fr

Urban forest for adapting Paris to heat waves

Mots-clés : mesures microclimatiques, stress thermique, forêt urbaine, îlot de chaleur urbain

Keywords: microclimatic measurements, thermal stress, urban forest, urban heat island

Introduction

Le changement climatique et les épisodes de canicules d'ici 2050 poussent les villes à s'adapter (Lemonsu *et al.*, 2013). Actuellement, les décideurs visent à lutter contre l'amplification des vagues de chaleur dans les grandes villes (Santamouris 2013). Dans le cadre de son adaptation au réchauffement climatique, la Ville de Paris étudie différentes techniques de rafraîchissement urbain afin d'améliorer le confort thermique des usagers en période caniculaire (Chanial *et al.*, 2020). Un des projets phares de la mandature est la création de plusieurs « forêts urbaines ». Nous nous intéressons ici à l'évaluation de la forêt urbaine Petite-Ceinture 20e (PC20) située à proximité de la Porte de Vincennes à Paris.

1. Description du site

L'aménagement et la transformation reposent sur la petite ceinture ferroviaire à Porte de Vincennes dans le 20^{ème} arrondissement de Paris. Le projet donnera accès au public à une nouvelle portion de cette ceinture avec la plantation de 4 000 à 7 500 arbres sur 2 ha, avec une zone très arborée (forêt) au Sud, une clairière au centre, ainsi qu'une plaine au niveau du jardin de la Gare de Charonne. L'objectif est de créer un îlot de fraîcheur.

2. Méthodologie

La zone est équipée de deux stations météorologiques, l'une dans la forêt (x_1), l'autre dans la clairière (x_2), mesurant la température de l'air T_a , l'humidité relative RH et la température de globe noir T_g à 1,5 m de hauteur. À 4 m de hauteur sont mesurés la vitesse du vent v , la température de l'air T_a et l'irradiance solaire (S). Une station témoin est située en dehors du site à proximité. Les données obtenues lors de journées radiatives (ciel clair avec faible vent) seront analysées par la méthode BACI : Before-After-Control-Impact (Parison *et al.*, 2020) pour quantifier l'effet de la création de la forêt sur le stress thermique évalué par l'UTCI (Błazejczyk *et al.*, 2013). Des mesures mobiles sont également réalisées pour compléter la couverture spatiale de l'étude (Karam *et al.*, 2022)

La méthodologie BACI consiste à étudier la différence des paramètres microclimatiques entre le site d'expérimentation aux positions x_1 et x_2 et le site témoin x_0 à une période t (avant ou après transformation, Fig. 2). Soit $M_{x,t}$ un des paramètres microclimatiques étudiés. En x_1 , la différence de $M_{x_1,t}$ et $M_{x_0,t}$ nous donne le profil interstation avant (ΔM_{ref}) et après travaux ($\Delta M_{étude}$) :

$$\Delta M_{ref} = M_{x_1,ref} - M_{x_0,ref}$$

$$\Delta M_{étude} = M_{x_1,étude} - M_{x_0,ref}$$

La comparaison de ces profils permet de déterminer l'impact I des travaux et d'en tester la significativité statistique.

$$\Delta M_{étude} - \Delta M_{ref} = I_{x_1}$$

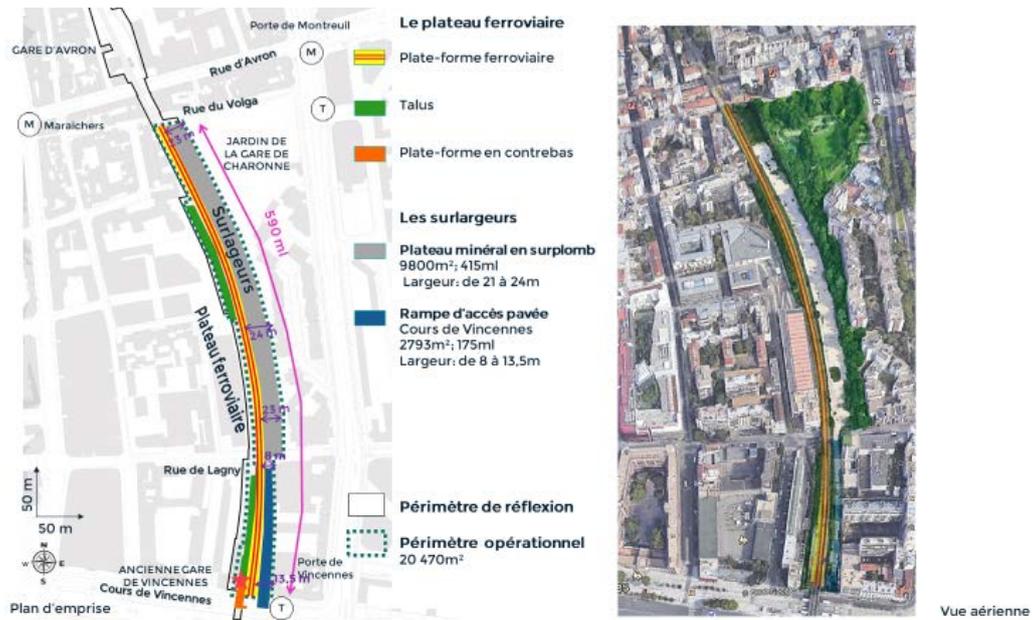


Figure 1. Plan d'emprise et vue aérienne du site de la PC20.

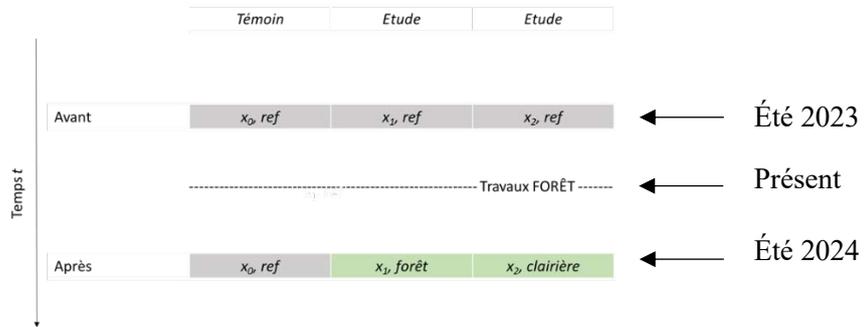


Figure 2. Illustration de la méthode BACI : sites témoin (x_0) et d'étude (x_1 et x_2), avant et après travaux (ligne pointillée).

Conclusion

La création d'une forêt urbaine est en cours d'étude dans le 20^e arrondissement de Paris via des mesures fixes et mobiles. La méthodologie mobilisée vise à quantifier les impacts rafraîchissants de la végétation plantée. Les mesures avant travaux ont été réalisées pendant l'été 2023. Les mesures après travaux auront lieu à l'été 2024 suite à la transformation du site prévue au cours du printemps 2024.

Bibliographie

- Blazejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., et Kampmann B. 2013. « An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) ». *Geographia Polonica*
- Chaniel M., Parison S., M. Hendel, et L. Royon. 2020. « Etude du comportement thermique et microclimatique d'un revêtement innovant ».
- Karam G., Chaniel M., Hendel M., et Royon L. 2022. « Evaluation thermique de matériaux de revêtement des cours oasis ». In *XVeme Colloque International Franco-Quebecois*. Paris, France.
- Lemonsu A., Kounkou-Arnaud R., Desplat J., Salagnac J.-L., et Masson V. 2013. « Evolution of the Parisian Urban Climate under a Global Changing Climate ». *Climatic Change*
- Parison S., Hendel M., et Royon L. 2020. « A statistical method for quantifying the field effects of urban heat island mitigation techniques ». *Urban Climate*
- Santamouris M. 2013. « Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION DE L'AIR AU PM₁₀ PAR TEMPS STABLE DANS LE 13^{EME} ARRONDISSEMENT DE PARIS

Mohamed Ali ABDMOULEH, Salem DAHECH

Université Paris Cité, Faculté Sociétés et Humanités, UFR GHES UMR 8586 du CNRS (PRODIG), France,
abdmouleh.mohamedali@yahoo.com, salem.dahech@gmail.com

Mapping of air pollution at PM₁₀ in stable weather in the 13th arrondissement of Paris

Mots-clés : PM₁₀, trafic routier, pollution de l'air, Paris XIII

Keywords: PM₁₀, road traffic, air pollution, Paris XIII

Introduction

La pollution de l'air est considérée comme un tueur silencieux ; ses impacts néfastes sur la santé humaine sont incontestables (OMS, 2021). La population mondiale réside à 90% dans des endroits où les niveaux de la qualité de l'air dépassent les seuils recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Malgré les efforts constants visant à améliorer la qualité de l'air, les seuils limites européens pour les particules PM₁₀ sont encore dépassés dans de nombreux pays européens (EEA, 2018). En France, en raison de la circulation routière, Paris se classait au neuvième rang mondial pour le pourcentage de décès parmi les grandes villes, résultant de la pollution atmosphérique attribuable aux émissions des transports (ICCT, 2019). Airparif estime que « 4,6 millions de franciliens sont concernés par le dépassement des recommandations OMS » (Airparif, 2019). La qualité de l'air dépend non seulement des polluants atmosphériques, mais aussi des conditions météorologiques et climatiques. De ce fait, les facteurs météorologiques les plus favorables à la dispersion sont le vent et la stabilité de l'atmosphère. Dahech (2007) confirme que le vent est le paramètre météorologique qui a le plus d'influence sur la qualité de l'air. Dans ce travail, nous représentons la répartition spatiale du PM₁₀ induit par le transport routier pendant la saison hivernale avec un temps stable dans le XIII^e arrondissement de Paris. Notre objectif est d'analyser les variations spatiales du PM₁₀, nous nous sommes basés sur des campagnes de mesures semi-itinérantes. Outre la couverture spatiale à échelle fine, cette étude permet d'évaluer la concentration de PM₁₀ qui n'est pas enregistrée par la seule station de surveillance de la qualité de l'air du réseau AIRPARIF du XIII^e arrondissement. Les mesures sont réalisées par type de temps radiatif (stable).

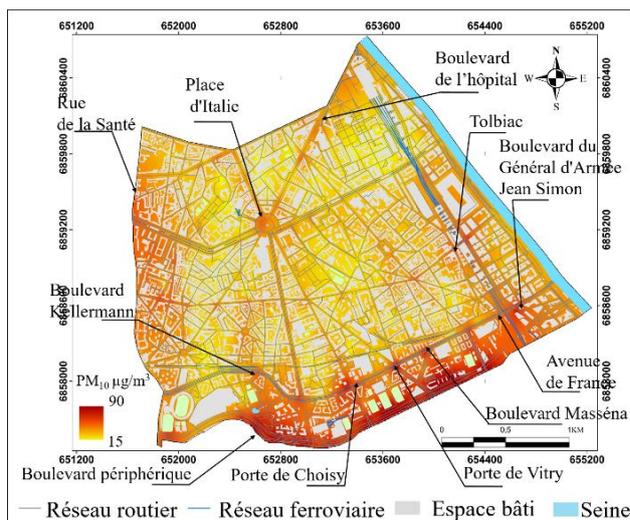
1. Zone d'étude, méthodes et données

L'étude porte sur le XIII^{ème} arrondissement de Paris, situé dans la région Île-de-France, comptant 177 833 habitants soit une densité de 24 871 hab/km² pour une superficie de 7,2 km² (Insee, 2022). Ses quartiers sont caractérisés par un réseau routier à maillage serré et homogène. Nous nous sommes basés sur des campagnes de mesures semi-itinérantes réalisées moyennant des stations portables « Aeroqual series 500 versions pro » pour couvrir 272 points de mesure du lundi au vendredi de juillet 2020 jusqu'à février 2022, avec un espacement d'environ 100 m. Les mesures n'ont pas été réalisées les samedis et dimanches, compte tenu du constat que le trafic routier est significativement moindre pendant le week-end. Deux sessions de relevés ont été effectuées, le matin de 07h30 à 09h30 et en début de soirée de 17h00 à 19h30. Outre la couverture spatiale, à échelle fine, cette étude permettrait d'évaluer les concentrations de PM₁₀ qui ne sont pas enregistrées par la seule station de surveillance de la qualité de l'air du réseau AIRPARIF du XIII^{ème} arrondissement. La mesure a duré 5 minutes/point, le pas d'enregistrement de 15 secondes généré ainsi 20 relevés. En parallèle, nous avons compté le nombre de voitures, de bus, de camions et de piétons. Les données météorologiques utilisées sont issues de la station Paris Montsouris, gérée par Météo France, située au 14^{ème} arrondissement de Paris. Une interpolation spatiale basée sur l'interpolation pondérée par la distance inverse (IDW) a été réalisée à l'aide de l'outil ArcGIS® Geostatistical Analyst.

2. Modélisation statistique des niveaux de PM₁₀ par temps stables hivernales

L'étude des niveaux de PM₁₀ pendant la saison hivernale a révélé des concentrations élevées, dépassant 75 µg/m³, le long du boulevard périphérique, soulignant l'influence significative du trafic routier dans ces zones fréquentées. Les observations ont également mis en évidence un coefficient de détermination R²= 0,7 entre les valeurs de PM₁₀ et 12 variables traitées dans le modèle. Nous citons, par exemple, les coefficients positifs tels que ceux indiquant que le nombre de voitures à proximité des points de mesure et la présence de chantiers contribuent à augmenter les niveaux de PM₁₀ dans l'air. Par interpolation des valeurs réelles, des seuils élevés de 65 à 75 µg/m³ ont été enregistrés près des routes du boulevard Masséna, à deux croisements à Tolbiac, ainsi qu'à l'avenue de la porte de Choisy et porte de Vitry, Boulevard du Général d'Armée Jean Simon, principalement attribuables au trafic routier (Fig.1). Des valeurs élevées de 55 à 65 µg/m³ ont été observées dans des zones comme Tolbiac, place d'Italie, la rue de la Santé, avenue d'Italie, en raison de la proximité de chantiers et de la densité du trafic. Sur des axes principaux et rues importantes, des concentrations moyennes de 45 à 55 µg/m³ ont été relevées, comme avenue de France, boulevard de l'hôpital, boulevard Kellermann suggérant une intensité moindre du trafic et des activités de construction, avec une réduction relative des concentrations de PM₁₀. Certaines routes importantes ont montré des valeurs modérées de 35 à 45 µg/m³, tandis que dans des rues secondaires densément peuplées, malgré la densité des bâtiments, les niveaux de PM₁₀ restent relativement bas de 25 à 35 µg/m³. Cette observation peut s'expliquer par une moindre contribution du trafic routier et une dispersion plus efficace des polluants dans ces rues secondaires (Fig. 1).

Figure 1. Distribution de la répartition spatiale des concentrations du PM₁₀ au XIII^e arrondissement du trafic routier par interpolation IDW (Moyenne de 5 minutes par point, validée trois fois, mesures réalisées entre novembre 2021 et janvier 2022).



Conclusion

Pendant la saison hivernale, l'étude a établi un lien significatif entre la densité du trafic et les niveaux de PM₁₀ dans le XIII^e arrondissement de Paris. Les axes à trafic dense, tels que le boulevard périphérique, ont enregistré des concentrations largement supérieures à 75 µg/m³ dépassant les 400 voitures/5 minutes. Des valeurs notables, entre 65 et 75 µg/m³, ont été observées sur des croisements stratégiques tels que les boulevards Masséna, Porte de Choisy, et Porte de Vitry. Ces zones densément fréquentées reflètent des concentrations élevées. La pollution de l'air diminue en s'éloignant des axes de circulation majeurs. Par ailleurs, durant des périodes de stabilité et de froid, une augmentation de la concentration de PM₁₀ a été observée en corrélation avec la diminution de la température et une faible vitesse du vent, comme illustré par le cas du 25/01/2022. En outre, la morphologie urbaine, à l'image de l'avenue de la Porte de Choisy et de la rue de la Santé, présentant des voies relativement étroites, peut entraîner une accumulation des particules.

Bibliographie

- OMS., 2021 : *A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality*, 2nd ed. (Second edition). WHO: World Health Organization, Regional Office for Europe, 109 pages.
- EEA., 2018 : *Air quality in Europe—2018—European Environment Agency*. EEA : European Environment Agency, 88 pages.
- Airparif., 2019 : Bilan de la qualité de l'air Année 2018 (SURVEILLANCE ET INFORMATION EN ÎLE-DE-FRANCE) [Bilan]. Airparif : L'observatoire de la qualité de l'air en Île-de-France, 92 pages.
- Dahech, S., 2007 : *Vent, type de temps et impact sur la pollution atmosphérique à Sfax* [Doctorat]. Université Paris VII Paris, France, 351 pages.
- ICCT., 2019 : Health impacts of air pollution from transportation sources in paris. The International Council on Clean Transportation, 3 pages.
- Insee., 2022 : Dossier complet – Commune de Paris 13^e Arrondissement (75113) | Insee (Statistiques et études).

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET HABITATS BIOCLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU (AU NORD BÉNIN)

Marcel ADIGBEGNON¹, Rafiatoù BAMISSO², Henri Sourou TOTIN VODOUNON^{2,3},
Jéchonias TETE³

1. Institut du Cadre de Vie (ICaV) de l'Université d'Abomey Calavi, 03BP 1122, Cotonou, Bénin,
adigbegnonmarcel@gmail.com

2. Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi,
03BP 1122, Cotonou, Bénin, rafiatoù.bamisso@gmail.com

3. Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, BP : 123, Parakou, Bénin,
sourouhenri@yahoo.fr ; jechoniasete4@gmail.com

Global warming and bioclimatic habitats in the commune of Natitingou (Northern Benin)

Mots-clés : Natitingou, réchauffement climatique, ambiance bioclimatique, tendance

Keywords: Natitingou, global warming, bioclimatic atmosphere, trend

Introduction

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires (GIEC, 2014). En effet, ce réchauffement climatique est caractérisé par des épisodes de chaleur intense et de sécheresse qui sont des aléas climatiques qui peuvent impacter à la fois les habitations dans toutes les régions du monde.

Au Bénin, le réchauffement climatique observé ces dernières années est marqué par des chaleurs excessives, des poches de sécheresse (Adigbegnon, 2020). À Natitingou (9°40' et 10° 34' Nord et 1°04' et 1°45' Est), la température moyenne annuelle de $27,12 \pm 0,5^\circ\text{C}$ impacte l'ambiance bioclimatique dans les habitats qui sont d'ailleurs, installés de façon dispersée. Cependant, selon Djakpo (2015), le secteur de l'habitat se trouve victime d'une façon de faire qui ne reflète aucunement les aspirations de l'habitant en termes de confort thermique, tout en ignorant les exigences climatiques, environnementales et économiques des régions concernées. Cette étude vise à évaluer l'empreinte du réchauffement climatique sur l'ambiance bioclimatique des habitats de Natitingou.

1. Données et méthodes

Les relevés mensuels des températures, de la vitesse du vent et de l'humidité relative sur une période de 1951 à 2022 ont été obtenus à la Météo Bénin pour la station synoptique de Natitingou. Ils ont permis de mettre en évidence les taux de réchauffement climatique et de calculer les indices bioclimatiques tels que l'Indice thermo-hygro-métrique (THI), le pouvoir réfrigérant de l'air (k) et la tension de vapeur (T_{vap}).

2. Résultats

2.1. Mise en évidence du réchauffement climatique dans la Commune de Natitingou

La figure 2 met en évidence le réchauffement climatique à travers l'analyse de la variabilité des températures mensuelles et annuelles maximales, moyennes et minimales sur la période de 1951-2022. La température moyenne annuelle est de $27,12 \pm 0,5^\circ\text{C}$ et baisse progressivement de $30,27^\circ\text{C}$ en mars à $24,96^\circ\text{C}$ en août (Fig. 1a). En saison période sèche (novembre-avril), la température moyenne est comprise entre $26,67^\circ\text{C}$ et $30,27^\circ\text{C}$. Au cours de cette période, il fait excessivement chaud dans les habitations. À Natitingou, le taux de réchauffement climatique de $0,01^\circ\text{C}/\text{an}$ (soit $0,72^\circ\text{C}$ en 72 ans) (Fig. 1b).

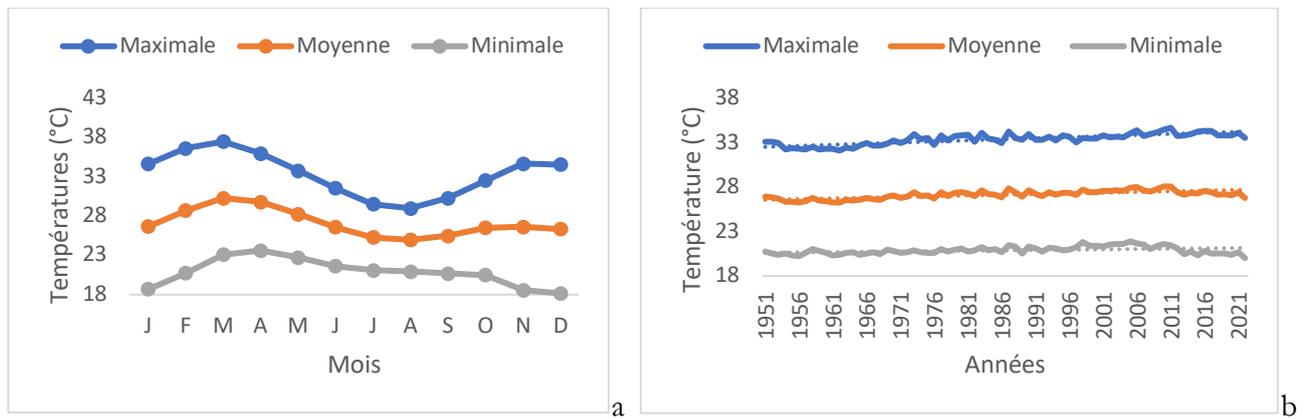


Figure 1. Évolution mensuelle moyenne (b) et interannuelle (a) des températures à Natitingou de 1951 à 2022

En effet, l'augmentation des températures affecte les habitations selon Bergkamp *et al.* (1999) et entraînerait par conséquent la fissuration des murs (60%), le craquellement des peintures (30%) et du crépi (10%) du fait des températures élevées et une humidité dépassant les 77% dans les habitations.

2.2. Sensibilité des ambiances bioclimatiques des habitats au réchauffement climatique

Les valeurs du THI des mois d'avril (26,60°C) et de mai (26,06°C), du K de septembre à juin (avec 71,36 Kcal/h/m² à 149,23 Kcal/h/m²) et de la Tvap d'avril à octobre (varie de 31,70 hpa à 35,71 hpa) (Tab. 1) montrent que l'ambiance est très chaude dans les habitations et donc inconfortable aux populations.

Tableau 1. Évolution mensuelle des indices bioclimatiques (THI, Tvap et K) de 1951-2022 à Natitingou

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
THI	22,03	23,44	25,58	26,60	26,09	25,04	24,16	23,95	24,30	24,78	23,52	22,25
Tvap	14,22	16,20	23,80	31,70	34,76	35,43	35,71	35,90	35,70	33,98	24,76	17,02
K	138,38	93,68	59,31	71,36	104,31	139,73	167,32	169,68	149,23	127,48	128,07	139,76

Légende		Ambiance émolliente / confortable
		Ambiance chaude plus ou moins supportable
		Ambiance très chaude et inconfortable

De juin à mars, le THI varie de 22,03°C à 25,58°C ; de juillet à août, le K oscille entre 167,32 Kcal/h/m² et 169,68 Kcal/h/m² et de novembre à mars, la Tvap évolue de 14,22 hpa à 24,76 hpa. Cette variation du THI, du K et de la Tvap présente une ambiance chaude par conséquent plus ou moins supportable.

Conclusion

Le taux de réchauffement moyen à Natitingou est de 0,01°C/an avec une température moyenne variant entre 26-28°C de 1951 à 2022. Au cours de l'année, l'ambiance bioclimatique dans les habitats est très chaude sur dix mois pour le K, sept mois pour la Tvap et de deux mois pour le THI. Cependant, les ambiances chaudes pourraient évoluer vers les ambiances très chaudes si la tendance au réchauffement climatique s'accroît.

Bibliographie

- Djakpo L., 2016 : Stratégies architecturales de conception bioclimatique des bâtiments en région tropicale humide au Bénin : Cotonou et ses environs. Mémoire d'ingénieur en conception, Université d'Abomey-Calavi, 102 pages.
- Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), 2014 : *Changements climatiques 2014*. Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au 5^e rapport d'évaluation du GIEC, Genève, Suisse, 161 pages.
- Adigbegnon M., Totin Vodounon S. H., Amoussou E., Avahouin C. N., Houngnibo T. K., Adetona L., (2020). Réchauffement climatique dans le domaine de transition climatique au Bénin. In *Changement climatique et Territoires*, Actes, 33^{ème} colloque de l'AIC, Ed. Sc. Valérie BONNARDOT & Hervé QUENOL Université Rennes 2, pp. 25-30.
- Bergkamp G., Cerda A. et Imeson A. C., 1999 : Analyse magnitude-fréquence de la redistribution de l'eau le long d'un gradient climatique en Espagne. In *CATENA*, Volume 37, Numéros 1-2, Septembre 1999, pp. 129-146.

DÉTERMINATION ET PRÉVISION DES SITES PROPICES À LA RIZICULTURE PLUVIALE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CENTRE-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

Fabrice B. ALLECHY¹, Vami H. N'GUESSAN BI^{1,2}, Assa F. YAPI³, Marc YOUAN TA^{1,2}, Arona DIEDHIOU⁴

1. Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et de Géomatériaux (LSSEG), Université FELIX HOUPHOUËT BOIGNY, Côte d'Ivoire, fabriceallechy@gmail.com
2. Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université FELIX HOUPHOUËT BOIGNY, Côte d'Ivoire, vami@outlook.com
3. UFR des Sciences Biologiques, Département de Géosciences, Université PELEFORO GON COULIBALY de Korhogo, Côte d'Ivoire, yapiassaf@upgc.edu.ci
4. Université Grenoble Alpes, IRD, CNRS, Grenoble-INP, IGE, Grenoble, France

Identification and forecasting of suitable sites for rainfed rice cultivation in a context of climate change in west central Côte d'Ivoire

Mots-clés : sites propices, riz pluvial, extrêmes climatiques, Côte d'Ivoire

Keywords: suitable sites, rainfed rice, climates extremes, Côte d'Ivoire

Introduction

La Côte d'Ivoire fait face à une forte variation climatique au cours de ces cinq dernières décennies qui se manifeste par une baisse des pluies, une hausse des températures, les poches de sécheresse, la perturbation des calendriers culturels (Dibi, 2010). Ce qui entraîne une baisse effective des rendements du riz pluvial sur l'ensemble du territoire (Touré *et al.*, 2017). Par ailleurs, la forte croissance démographique (2,6% par an) entraîne une augmentation rapide de la demande alimentaire du riz qui est l'aliment de base de la population, avec une part annuelle par habitant de 70 Kg (MINADER, 2019). La production de 1304468 T de riz ne parvient pas à satisfaire la consommation estimée à 1830385 T et le déficit est comblé par des importations massives d'un coût de 263 milliards de FCFA par an (Ciyow, 2019). Le climat est le principal facteur déterminant les zones pour la culture du riz pluvial et les rendements du riz (Singh *et al.*, 2017). Par conséquent, les changements climatiques à long terme pourraient rendre certaines zones climatiquement inadaptées à la riziculture pluviale, ou du moins réduire les rendements. Étant donné que le riz pluvial soutient les moyens de subsistance des agriculteurs à faible revenu, il est important de souligner la vulnérabilité des zones pluviales au changement climatique afin d'anticiper les risques potentiels pour la sécurité alimentaire. Ce travail vise à contribuer à l'amélioration de la productivité du riz par l'identification des sites propices à la riziculture pluviale à l'horizon 2050 dans le bassin versant de la Lobo à partir de la télédétection et SIG.

1. Matériel et méthodes

Le bassin versant de la rivière Lobo est un sous bassin en rive gauche du fleuve Sassandra avec une superficie de 12 722 km². Il est situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 6°05' et 6°55' Ouest et les latitudes 6°02' et 7°55' Nord.

Les données cartographiques, les images satellitaires Landsat TM (1986), ETM+(2003) et OLI (2019 des scènes 195-055, 195-056 et 196-055 et les données de précipitations et températures journalières de 1981 à 2019 et 2021 à 2050 provenant respectivement de « Climate Hazards group InfraRed Precipitation with Stations » CHIRPS et de 4 MCG (CanESM2, HadGEM2-ES, MIROC-ESM et MIROC-ESM-CHEM) du scénario RCP 4.5 ont été utilisées et traitées avec les logiciels ClimPACT2, XLSTAT, Envi 5.1 et ArcGis 10.5.

La méthode d'analyse multicritères de Saaty couplée au SIG a été élaborée en prenant en compte des 12 critères (hauteurs de pluies annuelles (PRCPTOT), nombre de jours secs consécutifs (CWD), cumul de pluies sur cinq jours (Rx5day), nombre de jours pluvieux (R1mm), températures maximales (Txx) températures moyennes (Tmm), températures minimales (Tnn), texture du sol, réserve utile en eau, la pente, l'indice d'humidité topographique et l'occupation des terres). Ces critères une fois identifiés ont été élaborés, prédits à l'horizon 2050, standardisés et pondérés par la matrice de Saaty pour le choix de la sélection des sites propices à la riziculture pluviale à l'horizon 2050 (2021-2050).

2. Résultats

Douze critères ont permis d'obtenir les cartes d'aptitudes qui mettent en évidence les sites non propices, moyennement propices, propices et très propices à la riziculture pluviale (Fig. 1). Plus les terres conviennent aux besoins spécifiques de la culture, plus elles sont aptes pour cette culture et plus la culture donne le maximum de rendement. Ces cartes montrent qu'en 2019, les sites très propices et propices représentent 67% du bassin soit 8 460,01 km². Les sites moyennement propices 20% soit 2 546,24 km² et les sites non propices 13% soit 1 694,93 km². En 2050, les sites très propices et propices occuperaient 48% du bassin soit 6 096,55 km². Les sites moyennement propices représenteraient 25% soit 3 171,85 km² et les sites non propices occuperaient 27% soit 3 390,93 km².

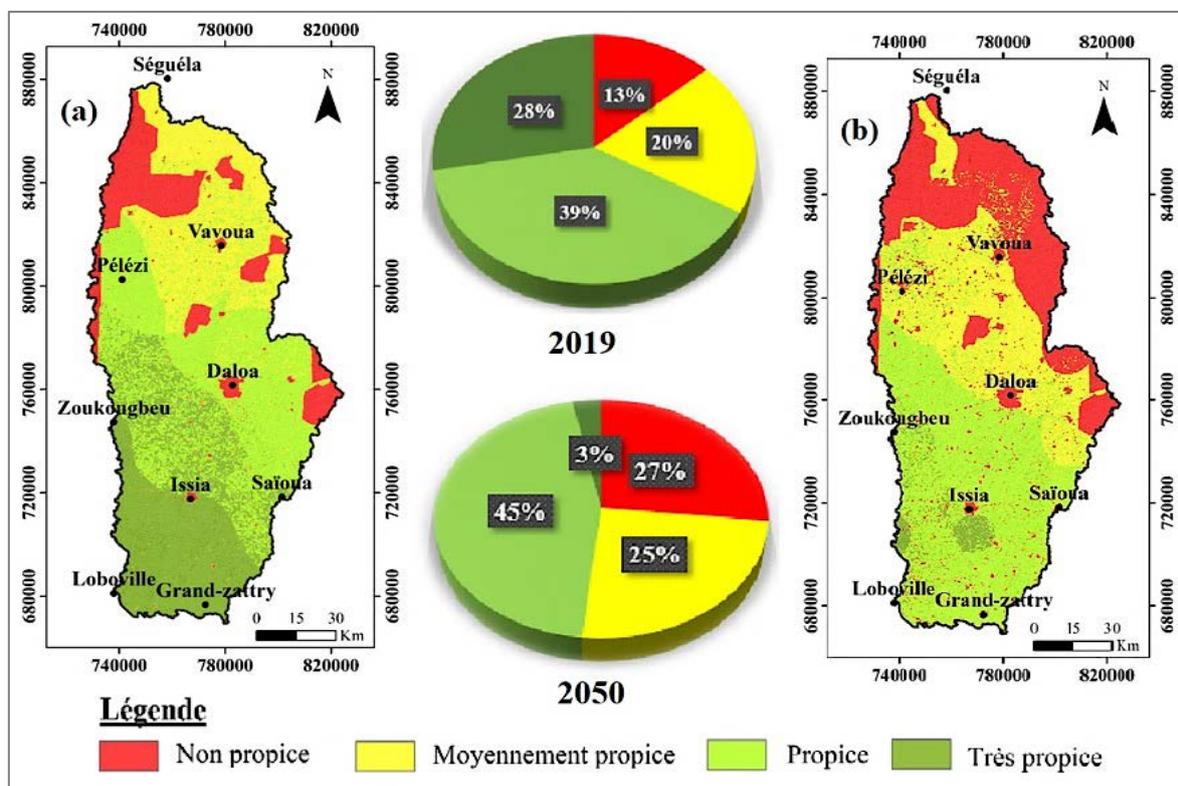


Figure 1. Cartes des sites propices à la riziculture pluviale en (a) 2019 et (b) 2050

Conclusion

Cette étude montre qu'à l'horizon 2050, les sites très propices diminueraient de 25% et représenteraient 3% de la zone d'étude. Les sites propices augmenteraient de 6% et seraient 45%. Les sites moyennement propices passeraient de 20 à 25% et les sites non propices doubleraient presque de superficie et occuperaient 27% de la zone d'étude. Ces résultats peuvent être utilisés par les décideurs dans l'aménagement et la mise en valeur des potentialités rizicoles du bassin versant de la Lobo.

Bibliographie

- Ciyow Y., 2019 : Le long chemin de la Côte d'Ivoire vers l'autosuffisance en riz. *Journal Monde Afrique*. https://www.lemonde.fr/afrique/article/2019/12/16/le-long-chemin-dela-d-ivoire-vers-l-autosuffisance-en-riz_6023093_3212.html. Consulté le 11 janvier 2020.
- Dibi Kangah A. P., 2010 : *Rainfall and agriculture in central West Africa since 1930: Impact on socioeconomic development*. LAP-LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 304 pages.
- MINADER, 2019 : L'ADERIZ met en exergue les opportunités d'investissement dans la filière riz en Côte d'Ivoire. Conférence de presse au Salon International de l'Agriculture, Paris (France). http://www.agriculture.gouv.ci/uploads/Au_SIA_2019_1%E2%80%9999. Consulté le 25 décembre 2019.
- Singh K., Mclean C. J., Bükér P., Hartley, S. E. and Hill J. K., 2017 : Mapping regional risks from climate change for rainfed rice cultivation in India. *Agricultural Systems*, **156**, 76-84.
- Toure A., kanga K. H. M., Assi-Kaudjhis J. P., 2017 : Perturbations pluviométriques et riziculture dans la région du Poro, nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, **1**, 137-152

LE MARAÎCHAGE BIOLOGIQUE EN PAYS DE LA LOIRE (OUEST DE LA FRANCE) FACE AU RISQUE DE FORTES CHALEURS

Louis AMIOT¹, Vincent DUBREUIL¹, Valérie BONNARDOT¹, Cécile MORVAN²

1. Université Rennes 2, LETG-UMR 6554 CNRS, Place du Recteur Henri le Moal, 35000 Rennes, louis.amiot@univ-rennes2.fr ; vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr ; valerie.bonnardot@univ-rennes2.fr

2. Bio Loire Océan, 2 Rue des Fontaines, 49330 Les Hauts-d'Anjou, coordination@bioloireocean.fr

The organic market gardening of Anjou (Western France) in the face of the risk of extreme heat

Mots-clés : adaptation, agriculture, fortes chaleurs, Pays de la Loire

Keywords: adaptation, agriculture, extreme heat, Pays de la Loire

Introduction

Les Pays de la Loire sont une importante région maraîchère en France. Elle représente par exemple 15% la production nationale de salade et tomates. En 2010, les exploitations maraîchères sont majoritairement de type « pleins champs » (81%) et plus d'un quart produisent en biologique (Goscianski, 2020). Ces productions de plein champ sont menacées par le changement climatique, notamment les fortes chaleurs. Pour citer un exemple, l'été 2003 historiquement chaud et sec a mené à une baisse production des légumes tels que la courgette (-17%), le concombre (-5%) ou encore la pomme de terre (-7%) (Letard *et al.*, 2004).

1. Contexte méthodologique

Les éléments présentés ici font suite à une série d'entretiens menés entre le 2 et le 14 février 2022 auprès de 15 exploitations maraîchères membres de l'association Bio Loire Océan dans la région Pays de la Loire. Ces fermes sont en maraîchage diversifié avec au moins une quinzaine d'espèces légumières cultivées. La grande majorité des exploitations sont en production biologique depuis plus de 10 ans, avec une surface agricole utile inférieure à 10ha, excepté 2 fermes. La moyenne d'âge des enquêtés est de 45 ans, avec une représentation de toutes les tranches d'âges de 33 à 66 ans.

Les entretiens ont été menés de manière semi-directive à partir d'une approche par les risques climatiques. Le risque de fortes chaleurs a été discuté par saison et concerne des températures excessives uniquement en journée. La question des fortes chaleurs est apparue comme un élément important et de plus en plus préoccupant concernant leurs impacts sur les productions maraîchères. Selon la culture considérée, des impacts néfastes peuvent s'observer au-delà de 25 à 32°C de température sous abri (Brodeur *et al.*, 2013).

2. Impacts et adaptations aux fortes chaleurs estivales

2.1. Conséquences sur les plantes et actions des agriculteurs pour limiter les impacts

La sensibilité des cultures à la chaleur fluctue selon la localisation géographique (diminution en altitude et vers la mer), le type de sol, et la culture considérée. Les cultures « méditerranéennes » telles que les courges et courgettes ont tendance à mieux résister car elles ont des exigences thermiques plus élevées que les autres (Tab. 1). Il a été relevé une facilité à vendre ces produits méditerranéens lors de périodes chaudes.

Tableau 1. Impacts et sensibilité aux fortes chaleurs des différentes cultures maraîchères à l'issue des entretiens

Culture maraîchère	Sensibilité	Effet principal des fortes chaleurs	Période (calendaire ou phrénologique) critique
Chou	Forte	Perte de feuillage, blocage de croissance et favorise l'altise (ravageur)	Début de croissance
Pomme de terre	Moyenne	Bloque la croissance, perte de feuillage et favorise le doryphore (ravageur)	Juin
Carotte	Moyenne	Brûlures et blocage de croissance	Stade plantule
Salade	Moyenne	Montaison et brûlures	mai-août
Tomate	Moyenne	Coulure des fleurs	Floraison
Courgette	Faible	Coulure des fleurs	Floraison
Fenouil	Forte	Montaison	Jeunes plants
Courge	Faible	Coulures des fleurs	Floraison

Face aux fortes chaleurs, l'irrigation est le moyen actuel de préservation des cultures, notamment les jeunes plants. Cependant, la majorité des exploitants ont fait part d'une hausse importante de temps de travail en lien avec la gestion de l'arrosage en été, pratique de plus conditionnée par la disponibilité en eau et soumise aux restrictions en vigueur. Dans les fermes les plus limitées en eau, le paillage, couplé à l'irrigation est utilisée pour limiter l'usage de l'eau. Il existe aussi le même principe avec du sable, notamment sur les cultures de carotte. Ces pratiques ont été évoquées dans moins de cinq exploitations sur les 15 enquêtées.

2.2. Actions des agriculteurs pour limiter les impacts

Trois quarts des exploitants estiment qu'il est important de modifier les variétés cultivées d'une même espèce et tendre vers des variétés plus adaptées aux fortes chaleurs. La moitié des exploitants sont producteurs de plants et ont ainsi la maîtrise complète des variétés cultivées, mais beaucoup d'entre eux n'ont pas nécessairement le temps d'expérimenter, de créer des variétés résistantes. Les expérimentations sont aussi limitées par la qualité du produit et par conséquent les possibilités de vente. De manière générale, en production biologique, les différentes variétés sont disponibles sur un temps court (quelques années) qui ne permet pas de connaître efficacement leurs caractéristiques.

Ensuite, une limitation des cultures sensibles en période estivale a été notifiée dans deux exploitations. Ces cultures sont ainsi produites plus tôt dans l'année, avec une récolte avant le 15 juillet prenant ainsi le risque de subir le froid voire le gel en début de saison. Elles peuvent aussi être produites plus tard, après le 15 août si la disponibilité en eau le permet et s'il reste suffisamment de temps avant la période froide notamment pour les cultures à cycle court. Cela demande un ajustement du calendrier cultural, or cet élément doit être planifié d'avance car les commandes de plants ou semis sont effectuées un an à l'avance. Les plants ne peuvent être stockés que quelques jours une fois livrés, la marge de manœuvre est ainsi généralement d'une semaine maximum.

À la vue de l'évolution des fortes chaleurs, il est possible que les productions dites méditerranéennes : courges, courgettes, aubergines, poivrons ou d'autres comme la pastèque et le melon se développent davantage dans la région. Ce développement se ferait au détriment des cultures sensibles à la chaleur traditionnellement cultivées dans cette région (chou, salade, fenouil, endive...). Sur les autres cultures, c'est aussi un changement de variétés qui pourrait s'opérer pour faire face à l'évolution climatique ; cela sous-entend une modification de l'itinéraire technique de la culture. Cette évolution des cultures peut déjà s'observer. Cinq exploitants sur les quinze enquêtés ont abandonné la culture du chou d'été ces dernières années, la sensibilité aux fortes chaleurs est la principale raison d'abandon. À l'inverse, la patate douce a été introduite dans 3 exploitations, portée par une demande croissante des consommateurs et un climat plus favorable.

Conclusion

Différentes stratégies d'actions sont possibles face aux fortes chaleurs. Les maraîchers sont fortement dépendants de l'organisation de leur système de vente et des changements profonds tels que des changements de cultures ne peuvent se faire que progressivement ou par un bouleversement complet des partenaires commerciaux. La transition vers des cultures davantage « méditerranéennes » comme la patate douce, les courgettes, courges est en cours dans les exploitations maraîchères des Pays de la Loire.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet CLIMATVEG piloté par Végopolys Valley.

Bibliographie

Brodeur J., Boivin G., Bourgeois G., Cloutier C., Doyon J., Grenier P. et Gagnon A-E., 2013, Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec, Ouranos, 124 p.

Letard V., Flandre E-H. et Lepeltier S., 2004, La France et les Français face à la canicule. Les leçons d'une crise, rapport d'information du Sénat, 52p.

Goscianski C., 2021, Observatoire régional de l'agriculture biologique en Pays de la Loire – Données 2020, 4 p.

CALAGE ET VALIDATION DES DONNÉES DE PLUVIOGRAMMES DE LA STATION SYNOPTIQUE DE BOHICON, BÉNIN : ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DE L'OUTIL NUNIEAU

Ernest AMOUSSOU^{1,2}, Félix T. AMOUSSOU², Jean-Emmanuel PATUREL³, Basile AKPOVO⁴, Japhet D. KODJA², Henri S. TOTIN VODOUNON^{1,2}, Constant HOUNDENOU²

1. Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) /FLASH/ Université de Parakou, BP 123 Parakou, ajernest@yahoo.fr

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

3. Institut de Recherches pour le Développement (IRD), en Poste à SODEXAM Abidjan, Côte d'Ivoire, Aéroport FHB – Aéroport Port-Bouet - 15 BP 990 Abidjan 15Abidjan - Côte d'Ivoire

4. Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (METEO-BENIN), Avenue Jean Paul II, Route de l'aéroport, BP 379 Cotonou Bénin

Calibration and validation of rainfall data from the Bohicon synoptic station, Benin: evaluation of the performance of the Nunieau tool

Mots-clés : Bohicon, station synoptique, pluviogramme, Nunieau, performance

Keywords: Bohicon, synoptic station, Pluviogram, Nunieau, performance

1. Objectifs et méthodes

L'objectif de cette étude est d'évaluer la marge et sources d'erreur des données de pluviogramme de la station synoptique de Bohicon d'une part et la performance de l'outil de dépouillement Nunieau d'autre part. En effet, les données d'archivages de 1999 à 2015 furent scannées et dépouillées avec Nunieau. Ce travail a consisté à la constitution d'une base de métadonnées composée de plusieurs variables dont les plus importantes sont celles de la lame d'eau précipitée au pluviomètre, au seau, à l'œil sur le pluviogramme et fournie par Nunieau, qui sont toutes journalières et de même nature. Des méthodes statistiques ont été utilisées pour tracer des graphiques de comparaison dans l'optique de l'atteinte de l'objectif fixé.

2. Quelques résultats

Les résultats présentés (Tab. 1&2), évaluent la marge d'écart associée à chaque variable et montrent la sensibilité de cette marge selon la précision du traitement des données. L'indice de similitude s'applique préférentiellement à des variables catégorielles (Lanotte *et al.*, 1981).

Tableau 1. Critères MAE et indice de similitude évalués sous un arrondi « par défaut »

	MAE (<i>Erreur absolue moyenne</i>)				Indice de similitude			
	$h_{pluviometre}$	h_{seau}	h_{oeil}	$h_{nunieau}$	$h_{pluviometre}$	h_{seau}	h_{oeil}	$h_{nunieau}$
$h_{pluviometre}$	0mm				100%			
h_{seau}	0.355mm	0mm			95.10%	100%		
h_{oeil}	3.375mm	3.284mm	0mm		1.93%	1.93%	100%	
$h_{nunieau}$	3.352mm	3.257mm	0.312mm	0mm	1.04%	0.74%	16.20%	100%

Il ressort du Tableau 1 que MAE est relativement faible (inférieur à 1) pour les paires de variables $hoeil - hnunieau$ (0,31mm) et entre $hpluvio - hseau$ (0,36 mm), contre une erreur absolue élevée pour les autres paires. En termes de similitude, une précision de 95,10% est atteinte contre une dissimilarité élevée pour le reste des paires de variables dont l'erreur moyenne est d'environ 3,3 mm.

Selon le Tableau 2, un arrondi vers zéro est réalisé pour permettre d'enlever l'ambiguïté introduite par la précision d'outils (décimale près) de procuration des données de même nature. Sous cet angle, une amélioration drastique de l'indice de similitude se présente. En effet, entre les variables, plus de 10% d'amélioration se dégage.

Tableau 2. Critères MAE et indice de similitude réévalués sous un arrondi « vers zéro »

	MAE (<i>Erreur absolue moyenne</i>)				Indice de similitude			
	$h_{pluviometre}$	h_{seau}	h_{oeil}	$h_{nunieau}$	$h_{pluviometre}$	h_{seau}	h_{oeil}	$h_{nunieau}$
$h_{pluviometre}$	0mm				100%			
h_{seau}	0.358mm	0mm			95.99%	100%		
h_{oeil}	3.389mm	3.308mm	0mm		16.34%	15.90%	100%	
$h_{nunieau}$	3.373mm	3.282mm	0.308mm	0mm	17.38%	16.64%	76.67%	100%

Spécifiquement, les données de h_{pluvio} et h_{seau} sont similaires à hauteur de 95,99% (resp. 95,10% en arrondi par défaut), tandis que la précision est d'environ 16,34% (resp. 1,93% en arrondi par défaut) entre h_{oeil} – h_{pluvio} ; 15,90% entre h_{oeil} – h_{seau} (resp. 1,93% en arrondi par défaut) ; 17,38% entre $h_{nunieau}$ – h_{pluvio} (resp. 1,04% en arrondi par défaut) ; 16,64% entre $h_{nunieau}$ – h_{seau} (resp. 0,74% en arrondi par défaut) et 76,67% entre $h_{nunieau}$ – h_{oeil} (resp. 16,20% en arrondi par défaut). Mais, cette amélioration de l'indice de similarité, inflige une légère augmentation de l'erreur comme l'a signalé Lévy (1924), sauf pour l'ensemble h_{oeil} – $h_{nunieau}$ où elle passe de 0,312mm à 0,308mm. Ces résultats permettent de comprendre que l'une des sources d'erreur serait relative à l'unité décimale près des variables (Garcia, 2021). Tandis que les ensembles h_{seau} & $h_{pluviometre}$ sont sensiblement proches, ainsi que h_{oeil} & $h_{nunieau}$.

Dans l'évaluation de la qualité de travail du pluviographe et de l'outil Nunieau, une analyse numérique et graphique est conduite. Ainsi, l'analyse du Tableau 3 montre une très bonne corrélation entre la variable observée h_{oeil} à celles de suivies h_{seau} et $h_{nunieau}$.

Tableau 3. Bilan statistique sur les plages d'écart

Prospection		Bon fonctionnement du pluviographe (h_{seau} vs h_{oeil})	Bon fonctionnement de Nunieau ($h_{nunieau}$ vs h_{oeil})
Observation totale (Taux)			
Plage d'écart	[0mm ; 1mm [	278 (37.27%)	721 (97.43%)
	[1mm ; 2mm [	149 (19.97%)	10 (1.35%)
	[2mm ; 5mm [	181 (24.26%)	6 (0.81%)
	≥ 5mm	138 (18.50%)	3 (0.41%)
Coefficient de Corrélation		0.97	1

Il ressort de l'analyse du tableau 3 que pour le pluviographe, 42,76% des écarts absolus observés sont supérieurs à 2 mm, tandis que 18,50% des observations ont une différence absolue significative supérieure à 5 mm. Par contre, sur l'état du bon fonctionnement de Nunieau, l'écart absolu de 97,43% des données est inférieur à 1 mm et seulement 0,41% des données ont un écart supérieur ou égal à 5mm. Ainsi, on note une très bonne performance de l'outil Nunieau dans le traitement des pluviogrammes. Mais, les écarts absolus observés pourraient être liés aussi bien à la nature défectueuse du pluviographe dans la plupart du temps et au travail négligent des techniciens et gestionnaires de ladite station.

Somme toute, il faut retenir que parmi les données disponibles, environ 75,15% d'évènements dépouillés sont représentatifs des évènements pluvieux tombés et enregistrés au pluviomètre. Il a été constaté aussi que l'échelle d'extraction/précision de mesure est source d'introduction d'erreur. Une erreur moyenne avoisinant une unité 0,3 mm à 3,3mm affecte l'indice de similitude entre les variables. Une très bonne performance de l'outil Nunieau a été constatée dont 97,43% des données numérisées ont une valeur inférieure ou égale à 1mm et seulement 0,41% ont une valeur supérieure ou égale à 5mm.

Bibliographie

- Garcia R., (2021). Analyse des erreurs d'arrondi sur les nombres à virgule flottante par programmation par contraintes. Arithmétique des ordinateurs. *Université Côte d'Azur*, Thèse de doctorat, 149 p.
- Lanotte G., Rioux J. A., Maazoun R., Pasteur N., Pralong F. Lepart J. et Martini-Dumas A., (1981). Application de la méthode numérique à la taxonomie du genre *Leishmania* Ross, 1903, *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 56 : n° 6, 575–591, <https://doi.org/10.1051/parasite/1981566575>
- Lévy P., (1924). Théorie des erreurs. La loi de Gauss et les lois exceptionnelles, *Bulletin de la S. M. F.*, tome 52 (1924), p. 49-85, http://www.numdam.org/item?id=BSMF_1924__52__49__1.

EFFETS DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE SUR LA STRUCTURE ET LA PHÉNOLOGIE DE LA POPULATION DE *UAPACA BOJERI B.* À MADAGASCAR

Mananjanahary Aimée ANDRIAMIFIDY¹, Rindra RANDRIAMIFIDISON²,
Onjamalala TOJOALINJANAHARY¹, Myria Flore Horthancya
RASOAVOLOLONJANAHARY¹, Lily Arison RENE De ROLAND³

1. Université de Toliara/Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement tropicaux Madagascar, amanjanahary@yahoo.fr, myriaflore@yahoo.fr, maonja@gmail.com

2. Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra Madagascar, rindrandriamifidison@yahoo.fr

3. The Peregrine Fund/Université de Toliara/Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement tropicaux Madagascar, lilyarison@yahoo.fr

Effects of climate variability on the structure and phenology of the *Tapia* population in Madagascar

Mots-clés : climat, structure, phénologie, *tapia*, Madagascar

Keywords: climate, structure, phenology, *tapia*, Madagascar

Introduction

La forêt de *tapia*, dominée par *Uapaca bojeri*, est une formation végétale sclérophylle endémique à Madagascar. Elle représente les derniers vestiges de la végétation forestière primaire des hautes terres malgaches. Elle a des fonctions économiques et écologiques très importantes, dont sa contribution à ralentir ou atténuer le réchauffement climatique. En effet, elle permet de séquestrer le carbone dans sa biomasse végétale puis dans le sol (Kull *et al.*, 2014). Parallèlement, la population de *tapia* est affectée par la variabilité climatique et les pressions anthropiques. Sa superficie totale à Madagascar a enregistré une évolution régressive de 131 900 à 131 000 ha entre 1999 et 2019 (Rakotondrasoa, 2012). Cette étude a pour objet de mettre en lumière de façon quantitative les liens entre les paramètres climatiques et la dynamique structurale de la forêt de *Tapia*.

1. Méthodologie

La méthodologie est fondée sur la réalisation d'inventaires floristiques dans la forêt de *Tapia* à Ambohimanjaka, Itremo (Région Amoron'i Mania) au cours de la période 2021-2023, et Isalo (Région Ihorombe) au cours de l'année 2023. Cette méthode, basée sur celle de Brower *et al.* (1990), consiste à tracer des lignes de 5 m de long à partir d'un point centré de façon à avoir quatre sous-quadrats dont l'ensemble donne un quadrat unique de 10 m x 10 m (soit 100 m²) ; au total, 80 quadrats ont été inventoriés par chaque zone d'étude. Les types de données recueillies lors des inventaires réalisés en période de pluie (janvier et février 2021 et 2023) sont les DHP (Diamètre à Hauteur de Poitrine à 1,30 m du sol), la hauteur, la densité et le nombre de pieds. Les données climatiques entre 2001 et 2021 ont été obtenues auprès du Service météorologique malgache à travers l'application Maproom. Les paramètres obtenus sont des séries temporelles de précipitations et de température sur des grilles de 0.0375° x 0.0375° de latitude/longitude (soit environ 4 km) provenant de la Direction Générale de la Météorologie de Madagascar.

2. Résultats

2.1. Effet du climat sur la structure verticale

Pour l'ensemble des placettes d'inventaire (240 quadrats), les DHP varient entre 5 à 40 cm. Le site d'Isalo qui enregistre une température moyenne plus élevée (22°C) et une précipitation annuelle plus basse (847,3 mm) abrite le plus d'individus avec un DHP ≥ 30 cm (7,1% contre 5% pour les 2 autres sites). Par contre, les individus ayant un DHP entre 5-30 cm sont plus nombreux (86,3%) au niveau du site d'Ambohimanjaka qui enregistre une faible température (16,3°C). Concernant la hauteur des individus, 69,2% de la population de *tapia* mesurent en dessous de 5 m, ce pourcentage diminue pour les classes de hauteur plus élevées. En effet, cette espèce se développerait mieux avec une précipitation moyenne annuelle comprise entre 900 et 1400 mm (Kull *et al.*, 2014). Or pour Isalo, elle est de 847,3 mm, et aucun individu ayant une hauteur ≥ 10 m n'y a été inventorié, contre 7,4% pour Ambohimanjaka (1384,7 mm) et 0,7% pour Itremo (1368,2 mm). En effet, Itremo et Isalo présentent le plus grand nombre d'individus avec une hauteur inférieure à 5 m respectivement de 78,5 et 71,8%, contre 57,3 pour Ambohimanjaka (figure 1).

2.2. Effet du climat sur la structure horizontale

La densité de tapia au niveau des sites d'études varie entre 600 (Isalo) à 1515 (Ambohimanjaka) individus par hectare. La densité de tapia a une forte corrélation positive avec la précipitation ($R = 0,76$) et une très forte corrélation négative avec la température ($R = -0,94$) ; autrement dit, la densité est élevée si la précipitation est plus élevée et si la température est plus faible (Fig. 1).

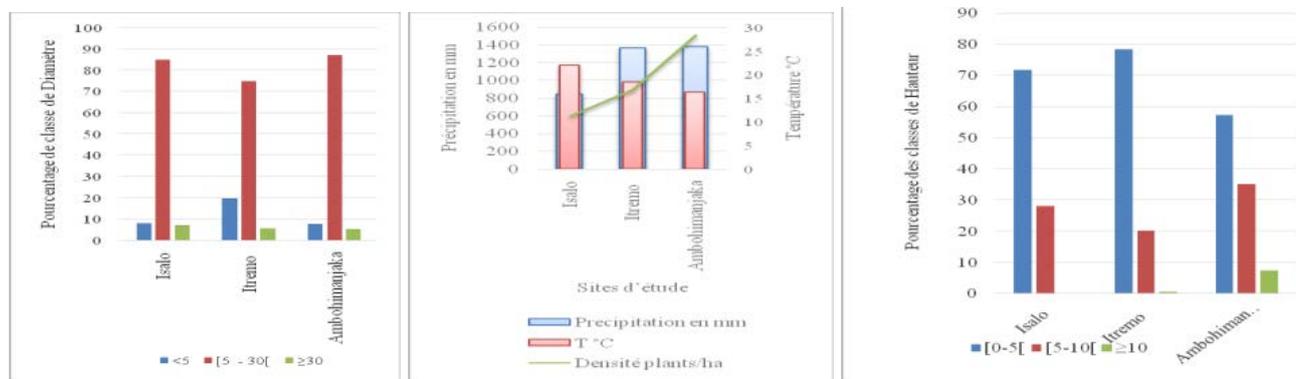


Figure 1. Relations entre d'une part diamètre, hauteur et densité, et d'autre part, les paramètres climatiques (Maproom DGM, 2023)

2.3. Effet du climat sur la phénologie de tapia

Généralement, la majorité des populations de tapia du site d'Itremo (77%) et d'Ambohimanjaka (72%) sont en phase de feuillaison. Le reste (+22%) est en fructification, et aucune floraison n'a été constatée durant cette période pour les trois sites. Des individus sans feuille ni fleur ni fruit ont été répertoriés sur Itremo et Isalo, avec respectivement de l'ordre de 0,14 et 1,12%, suite au récent cyclone (Cheneso de janvier 2023) selon les communautés riveraines.

Conclusion

La structure de la population de *Uapaca bojeri* est liée aux paramètres pluvio-thermiques. Une précipitation annuelle trop élevée influe négativement sur la taille et le diamètre de l'individu mais augmente la densité, alors qu'une température élevée influencerait négativement plus sur la structure horizontale (densité). L'analyse phénologique requiert une étude plus poussée pour identifier le paramètre le plus limitant, mais les aléas climatiques comme le cyclone affecteraient la phénologie de l'espèce. Cette compréhension permettra de mieux protéger l'espèce et la forêt de Tapia, par exemple en restaurant les parties dénudées pour mieux répartir l'eau retenue par la précipitation avec plus d'individus, y compris d'autres essences associées. Cela favorisera également la création d'une condition ombragée pour permettre aux rejets de se développer. D'autres paramètres édaphiques pourraient être considérés pour compléter ce travail.

Bibliographie

- Brower J., Zar J. et Ende C. V., 1990. Field and laboratory methods for general ecology. 3rd edition, W. C. Brown Publishers, United States of America, 256 pages.
- Kull C. A., Ratsirarson J., Randriamboavonjy G., 2014. Les forêts de tapia des Hautes Terres malgaches. Document de Développement Durable, Fiches arbres, 37 pages.
- Rakotondrasoana O. L., Malaisse F., Rajoelison G. L., Razafimanantsoa T. M., Rabearisoa M. R., Ramamonjisoa B. S., Raminosoa N., Verheggen F. J., Poncelet M., Haubruge E. & Bogaert J., 2012. La forêt de tapia, écosystème endémique de Madagascar : écologie, fonctions, causes de dégradation et de transformation (synthèse bibliographique). BASE - Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 16, n°4, 12 pages.

TENDANCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES VILLES DE LA RÉGION SUD-OUEST DU MATO GROSSO, BRÉSIL

Adilson Ribeiro de ARAÚJO¹, Diego Tarley Ferreira NASCIMENTO²

1. Doutorando do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG/IESA). Av. Esperança, s/n - Samambaia, Goiânia - GO, 74001-970, adilsonaraujo@discente.ufg.br

2. Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG/IESA). Av. Esperança, s/n - Samambaia, Goiânia - GO, 74001-970, diego_nascimento@ufg.br

Climate change trends in cities in the south-west region of Mato Grosso, Brazil

Mots-clés : indices climatiques, NP Reanalysis, température/précipitation

Keywords: Climate indices, NP Reanalysis, Temperature/Precipitation

Introduction

L'importance de l'analyse des modèles climatiques est soulignée par la nécessité d'atténuer les effets négatifs sur la production alimentaire, l'approvisionnement en eau et la production d'énergie, en particulier sous la menace de phénomènes météorologiques extrêmes qui peuvent causer des dommages importants à l'économie et aux écosystèmes (Hoff, 2011 ; Rodrigues, 2017). Le rapport du GIEC (2021) souligne la réalité alarmante du changement climatique mondial, indiquant un besoin urgent de recherche sur le climat pour formuler des stratégies efficaces contre ses effets dévastateurs. Cette urgence est corroborée par Jiang *et al.* (2011), qui soulignent l'augmentation des catastrophes naturelles et leurs impacts considérables sur la population et les infrastructures.

Les effets du changement climatique sont amplifiés par l'action humaine, entraînant une augmentation de la fréquence et de la gravité des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur et les sécheresses, affectant toutes les régions de la planète (GIEC, 2021). Dans la région Centre-Ouest du Brésil, des études indiquent déjà un avenir avec un climat plus chaud et plus sec, marqué par des vagues de chaleur plus intenses et des changements dans le régime des précipitations (Almeida *et al.*, 2010 ; Santos *et al.*, 2023). Cette étude, motivée par la rareté des recherches sur le Mato Grosso, vise à analyser les tendances climatiques et les événements extrêmes dans la région du sud-ouest, en utilisant les indices de l'ETCCDMI de l'OMM. En utilisant les données de température et de précipitations de 1991 à 2020, l'objectif est de comprendre les variations climatiques afin de contribuer aux stratégies d'adaptation et d'atténuation, conformément aux recommandations du GIEC (2021).

Méthodologie

La région de planification du sud-ouest du Mato Grosso, composée de 22 municipalités et totalisant 117 082 km², se caractérise par sa diversité géomorphologique, avec des altitudes allant de 80 à 1 120 mètres, et par un climat tropical semi-humide. Cette région, qui représente 12,6% de la superficie totale du Mato Grosso et a une densité de population de 2,85 habitants/km², présente des reliefs allant des plateaux et des chapadas dos Parecis aux dépressions et aux plaines du Pantanal, qui influencent directement les schémas climatiques, en particulier la répartition des précipitations. La zone a pour principaux centres régionaux Cáceres et Pontes e Lacerda et présente une variabilité climatique marquée par une saison des pluies de novembre à avril et une saison sèche de mai à octobre. L'absence de stations météorologiques disposant d'enregistrements à long terme dans la zone a conduit à utiliser les données climatologiques de Cuiabá pour caractériser le climat de la région.

L'étude utilise les données de réanalyse de Nasa Power pour pallier le manque de longues séries chronologiques quotidiennes de données météorologiques au Brésil, en se concentrant sur la région de planification du sud-ouest du Mato Grosso de 1991 à 2020. Les données quotidiennes sur les températures et les précipitations ainsi que 17 indices météorologiques extrêmes de l'ETCCDMI sont utilisés pour analyser les tendances climatiques. Les données sont traitées à l'aide du logiciel R et évaluées statistiquement afin d'identifier les tendances significatives, en tenant compte du manque d'information dû aux courtes séries temporelles disponibles dans les stations météorologiques de l'INMET (Fig. 1).

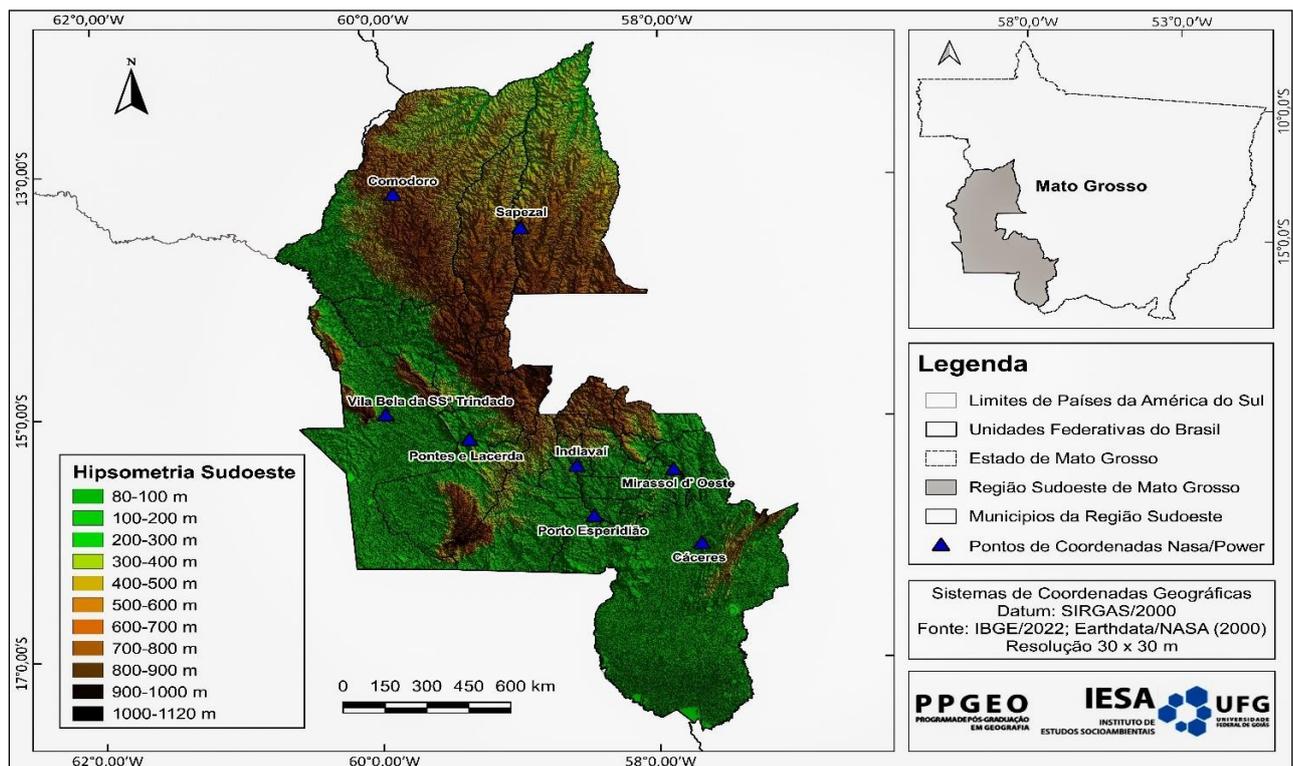


Figure 1. Carte des coordonnées des villes de la région de planification du sud-ouest du Mato Grosso avec des données NASA/Power : elle montre l'emplacement exact des villes qui fournissent des données de réanalyse climatique NASA/Power dans la région mentionnée, en les marquant clairement sur la carte pour faciliter l'identification et la référence de chaque point.

Conclusion

L'utilisation des indices de l'OMM et des données de la réanalyse NASA/Power pour analyser le changement climatique s'est avérée efficace, étant donné le manque de données locales à long terme. Les résultats indiquent une augmentation significative de la température et une réduction des précipitations annuelles dans la zone étudiée, conformément aux tendances prévues par la littérature et le sixième rapport du GIEC. Les événements extrêmes, tels que les inondations et les sécheresses observées dans des villes comme Comodoro et Sapezal, révèlent des impacts critiques sur les infrastructures, la santé, l'agriculture et l'économie. Ces observations suggèrent une augmentation de la fréquence et de l'intensité de ces événements dans le centre-ouest du Brésil, ce qui pourrait affecter le régime des précipitations. Il est clairement nécessaire de mener d'autres études dans la région sud-ouest du Mato Grosso, afin de comprendre en détail les effets du climat et leurs conséquences socio-économiques et environnementales.

Bibliographie

- Almeida, R.; Rebello, E.; Ambrizzi, T., 2010: Variabilidade de eventos extremos e identificação de tendências climáticas no litoral Norte do Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1-6.
- Hoff, H., 2011: Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 52 páginas.
- IPCC AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jiang, D. *et al.*, 2011: Variability of extreme summer precipitation over Circum-Bohai-Sea region during 1961–2008. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 104, p. 501-509.
- SANTOS, L. O. F.; *et al.*, 2023: Trends in Precipitation and Air Temperature Extremes and Their Relationship with Sea Surface Temperature in the Brazilian Midwest. *Atmosphere*, 14, 426, p. 1-20.
- Rodrigues, J. C. M., 2017: O nexa água-energia-alimentos aplicado ao contexto da Amazônia Paraense. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 92 páginas.

LES PAROXYSMES THERMIQUES EN TUNISIE : UNE NOUVELLE ALERTE POUR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ACCÉLÉRÉ AUTOUR DE LA MÉDITERRANÉE

Habib BEN BOUBAKER¹, Sabrina CHEHAIEB², Latifa HENIA³, Ahmed HMAM⁴

1. Université de Manouba. Laboratoire de Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamiques Environnementales (BICADE). Tunisie. Hboubaker@yahoo.fr

2. Institut National de la Météorologie. INM Tunisie. sabrine.chehaieb@meteo.tn

3. Université de Tunis. Laboratoire de Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamiques Environnementales (BICADE). Tunisie. latifahenia@yahoo.fr

4. Institut National de la Météorologie. INM Tunisie direction.generale.inm@gmail.com

Thermal paroxysms in Tunisia: a new alert for accelerated climate warming around the Mediterranean

Mots-clés : paroxysme de chaleur, Méditerranée, Tunisie, réchauffement

Keywords: Heat paroxysm, Mediterranean, Tunisia, Warming

Introduction

L'été 2023 a enregistré des extrêmes thermiques qui le classent comme étant le plus chaud de l'histoire contemporaine autour de la Méditerranée, y compris la Tunisie. Ce paroxysme a bien marqué la qualité de vie des populations méditerranéennes et a été bien médiatisé dans la presse et les médias. *Le Monde* a jugé que « la métaphore des enfers autour de la Méditerranée n'est guère exagérée » (article d'Audrey Garric, 2023).

Ce travail cherche à inventorier les records thermiques estivaux et prospecter les tendances actuelles et leur signification, avec un focus sur l'été 2023 et à diagnostiquer les facteurs climatiques générant ces paroxysmes de chaleur.

1. Tendence à la hausse des températures maximales moyennes estivales en Tunisie

Les températures moyennes estivales tendent afficher une tendance à l'augmentation au cours des dernières décennies. Cette tendance est encore plus marquée sur la rive sud de la Méditerranée, car elle vient s'ajouter à un climat déjà chaud. Elle se manifeste par des jours de fortes chaleurs de plus en plus fréquents et intenses, qui se manifestent à l'échelle de l'ensemble des stations de la Tunisie (Ben Boubaker, 2015).

En l'occurrence, la modélisation de l'évolution de l'écart de la température moyenne interannuelle de juillet à l'échelle nationale en Tunisie par rapport la normale du mois (de 1950 à 2023), met en évidence une tendance nette à l'augmentation de la valeur de ces anomalies. De 1950 jusqu'en 1980, ces anomalies étaient entièrement négatives. Toutefois, depuis le début des années 80', les anomalies deviennent quasiment positives, notamment à partir des années 2000. Certaines années, elles frôlent les 3°C (2003), voire même les 5°C (2023).

2. Des paroxysmes thermiques de juillet 2023 sans précédent

L'été dernier de 2023 a manifesté des extrêmes thermiques record dans toutes les régions de la Tunisie. Des températures maximales diurnes records (TX) supérieures à 48°C ont été enregistrées dans plusieurs stations comme du nord du pays, comme Tunis-Carthage et Bizerte, du centre, comme Monastir et Kairouan ainsi que l'ensemble des stations du sud saharien (Kébili, Matmata, Tataouine et Ramada). Quant aux températures minimales nocturnes record, elles ont été quasiment supérieures à 30°C, indiquant des nuits tropicales (Ben Boubaker, 2010 et 2018). Ainsi, tout au long du mois de juillet, les températures minimales (TN) ont varié entre 28,7°C à Thala et 33,8°C à Tataouine et Tozeur.

Tableau 1. Températures maximales diurnes (TX) et minimales nocturnes (TN) enregistrées en Tunisie en juillet 2023
Source des données : Institut National de la Météorologie (INM), 2023

Station	Date	Record TX	Station	Date	Record TN
GABES	25/07/2023	49,1	TOZEUR	09/07/2023	33,8
TABARKA	24/07/2023	47,4	NABEUL	25/07/2023	30,7
MONASTIR	25/07/2023	48,3	KELIBIA	25/07/2023	29,8
SIDI BOUZID	29/07/2023	47,6	ZAGHOUANE	25/07/2023	33
THALA	29/07/2023	43,4	MAHDIA	24/07/2023	29,9
MAHDIA	25/07/2023	47,5	THALA	08/07/2023	28,7
JERBA	25/07/2023	46,9	MONASTIR	25/07/2023	30,8
MEDNINE	29/07/2023	49,1	SFAX	10/07/2023	28,9
NABEUL	25/07/2023	45,7	JENDOUBA	25/07/2023	29,2
KASSERINE	29/07/2023	44,6	SIDI BOUZID	09/07/2023	29
KEBILI	29/07/2023	48,9	KAIROUAN	25/07/2023	30,9
KELIBIA	20/07/2023	41,2	GABES	21/07/2023	29,9
KAIROUAN	23/07/2023	49,0		26/07/2023	
TUNIS	24/07/2023	49,0	TATAOUINE	25/07/2023	33,8
BIZERTE	24/07/2023	48,9	TUNIS	25/07/2023	31,6
BEJA	23/07/2023 et 24/07/2023	47,7	KEBILI	10/07/2023	31,6
MATMATA	29/07/2023	48,8			
TATAOUINE	29/07/2023	48,6			
REMEDA	30/07/2023	48,5			
GAFSA	09/7/2023 et 29/07/2023	46,5			

Conclusion

L'étude des paroxysmes de chaleur autour de la Méditerranée, en l'occurrence en Tunisie, met en évidence une tendance franche au réchauffement continu du climat thermique. Cette tendance à l'exacerbation des phénomènes thermiques extrêmes se manifeste au cours des dernières décennies par une fréquence accélérée des jours chauds, ainsi que par l'amplification des records des températures maximales diurnes et minimales nocturnes. Ces paroxysmes viennent alerter les populations locales autour en Tunisie, voire même autour de la Méditerranée, que la tendance au réchauffement n'a pas encore atteint ses limites et qu'elle doit être prise avec davantage de sérieux par les décideurs.

Remerciements : Les auteurs remercient l'Institut National de la Météorologie de Tunisie pour sa collaboration et pour la mise à notre disposition des données nécessaires à la présente étude.

Bibliographie

- Ben Boubaker H., 2010 : Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas. *Climatologie*, vol. 7, p. 57- 87.
- Ben Boubaker H., 2015 : Les vagues de chaleur en Tunisie. In Collectif (coord. Henia et Hlaoui) « *Contribution à l'étude des risques climatiques en Tunisie* ». Edition Université Tunis. 317 p (pp. 126-161).
- Ben Boubaker H, Chehaieb S. et Aguerbi-Jaouadi H., 2018 : Les nuits tropicales en Tunisie, indicatrices du réchauffement climatique nocturne ? Actes du XXXIème colloque de l'AIC. pp 68-73
- Garric A., 2023 : Pourquoi le bassin méditerranéen est devenu le hotspot de la crise climatique. *Le Monde* (28 juillet 2023). (https://www.lemonde.fr/planete/article/2023/07/28/climat-pourquoi-le-bassin-mediterraneen-est-en-proie-a-la-fournaise-et-aux-incendies_6183716_3244.html)

APPORT DE LA SIMULATION ATMOSPHÉRIQUE HAUTE RÉOLUTION POUR COMPRENDRE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR ET L'ICU PENDANT LES VAGUES DE CHALEUR DE L'ÉTÉ 2022 À DIJON

Alexandre BERGER¹, Mélissa POUPELIN^{2,1}, Julien CRÉTAT¹, Julien PERGAUD¹, Benjamin POHL¹, Mario REGA¹, Yves RICHARD¹

1. Centre de Recherches de Climatologie, UMR Biogéosciences, CNRS/Université de Bourgogne, Dijon, France, alexandre.berger@u-bourgogne.fr ; julien.cretat@u-bourgogne.fr ; julien.pergaud@u-bourgogne.fr ; benjamin.pohl@u-bourgogne.fr ; yves.richard@u-bourgogne.fr

2. Laboratoire ThÉMA, UMR CNRS 6049, Université de Bourgogne-Franche-Comté, Dijon et Besançon, France, poupelinmelissa.pro@gmail.com

Contribution of high-resolution atmospheric simulation to understand air temperature and UHI during the summer 2022 heat waves in Dijon

Mots-clés : simulation haute-résolution, vagues de chaleur, îlot de chaleur urbain, Dijon Métropole

Keywords: High-resolution modelling, Heat waves, Urban heat island, Dijon Metropolis

Introduction

Les vagues de chaleur deviennent de plus en plus fréquentes, sévères et longues sous l'effet du changement climatique. Leurs impacts sont exacerbés dans les villes du fait de l'îlot de chaleur urbain (ICU). La proposition de plans d'adaptation efficaces nécessite des études en amont pour mieux comprendre la variabilité spatio-temporelle de la température de l'air au cœur des villes (Carter *et al.*, 2015).

1. Données et méthodes

1.1. Les observations

Cette étude porte sur la température de l'air à 2m (T_{2m}) observée lors des quatre vagues de chaleur de l'été 2022 par le réseau dense MUSTARDijon (Richard *et al.*, 2018). Nous distinguons quatre groupes de stations (Fig. 1) : d'une part, 41 stations urbaines de plaine (altitude < 300m) et 13 stations rurales de plaine (altitude < 300m) pour étudier l'impact de l'occupation du sol, et d'autre part, 3 stations de vallée et 3 stations de plateau (altitude > 400m) pour analyser la sensibilité aux inversions thermiques.

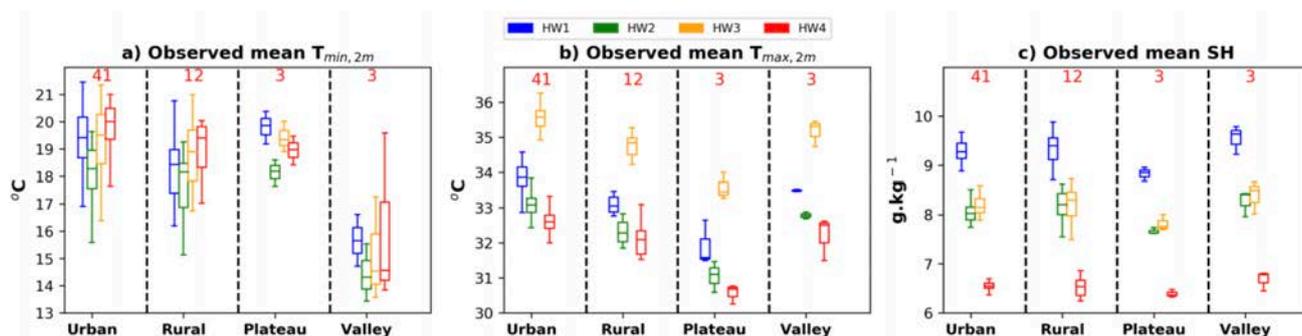


Figure 1. Distribution spatiale des températures observées à Dijon pendant les quatre vagues de chaleur (HW) de l'été 2022. a) Température minimale moyenne, b) Température maximale moyenne et c) Humidité spécifique moyenne.

1.2. Modélisation et méthode

Nous avons réalisé des simulations à 150 m de résolution horizontale avec le modèle atmosphérique Méso- NH (Lac *et al.*, 2018) couplé avec les schémas de surface TEB (Masson *et al.*, 2000) et ISBA (Calvet *et al.*, 1998) adaptés aux milieux urbains et ruraux respectivement. Dans la version utilisée, l'occupation du sol a été redéfinie finement avec une définition précise des fractions de bâtiments, de routes, et de la végétation basse et haute (Poupelin *et al.*, 2022).

D'abord, les écarts entre les températures simulées aux points de grille les plus proches des stations et celles observées sont systématiquement analysés pour évaluer la capacité de Méso-NH à simuler le rythme diurne de T_{2m} dans chacun des 4 groupes de stations. Puis, nous étudions les facteurs à l'origine de la variabilité spatio-

temporelle de T2m en utilisant des prédictors comme l'occupation du sol, l'humidité du sol et de l'atmosphère, le bilan d'énergie et la dynamique atmosphérique.

2. Résultats

2.1. Validation du modèle

Le modèle simule correctement le cycle diurne de T2m, malgré un biais froid systématique au lever et au coucher du soleil, principalement en plaine. Le modèle présente aussi un biais chaud la nuit dans les vallées lors des inversions thermiques.

2.2. Les facteurs à l'origine de la variabilité spatio-temporelle de T2m et de l'ICU

Nous montrons que les bâtiments et les routes contribuent à réchauffer l'environnement urbain surtout la nuit, bien que ces contributions soient surestimées dans le modèle quelles que soient les vagues de chaleur. Au contraire, la végétation contribue à rafraîchir l'environnement urbain tout au long de la journée pour la végétation basse et seulement la nuit pour la végétation haute, ce aussi bien dans l'observation que pour les simulations. Les simulations permettent de relayer les observations pour comprendre les mécanismes régissant la variabilité de la température de l'air. L'impact de la minéralité de la ville se fait essentiellement via les flux de chaleur sensible, alors que les flux de chaleur latente dominant en campagne. L'humidité du sol comme de l'air ne semble pas impacter la température de l'air, ICU y compris, pour les vagues de chaleur étudiées alors que la vitesse du vent semble contrôler l'intensité de l'ICU.

Conclusion

L'étude montre que Meso-NH est un outil adapté pour simuler la température atmosphérique à fine résolution spatiale lors des vagues de chaleur. Il permet de mieux comprendre les mécanismes régissant la variabilité spatiale de la température observée en complétant les observations et les paramètres manquants mesurés aux stations. Les résultats montrent que les vagues de chaleur induisent une variabilité spatio-temporelle de la température propre à chacune. L'environnement urbain est réchauffé par rapport à l'environnement rural de par les bâtiments et les routes, et la végétation basse atténue celui-ci. La vitesse du vent semble être un facteur prédominant contrôlant l'intensité de l'ICU. Un autre travail est en cours et s'intéresse à l'impact d'un réchauffement atmosphérique sur la variabilité de la température et de l'ICU.

Remerciements : Les auteurs remercient Météo-France pour la mise à disposition des données de la station de Dijon Longvic (convention avec l'Université de Bourgogne). Ce projet a été développé dans le cadre du projet H2020 RESPONSE.

Bibliographie

- Calvet, C., Noilhan, J., Roujean, J. L., Bessemoulin, P., Cabelguenne, M., Olioso, A., and Wigneron, J. P., 1998 : An interactive vegetation svat model tested against data from six contrasting sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, **92**(2):73–95.
- Carter, J.G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J. and Kazmierczak, A., 2015 : Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in planning*, **95**, pp.1-66.
- Lac, C., Chaboureaud, J.P., Masson, V., Pinty, J.P., Tulet, P., Escobar, J., Leriche, M., Barthe, C., Aouizerats, B., Augros, C. and Aumond, P., 2018 : Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*, **11**(5), pp.1929-1969.
- Masson, V., 2000 : A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-layer meteorology*, **94**(3):357–397.
- Richard, Y., Emery, J., Dudek, J., Pergaud, J., Chateau-Smith, C., Zito, S., Rega, M., Vairet, T., Castel, T., Thévenin, T., Pohl, B., 2018 : How relevant are local climate zones and urban climate zones for urban climate research ? Dijon (France) as a case study. *Urban Climatology*. **26**, 258-274.
- Poupelin, M. *et al.*, 2022 : Impacts d'une meilleure description de la végétation urbaine sur des simulations du climat urbain avec SURFEX-TEB.

MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE MESURES HYDROLOGIQUES EN MONTAGNE CÉVENOLE : ENJEUX, CONTRAINTES ET CONCEPTS DE RÉALISATIONS

Jean Claude BERGÈS¹, Julie TROTTIER², Chiraz BELHADJ-KADER³

1. UMR 8586 PRODIG/Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, zebulon@univ-paris1.fr

2. UMR 8586 PRODIG/CNRS, julie.trottier@cnrs.fr

3. Département de Géographie/Université de la Manouba, chiraz_belhadj@yahoo.fr

A network of hydrologic stations in Cevennes mountains: stakes, constraints and system concept

Mots-clés : systèmes ouverts, réseau de mesure, Cévennes, hydrologie

Keywords: Open system, measurement network, Cevennes, hydrology

Introduction

La commune de Mandagout, terrain où se réalise actuellement ce premier déploiement, se situe au sud des Cévennes, et est une zone caractérisée par de forts dénivelés et des précipitations intenses ; phénomènes dont la fréquence devrait s'accroître avec l'accélération du cycle hydro-climatique induit par le réchauffement global (Giorgi *et al.*, 2011). Ainsi, l'événement pluvio-orageux du 19 septembre 2020 a eu des conséquences d'autant plus dramatiques pour cette commune que le réseau hydraulique vernaculaire est en désuétude. Ce réseau complexe de terrasses, collecteurs et mines d'eau ne pouvant plus être entretenu en l'état du fait de la déprise agricole (Salesse, 1993), nous avons engagé une étude des flux et de leur interaction avec divers ouvrages récents afin d'identifier ses points sensibles. Au-delà des enjeux immédiats de sécurité civile, cette action de recherche vise à fournir à quantifier des paramètres hydrologiques liés à la tenure de l'eau sur ce terroir.

1. La stratégie de collecte et ses contraintes

Mener à bien cette étude suppose de disposer de jeux de données tant sur la topographie et l'occupation des sols que sur l'hydrologie. Si la récente disponibilité des données Lidar à haute définition grâce à l'IGN permet d'obtenir des modèles numériques de terrain précis jusqu'à 50 cm en sol nu, les données liées aux précipitations, ruissellement et écoulement de subsurface sont plus complexes à obtenir. En pluviométrie, la zone est couverte par le réseau radar de Météo-France, récemment librement accessible, mais qui ne résout pas les échelles les plus fines de l'étude. Ces limitations ont conduit la municipalité de Mandagout et l'UMR PRODIG à développer un réseau de stations automatiques mesurant l'humidité du sol à diverses profondeurs, la température du sol et le cumul pluviométrique.

Les contraintes de ce projet sont à la fois sociales et environnementales. Financé et exploité par la municipalité, il s'inscrit dans une démarche de sciences citoyennes ce qui impose, non seulement une ouverture du processus d'acquisition, mais également une architecture suffisamment simple et robuste pour pouvoir être maintenue sur le long terme. Cette contrainte exclut beaucoup de solutions propriétaires et oriente vers des systèmes ouverts. D'autre part les stations de mesure sont installées dans des emplacements dépourvus d'accès aux réseaux (alimentation électrique et de télécommunication) et d'un accès parfois difficile.

2. La conception d'une station de mesure hydrologique

Une station automatique est organisée autour d'un microcontrôleur qui réalise les mesures puis les enregistre et les transmet. Sa mise en œuvre repose sur le système Arduino (Kushner, 2011) qui est actuellement l'environnement de développement pour microcontrôleurs le plus répandu parmi les logiciels libres. Il se compose, d'une part, d'une interface comprenant éditeur et compilateur qui fonctionne sur tous les systèmes d'exploitation et, d'autre part, d'une série de cartes électroniques de différentes capacités et formats. Les fonctions à assurer étant très simples, une carte d'entrée de gamme a été sélectionnée.

Le premier objectif de ce dispositif est d'évaluer l'humidité du sol. Celle-ci est estimée en mesurant la conductivité électrique à diverses profondeurs. Bien que simple et économique, ce système présente quelques limitations : s'agissant d'une mesure indirecte, l'information obtenue est relative et les phénomènes électrolytiques induisent une dérive des capteurs. Ces mesures sont complétées par la température de sol et le cumul de précipitations. Pour cette dernière mesure, un dispositif original a été développé. Il repose sur un composant capable de mesurer de faibles différences de pression qui est relié à un tube vertical collectant la pluie. Cette mesure rend le système plus complexe et encombrant mais elle est directement liée au phénomène et fournit une

information de première importance sur les effets orographiques. Dans un contexte où le risque d'incendie devrait être évalué, ce système pourrait facilement être complété par des mesures aérologiques (vitesse de vent, température et humidité d'air).

L'emploi de processeurs à faible consommation simplifie la conception des boîtiers et ne demande pas de dispositifs de réfrigération. En revanche, l'alimentation électrique reste un point sensible. Les sites d'implantation des stations n'étant pas nécessairement situés à des emplacements favorables pour un support de panneaux solaires, une alimentation par piles a été préférée. Un tel choix impose de réduire au maximum la consommation électrique, ceci étant réalisé par l'intégration d'un TPL5510, un composant fonctionnant à très faible consommation (35 nA) qui ouvre périodiquement le circuit toutes les deux heures. Outre l'économie d'énergie, ce dispositif permet de ralentir les phénomènes de corrosion sur les électrodes.

3. La conception du réseau de données

Effectuer le stockage des données uniquement sur carte SD rendrait difficile la concentration des données au-delà d'un petit nombre de stations et ne permettrait pas une détection rapide des dysfonctionnements. Dans la configuration déployée du dispositif de collecte, les stations émettent les données dès l'enregistrement vers un micro-serveur situé à la mairie qui assure un archivage centralisé et fait office de passerelle internet. Les émissions se font par des transmissions radio LoRa (Sanchez-Iborra *et al.*, 2018), sur une fréquence de 433 MHz peu perturbée par les précipitations et portant à plusieurs kilomètres en ligne de vue. Le logiciel des stations de mesure n'intègre pas LoRaWan, couches supérieures du réseau, par souci de simplicité mais également pour éviter tout temps d'attente après l'émission des données et permettre ainsi une mise hors tension immédiate.

Compte tenu du relief, des relais doivent être installés pour assurer l'acheminement de l'information. L'architecture de ceux-ci est très différente de celles des stations d'acquisition. Ils doivent être actifs en permanence, ce qui impose une alimentation par panneau solaire et batterie, et ils supportent le protocole LoRaWan pour contrôler l'acheminement des trames. Le serveur de la mairie sera un système monocarte Raspberry et permettra l'accès extérieur aux données. Ses fonctions étant simples et limitées, il ne sera pas nécessaire d'envisager une évolution de ce serveur. Tous ces équipements sont dotés d'enregistreurs afin de sécuriser les données.

Déploiement du système

Le matériel a été récemment acquis pour un premier lot de stations d'acquisition et de relais. Un plan d'implantation de ce premier lot doit être effectué et un atelier de montage organisé. Une première étape consistera à déployer un réseau et à s'assurer d'un pôle de compétences locales. L'objectif à moyen terme sera de concevoir un dispositif d'archivage et de traitement en temps réel qui fournit des cartes ou données analysées. L'enjeu n'est pas uniquement technique, il s'agit aussi de concevoir ce portail de données en liaison étroite avec les citoyens participant au projet.

Remerciements : Nous tenons à remercier Emmanuel Grieu, maire de Mandagout, pour son appui sans faille.

Bibliographie

- Giorgi F., Im E.S., Coppola E., Diffenbaugh N.S., Gao X.J., Mariotti L. & Shi Y., 2011 : Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *Journal of Climate*, **24**, 20.
- Kushner D., 2011 : The making of Arduino. *IEEE Spectrum*, <https://spectrum.ieee.org>
- Salesse E., 1993 : Irrigation par l'eau souterraine en Cévennes. Mines et sources de la commune de Mandagout (Gard). Mémoire de diplôme d'ingénieur en agronome tropicale, ESAT/CNEARC.
- Sanchez-Iborra R., Sanchez-Gomez J., Ballesta-Vinas J., Cano M.D. & Skarmeta A., 2018 : Performance evaluation of LoRa considering scenari conditions. *MDPI-Sensors*, **18**(3), 772.

COOLPARKSTOOL : UN PLUG-IN QGIS POUR ESTIMER LE POTENTIEL DE RAFRAÎCHISSEMENT D'UN PARC URBAIN ET SON IMPACT SUR LA THERMIQUE DU BÂTIMENT

Jérémy BERNARD¹, Adrien GROS², Adnane M'SAOURI EL BAT³, Benjamin MORILLE⁴, Auline RODLER², Sihem GUERNOUTI², Marjorie MUSY²

1. CNRM et Lab-STICC, 42 Avenue Coriolis, 31100 Toulouse, France, jeremy.bernard@zaclys.net

2. Soleneos et IRSTV, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes , adrien.gros@soleneos.fr, auline.rodler@cerema.fr, sihem.guernouti@cerema.fr, marjorie.musy@cerema.fr

3. CEREMA et IRSTV, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes , adnane.msaourielbat@cerema.fr

4. Soleneos et IRSTV, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes , benjamin.morille@soleneos.fr

CoolParksTool: a QGIS plug-in to estimate the cooling potential of an urban park and its impact on building demand and comfort

Mots-clés : SIG, parc, rafraîchissement, énergie

Keywords: GIS, park, cooling, energy

Introduction

Le changement climatique induit une augmentation de la température d'air déjà observable et qui va se poursuivre dans les prochaines décennies. Les espaces urbains, qui concentrent plus de la moitié de la population mondiale sont particulièrement impactés par l'augmentation de la température, notamment en été lors des vagues de chaleur. En effet, en plus de réduire la vitesse du vent, la ville relâche l'énergie stockée dans ses surfaces en fin de soirée et en début de nuit, ce qui contribue à la création d'un phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les espaces verts permettent de réduire ce phénomène en générant une diminution locale de la température de l'air. Cette réduction de température peut se répercuter sur l'espace urbain environnant et également avoir un impact sur la température d'air à l'intérieur des bâtiments (Moss *et al.*, 2018). Bien que largement vérifié par la littérature scientifique, il n'existe à ce jour aucun outil permettant de facilement estimer :

- l'effet de la taille et de la composition d'un parc sur son potentiel de rafraîchissement,
- l'effet de la forme et de l'organisation des rues et des bâtiments autour du parc sur le transport de fraîcheur,
- l'effet du rafraîchissement occasionné par un parc sur le confort thermique et les besoins de climatisation des bâtiments adjacents.

Cette contribution présente les résultats du projet de recherche CoolParks, qui a donné lieu à l'élaboration de CoolParksTool. Cet outil, développé sous la forme d'un plug-in dans le logiciel gratuit et libre de droits QGIS, permet de répondre aux besoins exprimés ci-dessus. Une première partie est dédiée à la description de la méthodologie utilisée pour créer cet outil et la deuxième partie présente des premiers éléments de validation de l'outil. À noter que l'application est valide seulement pour des conditions estivales.

1. Méthodologie

CoolParksTool est un outil permettant de rapidement estimer le rafraîchissement occasionné par un parc dans un environnement urbain donné et les impacts sur la thermique du bâtiment. Pour cela, la méthode proposée repose sur la création de métamodèles qui relient (Fig. 1) :

1. des informations sur la taille et la composition d'un parc à la diminution de la température de l'air (Gros *et al.*, 2022),
2. des informations sur la forme et la distribution des bâtiments et des rues à la distance jusqu'à laquelle la fraîcheur générée par le parc peut être observée,
3. des informations sur le bâtiment (forme, taille, orientation, enveloppe thermique, etc.) à ses besoins de climatisation ou son inconfort thermique (Rodler *et al.*, 2020).

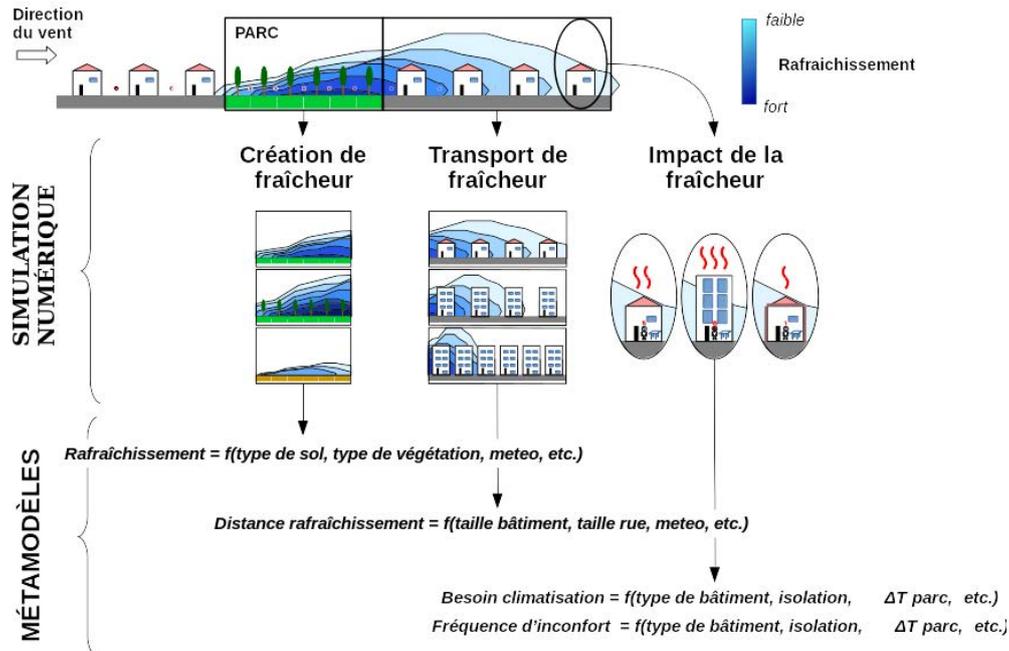


Figure 1. Méthodologie utilisée pour développer les métamodèles du plug-in QGIS CoolParksTool

Ces métamodèles ont été créés à partir de simulations numériques utilisant des modèles microclimatiques (SOLENE-microclimat pour les métamodèles 1 et 2) et de thermique du bâtiment (TRNSYS pour le métamodèle 3). Ces simulations ont été réalisées indépendamment en faisant varier des paramètres représentatifs de la taille et de la composition du parc (métamodèle 1), la forme urbaine (métamodèle 2) et les types de bâtiments (métamodèle 3). Pour chaque simulation, la valeur de ces paramètres est définie à partir de la méthode des plans d'expérience. Une fois ces métamodèles établis, les paramètres qui les composent sont calculés à partir de méthodes d'analyse spatiale et les métamodèles sont déployés dans le plug-in CoolParksTool.

2. Illustration et validation

Quelques exemples d'application seront présentés pour illustrer les fonctionnalités de l'outil. L'ensemble des métamodèles n'a pas encore fait l'objet de confrontation à des mesures. Lors de la présentation, les métamodèles de création et de transport de fraîcheur seront évalués. Pour cela, les campagnes de mesure réalisées dans le cadre du projet CoolParks seront utilisées (Bernard *et al.*, 2022). Des campagnes de mesures ont eu lieu à l'intérieur et autour du parc de Procé de Nantes. Une vingtaine de sites de mesure ont été caractérisés à l'aide de capteurs de température d'air pendant trois périodes diurnes et une période nocturne. Huit journées de mesure ont eu lieu entre 2020 et 2023 et sont utilisées pour évaluer la capacité de l'outil CoolParksTool à estimer la température de l'air autour du parc. Des perspectives existent pour confirmer ces premiers résultats de validation, notamment à travers des mesures réalisées dans le cadre du projet PANAME (Paris), où le rafraîchissement de plusieurs parcs a été évalué à partir de drones et de mesures mobiles.

Remerciements : Nous remercions l'ADEME pour le support financier du projet Coolparks dans le cadre de l'appel à projets MODEVAL URBA 2019, Nantes Métropole et la ville de Nantes pour leur facilitation à la mise en place du projet et l'ensemble des bénévoles qui ont participé aux campagnes de mesure.

Bibliographie

- Bernard, J., Gros, A., Rodler, A., Morille, B., Musy, M., Kéravec, P., & Guernouti, S. (2022, July). CoolParks : observation du rafraîchissement d'un parc nantais au-delà de son enceinte. In *35ème colloque de l'association internationale de climatologie*, Toulouse.
- Gros, A., Rodler, A., Bernard, J., Morille, B., Guernouti, S., & Musy, M. (2022, July). Évaluation du rafraîchissement des parcs urbains à l'aide du bilan énergétique de motifs élémentaires du parc. In *35ème colloque de l'association internationale de climatologie*, Toulouse.
- Moss, J. L., Doick, K. J., Smith, S., & Shahrestani, M. (2019). Influence of evaporative cooling by urban forests on cooling demand in cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *37*, 65-73.
- Rodler, A., Bernard, J., Morille, B., Bodénan, P., Guernouti, S., & Musy, M. (2020, July). CoolParks: aide à la conception de parcs et de formes urbaines pour optimiser le rafraîchissement urbain. In *33ème colloque de l'association internationale de climatologie* (pp. 595-600).

TEMPÉRATURES MOYENNES RADIANTES POUR LES ZONES CLIMATIQUES LOCALES DE GRENOBLE ET ECHIROLLES, FRANCE

Dominique J. BICOUT¹, Jade DI FRUSCIA¹, Xavier FOISSARD², Sandra ROME²

1. Université Grenoble Alpes, CNRS, UMR 5525, VetAgro Sup, Grenoble INP, TIMC, 38000 Grenoble, France, dominique.bicout@univ-grenoble-alpes.fr, jade.difruscia@gmail.com

2. Université Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement (UMR 5001, Univ. Grenoble Alpes – CNRS – INRAE – IRD – Grenoble INP), IGE, CS 40700 - 38058 Grenoble Cedex 9, France, xavier.foissard@univ-grenoble-alpes.fr; sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr

Mean radiant temperatures for Local Climate Zones in Grenoble and Echirolles, France

Mots-clés : extrême de chaleur, température moyenne radiante (T_{mrt}), zone climatique locale (LCZ))

Keywords: extreme heat, Mean Radiant Temperature (T_{mrt}), Local Climate Zone (LCZ)

Introduction

L'un des effets manifestes du changement climatique est l'augmentation en fréquence, intensité et durée des épisodes de forte chaleur (IPCC, 2022). Les vagues de chaleur sont un danger pour la santé et le bien-être humain dont la surmortalité est l'un des effets associés (Ballester *et al.*, 2023). La température moyenne radiante (T_{mrt}) est un élément essentiel à l'évaluation du confort thermique des populations puisque c'est l'un des paramètres météorologiques ayant un impact le plus important sur le bilan énergétique (Bröde *et al.*, 2012). Rarement mesurée et difficile à caractériser en extérieur, la T_{mrt} dépend des effets d'ombre, de la végétation, de la perméabilité des matériaux et du rayonnement (Bröde *et al.*, 2012). Dans ce contexte, les villes de Grenoble et d'Echirolles en Isère (France), partenaires du projet CASSANDRE, ont initié des recherches sur le climat urbain pour identifier l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU). Ce travail vise à calculer la T_{mrt} à l'échelle des LCZ urbains (Stewart et Oke, 2012) de Grenoble et d'Echirolles en vue d'intégrer dans l'évaluation du stress thermique des habitants l'inconfort diurne et nocturne respectivement lié à la T_{mrt} et l'ICU.

1. Matériel et méthodes

1.1. Zone d'étude

La zone d'étude concerne Grenoble et Echirolles, deux communes de la Métropole de Grenoble Alpes (département de l'Isère, région Auvergne-Rhône-Alpes). Grenoble et Echirolles sont composés respectivement de 88 et 49 LCZ (Fig. 1). Les LCZ permettent d'étudier le climat urbain à travers une caractérisation et description standardisée de la structure et de la couverture du sol (Stewart et Oke, 2012).

1.2. Méthode utilisée pour le calcul de la T_{mrt}

La T_{mrt} représente la température ressentie par un corps exposé à un environnement radiatif. Dépendant aussi des facteurs individuels (position, activité, couleur des vêtements...), la T_{mrt} prend en compte à la fois la température de l'air ambiant et celle des surfaces environnantes pouvant être plus chaudes ou plus froides que celle de l'air (Grosdemouge, 2020). Pour calculer le T_{mrt} , nous avons utilisé SOLWEIG (Solar and LongWave Environmental Irradiance Geometry) du plugin UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor) disponible sur QGIS. Le choix de cette méthode parmi d'autres (CFD, City Comfort+, RayMan...) a été guidé par la disponibilité des données requises et la facilité relative de mise en œuvre. Le calcul se fait en trois étapes : (1) input des données d'occupation du sol et données météorologiques, (2) pre-processing des données : transformation des données météo sous format UMEP, génération des données sky view factor, hauteur et aspect des bâtiments, et (3) calcul de la T_{mrt} .

1.3. Données utilisées (période d'étude : été 2022, 1^{er} juin – 31 août)

(1) Occupation du sol : surface des hauteurs du sol, de la canopée et des bâtiments. Ces données fournissent les positions (longitude et latitude) et l'élévation (altitude et hauteurs) des caractéristiques (végétation, urbanisation, eau, ...) de la zone d'étude.

(2) Données météo : température de l'air (°C), humidité relative (%), rayonnement à ondes courtes entrant (W/m²) et le vent (m/s).

2. Résultats synthétiques

L'approche mise en œuvre a permis de calculer et générer un raster (1 x 1m) de T_{mrt} par heure pour chaque LCZ. Par souci de simplification, l'été 2022 a été découpé en 14 semaines pour lesquels les T_{mrt} ont été calculées pour les jours le moins et le plus chaud de chaque semaine, et 24 heures pour chaque jour, soit un total de, 14 x 2 x 24 = 672 rasters pour chacun des 137 LCZ de la zone d'étude. Globalement, la T_{mrt} suit la même tendance que la température de l'air (T_{air}). Il apparaît que la T_{mrt} est inférieure (de 5°C maximum) la nuit (20h – 6h), supérieure (5°C à 20°C) le jour (7h – 19h) et égale à la T_{air} à 19h. On constate clairement une différence de T_{mrt} entre les LCZ de bâtis et celles de couverture terrestre (végétation et sol nu). Les LCZ de zone industrielle (dépourvue de végétation) et de sol nu atteignent rapidement des T_{mrt} élevées qui perdurent plus longtemps que dans les autres LCZ.

Conclusion

Une base de données de cartes *ad hoc* de T_{mrt} à l'échelle des LCZ a été construite. Après ajustement et validation, ces cartes seront ensuite intégrées dans l'évaluation du stress thermique pour l'identification des zones de confort et d'inconfort thermique (diurne) de l'aire grenobloise pendant les vagues de chaleur.

Remerciements : Ce travail est réalisé dans le cadre du projet CASSANDRE financé par l'APR PACT2e (Planifier et Aménager, face au Changement climatique, la Transition des Territoires) de l'ADEME.

Bibliographie

- Ballester J. & al., 2023 : Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine* 29, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Bröde P., Blazejczyk K., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kuklane K. & Kampmann B., 2012 : The Universal Thermal Climate Index UTCI Compared to Ergonomics Standards for Assessing the Thermal Environment. *Industrial Health*, 51(1), 16–24. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0098>
- Grosdemouge V., 2020 : Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers [Thèse]. Université de La Réunion.
- IPCC, 2022 : Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Stewart I.D. & Oke T.R., 2012 : Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.

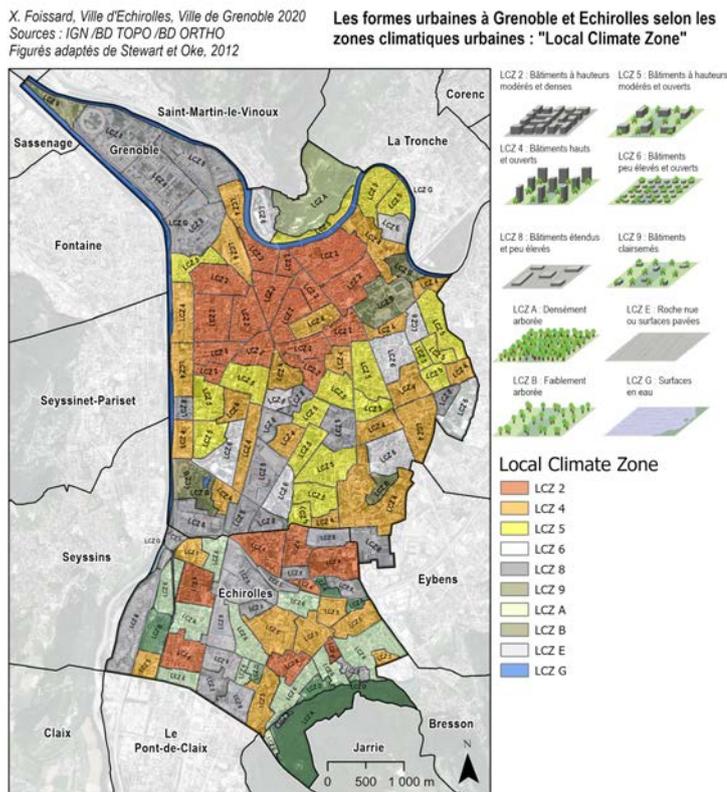


Figure 1. Zone d'étude : localisation et distribution des LCZ.

ÉVALUATION DE L'ÉTAT HYDRIQUE DES ARBRES EN ZONE URBAINE PAR IMAGERIE À TRÈS HAUTE RÉOLUTION SPATIALE ET MESURES MICRO-DENDROMÉTRIQUES *IN SITU* : LE CAS D'*ACER PLATANOIDES* ET *TILIA EUCHLORA* À DIJON

Lola CANOVAS^{1,2}, Nadège MARTINY¹, Thomas BUR³, Nicolas MARILLEAU², Christian HARTMANN⁴

1. UMR 6282 Biogéosciences, CNRS/UBFC, 6 bd Gabriel 21000 Dijon, France, lola.canovas@u-bourgogne.fr

2. UMMISCO-IRD-SU, 93143 Bondy, France

3. Urbasense, 25 Rue du Maréchal Foch 78000 Versailles, France

4. IEES-Paris, CNRS-SU-IRD-UPEC-INRAe-UPC, Paris, France

Assessing water status of urban trees by very high spatial resolution imagery and *in situ* micro-dendrometry measurements: the case of *Acer platanoides* and *Tilia euchlora* in Dijon

Mots-clés : arbres, zone urbaine, état hydrique, télédétection, THRS, micro-dendrométrie

Keywords: trees, urban area, water status, remote sensing, VHRS, microdendrometry

Dans un contexte général de changement climatique et d'augmentation du nombre de citoyens, les zones urbaines sont confrontées à des problèmes de qualité environnementale, tels que les phénomènes d'îlots de chaleur urbains et la pollution aux particules fines. Les services écosystémiques rendus par les arbres via leurs mécanismes biologiques, le processus d'évapotranspiration notamment, sont affectés par les conditions urbaines. En effet, les spécificités des environnements urbains, telles que l'imperméabilisation ou la compaction des sols, exercent une pression sur les arbres urbains, modifiant notamment leur état hydrique. Ces dernières années, les avancées dans le domaine de la télédétection et la disponibilité des images spatiales à très haute résolution spatiale offrent de nouvelles perspectives et méthodes de travail pour l'étude de l'état hydrique des arbres en milieu urbain. L'objectif de cette étude est d'explorer comment l'imagerie Pléiades et les mesures micro-dendrométriques sur le terrain peuvent permettre l'évaluation de l'état hydrique des deux principales espèces d'arbres présentes dans la ville de Dijon : *Acer platanoides* et *Tilia euchlora*.

Le travail a été mené en 3 étapes. Tout d'abord, la canopée des arbres de la ville de Dijon a été identifiée en utilisant une image Pléiades à 2 mètres de résolution spatiale. Des approches généralistes et empiriques utilisant entre autres les indices de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) et EVI (Enhanced Vegetation Index), sont comparées. Ensuite, le couvert végétal, l'espèce des arbres (issue de relevés terrain), des paramètres morphologiques (issus de BD_TOPO et d'un modèle numérique d'élévation) et la proximité d'émissions de polluants sont utilisés pour sélectionner six sites expérimentaux à Dijon. Au sein de chaque site, un ou deux arbres matures (six *Tilia euchlora* et cinq *Acer platanoides* au total) sont finalement équipés d'un micro-dendromètre (système PépiPIAF) pour enregistrer les variations horaires du diamètre des tiges. Des variables journalières reflétant l'état hydrique des arbres, telles que l'Amplitude Maximale de Contraction (AMC), sont ensuite calculées à partir de ces mesures de terrain.

Les premiers résultats sont encourageants. Une réponse marquée des indices de végétation aux précipitations est observée. L'étape suivante consistera à établir le lien entre les indices de végétation obtenus par télédétection à haute résolution spatiale (images SuperDove), les mesures terrains des micro-dendromètres, et les relevés de diagnostics phytosanitaires. Ceci pourrait à son tour constituer un pas en avant vers la modélisation de l'état hydrique des arbres à haute résolution spatiale à l'échelle de la ville.

CAMPAGNE EXPÉRIMENTALE NATIONALE DE SURVEILLANCE DE L'ÉQUIVALENT EN EAU DE LA NEIGE (SWE) : PREMIERS RÉSULTATS

Antonio CARDILLO^{1,2}, Umberto BIAGIOLA², Gabriele STAMEGNA²,
Massimiliano FAZZINI³

1. ARPES srl, Via S.Spirito, Isernia - Italie, antoniocardillo76@gmail.com

2. CAI-SVI - Via Petrella 19, 20124 Milano, Italie, u.biagiola@cai.it ; g.stamegna@cai.it

3. Université de Camerino – URDIS – Lungomare Scipioni, 6, San Benedetto del Tronto (AP) - Italie, massimiliano.fazzini@unicam.it

National experimental campaign to monitor the Snow Water Equivalent (SWE): initial results

Mots-clés : équivalent en eau de la neige, enneigement, surveillance, service italien des avalanches

Keywords: Snow Water Equivalent, snow, monitoring, italian avalanche service

L'équivalent en eau de la neige – snow water equivalent (EEN - SWE) est un paramètre « clé » en hydrométéorologie et se réfère à la quantité d'eau contenue dans un manteau neigeux complexe, c'est-à-dire caractérisé par quelques couches de différentes densités. Il représente la quantité d'eau qui résulterait théoriquement de la fonte instantanée de l'entièreté du manteau neigeux. L'extraction de l'équivalent en eau de la neige consiste à estimer ou à mesurer ce paramètre sans faire fondre physiquement la neige. L'équivalent en eau de la neige s'avère être un paramètre d'estimation d'une grande valeur intrinsèque et utile pour de nombreux domaines, comme celui de la fabrication de neige technique pour les compétitions sportives, la climatologie de montagne, la gestion des ressources naturelles, l'agriculture et toutes les activités productives susceptibles d'assurer le développement soutenable du territoire. Plus particulièrement, l'estimation plus ou moins correcte de l'EEN - SWE est cruciale pour comprendre la disponibilité de l'eau dans les ambiances physiques, où la fonte de la neige contribue de manière significative au débit des rivières et à l'approvisionnement en eau. Le Service italien des avalanches, une structure technique du Club alpin italien, a projeté une campagne expérimentale de surveillance à grande échelle (chaîne des Alpes et des Apennines), impliquant tous ses les partenaires et concluant des accords spécifiques avec les Troupes alpines de l'armée italienne (Fig. 1).



Figure 1. Campagne de mesure durant l'hiver 2023-2024, Passo Godi (AQ)

La campagne de mesure de l'équivalent en eau de la neige implique l'application d'une méthodologie expérimentale et rapide et les mesures sont effectuées dans la même zone sur une base hebdomadaire. Dans le cadre de ce travail scientifique, nous allons présenter les premiers résultats de la campagne avec l'analyse des valeurs et des comparaisons entre les données mesurées sur le terrain et les données satellitaires provenant des observations Copernicus qui évaluent avec une précision nettement moins acceptable, l'EEN-SWE ainsi que la couverture de neige de manière spatio-altitudinale et temporelle.

Bibliographie

- Guyennon, N., Valt, M., Salerno, F., Petrangeli, A. B., & Romano, E., (2019). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 167, 102859.
- Premier, V., Marin, C., Bertoldi, G., Barella, R., Notarnicola, C., & Bruzzone, L., 2022. Exploring the Use of Multi-source High-Resolution Satellite Data for Snow Water Equivalent Reconstruction over Mountainous Catchments. *The Cryosphere Discussions*, 1-42
- Capelli, A., Koch, F., Henkel, P., Lamm, M., Appel, F., Marty, C., & Schweizer, J., 2022. GNSS signal-based snow water equivalent determination for different snowpack conditions along a steep elevation gradient. *The Cryosphere*, 16(2), 505-531
- Beaumont, J., Ménégoz, M., Morin, S., Gallée, H., Fettweis, X., Six, D., ... & Anquetin, S., 2021. Twentieth century temperature and snow cover changes in the French Alps. *Regional Environmental Change*, 21(4), 114.

MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR DANS L'AGGLOMÉRATION DE KAIROUAN (TUNISIE CENTRALE)

Sami CHARFI¹, Salem DAHECH², Mohamed CHEBLI¹

1. Laboratoire SYFACTE, Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, route de l'aéroport km4, Sfax Tunisie, sami.charfi@flshs.usf.tn, cheblimohamed3@yahoo.fr

2. Laboratoire PRODIG, Université Paris Cité, salem.dahech@gmail.com

Interpolation of air temperature in the city of Kairouan (the central of Tunisia)

Mots-clés : modélisation, température de l'air, Kairouan

Keywords: modelling, air temperature, Kairouan

Introduction

Pendant les deux dernières décennies, les vagues de chaleur dans les villes méditerranéennes sont devenues plus fréquentes, persistantes et meurtrières (Wedler *et al.*, 2023). Selon le 6ème rapport du GIEC (2022), la température de l'air en Méditerranée devrait augmenter de 0,9 à 5,6°C d'ici à la fin du XXIème siècle. Lors des étés 2021 et 2022, la barre des 50°C a été atteinte dans plusieurs villes de Tunisie : Ramada, Tozeur, Kébili, Gabès, Kairouan et Jendouba. Cette évolution a fortement affecté les microclimats urbains et a entraîné une série de défis sociaux, écologiques et environnementaux (Wong *et al.*, 2013). L'ICU peut aggraver la situation surtout dans les villes des pays en développement (Shabahang *et al.*, 2021). La réduction des effets de l'ICU passe obligatoirement par une bonne compréhension de la variabilité spatiale du champ thermique urbain et des paramètres qui le commandent (Charfi et Dahech, 2018), ce en combinant mesures et modélisation. Depuis plusieurs décennies, la modélisation de la température de l'air dans les zones urbaines a fait l'objet de plusieurs études selon deux approches différentes : déductives qui se réfèrent aux lois physiques déterministes commandant la température, et inductive (statistique) fondée sur l'estimation de la température à partir de mesures fixes et mobiles. L'étude proposée sur l'agglomération de Kairouan s'inscrit dans cette approche de modélisation statistique de la température de l'air en milieu urbain. L'objectif est de simuler le champ thermique à Kairouan avec une méthode d'interpolation statistique fonctionnelle facilement applicable à n'importe quel point de l'espace étudié. Enfin, la méthode de validation croisée permet de valider la fiabilité du modèle linéaire retenu.

1. Données et méthodes

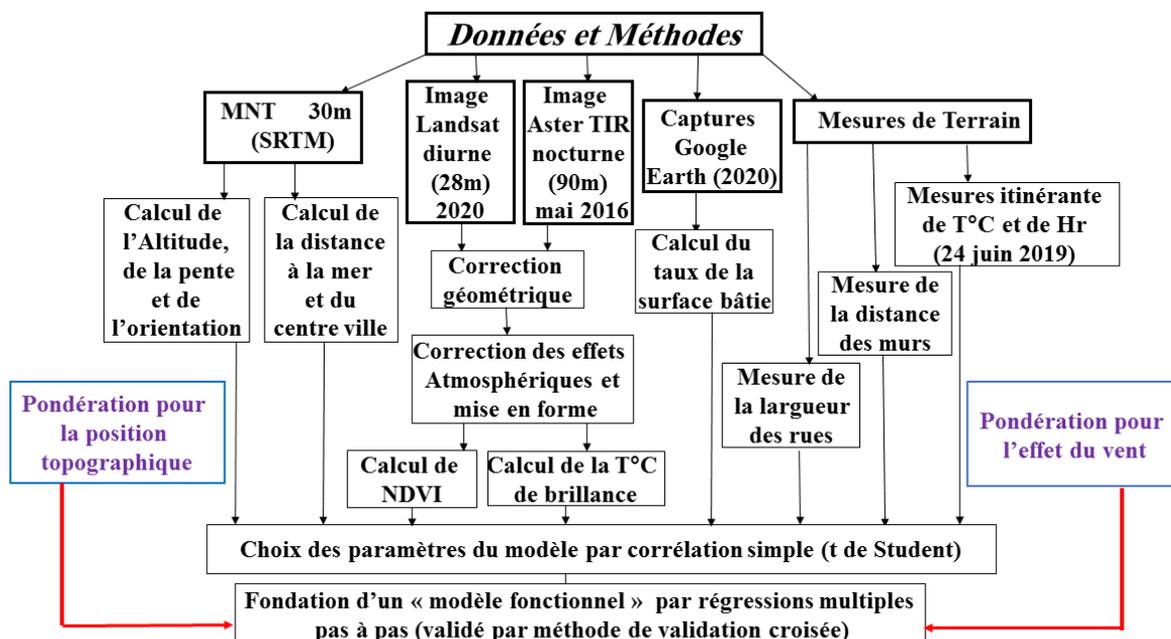


Figure 1. Synthèse des données et des méthodes utilisées

Dans cette étude, nous avons utilisé des données multi-sources. Elles sont de deux types : *géographiques*, liés au site et au cadre naturel: l'altitude (m), la pente et l'orientation de la topographie (calculés à partir d'un modèle numérique de terrain de 30m de résolution), la distance à la mer et l'effet de la végétation (traduit par l'indice de végétation normalisé (calculé à partir d'une image Landsat qui date de 2020)), et d'autres *facteurs liés à la ville* tels que la thermographie de surface (image Aster-Tir), la distance du noyau le plus densément urbanisé, la distance des parois et la densité du bâti. Pour améliorer la qualité du modèle, nous avons ajouté deux pondérations permettant de prendre en considération les effets des brises et de la position topographique sur les températures. Le modèle a été généré par régression multiple pas à pas et validé par méthode de validation croisée.

2. Résultats

Simulation du champ thermique nocturne de Kairouan : la nuit du 24 juin 2019 à 23h30mn

La date du 24 juin 2019 correspond à une journée radiative avec un vent faible. Le coefficient de détermination du modèle de régression est très fort : 0,8. L'écart-type des résidus est relativement faible, inférieur à 1°C et l'écart-type de l'échantillon est de 1°C.

$$T^{\circ}\text{C} = 21,23 - 0,23 * \text{Vent} + 0,0348 * \text{bâti \%} - 0.01,8 * \text{Végétation \%}$$

L'équation montre que la température nocturne baisse avec le vent de 0,23°C/m/s, alors qu'elle augmente de 0,3°C lorsque la densité du bâti augmente de 10%. En revanche, la température baisse de 0,2°C lorsque la densité des surfaces végétalisées augmente de 10% par pixel. Lors de la nuit du 24 juin 2019, le modèle montre l'effet déterminant du bâti et de la végétation dans la distribution spatiale de la température. Il s'agit essentiellement de l'effet de l'ICU et de ceux des parcs et des zones irriguées situés tout autour de la zone urbaine. Ces zones sont généralement arrosées pendant la nuit. L'effet du vent paraît en troisième lieu sans qu'il soit significatif ce qui pourrait s'expliquer par sa faible vitesse pendant cette nuit. De même, la température de la surface s'avère non déterminante dans la répartition spatiale de la température nocturne à l'échelle de la ville de Kairouan ce qui s'explique par l'état hydrique du sol qui est très sec en été sauf au niveau des zones irriguées. De ce fait, de larges terrains labourés auront les mêmes températures que celle de la canopée de la ville puisqu'ils se comportent comme des corps minéraux.

Conclusion

La modélisation du champ thermique à Kairouan montre que les lois qui commandent la distribution spatiale des températures sont les paramètres liés à la ville et en particulier la densité du bâti, mais aussi les paramètres météorologiques exprimés par le vent. Enfin, l'effet des espaces verts est montré. Ce modèle pourrait être consolidé par la prise en considération des types de temps caractéristiques de la région.

Bibliographie

- Charfi S. & Dahech S., 2018 : Cartographie de l'îlot de chaleur urbain à Tunis par modélisation statistique et télédétection, *Mappemonde*, 123, 13p.
- GIEC., 2022 : Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 6eme rapport, www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/.
- Shabahang S., Vale B. & Gjerde M., 2020: A Simulation Method for Studying Urban Heat Islands at the Urban Scale, Conference paper, Sustainability in Energy and Buildings, 115-126.
- Wedler M, Pinto J.G. & Hochman A., 2023: More frequent, persistent, and deadly heat waves in the 21st century over the Eastern Mediterranean" *Science of The Total Environment*, 870, 13p.
- Yong J.K.W. & Lau S.L.K., 2013: From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong, *Habitat International*, 39, 25-35.

ANALYSIS OF DROUGHT EVENTS IN THE AREA OF CUNEO AND THE IMPACTS ON THE TERRITORY

Agnese Maria COLIZZI¹, Alice BARONETTI^{2,3}, Manuela LASAGNA¹, Domenico DE LUCA¹,
Fiorella ACQUAOTTA³

1. University of Turin, Turin, Italy, agnesemaria.colizzi@unito.it

2. Institute of Geosciences and Earth Resources, National Research Council, Pisa, Italy, alice.baronetti@igg.cnr.it

3. Centro Interdipartimentale sui Rischi Naturali in Ambiente Montano e Collinare, University of Turin, Turin, Italy, fiorella.acquaotta@unito.it

Analyse des épisodes de sécheresse dans la zone de cuneo et des impacts sur le territoire

Mots-clés : épisodes de sécheresse, précipitations, température, indices climatiques

Keywords: Drought events, precipitation, temperature, climatic indices

Introduction

In the area of the province of Cuneo (south-west of Piedmont region, Italy), there have been drought problems and water shortages in recent years. Water managers have reported problems in the supply of water from springs and wells for distribution to the population. For this reason, an analysis was conducted on the drought events in this area.

1. Data and methods

1.1. Dataset

The meteorological parameters analyzed on a daily scale in the research are: maximum temperature (TX), minimum temperature (TN) and liquid precipitation. The climatological daily data were downloaded from two meteorological networks: Arpa Piemonte, Regional Agency for Environmental Protection, and RAM, Agro-Meteorological Network of the Piedmont region, for a total of 140 stations. From the 140 stations, we made a first selection that allowed us to identify the common period of analysis from 2001 to 2022 (22 years), this has reduced the series to 54. This first selection allowed us to have a continuous period of data for each series long enough to allow significant climatic analysis. Before the calculation of climatic indices, a quality control of daily data was carried out to individuate missing values, possible errors, and anomalies. The series with more than 10% of missing were excluded for a total of 14 stations, 11 of which at an altitude above 1000 m. After checking the missing values, the selected stations are 40.

1.2. Methods

For the climatic analysis, we selected specific indices (Table 1) from 70 of those produced by the Expert Team (ET) on Climate Change, as recommended by the World Meteorological Organization – Commission for Climatology (WMO – CCI), (Alexander and Herold, 2015). For each station (for temperature and precipitation series) we calculated these indices at annual and monthly scales.

In addition to these indices, we chose also two drought indices: the SPI, Standardized Precipitation Index, (McKee *et al.*, 1993) and the SPEI, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) at different temporal scales (3-6-12-24 months). For each index, annual trends and monthly trends were calculated. Monthly-scale trends mean that for each month of the year (from January to December) the trend was calculated from the monthly values of the entire period (2001 to 2022). This allowed us to identify the months with the greatest variations. The trends of this study were calculated with the Mann-Kendall test (Kendall, 1975) with a significance level of 5% for temperature indices and 10% for rain indices.

Table 1. Selected temperature and precipitation indices

Short name	Long name	Definition	Description	Units
Txm	Mean TX	Mean daily maximum temperature	Average daily maximum temperature	°C
Tnm	Mean TN	Mean daily minimum temperature	Average daily minimum temperature	°C
Tmm	Mean TM	Mean daily mean temperature	Average daily temperature	°C
PRCPTOT	Annual total precipitation	Sum of daily precipitation ≥ 1.0 mm	Total wet-day rainfall	mm
SDII	Daily precipitation intensity	Annual total precipitation divided by the number of wet days	Average daily wet-day rainfall intensity	mmday ⁻¹
R95p	Total annual precipitation from heavy rain days	Annual sum of daily precipitation > 95th percentile	Amount of rainfall from very wet days	mm

2. Results

Regarding temperature indices (Txm, Tnm and Tmm), we can see a common result in all stations: the annual trends are increasing and partly also statistically significant (Mann-Kendall test with a threshold of 5%). In addition, SPI and SPEI indices show annual trends in some cases positive, in others negative but always close to zero. On the contrary, for precipitation indices (PRCPTOT, SDII and R95p), there isn't a common result at the annual scale but we must consider the monthly scale: in all points, some months present always a positive trend (for example July), and others always a negative trend (for example September).

Conclusion

Considering these initial results, in the study area the problems of water scarcity can be assumed to be due not to a considerable decrease in the amount of precipitation but rather to a change in the distribution of these during the year and a drastic increase in temperatures.

Bibliography

- Alexander L, Herold N. 2015: ClimPACTv2 indices and software. A document prepared on behalf of the Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Sector Specific Climate Indices (ET-SCI), Sydney, Australia.
- Kendall, M.G., 1975: Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London.
- McKee, T.B.N. *et al.*, 1993: The relationship of drought frequency and duration to timescales. *American Meteorological Society*, pp. 179–184.
- Vicente-Serrano S.M *et al.*, 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.

DYNAMIQUE ATMOSPHÉRIQUE MULTISCALEAIRE SUR LE SECTEUR EURO-ATLANTIQUE ET CONDITIONS THERMIQUES RÉGIONALES : VARIABILITÉ CONTEMPORAINE (1950-2022)

Erika COLLET, Albin ULLMANN

Centre de Recherches de Climatologie, UMR 6282 Biogeoscience, CNRS, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France, erika.collet@u-bourgogne.fr

Multiscalar atmospheric dynamics over the Euro-Atlantic domain and regional thermal conditions : contemporary variability (1950-2022)

Mots-clés : self-organizing maps, températures, Euro-Atlantique, changement climatique

Keywords: self-organizing maps, temperatures, Euro-atlantic, climate change

Introduction

La problématique du changement climatique et de ses impacts environnementaux demeure une préoccupation sociétale majeure. Ces dernières années, de nombreuses études ont été menées, et ont permis de montrer les principales conséquences lui étant associées. Notamment, celles observées sur les températures (Alexander, 2016).

Sur le domaine Euro-Atlantique, la circulation atmosphérique de large échelle représente le principal facteur d'influence du climat. Or, dans le contexte du changement climatique, cette circulation a vu ses caractéristiques moyennes évoluer, notamment en termes de configurations barométriques (Ullmann *et al.*, 2013). Ce qui nous amène alors à nous interroger, sur les conséquences de ces modifications de large-échelle sur les conditions climatiques aux échelles plus fines, notamment synoptiques, et comment ces changements de dynamique s'expriment en termes de variabilité spatiale et temporelle des conditions climatiques aux échelles régionales en France.

Afin d'investiguer l'impact des changements de cette dynamique atmosphérique, on déterminera dans un premier temps les régimes de circulation (Weather Regimes en anglais -WRs), définis comme étant des configurations barométriques de très larges-échelles, stables, récurrentes et redondantes typiques des grands états préférentiels de l'atmosphère à l'échelle quasi-hémisphérique (Cassou *et al.*, 2004). Pour cela, on appliquera la méthode des k-means à des anomalies journalières de champs de pression de surface pour la période de 1950 à 2022, définissant ainsi 5 grands types de circulation agissant à l'échelle Euro-Atlantique. Ensuite, les conditions synoptiques seront examinées spécifiquement pour chaque WR afin de déterminer comment les WRs renseignent les principaux flux atmosphériques d'échelles synoptiques de notre domaine. Suivant cet objectif, une classification des anomalies barométriques des jours appartenant respectivement à chaque WR sera réalisée en utilisant la méthode des Self Organizing Maps (SOMs). Cette approche, capable de discerner les structures barométriques tout en respectant le continuum des états de l'atmosphère, permettra ainsi une meilleure appréhension de la circulation atmosphérique d'échelle synoptique (Philippopoulos *et al.*, 2014).

Enfin, il s'agira d'étudier comment ces interactions d'échelles spatio-temporelles dans la circulation atmosphérique du domaine Euro-Atlantique, ainsi que leurs potentielles modifications, renseignent la variabilité multi-décennale à intra-saisonnière des températures à l'échelle de la France sur la période 1950-2022. Notamment en termes d'épisodes chauds et de gelées tardives au printemps, en vue de mieux comprendre les liens entre la circulation atmosphérique et le risque de gel sur les cultures sensibles.

1. Données et méthodes

Les données utilisées pour les pressions de surface sont des réanalyses ERA5 avec une résolution temporelle horaire, sur la période de 1950-2022. Ces données proviennent du Centre Européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF), avec une résolution spatiale de 0.25°. Les données de températures sont des données journalières issues de l'interpolation de séries d'observations de stations météorologiques, effectuées sur la même période, avec une résolution spatiale de 0.1°. Elles proviennent de l'ensemble de données climatiques E-OBS, développé par l'European Climate Assessment and Dataset.

1.1. K-means

L'algorithme des k-means (ou algorithmes des centres mobiles) est une technique d'apprentissage automatique non-supervisée issue du machine learning, qui permet de regrouper des données similaires en clusters. Pour notre échantillon, la meilleure partition a été déterminée par l'indice de classifiabilité de Michelangeli (Michelangeli *et al.*, 1995) et a été fixée au nombre de cinq clusters. Cette méthode, appliquée aux profils d'anomalies de pression de surface, débute par l'identification aléatoire d'un centroïde pour chaque cluster. Puis chaque profil est attribué au centroïde le plus proche, sur la base de la distance euclidienne. Le centroïde est ensuite mis à jour, en prenant pour valeur la moyenne de tous les profils appartenant à son cluster. En appliquant cette méthode à l'ensemble des profils d'anomalies de pression de surface, on sera ainsi en mesure de déterminer cinq grands états préférentiels de l'atmosphère très stables et différents, et de les catégoriser en WRs.

1.2. Self-organizing maps (SOM)

Outil de clustering, la SOM (Kohonen, 2013) est également une technique d'apprentissage automatique non-supervisée, qui permet d'avoir une meilleure visualisation des données de haute dimensionnalité en les projetant sur un espace 2D appelé carte. Chacun des neurones de la carte représente ainsi un cluster. Au cours d'un processus itératif, chaque profil d'anomalies de pression de surface sera associé au neurone le plus similaire : le vecteur d'entrée sera comparé au vecteur « poids » des différents neurones, afin de trouver celui pour lequel la distance euclidienne est minimale. Le neurone gagnant (Best Matching Unit) s'actualise alors pour ressembler davantage aux éléments de son cluster.

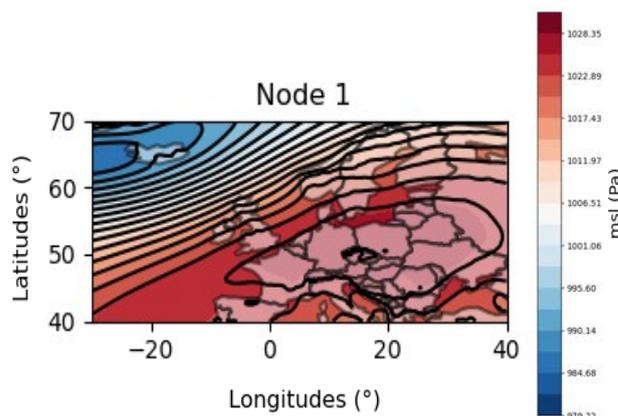


Figure 1. Exemple de cluster (node) de pression de surface obtenu avec la Self-Organizing map sur le domaine d'étude.

Ces étapes sont répétées jusqu'à obtenir une SOM stable, représentant différents états continus et variables de l'atmosphère. Ce qui rend cette méthode idéale pour étudier la variabilité synoptique intra-régime de circulation et donc comprendre les interactions d'échelles dans la dynamique de l'atmosphère. Appliquée à des profils d'anomalies de pression de surface issus des WRs, la SOM permet ainsi d'établir un continuum de l'atmosphère et produire une intra-classification objective de la circulation d'échelle synoptique sur le domaine de l'Euro-Atlantique. Une fois cette classification SOM effectuée, l'évolution et la variabilité thermique régionale peut-être étudiée en nous reportant aux dates associées à chaque cluster.

2. Résultats préliminaires et conclusion

Les résultats obtenus permettront d'observer la variabilité et l'évolution spatio-temporelle des conditions synoptiques à l'intérieur de chaque WRs, ainsi que ce que cela implique en termes de répartition des anomalies de températures aux échelles régionales de la France pour la période 1950-2022.

Cette méthodologie, initialement développée dans le cadre d'un projet de thèse afin d'investiguer le risque de gel sur la viticulture, est cependant tout à fait transposable à d'autres domaines, tels que l'agriculture et les vagues de chaleur.

Bibliographie

- Alexander L. V., 2016: Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, **11**, 4-16.
- Cassou C., Terray L., Hurrell J. et Deser C., 2004 : North Atlantic climate regimes: spatial asymmetry, stationarity with time, and oceanic forcing. *J. Climate*, **17**, 1055–3363.
- Kohonen T., 2013 : Essentials of the self-organizing map. *Neural Netw.*, **37**, 52–65.
- Michelangeli P., Vautard R., et Legras B., 1995: Weather Regimes: Recurrence and Quasi Stationarity. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 1237–1256.
- Philippopoulos K., Deligiorgi D. & Kouroupetroglou G., 2014 : Performance Comparison of Self-Organizing Maps and k-means Clustering Techniques for Atmospheric Circulation Classification. *International Journal of Energy and Environment*, **8**, 171-180.
- Ullmann A., Fontaine B. et Roucou P., 2013 : Euro-Atlantic weather regimes and Mediterranean rainfall patterns: present-day variability and expected changes under CMIP5 projections. *International Journal of Climatology*, **34**, 2634-2650.

OBSERVED CHANGES IN THE PRECIPITATION REGIME ALONG THE ROMANIAN LOWER DANUBE RIVER

Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN¹, Elena GRIGORE¹, Liliana ZAHARIA¹,
Adrian Amadeus TIȘCOVSCHI¹, Gabriela IOANA-TOROIMAC¹,
Giorgiana Daiana LÜFTNER^{1,2}, Raul Gabriel ILEA^{1,2}

1. University of Bucharest, Faculty of Geography, 1 N. Bălcescu Boulevard, 010041, Bucharest, Romania,
oprea.constantin@geo.unibuc.ro, ela_zigzag@hotmail.com, zaharialili@hotmail.com, adrian.tiscovschi@unibuc.ro,
gabriela.toroimac@geo.unibuc.ro

2. National Meteorological Administration, 97 București-Ploiești Street, 013686, Bucharest, Romania,
giorgiana.luftner@gmail.com, raul11_bv@yahoo.com.

Changements observés dans le régime des précipitations le long du Bas Danube Roumain

Mots-clés : changements observés, précipitations, Danube, Roumanie

Keywords: observed changes, precipitation, Danube, Romania

Introduction

Atmospheric precipitation represents one of the main climatic elements with a great influence on the socio-economic activities of a region. The purpose of this study is to analyze the changes observed in the precipitation regime along the Romanian Lower Danube River, during the last climatological standard normal, 1991 – 2020, as it is considered by the World Meteorological Organization (WMO, 2022). The study area is considered from the entry of the Danube River in Romania to its mouth in the Black Sea, on a length of 1075 km (37% of the total length of the Danube River) (Fig. 1). From a climatic point of view, the study area is characterized by a temperate continental climate with oceanic and mediterranean influences in the western half, while the eastern part is affected by continental (aridity) and pontic influences (Institutul de Geografie, 2005; Constantin *et al.*, 2022).

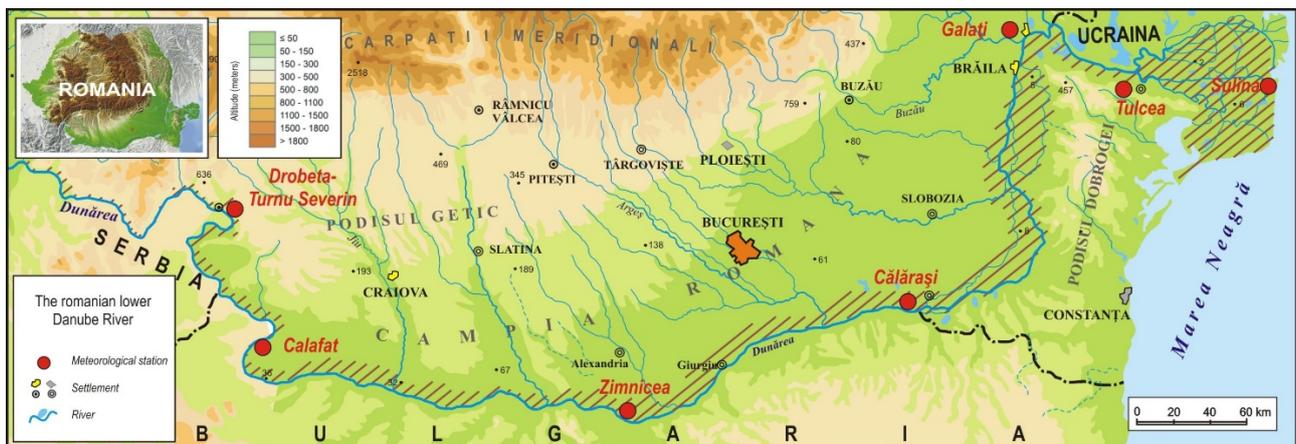


Figure 1. The location of the study area (hatched in red) and of the meteorological stations in Southern Romania.

1. Data and methods

The meteorological data used to analyze and identify the changes observed in the precipitation regime are the pluviometric data (monthly amounts) recorded at seven meteorological stations (M.S.) belonging to the National Meteorological Administration (Fig. 1). These meteorological stations are considered representative for the study area and are located along the Danube River, at altitudes between 4 m a.s.l. (Tulcea M.S.) and 77 m a.s.l. (Drobeta Turnu Severin M.S.). Based on these data, first, the average monthly, seasonal, annual and decadal precipitation amounts, and the standardized anomaly (yearly, in January and July) were calculated for the period 1991 – 2020. Then, the general linear trends in the series of pluviometric data were identified by using the non-parametric Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975).

2. Results and conclusions

The annual precipitation in the study area is characterized by a complex distribution, with a decrease in precipitation amounts from west to east as a result of the increase in continentalism and the weakening of thermal convection over water.

Along the Romanian Lower Danube River, during the analyzed period as a general aspect, the annual and monthly precipitation amounts do not show significant trends of increase or decrease according to the Mann-Kendall test, so we can consider that the precipitation regime is stationary.

Identifying and understanding the peculiarities of the precipitation regime in a region are of great practical interest. Knowledge of these peculiarities provide the scientific basis to take the best strategic decisions both in the management and security of surface waters and in the socio-economic adaptation for the sustainable development of society, in the current context of climate change.

Bibliography

- Constantin (Oprea) D.M., Onțel I., Grigore E., Ilea R.G., 2021: Precipitation variability along the Lower Danube River. Case study: Călărași-Pătlăgeanca sector (Romania), *XXXIV^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 134-139.
- Constantin D.M., Onțel I., Tișcovschi A.A., Irimescu A., Grigore E., Ilea R.G., Dîrloman G., 2022: Observed Changes in the temperature and precipitation regime along the Lower Danube River. In: Negm A, Zaharia L, Ioana-Toroimac G (eds.), *The Lower Danube River. Earth and Environmental Sciences Library*. Springer, Cham, 273-297, DOI: 10.1007/978-3-031-03865-5_9.
- Institutul de Geografie, 2005: *Geografia României, vol. V*. Editura Academiei Române, 967 pages.
- Kendall M.G., 1975: *Rank correlation methods*. Griffin London, 202 pages.
- Mann H.B., 1945: Nonparametric test against trend. *Econometrica*, **13** (3), 245-259, DOI: 10.2307/1907187.
- WMO, 2022: *WMO Climatological Normals*, <https://community.wmo.int/en/wmo-climatological-normals>, accessed on January 10, 2024.

SPATIAL ANALYSIS OF HEAT INDEX IN THE URBAN HEAT ISLAND OF THE MUNICIPALITY OF JABOATÃO DOS GUARARAPES, PE

Sara C. CORDEIRO¹, Cristiana C. DUARTE², Ayobami B. MOREIRA³,
Maria E. A. PITOMBEIRA¹

1. Geography degree course at the Federal University of Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, Brazil, sara.canuto@ufpe.br, mariaeduarda.pitombeira@ufpe.br

2. Department of Geographic Sciences at the Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, Brazil, cristiana.duarte@ufpe.br

3. Chair of Environmental Meteorology, Faculty of Environment and Natural Resources, University of Freiburg, 79104 Freiburg, Germany, ayobami.moreira@meteo.uni-freiburg.de

Analyse spatiale de l'indice de chaleur dans l'îlot de chaleur urbain de la municipalité de Jaboaão dos Guararapes, PE

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, sécurité thermique, climat urbain, Jaboaão dos Guararapes

Keywords: Urban Heat Island, Heat Safety, Urban Climate, Jaboaão dos Guararapes

Introduction

The urban heat island (UHI) is the most known effect of cities in the atmosphere (Matzarakis 2021) and is defined as the difference in temperature between urban areas and their surroundings (Oke *et al.*, 2017). It represents an increasingly frequent problem in large urban centers, where high temperatures are intensified, and heat-related syndromes are becoming more common in the population every year; this reality is exacerbated by climate change due to its impacts on global temperatures, particularly in tropical regions (IPCC, 2022; Nóbrega *et al.*, 2011).

Based on evidence that the UHI impacts involve social, environmental, and physical factors of the urban landscape (Moreira *et al.*, 2024), and that vulnerability to heat is strongly linked to socioeconomic factors in developing countries (Leal Filho *et al.*, 2018), this study aims to analyze the spatial distribution of the urban heat island in the municipality of Jaboaão dos Guararapes, Pernambuco, Brazil, and its consequences on the population of this city. To achieve this, the temperature exposure index was calculated according to the "Heat Index Alert Levels and Their Consequences for Human Health" (National Weather Service Weather Forecast Office, NOAA; Nóbrega *et al.*, 2011).

Jaboaão dos Guararapes is part of the Metropolitan Region of Recife, the capital of the state of Pernambuco, Brazil. It is located on the coastal region of Northeast Brazil, with a monthly average temperature above 25°C, under the climate type Aw (Köppen-Geiger, 1961). Its urban expansion is mainly influenced by the socioeconomic dynamics of the city of Recife, the center of the metropolitan region, resulting in a growing and intensive verticalization process and continuous conurbation between these municipalities.

1. Methodology

The methodological procedure encompassed the following steps: i) digital processing of surface temperature images from the Sentinel-3 mission. These images were registered on March 23, 2023, 12:00, and were made available on the Copernicus Open Access Hub platform of the European Space Agency (ESA); ii) calculation of surface temperature from these images using the ESA SNAP platform, through the transformation of the pixel's signature into surface temperature in Celsius degrees; iii) calculation of the exposure index by normalizing the surface temperature image using the 'Fuzzy Membership' tool in ArcGIS Pro, generating the final raster of the exposure component; and iv) mapping the exposure index according to the "Heat Index Alert Levels and Their Consequences for Human Health" (National Weather Service Weather Forecast Office, NOAA).

2. Results and Discussion

Table 1 shows the heat risk warning classes, classified as 'No Warning', 'Caution' and 'Extreme Caution', while Figure 1 displays the map of the calculated heat exposure index for the municipality of Jaboaão dos Guararapes. The highest index values were identified along the municipality's coastline and in isolated urban clusters to the north and northwest. The heat exposure index decreased as it moved away from the coast, with the lowest values in the extreme west of the municipality.

Table 1. Heat Index Alert Levels and Their Consequences for Human Health
(National Weather Service Weather Forecast Office, NOAA; Nóbrega *et al.*, 2011), adapted by the authors.

Warning Levels	Heat Index	Heat Syndrome (symptoms)
Extreme Caution	32,1° - 41° C	Possibility of cramps, exhaustion and heat stroke for prolonged exposure and physical activity.
Caution	27,1 - 32° C	Possible fatigue in cases of prolonged exposure and physical activity.
No Warning	Less than 27° C	No syndrome.

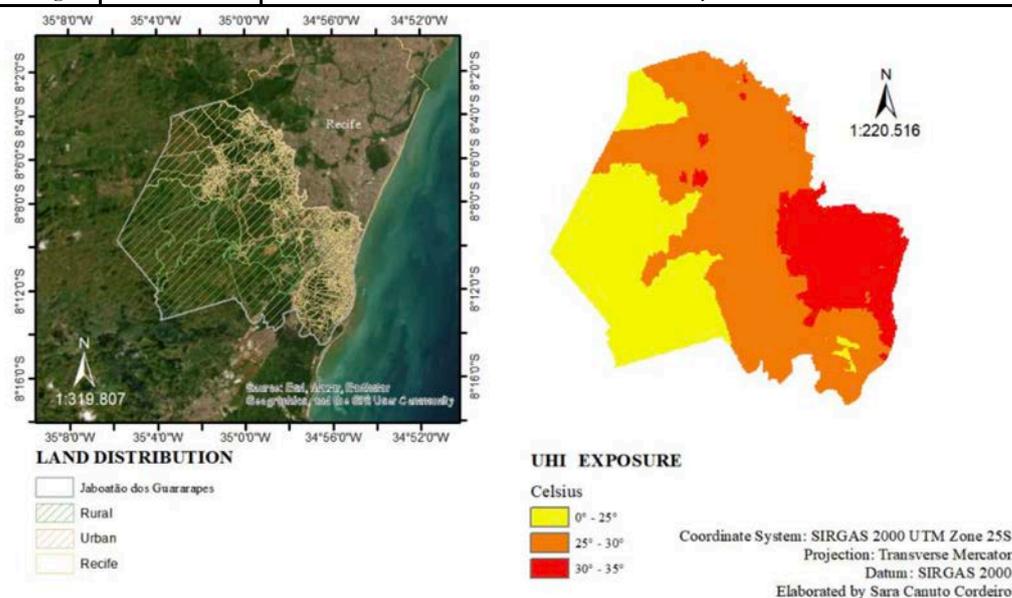


Figure 1. Location map and Urban Heat Island (UHI) Exposure Index of the municipality of Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brazil.

The heat index significantly increases as it approaches the coastal areas of Jaboatão dos Guararapes, including affluent neighborhoods. This trend indicates a higher exposure to heat in these areas, despite the influence of maritime surface. This is crucial for urban planning, especially when considering adaptation measures to ensure the well-being of the population in more affected regions. Strategies such as increasing green spaces, implementing urban cooling systems, and raising awareness of heat protection practices can be particularly relevant in these locations to ensure a healthier and more livable environment. Urban growth can intensify the heat island effect, raising local temperatures due to the replacement of natural areas with urban surfaces like asphalt and concrete. This change in land use contributes to heat retention and the reduction of vegetation, exacerbating climatic conditions. In this case, where urban expansion occurs closer to the coastal areas, with a concentration of affluent neighborhoods in the coastline, the influence of maritime climate may be altered. Intensive urbanization in these areas leads to higher temperatures due to the modification of the natural characteristics of the environment.

Conclusion

The spatial differences due to urbanization of the municipality of Jaboatão dos Guararapes influences directly on how the heat is increased in the non-rural areas of the city as shown by the heat index spatiality, resulting in aggravated and health-threatening temperatures on the regions nearest the coastline attributable to the effects of the urban heat island.

Bibliography

- Leal Filho, W., L. E. Icaza, A. Neht, M. Klavins, and E. A. Morgan, 2018: Coping with the impacts of urban heat islands. A literaturebased study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *J. Cleaner Prod.*, 171, 1140–1149, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>.
- Matzarakis, A., 2021: Comments about urban bioclimate aspects for consideration in urban climate and planning issues in the era of climate change. *Atmosphere*, 12, 546, <https://doi.org/10.3390/atmos12050546>
- Moreira, A. B., Nóbrega, R. S., Wanderley, L. S. A., & Matzarakis, A., 2024: Urban Heat Island Vulnerability in the City of Recife, Pernambuco, Brazil. *American Meteorological Society*, 16. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-23-0082.1>
- Nóbrega, R. S., Lemos, T. V. S., 2011: The Microclimate and Thermal (Dis)Comfort in Open Environments in Recife City. *Revista de Geografia (UFPE)*, 28, 1.
- OKE; T. R.; G. Mills, A. Christen, and J. A. Voogt, 2017: Urban heat island. *Urban Climate*, T. R. Oke *et al.*, Eds., Cambridge University Press, 197– 237, <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.

L'APPROCHE NARRATIVE POUR DÉCRIRE LES FUTURS DU CLIMAT

Lola CORRE¹, Agathe DROUIN¹, Paola MARSON¹, Jean-Michel SOUBEYROUX¹,
Éric SAUQUET²

1. Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, 42 avenue Gaspard-Coriolis, 31057 Toulouse, lola.corre@meteo.fr ; agathe.drouin@meteo.fr ; paola.marson@meteo.fr ; jean-michel.soubeyroux@meteo.fr
2. INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, eric.sauquet@inrae.fr

The storyline approach to describe the futures of climate

Mots-clés : climat futur, incertitude, narratifs

Keywords: future climate, uncertainty, storylines

Introduction

Délivrer des informations exploitables sur les futurs possibles du climat implique de synthétiser des projections climatiques qui présentent des changements futurs contrastés, voire contradictoires. L'approche « probabiliste » décrit les changements futurs à l'aide de statistiques (moyenne ou médiane des simulations, quantiles, etc.). Pour faciliter l'utilisation des projections dans le cadre d'études d'impact, une alternative dite approche « narrative » permet d'illustrer des futurs possibles du climat à travers un nombre réduit de projections climatiques et selon un narratif, défini comme un déroulement physiquement cohérent d'événements passés ou futurs. Cette approche cherche à développer des « récits » descriptifs de climats futurs possibles (Shepherd *et al.*, 2018). Plusieurs narratifs doivent être envisagés afin d'explorer plusieurs futurs possibles. Il est important de décrire comment ils ont été sélectionnés et comment ils se situent au sein de la distribution de l'ensemble des modèles.

1. Les narratifs Explore2

Le projet national Explore2 a pour objectif d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie en France métropolitaine et d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leur stratégie de gestion de la ressource. Le volet climat du projet s'appuie 17 projections EURO-CORDEX à 12 km de résolution qui ont été corrigées de leurs biais par les méthodes ADAMONT (Verfaillie *et al.*, 2017) et CDF-*t* (Michelangeli *et al.*, 2009), appelées « ensemble Explore2-Climat ». Parmi ces projections, quatre narratifs menant à des futurs contrastés en hydrologie ont été sélectionnés avec un focus particulier sur les risques de sécheresse. Le critère de sélection porte sur les changements moyens de température et de précipitations en fin de XXI^e siècle : les quatre narratifs doivent couvrir autant que possible la dispersion de l'ensemble Explore2-Climat tout en restant cohérent avec l'intervalle de confiance des projections CMIP6 (Fig. 1). Ils sont destinés à être utilisés en entrée de projections hydro-climatiques qui illustreront des futurs possibles de l'eau en France métropolitaine sous scénario d'émission RCP8.5.

Les narratifs sélectionnés sont : (1) le narratif **violet** : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations ; (2) le narratif **orange** : fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel) ; (3) le narratif **vert** : réchauffement marqué et augmentation des précipitations ; et (4) le narratif **jaune** : changements futurs relativement peu marqués. Dans tous les cas, ces évolutions sont relatives à celles de l'ensemble Explore2-Climat.

2. Changements futurs selon les quatre narratifs Explore2

Pour la température moyenne, **violet**, **orange** et **vert** sont très proches en termes de réchauffement annuel : +4,6°C à +5°C à l'échelle de la France entre 1976-2005 et la fin du siècle ; **jaune** se limite à +3,7°C. Cette différence se retrouve à l'identique au pas de temps saisonnier. Pour les précipitations annuelles, **jaune** et **vert** sont proches et projettent des fins de siècle plus humides à l'échelle de la France. **Orange** et **violet** projettent des fins de siècle plus sèches. Le classement des narratifs est sensiblement différent aux pas de temps saisonnier : en hiver, les narratifs les plus humides sont **violet** et **vert**, et en été, **orange** et **violet** sont les plus secs. Quel que soit le narratif, l'évapotranspiration de référence est à la hausse en réponse au réchauffement. **Orange** se distingue pour la plus forte évolution. L'évolution du bilan hydrique résulte des effets cumulés des changements de précipitations et d'évaporation/réchauffement. Quel que soit le narratif, ce bilan est à la baisse (assèchement). Pour **orange** et **violet**, les deux effets vont dans le même sens, **orange** étant le plus asséchant. Pour **jaune** et **vert**, l'assèchement est légèrement atténué par l'augmentation des précipitations en hiver.

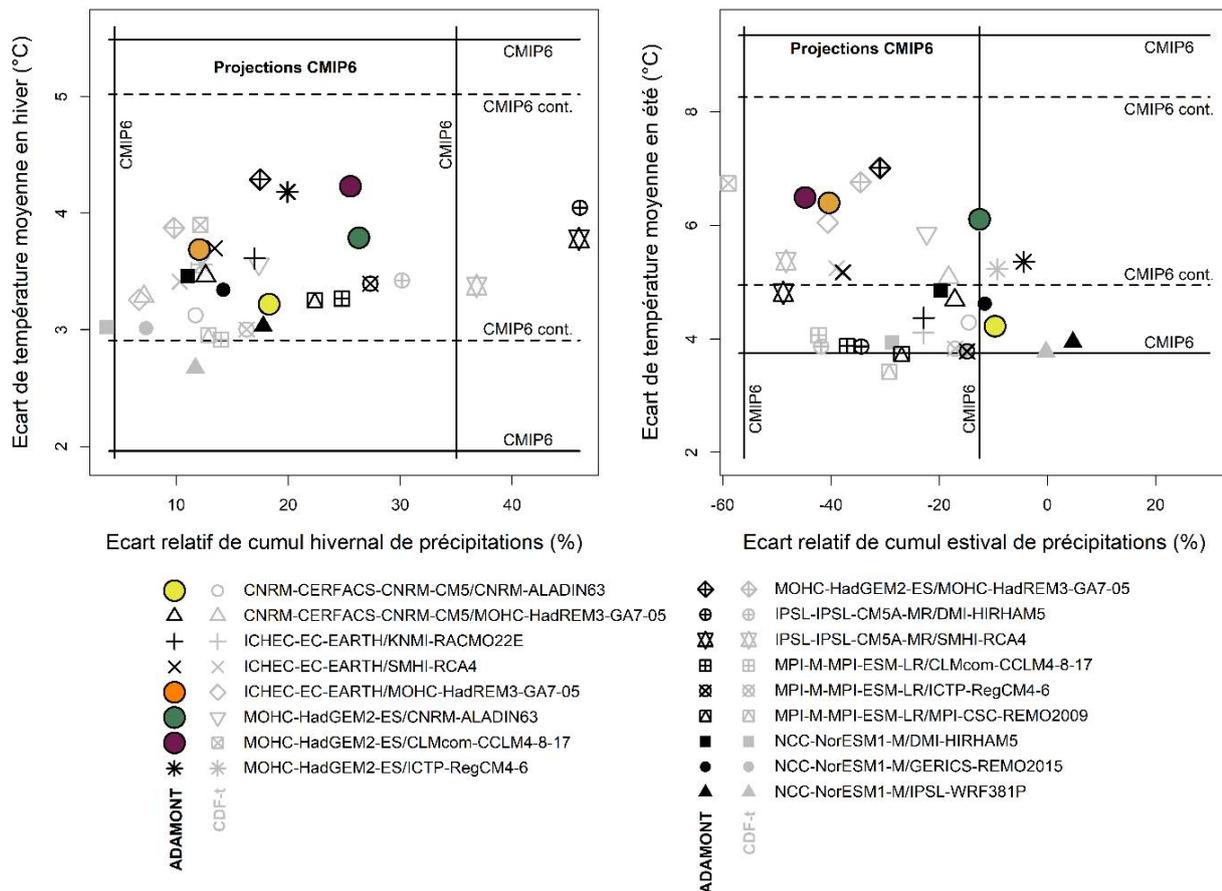


Figure 1. Changements moyens en température et précipitation sur la France des 17 projections climatiques Explore2 corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-t sur les saisons hiver et été, comparés aux quantiles 5% et 95% (Q5 et Q95) de l'ensemble CMIP6 (« CMIP6 ») et CMIP6 contraint par les observations pour les températures (« CMIP6 cont. ») (Ribes *et al.*, 2022). Les changements correspondent aux écarts ou écarts relatifs entre les périodes 1976-2005 et 2070-2099 pour le RCP8.5. Les quatre narratifs du projet Explore2 sont identifiés par des points de couleur.

Conclusion

Les quatre narratifs construits pour présenter des futurs contrastés cohérents avec l'intervalle de confiance CMIP6 présentent des différences en termes d'évolution en climat futur de la température et des précipitations à l'échelle annuelle ou saisonnière. Malgré leurs différences, ils montrent tous un réchauffement marqué, et particulièrement fort en été, qui entraîne une hausse de l'évapotranspiration de référence (ET0) et une baisse du bilan « précipitations – évapotranspiration de référence » ($P - ET0$). Ce travail sera complété dans le cadre du projet Explore2 par une illustration des impacts sur l'hydrologie et notamment les débits et les eaux souterraines. Cette approche par narratif est aussi à décliner sur les territoires en identifiant les simulations conduisant à des impacts contrastés en fonction de leurs vulnérabilités spécifiques.

Bibliographie

- Michelangeli P.-A., Vrac M. et Loukos H., 2009 : Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. *Geophysical Research Letters*, 36.11. DOI : 10.1029/2009GL038401.
- Ribes A., Boé J., Qasmi S., Dubuisson B., Douville H. et Terray L., 2022 : An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. *Earth System Dynamics*, 13, 1397–1415, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>.
- Shepherd T.G., Boyd E., Cabel R.A. *et al.*, 2018 : Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change. *Climatic Change*, 151, 555–571, <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2317-9>.
- Verfaillie D., Déqué M., Morin S. et Lafaysse M., 2017 : The method ADAMONT v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geoscientific Model Development*, 10, 4257-4283, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4257-2017>.

ÉTUDE DES ÉPISODES PLUVIOMÉTRIQUES ENTRE 2021 ET 2023 ET LES DOMMAGES DES INONDATIONS URBAINES RÉSULTANTS EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE : CAS DE LA COMMUNE DE COCODY (COTE D'IVOIRE)

Françoise D'AVILA GOUADOU¹, Malan Ketcha Armand KABLAN², Kouassi DONGO³

1. Doctorante, Laboratoire d'Hydrogéologie, Ecole Doctorale Sciences Technologies et Agriculture Durable (ED-STAD) Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, faviladelrey@gmail.com

2. Maître Assistant, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, kablan.malan@yahoo.fr

3. Professeur Titulaire, Laboratoire d'Hydrogéologie, Ecole Doctorale Sciences Technologies et Agriculture Durable (ED-STAD), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, kdongo8@gmail.com

Study of rainfall episodes between the years 2021 and 2023 and resulting urban flood damage in Sub-Saharan Africa : case of Cocody commune (Ivory Coast)

Mots-clés : pluviométrie, inondation, dommage, Cocody

Keywords: rainfall, flooding, damage, Cocody

Introduction

Le monde connaît une recrudescence des catastrophes naturelles causant de nombreuses pertes en vies humaines et d'importants dégâts matériels. Le continent africain quant à lui, a enregistré pour la seule année de 2007, 4,6 millions de personnes affectées par les inondations qui surviennent généralement pendant les saisons des pluies (Scheuren *et al.*, 2007).

Le phénomène d'inondation demeure un véritable problème pour la survie de l'espèce humaine et les écosystèmes dans le monde. Cela s'explique par les dommages causés lors de son avènement dans les grandes agglomérations d'Afrique sub-saharienne comme Abidjan en Côte d'Ivoire. En effet, les impacts des inondations en termes de dommages et de pertes en vies humaines sont plus importants dans les pays en voie de développement du fait d'une vulnérabilité humaine et économique plus élevée (Tanguy, 2012 in Yeo, 2017). De ce fait, la présente étude vise à mettre en évidence les épisodes pluviométriques de 2021 à 2023, dans la zone urbaine de Cocody et les dommages des inondations qui en résultent.

1. Méthodologie

La méthode utilisée pour cette étude a été de combiner les données provenant des enquêtes de terrain et des enquêtes socio-environnementales et d'en faire une analyse statistique descriptive. Les données de pluviométrie ont été collectées à l'aide de deux pluviomètres installés respectivement sur deux sites représentatifs de la zone d'étude, le site de la paroisse Sainte Famille et le site du C.M.R.

2. Résultats

Les données de pluviométrie collectées de l'année 2021 à l'année 2023 nous ont permis d'obtenir les résultats suivants (Figure 1). Les histogrammes représentés à la figure 1 nous permettent d'observer, dans l'ensemble, une diminution de l'intensité des pluies de 2021 à 2023. Notons aussi que les deux saisons des pluies, allant du mois de mars à mai et de juin à octobre, sont restées les mêmes au fil des années. À partir des données collectées auprès de l'Office National de la Protection Civile de Côte d'Ivoire (ONPC), nous avons classé les dommages engendrés par les inondations en trois grandes catégories qui sont les dommages environnementaux (effondrement, glissement de terrain, inondation de voirie et inondation d'habitations), les dommages sociaux (décès, blessés, familles sinistrées et accident de circulation), et les dommages économiques (les infrastructures détruites telles que les routes, les immeubles, les poteaux électriques, et les pertes de biens matériels).

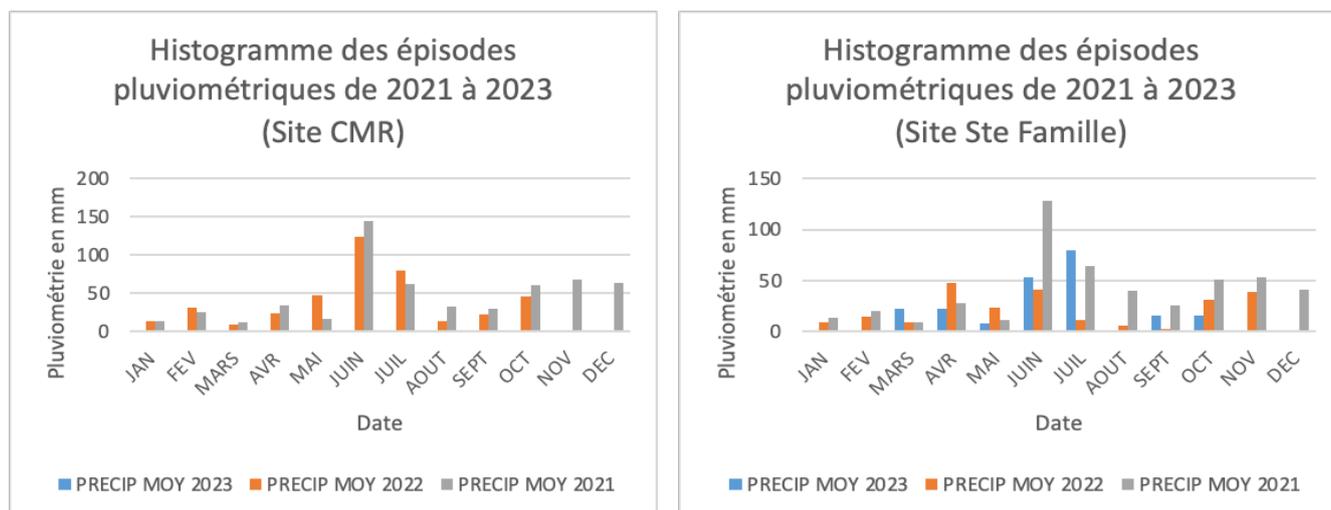


Figure 1. Histogrammes des épisodes pluviométriques sur deux sites représentatifs de la zone d'étude

Notons qu'en 2021, d'importants dommages environnementaux et économiques ont été enregistrés d'après le rapport de l'ONPC, entre autres, des dégâts matériels, des voies rendues impraticables et des effondrements d'immeubles. En 2022, plusieurs dommages ont été relevés, 43% de ces dommages étaient des dommages environnementaux, 36% étaient des dommages sociaux et 21% étaient des dommages économiques. En 2023, seulement 2 cas de décès (dommages sociaux) ont été observés. Les dommages environnementaux et économiques n'ont pas été quantifiés. Nous avons pu remarquer que l'impact des dommages avait été différencié lors des saisons pluvieuses.

Conclusion

Les résultats obtenus ont permis de catégoriser les différents types de dommages, de connaître les périodes de survenue des inondations et les dommages résultants. Les résultats de cette étude serviront d'outils d'aide à décision pour élaborer des mesures d'atténuation des inondations et des stratégies de gestion plus efficaces pour protéger les populations de Cocody contre ces événements dévastateurs.

Remerciements : Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Office National de la Protection Civile (ONPC).

Bibliographie

Scheuren J.M., Le Polain D.W.O., Below R., Guha-Sapir D., Ponsérre S. (2007). Annual disaster statistical. Review. The numbers and trends 2007, pp 30-35. United Nations. Vietnam, 79 p.

Yeo D. (2017). Phénomène d'inondation à Abidjan : Analyse de quelques traits caractéristiques dans la commune de Cocody, Mémoire en Sciences de la Terre, Univ. Abidjan, 64p

<https://www.aa.com;tr/fr/afrique/c%C3%B4te-divoire-les-pluies-diluviennes-font-30-morts/2944447>

<https://www.ouest-france.fr/monde/cote-d-ivoire/cote-d-ivoire-au-moins-dix-morts-apres-de-fortes-pluies-a-abidjan-1a8fdaf4-2e90-49bd-8ca1-01317e2e5d4f>

COMPARAISON DES MODÈLES DE SPATIALISATION DES ÎLOTS DE CHALEUR : EXEMPLE DE FLORIANÓPOLIS, BRÉSIL

Geisa Silveira DA ROCHA¹, Gabriela GOUDARD²

1. Université de Moncton, Canada, geisa.rocha@umoncton.ca
2. Université Fédérale du Paraná, Brésil, gabigoudard.ufpr@gmail.com

Comparison of spatialization models of the heat island: example from Florianópolis, Brazil

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, modélisation spatiale, interpolation, régression multiple

Keywords: Urban Heat Island, Spatial Modelling, Interpolation, Multiple Regression

Introduction

L'îlot de chaleur urbain (ICU) est de plus en plus étudié et diagnostiqué en villes avec différentes tailles et contextes géographiques. La manière de spatialiser, spécialement l'ICU atmosphérique a été un défi pour les chercheurs du domaine, une fois qu'il est nécessaire de créer un champ spatial continu à partir de données collectées de manière ponctuelle dans des zones spécifiques. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de comparer trois types de spatialisation dans la zone urbaine de Florianópolis : deux qui utilisent l'interpolation des données et un qui est basé sur la régression linéaire multiple.

1. Procédures méthodologiques : Pondération Inverse de la Distance, Krigeage et Régression linéaire multiple

Pour démontrer les différentes spatialisations, un jour avec stabilité atmosphérique a été choisi, caractérisé par des vents faibles et une couverture nuageuse faible ou nulle. Le jour en question, le 07/08/2018, a été marqué par la présence de la masse d'air polaire Atlantique (mPa).

Comme le phénomène de l'ICU, caractérisé par la différence de température de l'air entre un environnement urbain et non-urbain ou rural, est généralement nocturne, l'heure de 3h a été choisie pour optimiser les performances des modèles (Oke *et al.*, 2027). Les modèles choisis pour l'analyse sont ceux les plus utilisés pour la modélisation de l'ICU : le PID (Pondération Inverse de la Distance ou IDW en anglais), le krigeage et la régression linéaire multiple - RLM (Amorim, 2019).

L'interpolation géostatistique repose sur l'autocorrélation spatiale, soulignant la similitude entre un point et son voisinage. Le PID est une méthode d'interpolation spatiale qui privilégie les valeurs proches dans des emplacements non échantillonnés. En revanche, le krigeage analyse la corrélation spatiale entre les points échantillonnés, prenant en compte la moyenne et la variabilité spatiale pour optimiser les estimations. D'autre part, nous avons la régression linéaire multiple qui intègre simultanément plusieurs facteurs tels que l'ICU, le sol, la végétation, le relief, et spécifiquement pour Florianópolis, la distance par rapport à la mer (Rocha, 2021). Dans ce résumé, les classes suivantes ont été prises en compte : distance par rapport à la mer, urbanisation faible, urbanisation dense, végétation dense et végétation peu dense, selon les procédures de Rocha (2021).

Pour évaluer les modèles, une analyse des erreurs et des résidus générés par chacune des méthodes a été effectuée, et la spatialisation a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.5 (Geostatistical Analyst).

2. Résultat de la comparaison entre les modèles

En comparant la Racine de l'Erreur Quadratique Moyenne (REQM) des trois modèles, la méthode de régression linéaire multiple - RLM s'est avérée la plus efficace, avec un résultat de 0,51. Parmi les interpolateurs, le krigeage a montré des performances relativement meilleures par rapport au PID, avec un RMSE de 1,45, tandis que l>IDW a obtenu un résultat légèrement moins favorable, avec un REQM de 1,79.

En examinant la spatialisation des résultats (Fig. 1), il devient évident que la modélisation des zones les plus éloignées des mesures dépend fortement des points de mesure. À la fois pour le PID et pour le krigeage dans les zones les plus à l'ouest de la zone d'étude et proches des élévations les plus élevées dans la région continentale, les modèles ont estimé l'intensité de l'ICU entre 3 et 6°C. Cependant, pour la régression multiple, les zones les plus à l'ouest n'ont pas estimé la présence d'ICU, car elle a pondéré la couverture du sol avec une prédominance de végétation dense, diminuant ainsi considérablement la probabilité de formation d'ICU.

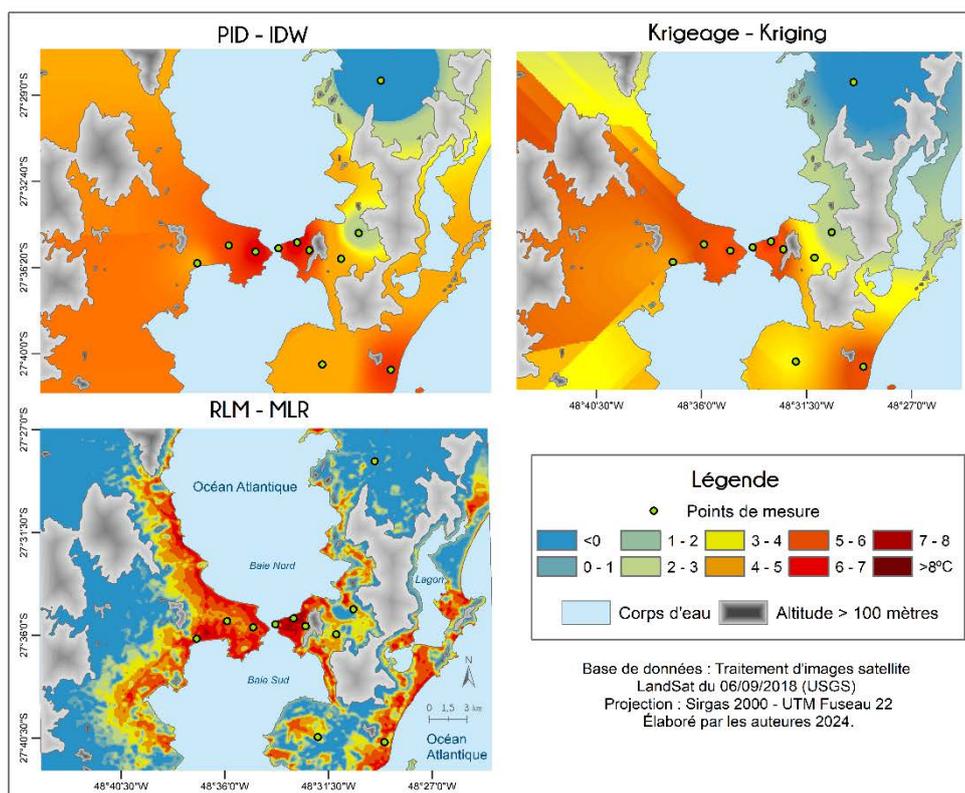


Figure 1. Spatialisation de l'ICU (07/08/2018) dans la zone agglomérée de Florianópolis selon trois méthodes différentes.

Lorsqu'on observe les zones avec une urbanisation plus dense (péninsules centrales), on constate que les trois modèles ont estimé des intensités élevées d'îlots de chaleur urbains (ICU), dépassant 5°C, ce qui est considéré comme de forte magnitude. Dans ces zones spécifiques, la méthode PID et la régression multiple ont produit des résultats les plus proches les uns des autres, ainsi que des données observées. Le point commun des trois modèles est précisément l'estimation autour du point de mesure considéré comme point de référence rurale, le seul au nord de la partie insulaire, indiquant une zone sans présence d'îlot de chaleur urbain (ICU), ce qui est justifié par la présence d'une unité de conservation environnementale et d'une végétation dense.

Conclusion

L'examen des trois méthodes de spatialisation de l'ICU met en évidence l'importance de considérer les attributs spatiaux ayant le plus d'influence sur la formation de ce phénomène climatique urbain, à savoir les caractéristiques d'utilisation et d'occupation du sol. Cette étude confirme ainsi la régression linéaire multiple en tant que méthode la plus performante, la préconisant ainsi pour les recherches sur l'ICU.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier la CAPES-Brasil pour la bourse de doctorat qui a permis le développement des recherches, EPAGRI-CIRAM pour les données de la station rurale ainsi que le Projet CAPES-COFEUCUB, CiCIAMEn, Sh 941/19.

Bibliographie

- Amorim, M.C.C.T., 2019 : Ilhas de Calor Urbanas: métodos e técnicas de análise. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. **Ano 15** – E, 22–46.
- Foissard, X., 2015 : L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique : application à l'agglomération rennaise. Géographie. Université Rennes 2.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J., 2017 : Urban Heat Island. In *Urban Climates* (p. 197-237). Cambridge. Cambridge University Press.
- Rocha, G.S., 2021 : *A ilha de calor entre mares: a área conurbada de Florianópolis-SC*. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

ÉTUDE COMPARATIVE DE LOGICIELS DE SIMULATION DU MICROCLIMAT À USAGE GRATUIT POUR LE CONFORT THERMIQUE EN MILIEU URBAIN

Chaimaa DELASSE^{1,2}, Rafika HAJJI², Tania LANDES¹, Hélène MACHER¹,
Pierre KASTENDEUCH³, Georges NAJJAR³, Vincent LECOMTE¹

1. Université de Strasbourg, CNRS, Laboratoire ICUBE UMR 7357, INSA Strasbourg, 24 Boulevard de la victoire, 67000 Strasbourg. Courriels : (chaimaa.delasse; tania.landes; helene.macher; vincent.lecomte)@insa-strasbourg.fr

2. Ecole des Sciences Géomatiques et de l'Ingénierie Topographique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Madinat Al Irfane, Avenue Allal El Fassi, 6202 Rabat. Courriel : r.hajji@iav.ac.ma

3. Université de Strasbourg, CNRS, Laboratoire ICUBE UMR 7357, Faculté de Géographie et d'Aménagement, 3 Rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg. Courriels : (kasten; georges.najjar)@unistra.fr

A comparative study of free-to-use microclimate simulation software for thermal comfort in urban environments

Mots-clés : confort thermique, microclimat urbain, logiciel à usage gratuit

Keywords: thermal comfort, urban microclimate, free-to-use software

Introduction

Les environnements urbains sont des espaces dynamiques qui ont un impact direct sur le bien-être et le confort de leurs habitants. Alors que les villes continuent de faire face aux défis du changement climatique, il est devenu crucial d'adopter une approche durable de la planification urbaine. Les outils de simulation numérique validés permettent d'obtenir des informations quantitatives précieuses sur différents scénarios d'aménagement sans qu'il soit nécessaire de procéder à des interventions physiques. Dans ce sens, les modèles microclimatiques peuvent être utilisés pour simuler le confort thermique, en tenant compte des conditions météorologiques, de la présence des bâtiments et de la végétation. Toutefois, dans les régions où les ressources sont limitées, l'accès à des outils de simulation puissants reste restreint. La disponibilité de logiciels gratuits élargit l'accès à des simulations éprouvées et facilite leur partage avec la communauté, aussi bien scientifique que territoriale, démocratisant ainsi la participation à la création d'espaces urbains confortables. Dans cet article, nous analysons les caractéristiques, les limitations et les applications pratiques d'outils gratuits et disponibles, développés pour la simulation du confort thermique dans des environnements urbains. Une étude comparative utilisant trois des modèles sélectionnés sera réalisée afin de simuler le confort thermique pour un site situé à Strasbourg, en France. Les résultats seront comparés aux données collectées durant l'été 2023 dans le cadre du projet ANR TIR4sTREEt.

1. Aperçu des outils sélectionnés

Une présélection de 146 articles évalués par des pairs, dont 18 *reviews*, a d'abord été effectuée à partir des mots clés suivants : « urban », « microclimate », « outdoor », « thermal comfort », « simulation », « software » ou « tool » ou « model ». Elle a ensuite été réduite sur la base des critères de disponibilité, d'actualité (date de dernière publication, nombre de citations), de gratuité, d'échelle de modélisation, de présence d'une interface utilisateur (expérience pratique pour les utilisateurs non spécialisés), de prise en compte de la végétation (elle joue un rôle principal à travers les effets d'ombrage et d'évapotranspiration), et de validation du modèle par rapport à des mesures expérimentales (pour garantir sa fiabilité). La micro-échelle (< 2 km) a été choisie car jugée la plus adéquate pour simuler les processus météorologiques dans les environnements urbains (Kastendeuch *et al.*, 2017). À cet effet, les quatre modèles ci-dessous ont été retenus.

- SkyHelios est un modèle initialement développé pour le calcul de la fraction de ciel visible ou SVF (*Sky View Factor*) et capable de simuler la température moyenne radiante (T_{mrt}), ainsi qu'une sélection d'indices de confort thermique (Matzarakis *et al.*, 2021).

- LASER/F (*LAtent SEnsible Radiation Fluxes*) est un modèle physique thermoradiatif capable de simuler les bilans radiatifs dans des environnements urbains complexes à haute résolution (Kastendeuch *et al.*, 2017).

- RayMan Pro (*RAdiation on the huMAN body*) est un modèle unidimensionnel développé pour calculer les flux de rayonnement dans des environnements simples et complexes (Matzarakis *et al.*, 2021).

- SOLWEIG (*Solar LongWave Environmental Irradiance Geometry*) est un modèle de rayonnement estimant les variations spatiales à haute résolution des flux de rayonnement 3D et de la T_{mrt} . Il est disponible dans un plugin QGIS intitulé UMEP (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*) (Lindberg *et al.*, 2008).

Le Tableau 1 présente quelques propriétés des logiciels sélectionnés.

Tableau 1. Brève présentation des quatre logiciels sélectionnés.

Modèle	Formats en entrée	Indices calculés	Liaisons	Avantage principal	Formats d'export	Logiciel libre ?
SkyHelios (Allemagne)	Raster (.csv, .txt, etc.) Vecteur (.shp, .dae, etc.)	- UTCI - PET - PT	CAO SIG	Plusieurs formats spatiaux ; Calcul rapide et robuste du SVF	Multiples (.csv, .txt, etc.)	Non
LASER/F (France)	Format propriétaire (.geo)	- UTCI - PET - SET* - PMV	SIG	LOD (<i>Level Of Detail</i>) géométrique 3	.csv .vtk	Non
RayMan Pro (Allemagne)	Raster (.bmp, etc.) Format propriétaire (.obs)	- UTCI - PET, mPET - SET* - PT, PMV	SIG	Large éventail d'indices calculés ; Haute résolution temporelle	Multiples (.txt, etc.)	Non
SOLWEIG (Suède)	Raster (.txt, .tif, etc.) Vecteur (.shp, .geojson, etc.)	- UTCI - PET	SIG	Calcul robuste de la T _{mrt} pour de faibles angles d'élévation du soleil	Multiples (csv, png, etc.)	Oui

2. Inter-comparaison des modèles sélectionnés

L'étude comparative utilisera un modèle numérique 3D réalisé sur la base d'un relevé lasergrammétrique du site d'étude. Celui-ci sera adapté aux différents formats d'entrée des logiciels sélectionnés. Des mesures environnementales telles que la vitesse du vent, l'humidité relative, le rayonnement global et le flux de sève ont été effectuées sur le site d'étude durant l'été 2023. Des données de température de surface ont également été acquises grâce à des caméras thermiques et à des thermoboutons fixés sur les façades. Enfin, un système mobile composé de caméras RVB (Rouge Vert Bleu) et d'une caméra thermique a été spécialement conçu. Les résultats simulés de la T_{mrt} seront comparés et validés sur la base de ces données expérimentales. Les tendances, les écarts et la sensibilité aux conditions générales de simulation, entre autres, pourront alors être observés et analysés.

Conclusion

Cette étude se concentre sur le potentiel, les exigences et les limites des logiciels de simulation du microclimat urbain disponibles et à usage gratuit. Elle peut servir de référence aux chercheurs et aux urbanistes pour sélectionner la solution logicielle la plus adaptée à leur application, effectuer des développements complémentaires lorsque l'outil est ouvert, et réaliser des tests en limitant les frais liés à une licence commerciale.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier le PHC TOUBKAL (TOUBKAL 48579TJ) pour son soutien financier ainsi que TIR4sTREEt (ANR- 21 CE 22 0021) pour la mise à disposition de sa base de données.

Bibliographie

- Kastendeuch P.P., Najjar G., Colin J., 2017 : Thermo-radiative simulation of an urban district with LASER/F. *Urban Clim.* **21**, 43–65.
- Lindberg F., Holmer B., Thorsson S., 2008 : SOLWEIG 1.0—Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 697–713.
- Matzarakis A., Gangwisch M., Fröhlich D., 2021 : RayMan and SkyHelios Model, in: Palme, M., Salvati, A. (Eds.), *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*. Springer International Publishing, Cham, pp. 339–361.

CALCUL DES MATRICES D'ATTITUDES AVEC DES FORÇAGES LIÉS AUX DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES : APPLICATIONS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS L'ACTUALISATION DES DONNÉES

Claudio DI FLORIO¹, Antonio CARDILLO¹, Valerio ESPOSITO¹, Fazzini MASSIMILIANO²

1. ARPES srl – Via Santo Spirito 22/c, Isernia, Italy, c.diflorio@arpes.it; antonio.cardillo@arpes.it, valerio.esposito@arpes.it

2. Université de Camerino (MC) – URDIS – Lungomare Sciponi, 6, San Benedetto del Tronto, massimiliano.fazzini@unicam.it (auteur correspondant)

Calculation of attitude matrices with forcings linked to weather and climate data: applications of artificial intelligence in data updating

Mots-clés : agriculture de précision, météo-climatologie locale, statistiques, intelligence artificielle

Keywords: Precision agriculture, local meteo-climatology, statistics, artificial intelligence

Introduction

Les prévisions météorologiques et climatiques constituent un outil essentiel pour la prise de décision individuelle à la planification du travail à différentes échelles. Dans une phase historique caractérisée par un intense forçage climatique, avec des conséquences évidentes sur les différents milieux physiques et productifs, il est fondamental d'évaluer les variations résultant du changement climatique à l'échelle locale dans les domaines agricoles. Le concept d'informatique cognitive imite le processus de pensée humaine. Il en résulte une technologie de l'agriculture alimentée par l'IA, qui rend son interprétation, l'acquisition et la réaction à différentes situations (sur la base de l'apprentissage acquis) afin d'améliorer l'efficacité. L'IA permet d'interpréter, d'acquérir et de réagir à différentes situations (sur la base de l'apprentissage acquis) afin d'améliorer l'efficacité des outils. Pour obtenir des avantages de l'IA sur le terrain, les agriculteurs ont accès à des solutions par le biais de plateformes, telles que chatter bot (Dharmaraj and Vijayanand, 2018). Dans cette proposition de recherche, qui en est encore au stade expérimental et qui est menée par ARPES en collaboration avec le CNR (Conseil national de la recherche), un modèle de prévision météorologique à l'échelle locale (LAM) est développé. Il vise à améliorer la production agricole de précision, dans un environnement complexe (ex : topographie accidentée, ...), caractérisé par une multitude de situations météorologiques et climatiques extrêmement diversifiées, même à de courtes distances spatiales et altitudinales.

Méthode

Cette recherche se caractérise par l'application de solutions innovantes en agriculture de précision pour l'estimation des valeurs de température (T) et de précipitations (P) et la spatialisation relative des données observées par le biais des techniques de régression multivariées et de *cluster analyse* et, finalement, d'applications ultérieures avec des logiques d'intelligence artificielle (IA) de soutien (Pierre *et al.*, 2023). Dans un *parcours* de réalisation d'une plateforme web appelée NOVATELLUS, un algorithme d'application a été développé pour la représentation et l'analyse de la distribution spatiale des données T et P surveillées par les stations de terrain (Fig. 1 A et B). Il convient de noter que le modèle prévoit de nombreux niveaux altimétriques prévisionnels limités, toutefois, aux altitudes maximales qui peuvent être consacrées aux différentes actuelles cultures (on ne dépassant pas 1200 mètres d'altitude) et à celles qui, en fonction des simulations climatiques à moyen et long terme, pourraient éventuellement apparaître et se développer sur le même territoire physique national.

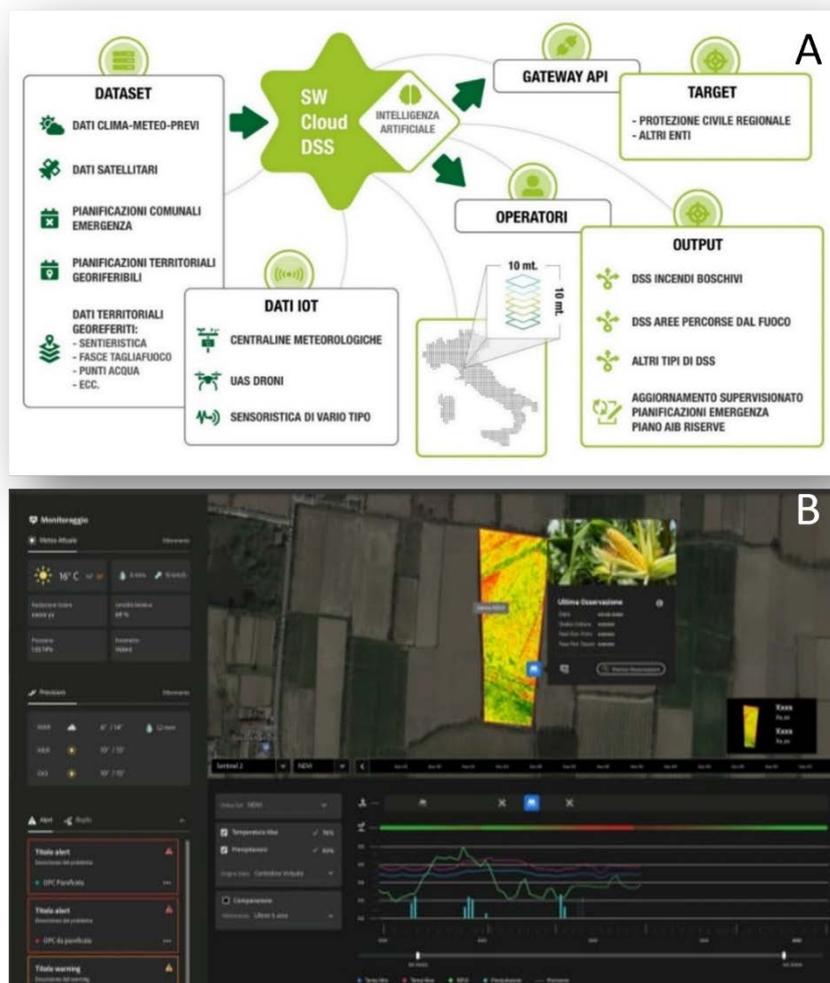


Figure 1. Aperçu synoptique de la plateforme Novatellus (A) et exemple de screenshot de la dashboard « novatellus » dans la section « surveillance » (B)

Conclusion

La nouveauté apportée par ce système opérationnel d'aide à la décision dans le domaine agricole se retrouve dans la structure des entrées, et plus particulièrement dans la création et la gestion de jeux de données permettant l'élaboration d'algorithmes spécifiques d'aide à la décision. D'autres projets et plateformes mettent les données à disposition de l'utilisateur, de manière organisée, mais ne proposent pas d'alertes ni d'aide à la décision proactive. La plateforme NOVATELLUS permet d'accompagner l'agriculteur dans chaque étape de la décision opérationnelle et propose notamment des seuils d'alerte basés sur des données climatologiques ou des expériences enregistrées, avec l'appui de modèles d'intelligence artificielle. L'accompagnement proposé est davantage axé sur l'apport des expériences, de l'histoire des opérations culturales et de la climatologie à l'échelle locale.

Bibliographie

- Dharmaraj, V., and C. Vijayanand., 2018: Artificial intelligence (AI) in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **7.12 (2018)**: 2122-2128.
- Cantat O., Savouret E. et Brunet L., 2009 : Les anémomorphoses végétales. *Climatologie*, **6**, 9-31.
- Pierre, N., Ishimwe Viviane, I. V., Lambert, U., Shadrack, I., Erneste, B., Schadrack, N., Alexis, N., Francois, K., & Theogene, H., 2023: AI Based Real-Time Weather Condition Prediction with Optimized Agricultural Resources. *European Journal of Technology*, **7(2)**, 36 - 49. <https://doi.org/10.47672/ejt.1496>

SPATIAL ANALYSIS OF LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) AND ITS RELATIONSHIP WITH THE URBAN MORPHOLOGY OF THE CITY OF OLINDA, PERNAMBUCO, BRAZIL

Cristiana C. DUARTE¹, Ariadne F. F. VIEIRA², Tamires G. L. MENDES³, Taynã M. P. LINS³, Ayobami B. MOREIRA⁴

1. Department of Geographic Sciences at the Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, Brazil, cristiana.duarte@ufpe.br

2. Geography degree course at the Federal University of Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, Brazil, ariadne.vieira@ufpe.br

3. Postgraduate Program in Geography at the Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, Pernambuco, Brazil, tamires.lmendes@ufpe.br; tayna.lins@ufpe.br

4. Chair of Environmental Meteorology, Faculty of Environment and Natural Resources, University of Freiburg, Freiburg, Germany, ayo.badiru@hotmail.com

Analyse spatiale de la température de surface du sol (tss) et sa relation avec la morphologie urbaine de la ville d'Olinda, Pernambuco, Brésil

Mots-clés : champ thermique, télédétection, climat urbain, Olinda

Keywords: Thermal Field, Remote Sensing, Urban Climate, Olinda

Introduction

Urban Climate results from the interaction of urban factors with the regional climate and the pre-existing physical environment (Moreira *et al.*, 2023). Changes in the urban landscape, as well as in global temperature, lead to changes in the climatic patterns of cities. One of the main reflections of climate change in the urban environment is the increase in areas susceptible to Heat Islands. Thus, the Urban Heat Island has the potential to become one of the biggest problems associated with urbanization and industrialization, as the increase in temperature tends to increase the risks for human health (Manik and Syaikat, 2017).

This work aims to analyze the spatial variability of the land surface temperature of the municipality of Olinda, Pernambuco, Brazil, and its relationship with the urban morphology (coverage and structure) in order to identify the relationship between the urban landscape and the associated thermal field. Unbridled urbanization in Olinda has led to changes in the landscape, improper land use, alterations in drainage systems, and an increasing pace of vertical construction.

The municipality of Olinda is situated in the Metropolitan Region of Recife, on the coast of the state of Pernambuco, Brazil. With a population of 349,976, with 96% of the urbanized area, according to the 2022 Demographic Census, the municipality is the seventh most populous in the state of Pernambuco. Due to its location on the eastern coast of Brazil, the municipality of Olinda maintains monthly average temperatures above 18°C, low temperature variation, high relative humidity, and abundant precipitation throughout the year, which determines its climatic classification. According to Köppen Geiger (1961), it is classified as hot and humid tropical climate (As').

1. Methodology

The methodological procedures of this study are linked to the mapping of the urban morphology of the municipality of Olinda, represented by the land cover and the vertical structure of the landscape elements, as well as the spatial delineation of the surface temperatures, culminating in the analysis of the interaction between the urban space and the associated surface thermal field. On this occasion, the mapping of surface cover aimed to delineate the classes of built-up, vegetated, or water surfaces through the calculation of vegetation indices (NDVI Normalized Difference Vegetation Index) from bands 4 and 8 of the Sentinel-2 satellite images dated 23/03/2023 with a resolution of 10 meters. The characterization of the surface structure considered the vertical attribute of the surface in question, which interferes with the flow of wind and consequently the transport of atmospheric heat. For this purpose, Digital Terrain Models (DTM) and Surface Models (DSM) were used, obtained from LIDAR (Light Detection and Ranging) data, with 1 meter of spatial resolution. Finally, the surface temperature was estimated from the satellite images of the SLSTR sensor of the Sentinel-3 mission, made freely available by the European Space Agency. Two images from the same day, 23/03/2023, were obtained, pertaining to the night (00h) and daytime (12h) periods.

2. Results

As a result of processing the images, it was found that the municipality still has an extensive rural area to the west with dense vegetation on dissected hills and vegetation cover distributed throughout the municipality, occupying 48.5% of its total area (Table 1). Built surfaces occupy 51.5% of the area, mainly horizontal surfaces up to 6 meters in height. The verticalized areas are concentrated in the Casa Caiada neighborhood, in the northeastern part of Olinda.

Table 1. Classes of coverage and structure defined for the municipality of Olinda, Pernambuco, Brazil.

Classes	Subclass criteria	% of built-up area
1 Vegetation cover (VC)	-	48.5
1.1 VC ground-level	Up to 1.5 meters	1
1.2 VC shrubby	Between 1.51 and 3.00 meters	5.5
1.3 VC arboreal	Above 3.01 meters	27
2. Built-Up surface (BS)	-	51.5
2.1 BS exposed soil	Up to 1 meter	16.7
2.2 BS horizontal	From 1 to 6 meters	25.5
2.3 BS medium	From 6.1 to 20 meters	9
2.4 BS vertical	Above 20 meters	0.3

Analyzing the two images from the Sentinel-3 Satellite, a concentration of the highest temperatures was noticed on the east coast during the nighttime, linked to the slow process of heat loss by nocturnal radiation over these areas, whereas during the daytime there was a greater concentration of high LST values in the southwestern part of the city, in the Recife-Olinda conurbation area. Additionally, it was observed in both periods that there is a central strip from southeast to northwest with lower LST compared to the other pixels estimated on the date of analysis, related to two factors: the positioning of the relief, capturing winds and moisture from the action of the Intertropical Convergence Zone, active in the month of March, and the action of sea breezes during the daytime channeled by the Fragoso river entering the municipality. On the other hand, the southeastern portion of the municipality is located on the windward side and in a densely occupied area with little vegetation. This portion still showed high LSTs, being the most susceptible area to surface heat islands of the municipality, composed of the neighborhoods of Peixinhos, Vila Popular, and Jardim Brasil, areas with little or no vegetation cover, impermeable terrain, and Very High Social Vulnerability (Costa and Marguti, 2015).

Conclusion

The different features of Olinda's intraurban space, associated with its topography, generate processes with distinct intensities of surface heating, which interact with the atmosphere of the urban canopy layer. This interaction between surface temperature and the atmosphere of the urban canopy layer impacts the population as one of the variables responsible for thermal comfort perception, which varies according to the sensitivity of at-risk groups such as the elderly, children, and outdoor workers. For this reason, this study was important in identifying areas in cities most susceptible to high LST values, supporting future research aimed at investigating in more detail the other variables related to both environmental thermal comfort and the population's climate vulnerability.

Acknowledgements: The Government of the State of Pernambuco and the Secretariat of Development Economic for the availability of LIDAR data from PE3D project and to CNPq for the Scientific Initiation scholarship of one of the authors.

Bibliography

- Costa, M. A.; Marguti, B. O., 2015 : Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros. IPEA, 77 pages.
- Moreira, A.B.; Duarte, C.C.; Matzarakis, A., 2023 : A Review of Urban Heat Studies in Recife—PE (Brazil): Urban Heat Scales, Landscape Inequalities and Future Perspectives. *Atmosphere*, 14, 1-17.
- Manik, T.; Syukat, S., 2017 : Comparative Vulnerability Assessment of Urban Heat Islands in Two Tropical Cities in Indonesia. *British Journal of Environment and Climate Change*, 7, 119-134.

QUELLES FRÉQUENCES ET INTENSITÉS DES ÎLOTS DE CHALEUR DANS UNE PETITE VILLE ? LE CAS DE VITRÉ, FRANCE, EN 2022

Vincent DUBREUIL¹, Marion DELIDAI², Florian CHASSAGNE¹, Annabelle LAMY³,
Charlotte BRABANT¹

1. Université Rennes 2, LETG, UMR 6554 CNRS, Place du Recteur H.Le Moal, 35000 Rennes, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr, charlotte.brabant@univ-rennes2.fr, florianchassagne49@gmail.com

2. AIRBREIZH, 3 rue du Bosphore 35200 Rennes, mdelidais@airbreizh.asso.fr

3. Vitré Communauté, 87 bis boulevard des Rochers - 35500 Vitré, a.lamy@vitrecommunaute.org

What frequencies and intensities of Urban Heat Islands in a small town? The case of Vitré, France

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, Bretagne, LCZ

Keywords: Urban Heat Island, Brittany, LCZ.

Introduction

L'objectif de cette étude est de documenter le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) dans une petite ville de la France de l'Ouest. En effet, si les ICU sont bien connus et ont fait l'objet de nombreuses études pour les grandes villes ou les grandes métropoles régionales comme Rennes (Dubreuil *et al.*, 2020), les villes plus modestes ont peu retenu l'attention des chercheurs. La loi établie entre la taille de la ville et l'intensité de l'ICU (Oke *et al.*, 2017) reste finalement assez théorique car peu d'études viennent documenter ce phénomène. Pourtant, en France, les PCAET (Plan Climat Air Energie Territorial) sont obligatoires pour les collectivités de plus de 20 000 habitants, un seuil bien inférieur à celui choisi pour mener des campagnes de mesures par beaucoup d'équipes et municipalités.

1. Zone d'études, données et méthodes

Le territoire d'étude est situé à l'est de la Bretagne une région de climat tempéré océanique marqué par des températures douces (6° en janvier, 18° en juillet) et des précipitations réparties en moyenne sur toute l'année. La ville de Vitré compte un peu plus de 18.000 habitants (81.000 pour la communauté de communes) et juxtapose un centre historique dense, des quartiers pavillonnaires très étendus ainsi que d'importantes zones artisanales et commerciales. Pour étudier l'ICU vitréen, un réseau de 33 stations a été déployé : 7 stations Davis Instruments et 26 capteurs de températures autonomes installés à 3 mètres de hauteur sur des mats d'éclairage ont collecté des données horaires entre avril 2021 et novembre 2023. Seules les données de l'année complète 2022 sont analysées ici.

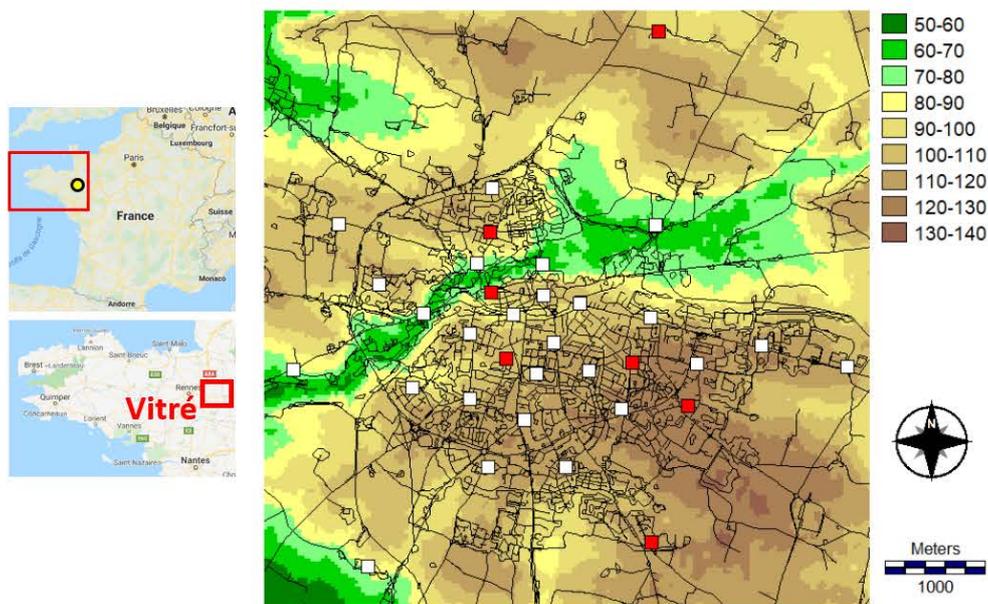


Figure 1. Localisation des capteurs dans la zone d'étude. Altitude en mètres (plages de couleurs), routes en noir. Stations Davis en rouge et capteurs autonomes de température en blanc.

2. Résultats

Une première série de mesures (Delidais *et al.*, 2022) avait permis d'observer en 2021 la présence d'ICU supérieures à 2 degrés et parfois davantage en fonction des types de quartiers. L'année 2022 analysée ici a été plus favorable à la formation des ICU du fait d'un été chaud et sec permettant à la ville d'accumuler de la chaleur pendant la journée et la restituer pendant la nuit. Le développement de l'ICU à Vitré pendant la nuit et la saison chaude (surtout de mars à septembre) est bien représenté sur la figure 2. Le mois de juillet 2022 a été particulièrement remarquable avec un ICU moyen nocturne supérieur à 1,5° et plusieurs situations à plus de 3 degrés d'écart en moyenne entre les stations rurales et urbaines.

L'analyse spatiale des situations de fort ICU montre des contrastes entre les points de mesures encore plus marqués. Un premier gradient, classique, oppose les stations du centre-ville (5 nuits tropicales, moins de 20 jours de gel en 2022) à celles de la périphérie rurale n'ayant connu qu'une à deux nuits tropicales (minimale supérieure à 20°C), 25 à 30 jours de gel (minimale inférieure à 0°C). On observe aussi fréquemment un ICU plus marqué sur les quartiers sud de la ville (jusqu'à 8 nuits tropicales) dans les secteurs des grandes zones artisanales et commerciales : l'occupation du sol (peu d'arbres, beaucoup de surfaces imperméables) et la position sous le vent (dominant d'est-nord-est lors de ces situations) peuvent l'expliquer. Une dernière caractéristique à souligner est la présence de secteurs froids très marqués correspondant à la vallée de la Vilaine : les nuits tropicales y sont absentes en 2022 et le nombre de jours de gel dépasse 40 ! Dans certains cas extrêmes, l'écart de température instantané entre les stations de mesures atteint même 10 degrés !

Moy	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	MOY	
janv.	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	
févr.	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
mars	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
avr.	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	0.8	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1
mai	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	0.7	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.6	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.0
juin	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	0.9
juil.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.3	1.5	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	0.9
août	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	0.8	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.8
sept.	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	0.8
oct.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
nov.	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
déc.	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
AN	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8

Figure 2. Intensité de l'îlot de chaleur à Vitré en 2022 : différence moyenne horaire et mensuelle entre la station de référence urbaine et la station rurale.

Conclusion

Le phénomène d'îlot de chaleur est donc bien présent dans une ville de taille modeste comme celle de Vitré même si son intensité moyenne est inférieure à sa grande voisine rennais. Les contrastes topographiques plus forts à Vitré génèrent cependant des différences au moins aussi marquées entre les différents quartiers modulant fortement les facteurs d'occupation des sols. Le fort refroidissement provoqué par la vallée de la Vilaine, génère ainsi une oasis de fraîcheur à proximité immédiate du centre-ville.

Remerciements : Les auteurs remercient Vitré Communauté pour le financement de l'étude ainsi que l'ensemble des personnes qui ont permis l'installation des stations et capteurs sur leurs propriétés.

Bibliographie

- Delidais M., Dubreuil V., Lecuyer P., Lamy A., Delaunay G., Brabant C., 2022 : Étude de l'îlot de chaleur urbain à Vitré (35), approche par modélisation de l'occupation des sols et mesures de terrain. *Actes du 35e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Toulouse, 6p. <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2022/aic/>
- Dubreuil V., Foissard X., Nabucet J., Thomas A., Quenol H., 2020 : Fréquence et intensité des îlots de chaleur à Rennes : bilan de 16 années d'observations (2004-2019). *Climatologie*, 17, 1-17.
- Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A., 2017 : *Urban Climates*. Cambridge University Press. 526 pages.

DÉTERMINATION DES CIRCULATIONS ATMOSPHÉRIQUES PROPICES AUX FORTES CHALEURS ESTIVALES SUR LA CÔTE D'AZUR

Lolita DUGUÉ

| UMR ESPACE, Université Nice Côte d'Azur, MNCA, ADEME, lolita.dugue@ctu.univ-cotedazur.fr

Determination of atmospheric circulation patterns causing high temperatures in the South-East of France between June and September: Case of the french Côte d'Azur

Mots-clés : réanalyses, champs atmosphériques, classification, vagues de chaleur

Keywords: Reanalysis, Atmospheric fields, Clustering, Heat waves

Introduction

Haut lieu du tourisme, et profitant d'une économie résidentielle florissante, la Côte d'Azur (CAZ) ne connaît pas de réel déclin saisonnier de la population depuis l'essor de son tourisme dans les années 1950 (Gay, 2017). Qu'en sera-t-il lorsque les vagues de chaleur s'étendront dans la saison ou deviendront la norme estivale ? Entre perception et réalité, où se situe la vérité météorologique de ces dernières décennies pour les mois de juin à septembre ?

Bien que le ressenti d'un inconfort thermique soit unanime et que l'utilisation de procédés adaptatifs soit nécessaire, la mise en application de solutions nécessite dans un premier temps de passer par l'élaboration de base de données regroupant notamment les historiques de températures mesurées par les stations météorologiques. Ces bases de données constituent la matrice nécessaire pour la manipulation d'outils statistiques permettant de tirer des conclusions sur l'évolution des températures. L'utilisation en parallèle des champs de réanalyses d'échelle synoptique ajoute des informations donnant la possibilité d'entrecroiser les échelles et de prendre ainsi en compte d'éventuels changements dans les régimes de circulation. À l'aide de ces deux bases de données, il est ainsi possible de réaliser des séquences météorologiques, de les caractériser, de les associer et donc de cibler les conditions atmosphériques propices aux vagues de chaleur.

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) a statué sur le fait que le changement climatique est global (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). Pour autant, certains lieux connaissent un changement plus accentué, tels que la CAZ, zone d'étude des travaux présentés dans cet article (Marty *et al.*, 2018 ; Masson-Delmotte *et al.*, 2021). La région possède une concentration démographique non seulement élevée, mais aussi vieillissante (Insee, 2023). De ce fait, une augmentation de la fréquence d'apparition des vagues de chaleur interroge quant aux enjeux de santé quelles pourraient occasionner, mais aussi vis-à-vis d'autres problématiques (tourisme, écologie, économie) susceptibles d'émerger (Arkadiusz, 2017). Cela amène donc les autorités locales à soutenir des études climatiques quantitatives afin d'en savoir davantage sur l'avenir du territoire.

En ce sens, et pour répondre aux problématiques énumérées, la ligne directrice de cette étude consiste à identifier des types de circulations atmosphériques propices à l'apparition de jours particulièrement chauds pour la zone d'étude et qui seront ciblés ultérieurement selon une classification opérée à partir de données mesurées par un ensemble de stations. Il s'agira également de caractériser pour les classes de circulations atmosphériques et les données météorologiques, leurs fréquences d'apparitions et leur évolution pour les dernières décennies, s'étalant de 1950 à 2020 pour la saison estivale entre juin et septembre.

1. Méthodes d'obtention des circulations atmosphériques associées aux températures

Afin de cibler les champs de réanalyses les plus explicatifs aux observations des températures et donc rendre la classification d'autant plus efficace, des tests de corrélations ont été effectués. Ces tests ont été menés entre les températures maximales (Tx) provenant de huit stations Météo-France de la CAZ et les réanalyses ERA5 issues du centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF). Une fois les champs sélectionnés il s'agit de les extraire selon une maille (20° Sud, 60° Nord, 40° Ouest, 30° Est) avec des espacements conservés tous les 25 km aux environs de la zone d'étude, mais qui ont été étendus à tous les 150 km pour la fenêtre considérée. Ensuite, une Analyse en Composante Principale (ACP), a été menée sur chacun des paramètres atmosphériques, afin de réduire le volume de données et le bruit statistique qui en découle. La classification minimisant les écarts avec l'observation a été obtenue en conservant 90% de la variance cumulée lors de l'ACP, méthode que les auteurs Martin et Saintignon (1974) ont appuyée. Enfin, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été conduite sur le résultat de l'ACP. La coupure de l'arbre de classification est obtenue selon le dernier saut d'inertie observé. Il en découle alors une classification quotidienne de la circulation

atmosphérique en six classes (dont une des classes s'associe aux fortes températures enregistrées sur la CAZ), pour une période allant de 1950 à 2020 et pour une saisonnalité s'étalant de juin à septembre.

2. Résultats

La production des configurations moyennes à partir des données observées, en plus d'aider à déterminer les patterns atmosphériques propices aux vagues de chaleur et à l'apparition des jours chauds permet de valider la robustesse de la CAH réalisée à partir des champs de réanalyses et ainsi sa capacité à se rapprocher le plus possible des configurations réelles. Comme évoqué dans le paragraphe précédent, une des six classes synoptiques obtenues s'associe aux fortes températures enregistrées par le réseau de mesure. Cette classe est concernée par un flux de Sud-Ouest anticyclonique, comme l'illustre la figure 1, qui représente la valeur du géopotential à 500 hPa. Lorsqu'il s'agit de s'intéresser aux valeurs présentes sur la zone d'étude, il apparaît que le différentiel entre la configuration issue des observations des fortes températures (carte de gauche) et celle provenant de la CAH (carte de droite) est faible. Cela montre la réussite de la CAH à reproduire les configurations moyennes en places lors des jours chauds mesurés par les stations Météo France. L'avantage de la CAH produite est qu'elle permet le calcul de l'évolution de la fréquence annuelle du flux de Sud-Ouest anticyclonique de 1950 à 2020. Le test de Mann-Kendal confirme une hausse de cette classe de circulation. En résumé cela indique que les conditions atmosphériques favorables aux jours chauds connaissent une augmentation de leurs fréquences d'apparitions lors de la saison estivale.

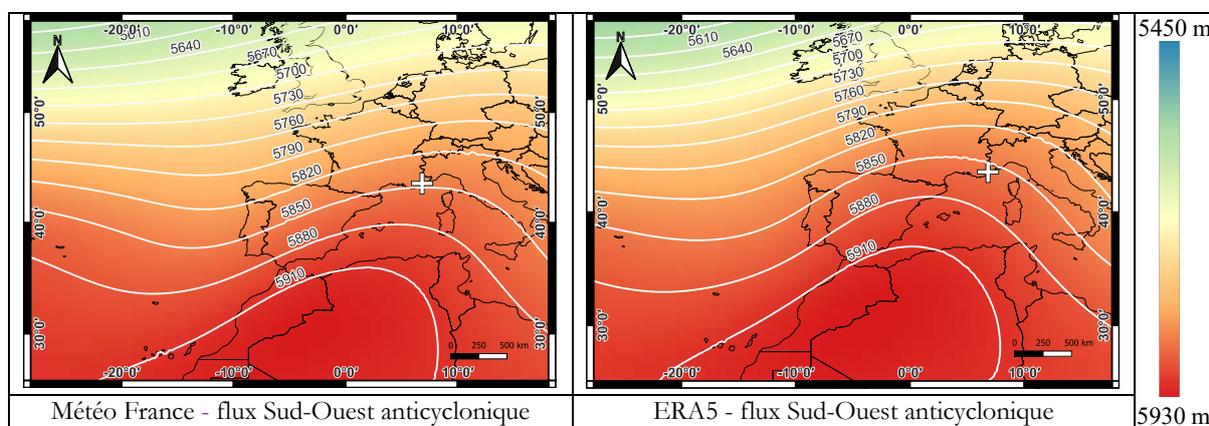


Figure 1. Configurations moyennes pour JJAS du géopotential à 500 hPa.

Sources : Météo France et ECMWF, réalisation : Dugué, 2023.

Conclusion

En définitive, la robustesse la classification ERA5 a pu être confirmée par comparaison avec des valeurs observées. Sans surprise, c'est une dorsale anticyclonique marquée avec un flux Sud-Ouest qui caractérise la classe liée aux jours très chauds. Une tendance à la hausse des circulations de Sud-Ouest anticyclonique a été remarquée. Ces résultats indiquent que désormais la saison estivale se caractérise davantage par des conditions anticycloniques et des températures plus élevées. Certains constats émis par le rapport du GIEC laissent envisager que ces augmentations résulteraient d'une dilatation latitudinale de la cellule de Hadley entraînant par conséquent un déplacement des centres d'action et des tempêtes extratropicales.

Bibliographie

- Gay J.-C., 2017 : La Côte d'Azur, jalon majeur de l'histoire du tourisme. Ellipses.
- Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B., 2021 : IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Marty P., Vennetier M., Lemaire J., Poncet M., Perri H., 2018 : Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques : le cas du pin sylvestre en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport de recherche 83.
- Arkadiusz M., 2017 : Effet des conditions de circulation sur l'occurrence des vagues de chaleur en Europe de l'Ouest et du Sud-Ouest. Atmosphère.
- Insee, 2023 : RP2009, RP2014 et RP2020, exploitations principales, géographie au 01/01/2023.
- Martin S., Saintignon M., 1974 : Application de l'analyse factorielle en composantes principales à l'étude de la variabilité régionale et interannuelle des précipitations

MESURES ET DONNÉES SATELLITAIRES POUR L'ÉTUDE DE LA NEIGE DANS LE HAUT BASSIN DE L'OUUM ER RBIA - MAROC

Tarik EL ORFI^{1,2}, Mohamed EL GHACHI², Sébastien LEBAUT³, Ionel HAIDU³

1. Laboratoire DPRP, USMS - Maroc, et Centre de Recherche LOTERR, Université de Lorraine - France, elorfitarik@gmail.com

2. Laboratoire DPRP, USMS - Maroc, elghachi_mohamed@yahoo.fr

3. Unité de Recherche LOTERR, Université de Lorraine - France, sebastien.lebaut@univ-lorraine.fr, ionel.haidu@univ-lorraine.fr

Measurements and satellite data for the study of snow in the upper Oum Er Rbia basin - Morocco

Mots-clés : densité de la neige, couverture neigeuse, MOD10A, Oum Er Rbia

Keywords: Snow density, Snow cover, MOD10A, Oum Er Rbia

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, la couverture neigeuse revêt une importance cruciale en tant que source essentielle d'eau pour la croissance végétale (Sa *et al.*, 2021), l'alimentation des cours d'eau, la recharge des nappes souterraines (Baba, 2018) et l'approvisionnement en eau des populations (Boudhar, 2010). Cependant, dans le Haut Bassin de l'Oum Er Rbia « HaB-OER », l'origine de l'une des artères hydrographiques du Maroc, l'état du manteau neigeux demeure mal connu en raison de l'absence totale de mesures in situ. Néanmoins, les progrès récents de la télédétection offrent des solutions prometteuses pour pallier ce manque de données.

1. Données et méthode

1.1. Données satellitaires

Parmi les produits satellitaires sur la neige, MODIS présente l'avantage d'une résolution spatiale fine, à 500 m, et propose des produits validés tels que le MOD10A (Fugazza *et al.*, 2021). Le produit MOD10A1 et le produit MOD10A2 présentent une résolution spatiale similaire, mais se distinguent par leur résolution temporelle. En effet, le produit de couverture neigeuse MOD10A1 propose une résolution journalière, tandis que le produit MOD10A2 offre une résolution de 8 jours (Hall & Riggs, 2016). De nombreuses études sur la cartographie et la dynamique de la couverture neigeuse ont été menées avec succès à partir de ces produits (Calizaya *et al.*, 2023). Afin d'analyser la dynamique de la couverture neigeuse dans le HaB-OER, 4200 images MOD10A1 et 530 images MOD10A2 ont été téléchargées à partir de la plateforme <https://www.earthdata.nasa.gov>. Cette démarche a permis de générer une série de données sur la couverture neigeuse sur une période de 20 ans, allant de 2000-01 à 2020-21.

1.2. Monitoring pour la mesure des principales propriétés de la neige

Les produits MOD10 fournissent des données relatives à la couverture neigeuse, mais ne permettent pas d'estimer directement son équivalent en eau. Afin d'examiner cette couverture en tant que ressource en eau, il est indispensable de prendre en compte d'autres paramètres tels que la densité de la neige, l'épaisseur de la neige, et la fonte de la neige (Boudhar, 2010), autant de paramètres que la télédétection ne fournit pas. C'est pourquoi il est nécessaire de collecter in situ des données précises sur les propriétés de la neige. Malgré les défis logistiques rencontrés lors des campagnes sur le terrain, cette combinaison de données satellitaires et de mesures in situ s'est avérée essentielle pour évaluer l'équivalent en eau de la neige dans le HaB-OER.

2. Résultats

La période favorable aux chutes de neige dans le HaB-OER s'étend de novembre à mars, avec un maximum enregistré en décembre, janvier et février. En moyenne, le mois de janvier présente le plus grand taux d'enneigement, atteignant environ 41%, suivi de février à 32% et décembre à 27%. À l'échelle annuelle, la moyenne de la couverture neigeuse entre 2000-01 et 2020-21 représente environ 24%, tandis que la moyenne des jours enneigés est de 40 jours. Il est à noter que le HaB-OER a connu une tendance à la baisse du nombre de jours enneigés, avec une diminution d'environ 1 jour/an sur la période allant de 2000-01 à 2020-21.

En janvier 2021, une importante chute de neige a été enregistrée dans le HaB-OER, marquant la couverture maximale la plus étendue au cours des 20 dernières années, dépassant les 72% de la superficie totale du HaB-OER. La densité moyenne était de $214,5 \text{ kg/m}^3$, tandis que l'équivalent en eau atteignait 61 mm (Fig. 1).

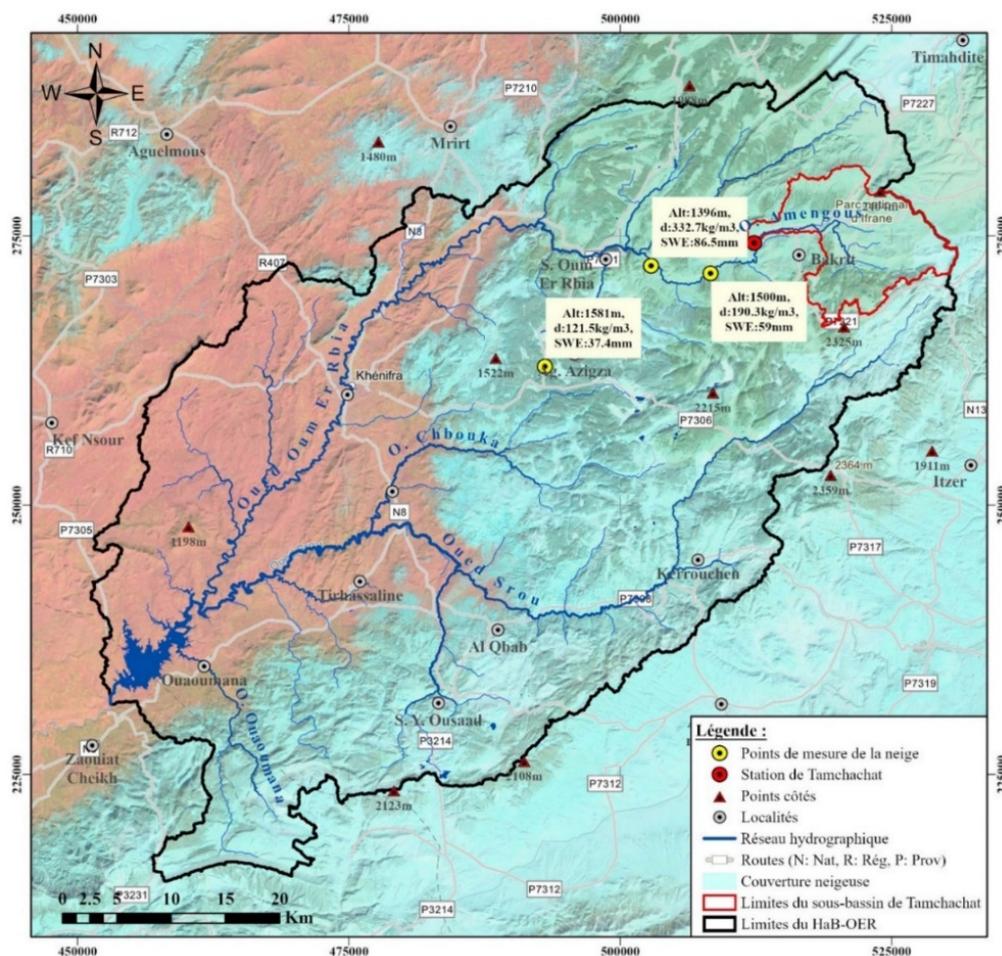


Figure 1. Résultats de caractéristiques de la neige dans le HaB-OER pour l'épisode de janvier 2021.

Conclusion

La combinaison des données satellitaires et des mesures in situ nous a permis d'appréhender la couverture neigeuse dans le HaB-OER comme une ressource en eau. En tant que réservoir naturel d'eau douce, l'accumulation de neige sur une période d'environ quarante jours en moyenne annuelle joue un rôle essentiel dans l'alimentation en eau de l'Oum Er Rbia. Pour approfondir notre compréhension de cette relation, une étude hydrologique, voire hydrogéologique, s'avère particulièrement pertinente.

Bibliographie

- Baba, M. W. (2018). Application de la télédétection pour la modélisation du manteau neigeux dans le Haut Atlas [Thèse de doctorat]. Université de Toulouse.
- Boudhar, A. (2010). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des Oueds du Haut Atlas de Marrakech [Thèse de doctorat, Cadi Ayyad FST Marrakech].
- Calizaya, E., Laqui, W., Sardón, S., Calizaya, F., Cuentas, O., Cahuana, J., Mindani, C., & Huacani, W. (2023). Snow Cover Temporal Dynamic Using MODIS Product, and Its Relationship with Precipitation and Temperature in the Tropical Andean Glaciers in the Alto Santa Sub-Basin (Peru). *Sustainability (Switzerland)*, 15(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su15097610>
- Fugazza, D., Manara, V., Senese, A., Diolaiuti, G., & Maugeri, M. (2021). Snow cover variability in the greater alpine region in the modis era (2000–2019). *Remote Sensing*, 13(15). Scopus. <https://doi.org/10.3390/rs13152945>
- Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2016). MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m SIN Grid [jeu de données]. NASA National Snow and Ice Data Center DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.006>
- Sa, C., Meng, F., Luo, M., Li, C., Wang, M., Adiya, S., & Bao, Y. (2021). Spatiotemporal variation in snow cover and its effects on grassland phenology on the Mongolian Plateau. *Journal of Arid Land*, 13(4), 332-349. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s40333-021-0056-7>

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED DERNA (ATLAS DE BENI MELLAL / MAROC)

Islah EL YAGOUBI, Mohamed EL GHACHI, Hasan OUAKHIR

Faculté des lettres et sciences humaines, Université Sultan Moulay Slimane, (Béni Mellal/ Maroc), Laboratoire Dynamic des paysages, Risques et Patrimoines, Maroc, islahelya@gmail.com

Impact of climate change on the variability of precipitation within the Derna river basin (Atlas of Beni Mellal / Morocco)

Mots-clés : changement climatique, variabilité des précipitations et température, bassin versant de Derna, Atlas de Béni Mellal

Keywords: climate change, variability of precipitation and temperature, Derna basin, Atlas of Beni Mellal

Introduction

Les changements climatiques, tels que le réchauffement causé par les activités industrielles au cours des dernières décennies, ont eu un impact significatif sur la plupart des pays du monde (Svoboda et Fuchs, 2016). Dans un contexte mondial marqué par ces préoccupations croissantes liées aux changements climatiques, le Maroc n'a pas échappé aux impacts significatifs de ces transformations environnementales (GIEC, 2014). Parmi les régions touchées, le bassin versant de l'Oued Derna se trouve au cœur de ces préoccupations. Au cœur de l'Atlas de Béni Mellal au Maroc, ce bassin versant de l'Oued Derna se trouve au croisement de dynamiques environnementales cruciales. La présente étude s'inscrit dans une démarche méthodologique en deux étapes, visant à analyser la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la région. En se penchant sur les données pluviométriques des stations Taghzirt et Moulay Bouzekri sur la période 1970-2018, l'analyse a pour objectif d'identifier les années sèches et pluvieuses. De plus, cette recherche vise à explorer les manifestations concrètes des changements climatiques dans cette région précise, en mettant particulièrement l'accent sur la variabilité des précipitations. En analysant les données historiques et en anticipant les tendances futures, afin de comprendre les implications de ces changements pour l'équilibre écologique, les ressources hydriques, ainsi que les activités humaines qui dépendent étroitement de ces conditions climatiques.

1. Zone d'étude et méthodologie de travail

D'un point de vue méthodologique, la démarche adoptée comprend deux étapes visant à identifier les années sèches et pluvieuses dans les séries pluviométriques de la zone d'étude. La première étape consiste à traiter les données pluviométriques des stations Taghzirt et Moulay Bouzekri (ABHOER, 2024) pour la période allant de 1970 à 2018. Le bassin étudié (Fig. 1) a drainé une superficie de 561 km², avec les écoulements de ce cours d'eau contrôlé par ces deux stations précédentes. La zone étudiée se caractérise par un climat semi-aride dans la plaine et subhumide à semi-aride continental dans les montagnes de Béni Mellal. La température moyenne s'établit à 18°C, avec un minimum de -3,5°C dans certaines zones de la région et un maximum pouvant atteindre plus de 40°C. Les précipitations se concentrent principalement pendant les premiers mois de la campagne agricole, s'étendant jusqu'au mois de mai, avec une moyenne de 100 mm dans les zones arides et 600 mm dans les zones humides. Dans ce contexte, le bassin versant de l'Oued Derna est l'une des zones influencées par les changements climatiques. L'intérêt est de déterminer les régions pluviométriques dans le bassin de l'Oued Derna ainsi que le régime pluviométrique. Nous observons que la station de Taghzirt a enregistré davantage de précipitations que celle de Moulay Bouzekri pendant presque toute la période de l'étude, qui s'étend de 1970 à 2018. Cependant, une exception notable a été relevée en 1974, où la station de Moulay Bouzekri a connu des précipitations plus abondantes que Taghzirt.

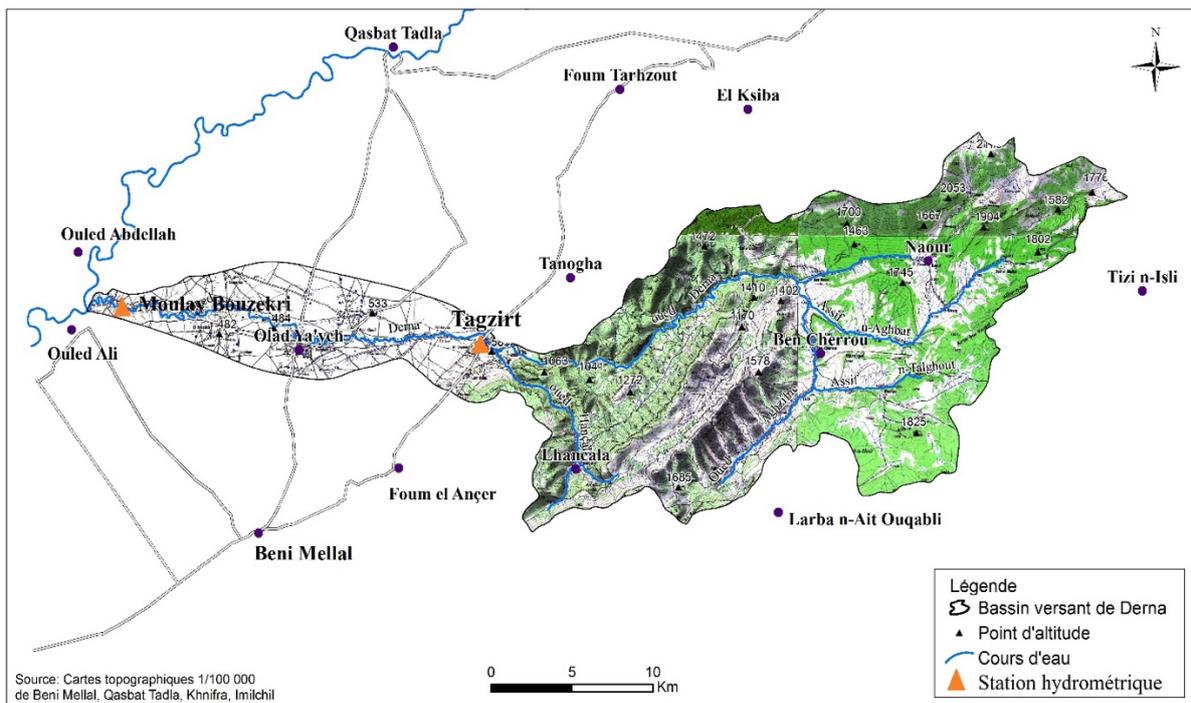


Figure 1. Présentation du bassin versant de l'oued Derna sur la rive gauche du grand bassin de l'oued Oum Err Bia.

2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que les données des stations signalent une grande variabilité interannuelle et mensuelle des précipitations. En effet, ces fluctuations dans les précipitations peuvent avoir des répercussions importantes sur la disponibilité en eau dans les écosystèmes naturels et les systèmes agricoles (Sebbar *et al.*, 2011). Ainsi, on observe un déclin des précipitations du cœur et de fin de saison (hiver et printemps) avec une légère augmentation des précipitations d'automne. Cette variabilité est significative pour les précipitations annuelles sur l'ensemble de la région Centre du Maroc. De plus, la variabilité des précipitations est étroitement liée au changement climatique, car les variations dans les schémas de précipitations peuvent être un indicateur des changements à long terme dans les modèles climatiques régionaux et mondiaux. Toutefois, il faut signaler que cette variabilité climatique de la région Centre du Maroc s'organise selon trois composantes principales, à savoir l'altitude (reliefs), la saisonnalité et la latitude/longitude, complétée par la proximité de l'océan (Ourrach, 2008). Cette tendance à l'assèchement de ce climat régional, accompagnée d'une réduction pluviométrique, confirme le réchauffement observé à l'échelle globale, et peut, par conséquent, engendrer des anomalies dans les rendements agricoles. D'où la nécessité d'instaurer une stratégie locale et nationale pour la gestion des risques liés à la variabilité climatique.

Conclusion

Les résultats obtenus, à travers l'analyse des données pluviométriques des stations Tagzirt et Moulay Bouzekri, ainsi que du bassin dans son ensemble, soulignent une diversité spatio-temporelle prononcée des conditions climatiques.

Bibliographie

- ABHOER (2024) : Agence du Bassin Hydraulique de l'Oued Oum ErrBia, (Béni Mellal).
- GIEC, 2014 : Changements climatiques (2014) : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 pages.
- Ourrach, M., (2008) : Contribution à l'étude du système de vulgarisation appliqué dans la zone d'action du CT : 18-04 d'AÏT-Attab (DPA d'AZILAL), 27 pages.
- Sebbar A., Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., 2011 : Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). Sécheresse, 22, 139-48.
- Svoboda, M. et Fuchs, B.A., (2016), : Manuel des indicateurs et indices de sécheresse., Organisation météorologique mondiale (OMM) et Partenariat mondial pour l'eau (GWP), Genève. 45pages.

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DE LA FORÊT TOURBEUSE DE LOKOLAMA DANS LE BASSIN DU CONGO (R.D.C.)

Dieu Merci ELUO¹, Hervé PARMENTIER², Louis REY², Hervé CUBIZOLLE¹

1. UMR 5600 CNRS Environnement, Ville, Société, 6 rue Basse des Rives, 42023 Saint-Etienne cedex 2, France, eluodieumerci@gmail.com, herve.cubizolle@univ-st-etienne.fr

2. École Normale Supérieure de Lyon, Pôle de la Recherche, plateforme Ingénierie Spatiale, Image et Géomatique (ISIG), France, herve.parmentier@ens-lyon.fr, louis.rey@ens-lyon.fr

Ecosystem services and climate change: case of the Lokolama peat forest in the Congo basin (DRC)

Mots-clés : tourbière forestière, services écosystémiques, vulnérabilité climatique, adaptation

Keywords: forest peatland, ecosystem services, climate vulnerability, adaptation

Introduction

Dans un contexte de changement climatique, les écosystèmes forestiers tourbeux du bassin congolais jouent un rôle d'atténuation majeur. Ce système forestier tourbeux occupe une superficie de 142 000 km² et abrite une gigantesque réserve de stockage de carbone de 40 milliards de tonnes, soit trois ans d'émissions mondiales de CO₂ (Dargie *et al.*, 2018). Cette zone (Fig. 1a) cristallise de multiples intérêts internationaux et constitue un lieu de vie de populations autochtones pygmées (nourriture, médecine, matériaux de construction...); c'est aussi un écosystème catalyseur de fonctions écosystémiques sur le bassin du Congo : biodiversité (habitats et vie de faune et de flore), approvisionnement (aliments, bois), régulation (eau, climat, sols, végétation) ou cultures (beauté du paysage, espèces emblématiques, etc.). Notre sujet d'étude consistera à réaliser d'abord une cartographie multi-échelle de ces fonctions écosystémiques dans un contexte de changement climatique, puis d'analyser ces relations climat et fonctions à travers la vulnérabilité des sociétés humaines et de leurs environnements.

1. Cartographie des fonctions écosystémiques dans un contexte de changement climatique

Les fonctions écosystémiques contribueraient à de diverses façons à réduire la vulnérabilité des systèmes socio-écologiques. Si la vulnérabilité à l'adaptation est le degré selon lequel un système social est susceptible d'être affecté négativement par les effets du changement climatique, la résilience met plus l'accent sur les actions d'adaptation. Dans le cas de la forêt humide congolaise, les fonctions écosystémiques joueraient un rôle fondamental d'atténuation climatique. Le stockage de carbone régule le climat local et mondial ; les approvisionnements en eau, en nourriture, en bois, en plantes médicinales constituent des effets positifs de la résilience et participent aux bien-être des populations locales. La tourbière de Lokolama est de type ombrotrophe et sa vitalité dépend essentiellement des pluies. Sa vulnérabilité augmente avec l'augmentation des températures. Le diagramme ombrothermique (Fig. 1b) met en évidence une température moyenne annuelle de 24,5°C et un cumul de 1666 mm de précipitations par an à Mbandaka, station située à environ 50 km de Lokolama, dans la province « Equateur » en RDC et en bordure du fleuve Congo. Le climat y est de type Af (équatorial humide) selon la classification de Köppen.

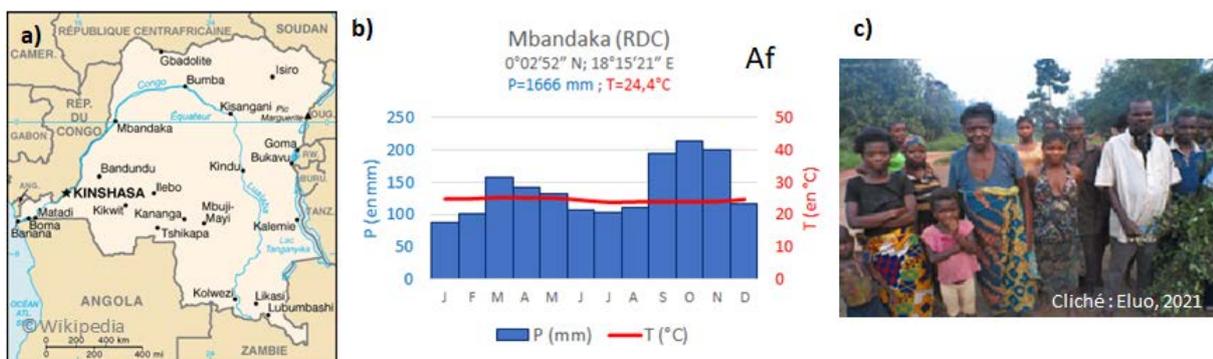


Figure 1. Contexte du lieu étudié, situé en République Démocratique du Congo :

a) carte de localisation ; b) Diagramme ombrothermique de Mbandaka (1981 et 2018) ; c) Population pygmée de Lokolama.

Deux périodes relativement « sèches » (DJF = 305 mm et JJA = 321 mm d'eau) et deux périodes humides (SON = 608 mm et MAM = 432 mm) rythment ce climat équatorial, associées au double passage de la Zone de Convergence intertropicale (ZCIT) ; les précipitations de saison humide sont très importantes pour le maintien notamment de la forêt tourbeuse et de ses fonctions écosystémiques, mais aussi pour la survie des populations locales.

2. Fonctions écosystémiques et adaptation de la communauté « pygmée » de Lokolama au changement climatique

À travers la mise en place d'un plan national d'adaptation aux changements climatiques, la R.D.C. s'engage dans un processus international de dérèglement climatique. Ce plan prend en compte la vulnérabilité des populations autochtones face aux effets extrêmes climatiques qui accentuent la pauvreté, contribuent au développement de maladies et à la perte de ressources alimentaires.

De plus, la gouvernance congolaise en matière d'exploitation forestière et pétrolière menace les tourbières et la survie de ces populations locales. Dans ce contexte, la question des compensations financières en reconnaissance de la protection de cette tourbière constituerait une réponse à la vulnérabilité climatique. Les réclamations vont dans le sens d'une amélioration des conditions de vie des villageois (Fig. 1b) notamment pour la construction d'une école, une institution sanitaire, l'électrification de leur village, la construction de résidences en matériaux semi-durables et en tôles. Ces revendications sembleraient a priori justifiées dans un contexte post COP 28 de création d'un fonds de pertes et dommages aux pays les plus vulnérables au réchauffement climatique.

Conclusion

Ainsi, l'interdépendance entre climat et fonctions écosystémiques est manifeste, et reste indispensable à l'équilibre précaire des stratégies de gestion et de restauration écologiques nécessairement citoyens et socialement inclusives des populations pygmées autochtones de R.D.C.

Bibliographie

- Dargie G.C., Lawson I.T., Rayden T.J. *et al.*, 2019 : Congo Basin peatlands: threats and conservation priorities. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* **24**, 669–686. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9774-8>
- Ehrenstein V., 2013 : Les professionnels de la préparation. Aider la République démocratique du Congo à réduire sa déforestation, programme REDD+. *Sociologies pratiques*, 2013/2 (27), p. 91-104. [10.3917/sopr.027.0091](https://doi.org/10.3917/sopr.027.0091).
- Derak M., 2017 : Analyse multicritère des services écosystémiques et restauration participative des forêts. Cas du bassin de Beni Boufrah (Rif central marocain). Thèse de l'Université d'Alicante, Espagne. 168 p.

THE SURFACE URBAN HEAT ISLAND IN CASABLANCA, MOROCCO

Bouchaib ESSALEK¹, Hind FATTAH², El Houcine LAKHOUAJA³, Aissam BOUAICHE⁴, Abdeladim Boubekri⁵, Abdelmottalib NAHLI⁶

1. Université Mohammed V – Rabat Morocco, bouchaibessalek@yahoo.fr

2. Laboratoire d'études et de Recherches « Société, Territoires, Histoire et Patrimoine », Dpt. Géographie, FLSH Rabat, Université Mohammed V, Maroc, h.fattah@um5r.ac.ma

3. (LMME) FLSH Ben M'sik, UHII Casablanca, lakhouajah@yahoo.fr

4. Université Hassan 2, faculté des lettres et des sciences humaines Ben Mscik, LCEAT, bouaiche.aissam.scopus@gmail.com

5. Faculté de lettre et des Sciences Humaines, Mohammedia-Université Hassan II, Casablanca, Maroc, Sifa019@gmail.com

6. Laboratoire d'Écologie et d'Environnement (LEE), Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'sik, BP 7955-Sidi Othmane, Casablanca, Maroc, abdelmottalib.nahli@gmail.com

L'îlot de chaleur urbain de surface à Casablanca, Maroc

Mots-clés : îlot de chaleur urbain de surface, température de surface, Landsat 8/9, Casablanca

Keywords: urban heat island, land surface temperature, Landsat 8/9, Casablanca

Introduction

The Urban Heat Island (UHI) effect is due to difference in heat flow between urban and rural areas, with urban areas generally absorbing and storing more sensible heat than rural ones (Oke, 1982). The UHI effect is a detrimental phenomenon for climate change, the environment and human health. It is interrelated with climate change (Lim, 2021). First, global warming will increase already higher temperatures in heat island areas. Second, mitigating and cooling strategies to reduce heat islands can help communities adapt to the impact of climate change as well as lowering the greenhouse gas emissions that cause climate change (Rainham and al., 2003).

The objective of this work is to estimate the LST of the city of Casablanca, Morocco from Landsat 8 and 9 satellite images via a single window algorithm, using the ArcGIS spatial analysis tool that generates a surface temperature map, in order to study Spatio-temporal variability of the UHI in Casablanca. The determination of the LST was based on the calculation of the NDVI index, the luminosity temperature and the LSE using ArcGIS.

1. Data and methods

A combined use of the Landsat 8 infrared band for the years 2020, 2021, 2022, and 2023 based on a multiple linear regression model was an efficient to improve the spatial resolution of land surface temperature maps during summer days. The combined use of this land surface emissivity (LSE), the wavelength of radiance emitted and the upper brightness temperature of the atmosphere were used to extract the Land Surface Temperature (LST) and surface UHI (Rajeshwari and Mani, 2014; Anandababu and al., 2018). ArcMap 10.8 was used for classification, LST and Normalized Difference Vegetation Index NDVI derivation, and UHI calculation (Rahman and al. 2022).

2. Results

The UHI, calculated using the LST values, varies between 9.7°C and 18.7°C during all the years of study (Fig. 1). While, the UHI intensity varies from one city to another. Most of them are in the north of Casablanca, like Ain sebaâ, Bernoussi, Tit mellil, Ain Harrouda. Yet, the surface UHI is reduced in the southern neighborhoods of the city. The hottest areas are It is located in the regions characterized by high building density and high industrial activity (Fig. 1), as well as the bare areas and non-grassy ones especially in the north and northeast of the city of Casablanca.

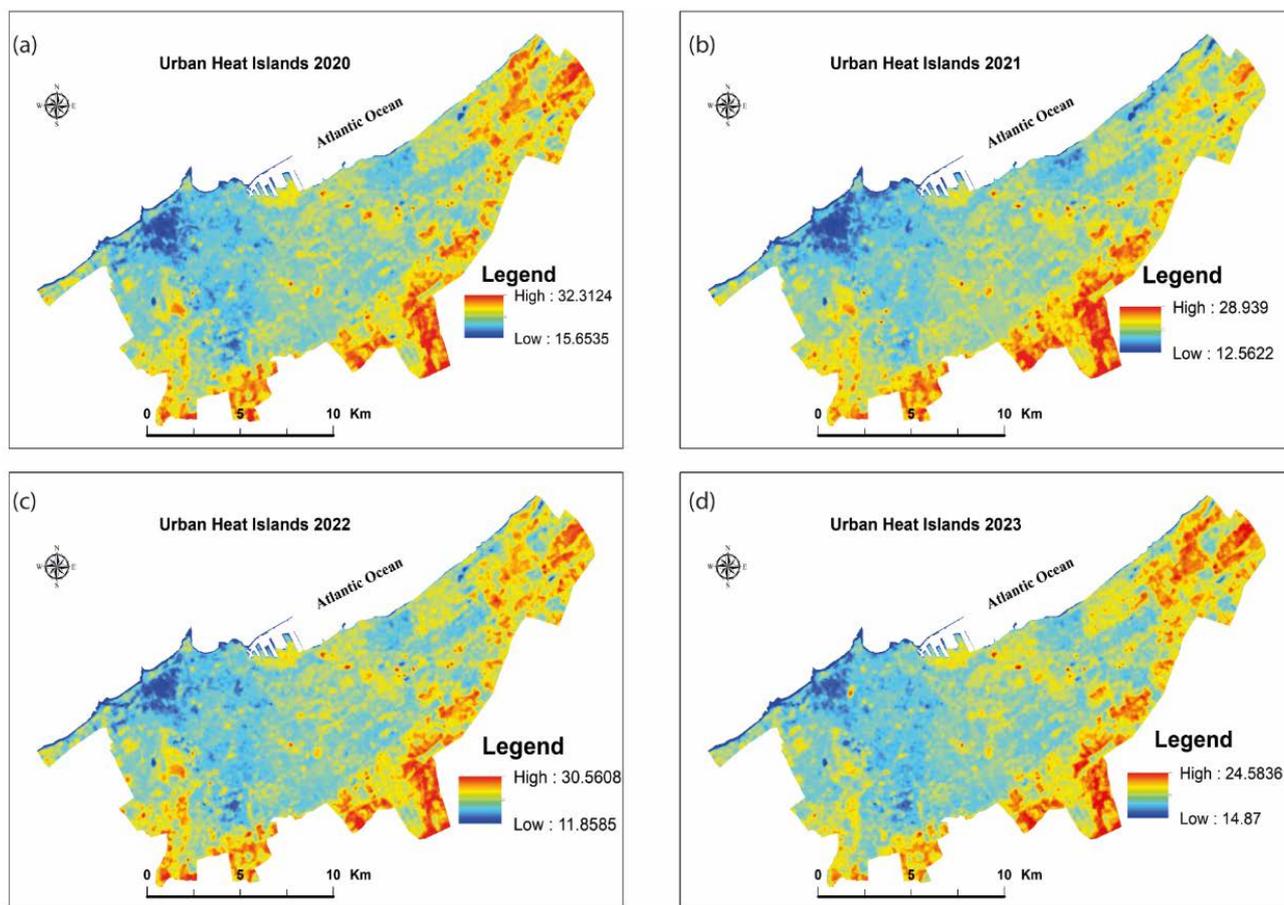


Figure 1. Surface temperature maps of Casablanca for the years 2020 (a), 2021 (b), 2022 (c) and 2023 (d).

Conclusion

In conclusion, the current study has revealed new evidence concerning the relationship between LST, NDVI and UHI, and their temporal and spatial variability in the city of Casablanca, through the application of Landsat satellite imagery. The findings reveal that UHI intensity fluctuates across different neighborhoods of Casablanca, with northern regions exhibiting higher temperatures attributed to dense urbanization and industrial activities. Thus, LANDSAT 8/9 data can provide a credible basis for estimating the temperature of the earth's surface which allows the monitoring of the evolution of urban heat islands and at the same time guarantees an additional precision in terms of thermal measurements at the level of the city of Casablanca. Further research and monitoring efforts are necessary to better understand the dynamics of UHI and inform targeted interventions aimed at promoting sustainable urban development.

Bibliography

- Anandababu D., Purushothaman B M. & Babu S., 2018 : Estimation of Land Surface Temperature using LANDSAT 8 Data, Suresh. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, **4**(2), 177-187.
- Lim T.K., 2021: Smart Cities for Technological and Social Innovation: Case Studies. *Current Trends, and Future Steps*, 29-49.
- Oke T.R., 1982 : The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological society*, **108**, 1-24.
- Rahman M.N., Rony M.R.H., Jannat F.A., Chandra Pal S., Islam M.S., Alam, E. & Islam A.R.M.T., 2022 : Impact of urbanization on urban heat island intensity in major districts of Bangladesh using remote sensing and geo-spatial tools. *Climate*, **10** (1), 3.
- Rainham D.G.C. & Smoyer-Tomic K.E., 2003 : The role of air pollution in the relationship between a heat stress index and human mortality in Toronto. *Environmental Research*, **93**, 9-19.
- Rajeshwari A. & Mani N.D., 2014 : Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, **3**(5), 122-126.

LA CIRCULATION AUTOMOBILE DANS LA VILLE DE SFAX (TUNISIE) ET SES IMPACTS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR D'APRÈS UNE CAMPAGNE DE MESURE DE PM_{2,5}

Hamdi EUCHI, Mohamed Ali ABDMOULEH, Salem DAHECH

1. Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire SYFACTE, euchihamdi23@gmail.com

2. Université Paris Cité, Faculté Sociétés et Humanités, UFR GHES UMR 8586 du CNRS (PRODIG), France, abdmouleh.mohamedali@yahoo.com ; salem.dahech@gmail.com

Automotive traffic in the city of Sfax (Tunisia) and its impacts on air quality after a PM_{2,5} measurement campaign

Mots-clés : PM_{2,5}, trafic routier, Sfax (Tunisie)

Keywords: PM_{2,5}, road traffic, Sfax (Tunisia)

Introduction

L'augmentation des sources de pollution de l'air en ville est la principale conséquence néfaste de l'urbanisation croissante connue au monde durant ces dernières décennies. Le besoin accru de mobilité se conjugue à la multiplication des aides à l'achat des véhicules, notamment pour la classe sociale à revenu faible, pour favoriser une augmentation de plus en plus importante du nombre de véhicules en circulation notamment en ville (Beelen *et al.*, 2014). Les risques sanitaires (maladies mortelles) et environnementaux (dégradation de l'état de la flore) liés aux émissions polluantes du trafic routier sont d'autant plus importants quand le temps est radiatif (vent faible, ciel clair). Il est connu que ce type de temps, plus fréquent au sud de la Méditerranée comme dans la ville de Sfax en Tunisie centrale, est souvent associé aux fortes concentrations de pollution de l'air. Dans cette ville, les données sur la qualité de l'air issues des stations de mesures fixes et conventionnelles (une seule station) sont très ponctuelles dans l'espace d'autant plus qu'elles ne sont plus disponibles depuis 2011. L'utilisation des campagnes de mesures semi-itinérantes avec des capteurs portables personnels demeure une solution appropriée en absence des données émanant des stations fixes et conventionnelles sur la qualité de l'air. Cette approche a été utilisée par Dahech en 2007 pour cerner la variation spatio-temporelle du monoxyde de carbone (CO) dans la ville de Sfax. L'objectif de ce travail est de cerner la variation spatio-temporelle de la pollution aux PM_{2,5} émanant du trafic routier dans la première couronne de la ville de Sfax.

1. Données et méthodes

En utilisant un capteur portable de type multigaz Aéroqual 500 mesurant de manière précise et en temps réel plusieurs polluants atmosphériques, nous avons opéré dans 137 points dix enregistrements successifs de PM_{2,5} (un enregistrement toutes les 30 secondes ; cinq minutes de mesure par point) dans la première couronne de la ville entre 0 et km du centre-ville, le long des routes principales de Tunis, Teniour, Gremda, Afrane, Ain et Menzel Chaker. Durant les périodes du 04 au 06 janvier 2023 et du 10 au 13 janvier 2023, des mesures diurnes entre 17 h et 19 h ont été réalisées (heure de pointe, 7 jours ouvrables) par un temps stable (vent en moyenne inférieur à 5m/s, ciel clair, températures modérées avec des valeurs en moyenne horaire entre 16°C et 21°C).

2. Impacts de la circulation automobile sur la qualité de l'air d'après une campagne de mesure hivernale de PM_{2,5} réalisée sur deux périodes séparées du 04 au 06 janvier 2023 et du 10 au 13 janvier 2023

Les résultats des campagnes de mesures de PM_{2,5} diurnes montrent un niveau moyen élevé (30 µg/m³) de concentrations de PM_{2,5}, calculé pour l'ensemble des mesures effectuées dans 137 points. Les 137 concentrations moyennes de PM_{2,5} sont très variables d'un point de mesure à l'autre avec un coefficient de variation de l'ordre de 0,56. En fait, dans la totalité des séries d'enregistrements (soit 10 mesures*137 points =1370 enregistrements à un pas de temps de 30 secondes), la concentration maximale est de 83 µg/m³ alors que celle minimale a atteint 7 µg/m³ (Fig. 1). Les dépassements du percentile, calculés à 42 µg/m³ sont enregistrés dans un rayon de 2km par rapport au centre-ville, là où les routes sont fréquemment congestionnées dues aux mouvements pendulaires de la population puisque les mesures ont été faites pendant l'heure de pointe. Dans les zones densément bâties du centre-ville, le vent est souvent freiné, ce qui minimise la dispersion de PM_{2,5} et provoque leur accumulation massive. En fait, un temps stable et radiatif favorable (vent moyen <5m/s, ciel souvent dégagé) aux fortes concentrations de pollution de l'air s'est mis en place tout au long des 7 jours de mesures portables en raison de la prédominance d'un anticyclone en surface (+de 1015hPa en moyenne) et un haut géo potentiel au niveau de l'altitude 500 hPa.

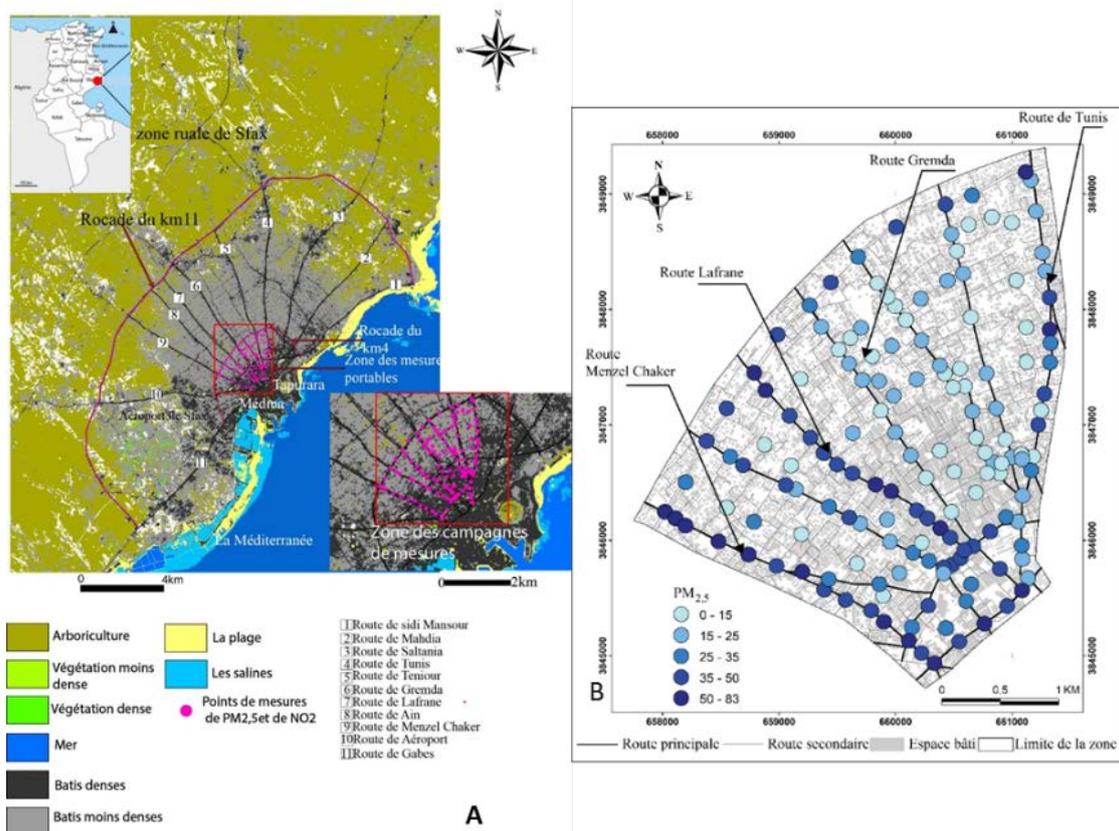


Figure 1. (A) Localisation de la ville de Sfax et de la zone des mesures semi-itinérantes de PM_{2,5}, (B) Répartition des valeurs moyennes de PM_{2,5} dans la partie centrale de Sfax, entre 0 et 4km. Traitement d'une image Sentinelle 2B datant du 27 juillet 2023 téléchargée depuis le site : [Explore Copernicus satellite missions - Sentinel Online](https://explorer.copernicus.eu/) pour (A) et données personnelles, 2023 pour (B).

Conclusion

Les campagnes de mesures de PM_{2,5} effectuées, dans 137 points fixes dans la première couronne de Sfax, située entre 0 et 4 km du centre de Sfax, du 10 au 15 janvier 2025 indiquent de très fortes concentrations avec une répartition inégale dans la partie centrale.

Bibliographie

- Beelen R., Raaschou-Nielsen, O, Stafoggia, M et ., al., 2014 : Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* , 383, 785–795 pages.
- Dahech S., 2007 : Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique. *Thèse de doctorat. Université Paris VI, France*, 347 pages.

VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES BIOCLIMATS ANNUELS EN TUNISIE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Mohamed FEKI

Laboratoire SYFACTE, Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, route de l'aéroport km 4, Sfax Tunisie, m_feki@hotmail.com

Spatio-temporal variations of annual bioclimates in Tunisia with a context of climate change

Mots-clés : changement climatique, Tunisie, bioclimat annuel, Emberger

Keywords: Climate change, Tunisia, annual bioclimate, Emberger

Introduction

Avec le changement climatique, la classification des climats fait toujours l'objet de très nombreuses études (Eveno *et al.*, 2016 ; Dubreuil *et al.*, 2017 ; Dubreuil *et al.*, 2018 ; Dubreuil 2022), puisqu'elles traitent la question d'une éventuelle redistribution de la répartition spatiale des climats régionaux dans le monde. En Tunisie, les changements climatiques se manifestent principalement par la hausse des températures (Dahech, 2013) et un début du changement de régime pluviométrique marqué par la disparition du maximum pluviométrique du mois d'octobre (Hlaoui et Hénia, 2015). Ces changements modifieraient la répartition spatiale des étages climatiques, avec une disparition probable de l'étage humide à l'horizon de 2100 d'après le scénario RCP 4.5 de l'Institut National de la Météorologie (<https://climat-c.tn/INM/web/changementClimatique>). De ce fait, la méthode des « types de bioclimats annuels » a été utilisée selon l'indice d'Emberger, afin d'étudier l'évolution temporelle des étages bioclimatiques et la façon dont s'opère le changement climatique en Tunisie entre 1950 et 2020.

1. Données et méthodes

L'indice d'Emberger Q2 est un indicateur du degré d'humidité du climat, principalement adapté aux régions méditerranéennes. Cet indice a été mis au Maroc par Emberger, puis appliqué sur les autres pays du Maghreb (Daget, 1977). Il prend en considération trois paramètres : les précipitations annuelles (P), la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M), et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m). Il s'avère particulièrement utile pour différencier les étages climatiques dans ces régions. L'indice d'Emberger déterminé par l'équation $Q2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$ (M et m en Kelvin), définit cinq étages bioclimatiques : humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien, et quatre variantes thermiques à hiver : froid ($m < 0^\circ\text{C}$), frais ($0 < m < 3^\circ\text{C}$), tempéré ($3 < m < 7^\circ\text{C}$) et chaud ($m > 7^\circ\text{C}$).

Pour cette étude, les données relatives aux températures et aux précipitations moyennes mensuelles ont été exploitées sur une période s'étalant de 1950 à 2020, soit 70 années. Toutes les données utilisées dans ce travail ont été recueillies auprès de l'institut national de la météorologie pour les températures et de la direction générale des ressources en eaux pour la pluviométrie. Ainsi, neuf stations ayant les séries plus longues ont été retenues. Par la suite, l'indice d'Emberger est calculé chaque année pour définir le « type de bioclimat annuel ». Ensuite, une approche basée sur la fréquence est mise en œuvre afin de déterminer, pour chaque station, la proportion de chaque bioclimat au cours d'une période spécifique. Vers la fin, cette méthode permet de distinguer clairement les stations où le type de climat annuel reste généralement constant de celles où il présente une variabilité significative d'une année à l'autre.

2. Résultats

Les types moyens calculés entre 1950 et 2020 révèlent une nette distinction au nord de la Tunisie. L'extrême nord-ouest (Kroumirie et Mogods) se caractérise par la prédominance des bioclimats humide et subhumide, tandis que dans l'Est (moyenne vallée de Majerda et les plaines de Tunis et de Bizerte), le bioclimat prédominant est de type semi-aride. Ce dernier représente un type de transition, car au Centre et au Sud, l'aridité s'intensifie. Ainsi, une deuxième opposition y est observée entre le littoral oriental, où l'aride supérieur domine, et l'Ouest (hautes steppes et les plaines de Gafsa), caractérisé par un bioclimat de type aride inférieur. Enfin, le bioclimat hyperaride marque les régions des oasis du sud-ouest du pays (Tozeur et Kebelli).

La comparaison des fréquences des types de bioclimats annuels entre deux sous-périodes, 1950-1986 et 1987-2020, ne révèle pas de changement au niveau des étages bioclimatiques, mais plutôt un balancement entre l'étage inférieur (années sèches) et l'étage supérieur (années humides). Cela s'explique, sans doute, par la grande variabilité spatiotemporelle des précipitations.

Cependant, l'analyse fréquentielle des types de bioclimats annuels selon les variantes thermiques révèle une opposition entre l'ouest et l'est. Ainsi, les bioclimats à hiver tempéré se manifestent au nord-ouest de la moyenne vallée de Majerda (semi-aride) et au Centre dans les hautes steppes ainsi que les plaines de Gafsa (aride inférieur). En revanche, le littoral nord est caractérisé par des bioclimats humides à hiver chaud à l'ouest (station Tabarka) et semi-humides à hiver doux et/ou chaud à l'est. Ensuite, les variantes à hiver doux et/ou tempéré dominent le nord-est (semi-aride), le centre-est (aride supérieur), le sud-est (aride inférieur) et le sud-ouest (hyperaride). La partition de la période d'étude en deux sous-périodes (1950-1986 et 1987-2020) ne révèle aucun changement de la variante thermique pour les bioclimats de l'ouest (entre Jendouba et Gafsa) et du littoral nord. Cependant, les autres régions connaissent un début de changement marqué par l'émergence de la variante thermique à hiver chaud pendant la deuxième sous-période (1987-2020).

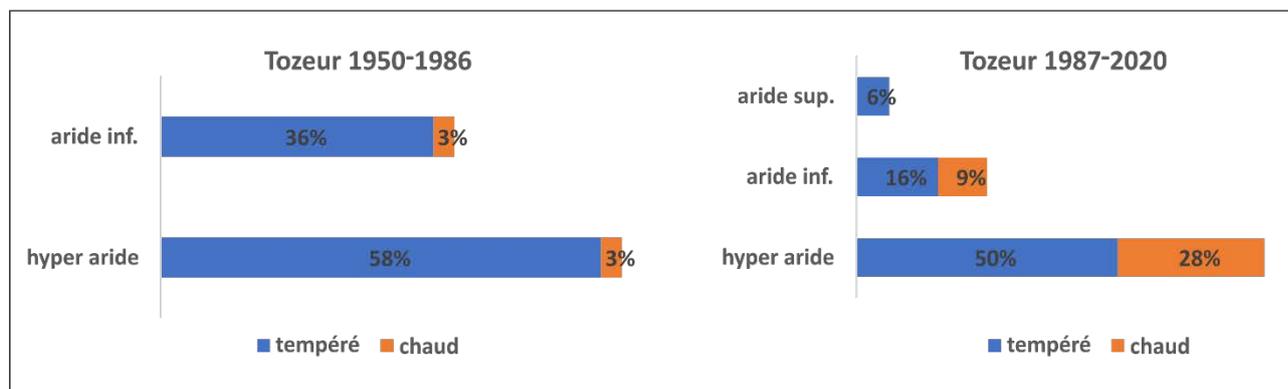


Figure 1. Émergence de la fréquence (%) de la variante thermique « chaud » : exemple la station de Tozeur au Sud-ouest de la Tunisie.

Conclusion

En Tunisie, les types de bioclimats annuels ne montrent encore de changement au niveau des étages bioclimatiques, en raison de la grande variabilité spatiotemporelle des précipitations qui entraîne un balancement entre étage inférieur (années sèches) et l'étage supérieur (années humides) du même bioclimat. Un début de changement est perceptible avec une fréquence croissante des types de bioclimats annuels aux hivers doux voir chauds au cours des dernières années.

Bibliographie

- Dahech S., 2013. Le réchauffement contemporain en Tunisie : rôle de l'urbanisation et de la circulation atmosphérique. Journées de climatologie, Epernay 14-16 mars 2013, *Commission Climat et Société du CNFG*, 69-88. <https://www.researchgate.net/publication/309908455>
- Daget Ph., 1977 : Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio* Vol. 34, 2 pp. 87-103. <https://www.jstor.org/stable/pdf/20036999.pdf>
- Dubreuil V., Fante K., Planchon O., Sant'Anna Neto J.L., 2017. Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. *EchoGéo*, **41**, <http://echogeo.revues.org/15017>
- Dubreuil V., 2022 : Le changement climatique en France illustré par la classification de Köppen. *La Météorologie*, **116**, https://lameteorologie.fr/issues/2022/116/meteo_2022_116_37
- Eveno M., Planchon O., Oszwald J., Dubreuil V., Quénel H., 2016. Variabilité et changement climatique en France : analyses au moyen de la classification de Köppen et des « types de climats annuels ». *Climatologie*, **13**, 47-70.
- Hlaoui Z., et Henia L., 2015 : À propos de l'évolution des précipitations mensuelles et quotidiennes en Tunisie (1950-2010) : tendances ou non ? XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 515-520.

URBAN CLIMATE AND SMALL CITIES IN TROPICAL REGION: THE SPATIAL VARIATION OF AIR TEMPERATURE IN ITAJUBÁ, BRAZIL

Rafael Rodrigues FERREIRA, Aline PASCOALINO

Institute of Geosciences, State University of Campinas, Rua Carlos Gomes 250, Campinas, São Paulo, Brazil,
r243468@dac.unicamp.br, apascoal@unicamp.br

Climat urbain et petites villes en région tropicale : la variation spatiale de la température de l'air à Itajubá, Brésil

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, variabilité des températures, transect mobile, Itajubá

Keywords: Urban heat island, Thermal variability, Mobile transect, Itajubá

Introduction

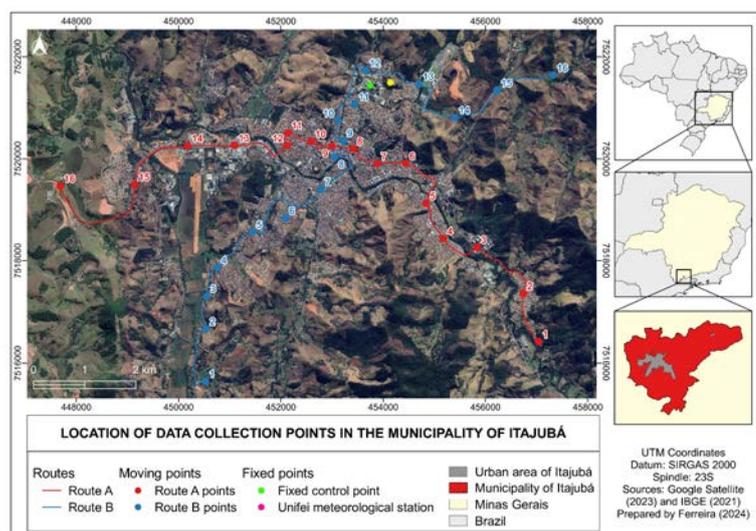
New geosystem dynamics are established in urban areas as a result of changes caused by anthropogenic action. Building density, soil sealing and the removal of vegetation cover, together with the prevailing synoptic conditions, among other factors, promote thermal changes in the urban boundary layer, resulting in differential heating of the city compared to its rural surroundings. Within the urban area, the air temperature is distributed heterogeneously, triggering the formation of urban heat islands (UHI) (Oke, 1979). With this in mind, the aim of this study was to investigate the spatial variation of air temperature in the city of Itajubá, Brazil, during a winter atmospheric episode. With recent evidence of changes in the mountain and valley breezes circulation in the urban space of Itajubá (Reboita *et al.*, 2014), it is possible to infer that the air temperature also undergoes changes in its patterns of intensity and distribution throughout the city.

1. Data and methods

The municipality of Itajubá is located in the south of the state of Minas Gerais, occupying an area of 294.83 km², of which only 19.51 km² is classified as urbanized. It has around 93,073 inhabitants, which gives it a regional influence in the south of Minas Gerais (IBGE, 2023). As for its climate, according to the Köppen classification, the city is characterized by Cwa type, with hot summers and mild, dry winters.

The air temperature data was collected between July 23 and 26, 2022. For this purpose, we opted to use the mobile transect technique. Every day, from 9pm to 10pm, two vehicles equipped with digital thermo-hygrometers traveled two routes through the city, where 32 measurement points were delimited (Fig. 1). The database was corrected using data obtained from a fixed point at the Federal University of Itajubá. Daily isotherm charts were then produced. In addition, a LCZ map is in progress. Finally, using García's classification (1996), the thermal variation of the air (ΔT) across the city was analyzed.

Figure 1. Location of the data collection points in the municipality of Itajubá.



2. Results and discussion

During the month of July 2022, the atmospheric blockade provided by the action of the South Atlantic Subtropical Anticyclone (SASA) prevented the passage of cold fronts over southeastern Brazil, resulting in atmospheric stability and favoring the heating of the city of Itajubá. The thermal variation between urban and rural areas (ΔT_{u-r}) reached values of over 5.5°C on the days under study (Fig. 2). Points 1B and 16B have been used as rural references. It indicates the formation of heat islands of strong, on the 24th, to very strong magnitude, on the 23rd, 25th and 26th, over the city, demonstrating that Itajubá combines characteristics that were capable of altering local climatic conditions during the episode.

Temperature	Data collection days			
	07/23/2022	07/24/2022	07/25/2022	07/26/2022
Highest T (°C)	18,8°C (Point 12A)	20°C (Points 8B and 10B)	18,9°C (Point 8B)	21,3°C (Points 9B and 10B)
Lowest T (°C)	11,9°C (Point 1B)	14,1°C (Point 1B)	11,4°C (Point 16B)	14,5°C (Point 1B)
ΔT_{u-r}	6,9°C	5,9°C	7,5°C	6,8°C

Figure 2. Highest and lowest temperatures recorded during the episode in the municipality of Itajubá.

Moving into the city, the air temperature was distributed heterogeneously as a result of the interaction with the different land uses (Fig. 3). At the rural edges, to the south (point 1B) and northeast (point 16B), 75% and 100% of the records showed a temperature variation between 0°C and 2°C. On the other hand, at points 1A and 16A, where there are paved roads and relative residential occupation, the thermal variation was higher than 2°C. Throughout the peri-urban area, the air temperature rose at different rates and intensities. In the southwest, where the working class neighborhoods of Jardim das Colinas, Rebourgeon and Jardim Santo Antônio are located, there was an increase of around 1°C to 3°C, which was reproduced in the northeastern part of the city, which is characterized by the expansion of gated communities with high construction standards. However, in the neighborhoods to the southeast, where residential occupation is older, a rapid increase in air temperature was recorded, exceeding 4°C in thermal variation. A core of greater heating was established in the central region of the city between the neighborhoods of Centro, Porto Velho, BPS, Avenida and Boa Vista. Marked by high building density, little vegetation cover and the presence of surfaces with low albedo, this is where 28% of heat islands of strong magnitude ($4^{\circ}\text{C} < \Delta T < 6^{\circ}\text{C}$) and 82% of those of very strong magnitude ($\Delta T > 6^{\circ}\text{C}$) were detected during the episode.

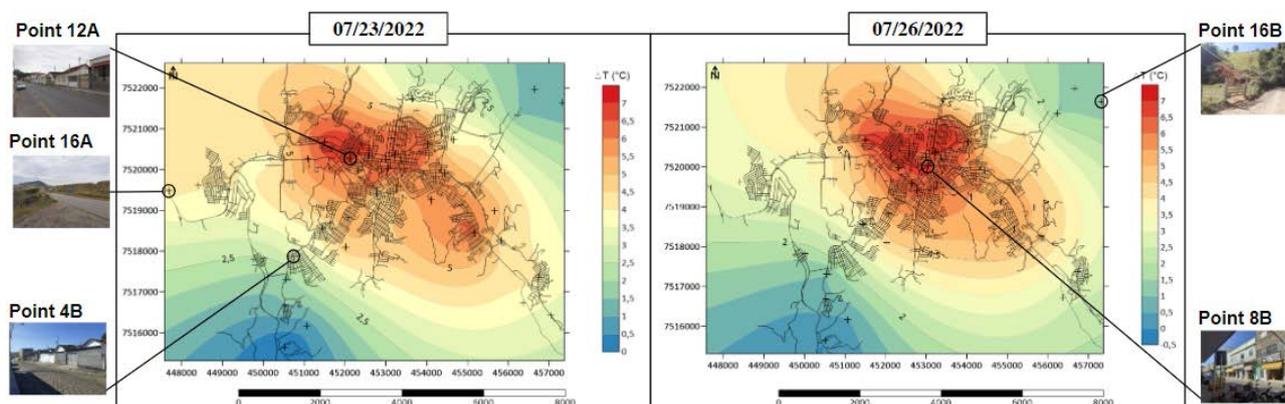


Figure 3. Isotherm charts for July 23 and 26, 2022 in the municipality of Itajubá.

Conclusion

Understanding how climate is processed on an intra-urban scale is an essential requirement for building more resilient cities in the face of climate change. During the episode, although this study is limited to a short period of measurement, the spatial variation of air temperature in Itajubá was closely linked to the land use, suggesting the influence of the city on the climate in the urban boundary layer.

Acknowledgements: We would like to thank the SAE/Unicamp and FAPESP (process no. 2023/06816-4) for financing the research, the CEPReMG/Unifei for supporting the calibration of the thermo-hygrometers and data collection and the LECLIG/Unicamp laboratory, to which the authors are associated.

Bibliography

- IBGE., 2023: *Cidades e Estados do Brasil*. Available in: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>.
- García, F. F., 1996: *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid, Editorial Síntesis S. A., 285 pages.
- Reboita, M. S., Assireu, A., Silva, L. C., Rios, N., 2014: Evidências de circulação de brisa vale-montanha na Serra da Mantiqueira: cidade de Itajubá-MG. *Ciência e Natura*, 36(1), 62-71.
- Oke, T., 1979: *Review of Urban Climatology: 1973-1976*. Geneva, WMO, 114 pages.

VARIABILITÉ DES SÉCHERESSES PASSÉES ET FUTURES À L'ÉCHELLE DU NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA

Guillaume FORTIN^{1,2}, Ali FAGHFOURI³, Hayfa MAALI², Florian RAYMOND⁴,
Albin ULLMANN⁵, Daniel GERMAIN⁶

1. Département d'histoire et de géographie, Université de Moncton, Canada, guillaume.fortin@umoncton.ca
2. Maîtrise en études de l'environnement, Université de Moncton, Canada, maalihayfa@gmail.com
3. Institut des sciences de l'environnement, UQAM, Canada, faghfour.ali@courrier.uqam.ca
4. Département de géographie, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, France, florian.raymond02@univ-paris8.fr
5. Département de géographie, Université de Bourgogne, France, Albin.Ullmann@u-bourgogne.fr
6. Département de géographie, UQAM, Canada, germain.daniel@uqam.ca

Past and Future Drought Variability Across New Brunswick, Canada

Mots-clés : sécheresses, indices, variabilité, Est du Canada

Keywords: droughts, indices, variability, Eastern Canada

Introduction

La sécheresse est un risque naturel important au Canada, surtout dans l'Ouest du pays. L'est du Canada est moins fréquemment touché par les sécheresses et peu de recherches ont été menées sur le sujet, mais le risque est présent. Il existe différents types de sécheresses : météorologiques, hydrologiques, agronomiques et socio-économiques qui peuvent être détectées à l'aide d'indices qui se basent sur les précipitations et d'autres variables telles que les températures (Beguería *et al.*, 2014 ; Labudová *et al.*, 2017 ; Vicente-Serrano *et al.*, 2010). Par exemple, Poirier *et al.* (2023) ont récemment évalué les changements des épisodes de sécheresse survenus à l'échelle de la province du Nouveau-Brunswick (N.-B.), située sur la côte est de l'océan Atlantique, à partir des indices SPI et SPEI (sur 1,3, 6 et 12 mois) entre 1971 et 2020. Leurs résultats montrent une grande variabilité dans le temps et l'espace pour ces deux indices mais il semble qu'une légère tendance à la hausse des épisodes de sécheresse soit observée pour la majorité des stations analysées.

Dans cette étude, nous prenons le cas de la province du N.-B., où différents indices de sécheresse ont été calculés sur plus de 50 ans (1971-2022). Nous comparons et discutons des résultats obtenus et tentons de déterminer dans quelles mesures les épisodes de sécheresses pourraient changer dans le futur en utilisant différents scénarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) et horizons (2026- 2050 et 2075-2099).

1. Données et méthodes

Les températures moyennes et les précipitations moyennes mensuelles issues de dix stations météorologiques du réseau national (ECCC, 2024) ont été utilisées pour calculer les indices suivants : l'indice de précipitation standardisé (SPI), l'indice d'évapotranspiration de précipitation standardisé (SPEI), l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer (PDSI) et l'indice de déficit d'évapotranspiration standardisé (SEDI). Ces indices ont également été calculés à partir des données CANGRD qui est un ensemble de données des anomalies mensuelles des températures et des précipitations interpolées à partir des stations des données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées.

De plus, afin de bien représenter la variabilité spatiale des étés les plus secs (JJA), nous avons également utilisé l'indice de santé de la végétation (ISV), qui a été obtenu à partir de l'indice de l'état de la végétation (IÉV) et de l'indice de l'état de la température (IET). Nous avons calculé ces indices à partir d'images satellites (MODIS-TERRA). Finalement, nous avons estimé les sécheresses pour des périodes futures (2026-2050 ; 2075-2099) en utilisant trois scénarios à partir de l'ensemble multi-modèle de CMIP6 GCM pour les indices SPI, SPEI, PDSI et SEDI, dont l'échelle a été réduite et les biais corrigés.

2. Résultats

Nos résultats, pour les sécheresses passées entre 1971 et 2022, indiquent une légère augmentation des épisodes de sécheresse, qui varie en fonction de l'indice choisi et de la période retenue aux fins d'analyse. Par exemple, pour le SPEI3 (JJA), nous avons détecté une tendance à la hausse (statistiquement significative) pour 6 des 10 stations entre 1971 et 2022. En outre, la majorité des stations météorologiques ont connu une hausse du nombre de sécheresses qui varie selon la durée (1,3, 6 et 12 mois) et les indices SPI, SPEI, PDSI, SEDI. L'estimation des sécheresses avec l'ISV, calculé à partir de données satellitaires, montre une très grande hétérogénéité spatiale ce qui

complique l'interprétation des résultats malgré une tentative de regroupement (*clustering*) des pixels. Cependant, l'analyse des précipitations au cours de la même période indique une modification des patrons de distributions tels qu'une diminution du nombre de jours de précipitations dans certaines parties de la province. Cette diminution est plus marquée dans les secteurs où la hausse des sécheresses est statistiquement significative. De plus, l'augmentation récente de la température est susceptible de favoriser une évapotranspiration plus élevée (Tam *et al.*, 2023), ce qui pourrait expliquer en partie l'augmentation observée des sécheresses dans certains secteurs. Parmi les zones les plus vulnérables du Nouveau-Brunswick, il y a les stations situées près de la côte (est du Nouveau-Brunswick) et dans le sud qui semblent plus exposées à une sécheresse grave que les stations situées à l'intérieur des terres. Cependant des analyses supplémentaires sont nécessaires afin de mieux détecter les changements des sécheresses survenues dans les dernières décennies et d'en déterminer les causes probables.

Concernant les changements possibles des sécheresses dans le futur l'utilisation des mêmes indices (SPI, SPEI, PDSI et SEDI) calculés pour plusieurs scénarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5), et horizons (2026 à 2050 et 2075-2099) montrent qu'il y a peu de cohérence à la fois entre les indices, les scénarios et les périodes analysées. Par exemple, il semble que le nombre maximal de sécheresses modérées à extrêmes pour l'indice SPEI soit obtenu pour une période de trois mois (SPEI3) au cours de la période estivale avec le scénario SSP5-8.5 au cours de la période de 2075 à 2099. Alors que pour le SPI le nombre maximal de sécheresses modérées à extrêmes a plutôt été enregistré pour une période de 12 mois (SPI12) et pour le scénario SSP2-4.5 au cours de la même période (2075 à 2099). La grande hétérogénéité des résultats obtenus, entre les divers indices, scénarios et périodes, exige une grande prudence dans l'interprétation et l'utilisation de ceux-ci.

Conclusion

L'utilisation des divers indices calculés sur plusieurs périodes nous a permis de dresser un portrait sommaire de la variabilité des sécheresses à l'échelle de la province du Nouveau-Brunswick. Nos résultats indiquent :

- une légère augmentation du nombre de sécheresses observées au cours de la période de 1971 à 2022 en se basant sur les données provenant de dix stations météo réparties sur l'ensemble du territoire et pour divers indices (SPI, SPEI, PDSI et SEDI);
- une grande disparité des tendances observées entre les indices et les périodes utilisées (1,3, 6 et 12 mois);
- peu de cohérence spatiale en se basant sur des indices (ISV, IÉV et IÉT) calculés à partir d'images satellitaires (MODIS-TERRA);
- une importante variabilité pour les sécheresses futures en fonction des indices, des scénarios et des périodes considérées.

Les travaux en cours et futurs tentent de caractériser les sécheresses passées et futures et à discerner quelles en sont les principales causes et conséquences à l'échelle de la province du Nouveau-Brunswick.

Bibliographie

- Beguéría S., Vicente-Serrano S. M., Reig F., Latorre, B., 2014: Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, **34**(10), 3001-3023.
- Labudová L., Labuda M., Takáč J. 2017: Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. *Theoretical and Applied Climatology*, **128**(1-2), 491-506.
- Poirier, C., Fortin, G., Dubreuil, V. 2023: Spatial and temporal characteristics of past droughts in New Brunswick (1971–2020). *International Journal of Climatology*. **43**(15), 7183-7198. <https://doi.org/10.1002/joc.8259>
- Tam, B., Bonsal, B., Zhang, X., Zhang, Q., & Rong, R. 2023: Assessing Potential Evapotranspiration Methods in Future Drought Projections across Canada. *Atmosphere-Ocean*, 1-13.
- Vicente-Serrano S.M., Beguéría S., López-Moreno J.I. 2010: A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, **23**(7), 1696-1718.

EL NIÑO 2023-2024 ET IMPACTS CLIMATIQUES AU BRÉSIL : UNE ANALYSE DU PRINTEMPS

Gabriela GOUDARD¹, Geisa Silveira da ROCHA²

1. Département de Géographie, Université Fédérale du Paraná, Brésil, gabigoudard.ufpr@gmail.com
2. Département d'Histoire et de Géographie, Université de Moncton, Canada, geisa.rocha@umoncton.ca

El Niño 2023-2024 and climate impacts in Brazil: an analysis of spring

Mots-clés : ENSO, précipitations, température, catastrophes naturelles

Keywords: ENSO, precipitation, temperature, natural disasters

Introduction

El Niño-Oscillation Australe (ENSO) est un mode de variabilité interannuelle couplé océan-atmosphère, marqué par le réchauffement / refroidissement du centre-est du Pacifique. En Amérique du Sud, ces épisodes modifient la circulation atmosphérique, les précipitations, les événements extrêmes, la température de surface, les débits, la production agricole et hydroélectrique. Au Brésil (Fig. 1a), pendant la phase chaude (El Niño - EN), on note une augmentation des précipitations dans le sud et une diminution au nord et au nord-est par rapport à la moyenne climatologique, ainsi que des anomalies de température positives dans une grande partie du pays. Ces processus sont plus expressifs au printemps et en été après le début de l'événement ENSO (Tedeschi *et al.*, 2015 ; Cai *et al.*, 2020), donc nous avons choisi d'analyser le printemps dans ce résumé.

L'année 2023, marquée par un fort EN, a présenté une série d'impacts liés au climat, notamment de graves sécheresses au nord, des cas d'inondations au sud et des canicules au centre-sud du Brésil. Ces processus ont été aggravés par les scénarios de changement climatique, générant des impacts importants sur la population et ses conditions de vie. De cette façon, l'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité des anomalies de précipitations et de température au printemps 2023, ainsi que les impacts déclenchés dans le contexte brésilien.

1. Données et méthodes : caractérisation du phénomène El Niño et des anomalies de précipitations et de température

L'étude utilise les données suivantes: I. précipitations du GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*), II. température de l'air de la réanalyse faite par le NCEP/NCAR, III. température de surface de la mer (TSM) de la version 5 de la réanalyse faite par le NCEP/NCAR, avec une résolution spatiale de 2 degrés et IV. impacts climatiques de la base du Système intégré d'information sur les catastrophes (S2ID).

La détermination de l'événement EN était basée sur l'indice ONI (*Oceanic Niño Index*) et l'intensité sur la GGWS - *Golden Gate Weather Services* (2021). Des analyses de TSM, de précipitations et de température ont été réalisées pour la période de septembre à novembre 2023 par rapport à la normale climatologique de 1991-2020, à l'aide du logiciel GrADS (*Grid Analysis and Display System*). Les impacts et les catastrophes ont été évalués à travers des informations publiées dans les médias électroniques et de la base du Système intégré d'information sur les catastrophes, en tenant compte les catastrophes hydrologiques, météorologiques et climatiques au printemps 2023.

2. Résultats et discussion

El Niño 2023-2024 a été classé comme un événement fort et conventionnel (*Eastern Pacific*), centré dans la région Niño3 (Fig. 1b) - Tedeschi *et al.*, 2015. Concernant les précipitations au printemps, on peut noter des anomalies pluviométriques positives plus élevées dans les États du sud du Brésil en septembre (Fig. 1c), octobre (Fig. 1d) et novembre (Fig. 1e) et des anomalies négatives au nord et au centre-sud-est (Fig. 1d et Fig. 1e). Durant cette période, 929 notifications de catastrophes liées aux inondations et à la sécheresse ont été enregistrées au Brésil dans le Système intégré d'information sur les catastrophes. Ces processus coïncident avec la plus grande sécheresse en Amazonie (région nord – Fig. 1a) depuis 120 ans (Clarke *et al.*, 2024), et avec des inondations importantes dans les États du sud du Brésil, comme Paraná - PR (ville de União da Vitória), Santa Catarina - SC (vallée d'Itajaí) et Rio Grande do Sul - RS (vallée de Taquari).

Les analyses de température permettent de vérifier des anomalies positives de 0,5°C à plus de 5°C, en mettant l'accent sur les régions du nord, du centre-ouest et du sud-est du Brésil en septembre (Fig. 1f), octobre (Fig. 1g) et novembre (Fig. 1h). L'année 2023 a été la plus chaude de l'histoire du Brésil et le pays a connu de nombreuses vagues de chaleur, avec des impacts surtout dans le centre-sud du pays. Ces processus ont aggravé aussi les

conditions de sécheresse dans le nord du pays. Au printemps 2023, la canicule de novembre se démarque dans le centre-sud du Brésil (Fig. 1h), au cours de laquelle plusieurs villes ont enregistré une sensation thermique supérieure à 40°C (y compris la ville de Rio de Janeiro – État RJ, avec des valeurs supérieures à 50°C), ce qui s’est traduit par une série d’impacts sur les conditions de vie de la population (INMET, 2023).

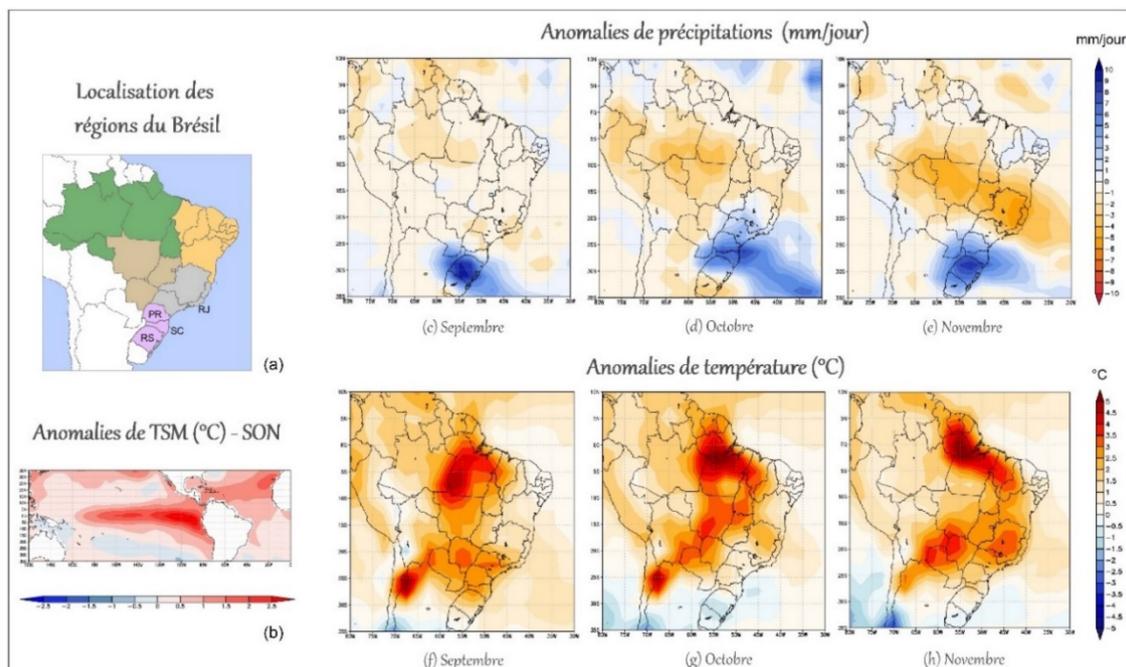


Figure 1. Anomalies de précipitations et de température au printemps 2023. Légende : (a) Localisation des régions du Brésil - blanc : Amérique du Sud, vert : nord, orange : nord-est, marron : centre-ouest, gris : sud-est, violet : sud ; (b) Anomalies TSM (°C) en septembre, octobre et novembre (SON) 2023 ; Anomalies de précipitations (mm/jour) – (c) septembre 2023, (d) octobre 2023, (e) novembre 2023 ; Anomalies de température (°C) – (f) septembre 2023, (g) octobre 2023 et (h) novembre 2023. Base de données : GPCP et réanalyse NCEP/NCAR. Élaboration : les auteurs (2024).

Conclusion

Le présent travail a permis de vérifier que le printemps 2023 a été marqué par des températures élevées, une sécheresse dans le centre-nord du pays et des pluies intenses dans le sud, entraînant plusieurs catastrophes au Brésil. Il convient de noter que ces processus sont associés à l’EN, mais sont de plus en plus intensifiées par les conditions actuelles du changement climatique (Clarke *et al.*, 2024), qui nécessitent des mesures de surveillance et d’adaptation face à la gestion des risques climatiques. De plus, les différentes typologies ENSO (Est, Central et Mix) génèrent différents effets sur la variabilité (Tedeschi *et al.*, 2015) qui doivent être explorés.

Remerciements : À CAPES (Coordination de l’amélioration du personnel de niveau supérieur - Ministère de l’Éducation du Brésil) pour le support financier de cette recherche.

Bibliographie

- Cai, W. *et al.*, 2020: Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1(4)**, p. 215-231.
- Clarke, B *et al.*, 2024: Climate change, not El Niño, main driver of exceptional drought in highly vulnerable Amazon River Basin. *Scientific Report - Amazon Drought, World Weather Attribution (WWA)*.
- INMET. 2023: *Balanço da primavera no Brasil*. Instituto Nacional de Meteorologia.
- GGWS. 2021: *El Niño and La Niña Years and Intensities*. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- S2ID. 2023: *Système intégré d’information sur les catastrophes*. <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., Cavalcanti, I. F. A. 2015: Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal of Climatology*, **35(8)**, 2045-2064. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4106>.

MODÉLISATION PARAMÉTRIQUE DU TRANSPORT DE LA FRAÎCHEUR PRODUITE PAR UN PARC POUR DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS URBAINES

Adrien GROS¹, Benjamin MORILLE¹, Jérémy BERNARD², Auline RODLER³, Sihem GUERNOUTI³, Marjorie MUSY³

1. SOLENEOS etIRSTV, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes, France, adrien.gros@soleneos.fr, benjamin.morille@soleneos.fr

2. CNRM et Lab-STICC, 42 Avenue Coriolis, 31100 Toulouse, France, jeremy.bernard@zaclys.net

3. CEREMA etIRSTV, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes, France, auline.rodler@cerema.fr, sihem.guernouti@cerema.fr, France, marjorie.musy@cerema.fr

Parc cooling diffusion parametric modeling for several urban configurations

Mots-clés : modélisation microclimatique, rafraîchissement des parcs, morphologie urbaine

Keywords: Microclimatic modeling, Park cooling, urban morphology

Introduction

Les infrastructures vertes, telles que les parcs urbains, sont reconnues pour leur capacité à participer au rafraîchissement urbain (Lewis, 2016). Dans un contexte d'intensification des vagues de chaleur, les parcs constituent une des stratégies de rafraîchissement urbain les plus efficaces pour rafraîchir et rendre les villes plus résilientes. La littérature scientifique fournit des ordres de grandeur permettant d'évaluer le rafraîchissement que l'on peut attendre d'un parc. Néanmoins, le lien entre la distance jusqu'à laquelle le rafraîchissement d'un parc peut être ressenti et les caractéristiques morphologiques de la ville est très peu documenté. La présente étude propose donc de caractériser cette relation à partir d'approches basées sur la réalisation de simulations microclimatiques pour différentes morphologies urbaines.

1. Présentation des cas d'étude

Différentes configurations de bâtiments ont été proposées pour caractériser le transport de fraîcheur produit par un parc en fonction des caractéristiques du tissu urbain. Ainsi, un espace bâti idéalisé entourant un parc a été imaginé en faisant varier 3 paramètres précédemment identifiés comme les plus influents (Bernard *et al.*, 2018) : la hauteur des bâtiments (H_b), le nombre de rues donnant sur le parc (N_r) et le pourcentage d'ouverture des rues sur le parc ($\%O$). Les 7 morphologies urbaines créées permettent de faire varier ces paramètres (Fig. 1A). Pour chacune d'entre elles, 3 hauteurs de bâtiment sont considérées (8, 16 et 32 m) totalisant ainsi 21 cas d'études. Chacun des cas d'étude est représenté par un quadrillage régulier de rues centrées sur un parc.

2. Modélisation de la distance de rafraîchissement d'un parc

Afin de caractériser la diffusion dans l'espace urbain de la fraîcheur produite par un parc, les simulations sont réalisées avec le modèle SOLENE-microclimat. Les champs de températures d'air sont simulés au pas de temps horaire pour les 21 cas pour la journée du 3 août 2018 en prenant en compte l'inertie résultant du bilan thermique des surfaces urbaines réalisé sur les 7 jours précédents. Les conditions météorologiques sont celles de la ville de Nantes. L'influence du vent sur la diffusion est évaluée en réalisant les simulations pour une vitesse faible (1.6m/s) et une vitesse élevée (4,6m/s). L'analyse est menée à partir de l'étude des profils de la température d'air à 2m d'altitude calculés le long d'un transect du Nord au Sud. À partir de ces profils de température, la distance de rafraîchissement est définie comme la distance à laquelle le parc n'a plus d'influence, soit la distance à laquelle la température en aval (au Sud) est égale à la température maximale en amont (au Nord du parc) (Fig. 1C).

3. Facteurs impactant la distance de rafraîchissement

La distance de rafraîchissement est beaucoup plus faible en journée à 12h (entre 10 et 120 m) que la nuit à 23h (entre 80 m et 220 m) (Fig. 1D). La nuit, le rafraîchissement produit par le parc est plus important qu'à 12h car la température dans le parc est inférieure à la température météorologique. La distance pour atteindre de nouveau la température en amont du parc est alors plus grande. La hauteur des bâtiments est un autre facteur qui impacte fortement la distance de rafraîchissement. À 12h, plus la hauteur des bâtiments est élevée, plus cette distance est importante, et inversement, à 23h (Fig. 1D). En journée, des bâtiments élevés produisent plus d'ombre dans les rues que ceux plus petits, favorisant le maintien de fraîcheur dans les rues en aval du parc. La nuit, des bâtiments

de grande taille réduisent le facteur de vue du ciel des rues, minimisant le rafraîchissement nocturne. Les rues avec des bâtiments plus bas sont donc plus fraîches. En ce qui concerne l'impact du nombre de rues et le pourcentage d'ouverture des rues sur le parc, il est beaucoup plus difficile de mettre en évidence leur impact sur la distance de rafraîchissement.

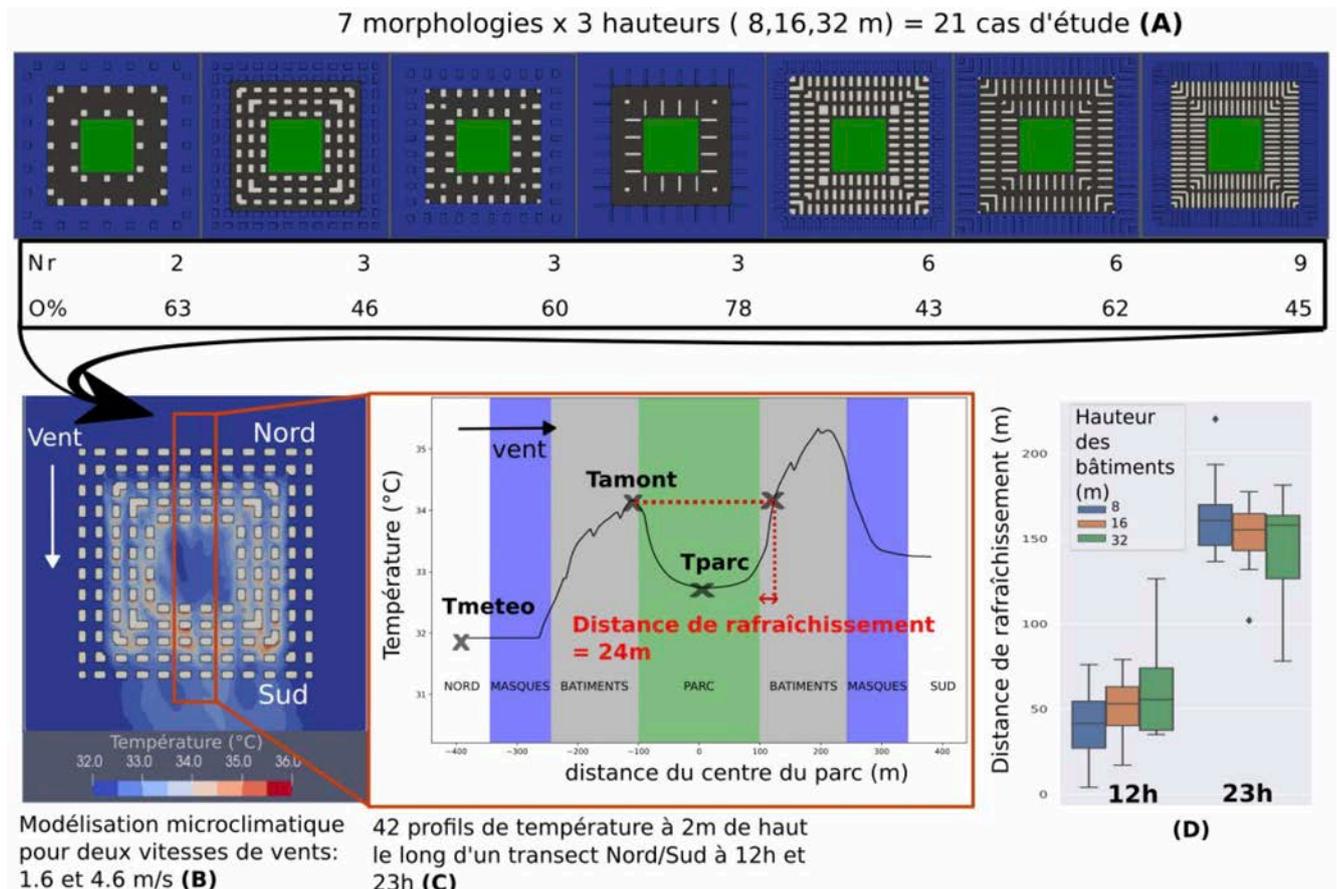


Figure 1. Méthodologie pour analyser la distance de rafraîchissement d'un parc : (A) Caractéristiques des cas d'étude, (B) Représentation du transect Nord/Sud, (C) Profil de température à 2m de haut le long du transect Nord/Sud, (D) Influence de la hauteur des bâtiments sur la distance de rafraîchissement à 12h et à 23h.

Conclusion

La distance de rafraîchissement d'un parc a été modélisée en faisant varier la hauteur des bâtiments, le nombre de rues et l'ouverture des rues sur le parc. Ces premiers résultats montrent qu'il est complexe de caractériser la distance de rafraîchissement d'un parc en fonction de l'environnement urbain. Pour améliorer cette étude, plusieurs pistes sont possibles. Soit créer d'autres cas d'étude pour pouvoir mieux évaluer l'impact du nombre et de la largeur des rues sur la distance de rafraîchissement, soit rechercher d'autres paramètres morphologiques mieux corrélés à la distance de rafraîchissement. D'autre part, les résultats produits dans cette étude ont servi à produire un métamodèle pour être implémenté dans CoolParksTool, un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer le rafraîchissement généré par un parc urbain et ses répercussions sur son environnement bâti.

Remerciements : Nous remercions l'ADEME pour le support financier du projet Coolparks dans le cadre de l'appel à projets MODEVAL URBA 2019

Bibliographie

- Bernard J., Rodler A., Morille B. et Xueyao Zhang X., 2018 : How to Design a Park and Its Surrounding Urban Morphology to Optimize the Spreading of Cool Air? *Climate*, **6(1)**, 10.
- Lewis D., 2016 : Cities leading the way to a better future. State of European Cities Report. European commission.

ÉVOLUTION DU RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE (1980-2018) DANS LA RÉGION CASABLANCA-SETTAT

**Kaoutar HAMDY ALAOU¹, Mohammed HSAINE¹, Hassan FOUGRACHE¹, Wadi BADRI¹,
Abdelali SEBBAR²**

1. Université Hassan II- Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sick, Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement (LEE),
b1.wadi@hotmail.fr

2. Direction Générale de la Météorologie (DGM), BP 8106-Casa Oasis; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani,
Casablanca, Maroc, sebbar202@gmail.com

Evolution of pluviometric regime in Casablanca-Settat Region

Mots-clés : Casablanca-Settat, sécheresse, tendances, variabilité pluviométrique

Keywords: Casablanca-Settat, droughts, trends, rainfall variability

Introduction

Au cours de la dernière décennie, le changement climatique a été toujours reconnu comme l'un des problèmes majeurs à l'échelle régionale et globale. Notamment, le Maroc. Par conséquent, une réduction pluviométrique, élévation des températures et multiplication des événements extrêmes (IPPC, 2007). De par sa position géographique, le Maroc est affecté par des sécheresses intenses et successives (Sebbar *et al.*, 2011). Ainsi, des conséquences négatives sur l'économie et l'environnement, dont la Région de Casablanca-Settat fait partie (Khalid *et al.*, 2023). Dans ce contexte nous nous proposons d'étudier l'évolution du régime pluviométrique de la région Casablanca-Settat et ses fluctuations.

1. Base de données

La base de données provient de la direction générale de la météorologie, elle se compose des données pluviométriques journalières sur la période qui s'étend de 1980 à 2018 pour cinq stations. L'homogénéité des séries a été vérifiée avec le logiciel AnClim (Stèpànek, 2005).

2. Méthodologie

D'une part, nous avons employé le logiciel Khronostat pour détecter les ruptures au sein des séries. Ensuite, nous avons analysé des tendances des précipitations et leurs significativités par l'application du test de Mann-Kendall (RStudio). D'autre part, la sécheresse climatique a été caractérisée en utilisant l'indice pluviométrique standardisé (IPS) sur 12 mois (SPI), calculé à l'aide du logiciel climPACT, une moyenne mobile centrée et réduite sur 9 ans a été calculée. Par la suite, les résultats de ces indices sont superposés avec les données de l'oscillation nord-atlantique (ONA).

3. Résultats et discussions

L'analyse de l'évolution des précipitations annuelles dans la région de Casablanca-Settat révèle une tendance générale à la hausse sur la période 1980-2018, avec des variations marquées d'une année à l'autre. Cependant, cette augmentation n'est pas statistiquement significative, selon le test de Mann Kendall, à l'exception de la station de Settat, en accord avec les résultats rapportés par (Sebbar *et al.*, 2022). Les ruptures détectées par les tests étudiés montrent que la majorité des stations présentent des ruptures surtout en 1995 et 1983 ainsi que 2011 (Tab. 1). En outre, l'IPS indique une tendance vers des conditions de sécheresse modérée à humidité modérée. Ceci concorde avec d'autres études météorologiques régionales en 2019. Enfin, une anticorrélation entre l'IPS et l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) est observée, confirmant les résultats antérieurs de (Sebbar *et al.*, 2022).

Tableau 1. Résultats des tests de Khronostat/ test de Mann Kendall

Stations	Test de rang	Test pettitt	Test de Buishand	Lee et heghinian	Test d'hubert	P value %	Tendance
Casablanca	Oui	Non	Non	1995	Non	0.06247	Non Significantive↑
Mohammedia	Non	Non	Non	1995	Non	0.06596	Non Significantive↑
Settat	Non	Non	Non	2011	Non	0.5756	Non Significantive ↓
Nouaceur	Non	Non	Non	1983	Non	0.7167	Non Significantive↑
El Jadida	Non	Non	Non	1995	Non	0.06596	Non Significantive↑

Conclusion

L'étude de l'évolution du régime pluviométrique dans la région de Casablanca-Settat sur la période 1980-2018 a révélé des tendances à la hausse non significatives dans la plupart des stations, à l'exception de la station de Settat, où une tendance à la baisse a été observée, en particulier pendant la saison hivernale. Cette diminution des précipitations a entraîné une transition vers des conditions plus sèches, ce qui a des répercussions directes sur les activités agricoles et entraîne une réduction significative des ressources en eau. En outre, les résultats de cette étude pourraient fournir des informations précieuses pour la phase initiale de la planification agricole et hydraulique.

Bibliographie

- IPCC. - Climate Change, The physical science basis, Working Group I Contribution to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p. (2007)
- Khalid, F., & EL moujahid, L. La gestion de l'eau au Maroc : vers un nouveau mode de gouvernance (2023).
- Sebbar, A., Badri, W., Fougrach, H., Hsaine, M., & Saloui, A. (2011). Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(3), 139-148.
- Stepanek P., 2005 : AnClim – software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno.
- Sebbar, A., Fougrach, H., Hsaine, M., & Badri, W. Évolution de régime pluviométrique sur un siècle dans la province de settat, Maroc. (2022)

L'INFLUENCE DE L'OSCILLATION NORD ATLANTIQUE SUR L'OCCURRENCE DES SÉCHERESSES HIVERNALES DANS LE BASSIN D'OUM ER BIA (MAROC)

Meriem HAMID, Khouldia NAFIA, Jalal Aguerd, Souad OURABIT, Mohamed EL GHACHI

| Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine, FLSHM- Beni Mellal, al.ghofrane2011@gmail.com

The influence of the North Atlantic Oscillation on the occurrence of winter droughts in the Oum Er Bia basin (Morocco)

Mots-clés : changement climatique, sécheresse hivernale, oscillation nord-atlantique, bassin d'Oum Er Rbia

Keywords: Climate change, winter drought, North Atlantic Oscillation, Oum Er Rbia basin

Introduction

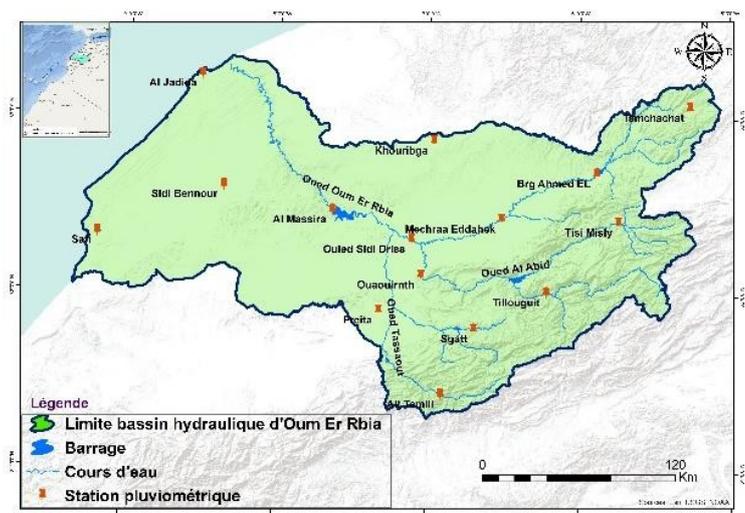
Le climat dans l'hémisphère Nord est très influencé par l'Oscillation Nord Atlantique (ONA), jouant un rôle prédominant dans la circulation atmosphérique (Durkee *et al.*, 2008). En fait, l'ONA est un indice calculé chaque année, correspond à la masse atmosphérique entre l'anticyclone subtropical des Açores et la dépression polaire d'Islande, dans la région de l'Atlantique Nord (Hurrell, 1995). La phase positive de l'ONA est caractérisée par des valeurs élevées de pression au niveau des Açores et des valeurs faibles au niveau de l'Islande (différence positive), renvoyant à un fort gradient de pression méridienne sur l'Atlantique Nord. Cette différence de pression engendre du fort vent d'Ouest, contribuant à des conditions de froid sur le Nord-Ouest de l'Atlantique et de la chaleur et la sécheresse sur le Sud de l'Europe et aussi sur l'Afrique du Nord. Durant la phase négative de l'ONA qui est matérialisée par de faibles valeurs de pression au niveau des Açores et de fortes valeurs au-dessus de l'Islande (différence négative), les perturbations atlantiques migrent vers le bassin méditerranéen, à cause de l'affaiblissement du gradient de pression sud (Hurrell *et al.*, 2003).

Au Maroc, la récurrence des sécheresses constitue un des principaux risques climatiques qui menace l'environnement, et met la population à l'exposition de nombreux risques et défis, relatifs notamment au secteur de la ressource en eau. La relation entre la sécheresse et l'ONA a déjà fait l'objet de plusieurs études, qui sont menées à l'échelle du pays, et qui ont montré que l'ONA exerce une influence assez considérable sur les précipitations (Knippertz *et al.*, 2003). Le but de ce travail est d'évaluer la relation entre l'ONA et les sécheresses hivernales récentes, en réduisant l'échelle de l'étude, et en se basant sur des données actualisées. Il s'agit exactement d'une évaluation de la relation entre l'indice de précipitations standardisé, dans le bassin hydraulique d'Oum Er Rbia, et l'indice de l'ONA, afin d'identifier l'influence de l'ONA sur l'occurrence des sécheresses hivernales dans ce bassin, constituant un réservoir important de la ressource en eau dans le pays.

1. Zone d'étude

Le bassin hydraulique d'Oum-Er-Rbia (OER) se situe au centre du Maroc atlantique (Fig. 1). Sa superficie est de 48070 km². Il se caractérise par une structure topographique hétérogène. Les hautes montagnes d'Atlas couvrent son amont, et les plaines et les plateaux dominent sur le reste du bassin. Son climat est méditerranéen, de type aride à semi-aride. Le bassin est doté d'un potentiel hydrique assez important, jouant un rôle très important dans l'approvisionnement en eau potable et dans le développement économique du bassin.

Figure 1. Carte du bassin hydraulique d'Oum Er Bia



2. Données et méthodes

Les données utilisées dans cette étude sont les moyennes mensuelles des précipitations de quinze stations pour une période allant de 1980 à 2023, collectées auprès de l'agence du bassin hydraulique d'OER et de la direction nationale de la météorologie. Les précipitations hivernales sont calculées, à partir des données des mois de : Décembre, Janvier et Février. Les valeurs de l'indice de l'ONA sont téléchargées auprès du site : www.ncar.ucar.edu. L'identification des années sèches a été faite, à l'aide de l'indice de précipitations standardisé (IPS). La corrélation entre les deux indices a été évaluée à l'aide du coefficient de Pearson. L'IPS se calcule comme suit :

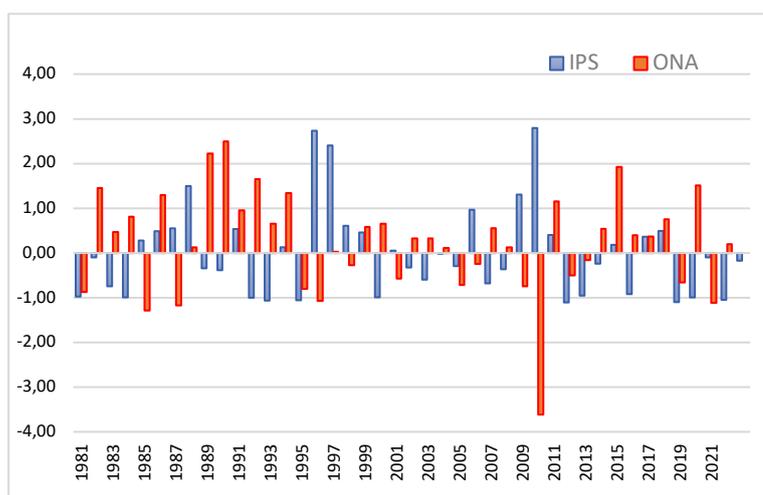
$$\text{IPS} = \frac{P_i - P_m}{\sigma}$$

avec P_i : Cumul annuel de pluie ; P_m : Moyenne interannuelle de pluie ; σ : Ecart type.

3. Résultats et discussion

Selon les résultats relatés dans la figure 2, il s'avère que les valeurs de l'ONA ont été en relation inverse avec les valeurs de l'IPS. Néanmoins, depuis 2011, les deux indices suivent la même tendance, avec une récurrence remarquable de sécheresse. Durant la période 1981-2022, la corrélation entre les deux indices est non significative au seuil de 5% ($r = 0,38$). En revanche, durant la période 1981-2010, ce coefficient ($r = -0,5$) est statistiquement significatif au seuil de 5%, mais elle ne l'est pas durant la période récente, (2011-2022), avec une valeur de $+0,38$. Ainsi, ces résultats montrent que l'influence de l'ONA sur les précipitations hivernales, dans le bassin d'OER, a été assez importante avant 2011. L'intensification de l'Anticyclone des Açores, associée à l'approfondissement de la dépression d'Islande, marquant la phase positive de l'ONA, engendre une réduction des précipitations hivernales, et ainsi, la sécheresse affecte le Maroc, y compris le bassin d'OER. Ce constat corrobore les résultats des études précédentes qui sont menées sur le pays entier (Knippertz *et al.*, 2003). Néanmoins, cette influence s'est affaiblie depuis 2011 et la sécheresse a frappé fréquemment le bassin d'OER, même durant la phase négative de l'ONA. De ce fait, la réduction des précipitations hivernales est probablement liée aux autres facteurs locaux ou bien globaux, ce qui confirme ainsi les conclusions du GIEC (2014 et 2021), indiquant que les impacts du changement climatique affectent progressivement le climat dans la zone méditerranéenne, en entraînant une augmentation de la température et une réduction considérable des précipitations.

Figure 2. L'ONA et l'IPS durant la période (1981-2022)



Conclusion

L'objectif de ce travail est de fournir un résumé sur la relation entre l'ONA et l'occurrence de sécheresse dans le bassin d'OER. Les résultats obtenus, à travers l'exploitation du coefficient de Pearson, montrent que cette relation a été inverse, et assez importante avant 2011. Mais après cette date, l'influence de l'ONA sur l'occurrence des sécheresses hivernales s'est affaiblie. Les sécheresses frappent le bassin, même durant la phase la négative de l'ONA, en signalant ainsi, que les impacts du changement climatique global affectent le régime pluviométrique dans la zone méditerranéenne, en engendrant des risques climatiques extrêmes et plus récurrents.

Bibliographie

- Durkee, J. D., Frye, J. D., Fuhrmann, C. M., Lacke, M. C., Jeong, H. G., & Mote, T. L. (2008). Effects of the North Atlantic Oscillation on precipitation-type frequency and distribution in the eastern United States. *Theoretical and Applied Climatology*, 94, 51-65.
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269 (5224), 676-679.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 1-36.
- Knippertz, P., Christoph, M., & Speth, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 83(1-2), 67-8.

STRESS THERMIQUE ET COMPORTEMENT DES HABITANTS DE CASABLANCA (MAROC) EN PÉRIODE DE FORTE CHALEUR : UN RETOUR D'ENQUÊTE

Nassima HASSANI¹, Mathias BOQUET¹, Gilles DROGUE¹, Saïd SGHIR²

1. Université de Lorraine, LOTERR, F-57000 Metz, France, nassima.hassani@univ-lorraine.fr, mathias.boquet@univ-lorraine.fr, gilles.drogue@univ-lorraine.fr

2. Université Sultan Slimane, RDT2E, 23000 Beni Mellal, Maroc, sghirs@yahoo.fr

Heat stress and behaviors of Casablanca residents during periods of high heat: feedback from a survey

Mots-clés : vague de chaleur, perception, vulnérabilité, adaptation

Keywords: heatwave risks, urban overheating, vulnerability, perception, adaptation

Introduction

La ville de Casablanca est confrontée ces dernières décennies à des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et intenses (Bouaiche *et al.*, 2022). Or, les vagues de chaleur posent un problème majeur de santé publique, provoquant de nombreuses malaises et des décès prématurés chez les personnes fragiles, un recours plus important aux services d'urgences, une plus grande accidentalité du travail et de la route, etc. (Hu *et al.*, 2020, Chebli *et al.*, 2023). Notre étude a pour but de documenter la perception du risque caniculaire et les stratégies d'adaptation individuelles face au stress thermique dans la ville de Casablanca. L'évaluation de la perception du risque caniculaire et l'adaptation à la surchauffe urbaine d'une population nécessitent une méthode de collecte de données adaptée. Nous avons opté pour la méthode par questionnaire, considérée comme l'un des moyens les plus adaptés pour mesurer la perception de la chaleur et des risques qui lui sont liés par la population (Hassani, 2023). Les résultats obtenus pourront ensuite être mis à profit par le gestionnaire du risque comme aide à la décision pour lui permettre de prioriser les mesures de prévention et d'action.

1. Méthodologie et protocole d'enquête

Un questionnaire a été construit en deux langues (français et arabe) en respectant plusieurs règles afin qu'il soit cohérent avec la problématique traitée. Il est composé d'une série de questions ouvertes et fermées de façon à pouvoir être accompli en 20 min. Ensuite, le questionnaire a été testé auprès d'un échantillon d'une vingtaine de personnes (experts et non experts) afin de s'assurer que les questions posées et les choix des réponses permettaient bien de recueillir les informations recherchées et d'identifier toute redondance. Après cette phase de test, l'enquête de terrain a été menée par un groupe de 9 personnes (l'enquêteur principal et un groupe de 8 étudiants) sur 15 lieux publics (places publiques, parcs et jardins, stations de tramway...). Le travail s'est déroulé sur un temps restreint de 10 jours consécutifs, du 5 au 14 mai 2022, dans le but de minimiser les chances d'apparition d'événements susceptibles de biaiser les résultats (occurrence d'une vague de chaleur par exemple). Les personnes enquêtées ont été sélectionnées au hasard selon la méthode d'échantillonnage aléatoire, ce qui leur donne la même probabilité de faire partie de l'échantillon, indépendamment de leur sexe, de leur âge ou de leur catégorie socio-professionnelle.

2. Résultats et conclusion

Au total 614 personnes ont été interrogées, parmi lesquelles 54% d'hommes (336 répondants) et 46% de femmes (278 répondants), avec une majorité de répondants dont l'âge est situé entre 18 et 49 ans.

Dans un premier temps, les enquêtés nous ont renseignés sur le profil des personnes s'estimant vulnérables dans nos échantillons. Il s'agit le plus souvent d'individus répondant aux critères classiques de la vulnérabilité : état de santé fragile, logement insalubre, personnes isolées, travailleurs extérieurs, etc. En revanche, en termes de tranches d'âge, nous avons constaté que la sensation de vulnérabilité ne se limitait pas aux personnes âgées puisque les groupes de personnes âgées de 25 à 65 ans ont représenté la majorité des personnes s'estimant vulnérables à la chaleur. Cela peut s'expliquer par le fait que, si les personnes âgées sont la catégorie la plus fragile, elles bénéficient de meilleures conditions de vie, avec une plus faible exposition au stress thermique dans leur environnement domestique. Les répondants sont partagés sur la question d'une éventuelle augmentation de la fréquence des canicules dans les prochaines années, avec une petite majorité (52%) déclarant ne pas savoir, et 46% considérant que les événements caniculaires vont se multiplier à l'avenir, évoquant comme raisons le changement climatique, le

trou dans la couche d'ozone ou encore, les épisodes de sécheresse survenus ces dernières années. Il y a ainsi quelques amalgames entre le changement climatique et d'autres questions environnementales. Ajoutons que les répondants sont souvent réticents à répondre à la question posée et beaucoup ont coché « je ne sais pas » pour mettre en commentaire la formule « Allah le sait mieux ». On peut en conclure que la culture influence leur perception.

Par ailleurs, en vue d'observer la pratique des lieux chez les enquêtés en période caniculaire, nous leur avons présenté une carte interactive dans laquelle nous leur avons demandé de situer les lieux qui correspondent à leurs habitudes de fréquentations en période de forte chaleur. Il en ressort que les enquêtés ont instinctivement conscience des lieux les plus chauds et des lieux les plus frais de leur territoire (figure ci-contre). Ainsi, les lieux les plus souvent signalés pour la surchauffe sont des espaces très fréquentés souvent situés au centre-ville. Les participants ont tendance à se rendre spontanément dans les espaces végétalisés et à proximité des points d'eau pour se rafraîchir.

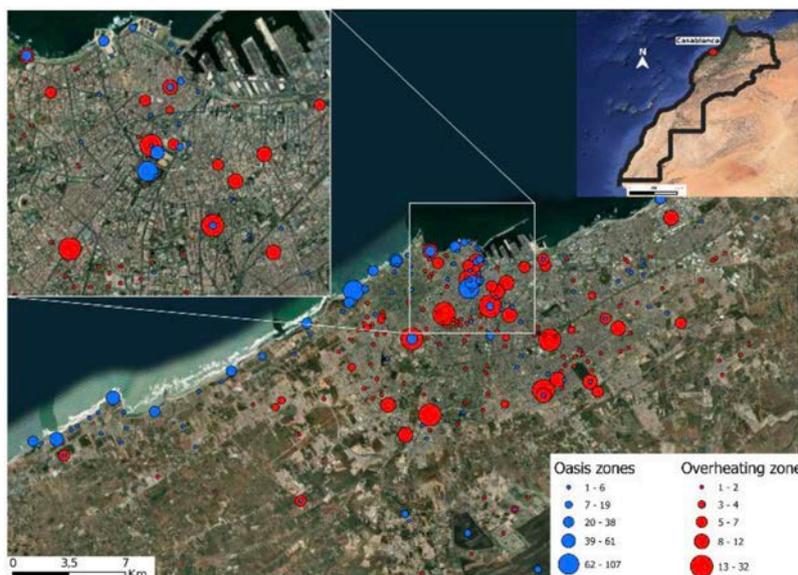


Figure 1. Les « oasis » et les zones de surchauffe signalées par les répondants (en nombre d'occurrences).

Au total, en dépit des biais évidents liés à la sur-représentation de certaines tranches d'âge et de catégories socio-professionnelles, l'enquête auprès de la population de Casablanca a montré des résultats intéressants permettant de caractériser le ressenti des habitants et les comportements adoptés durant les périodes de forte chaleur, et de dessiner des cartes des espaces perçus comme les plus frais et les plus chauds. Nonobstant, il est important de poursuivre ces recherches afin de mieux comprendre les déterminants de la perception du risque de stress thermique et de mettre en place des stratégies efficaces pour atténuer ses effets sur le confort thermique des populations. Dans le contexte actuel de changement climatique, il est crucial de maintenir les efforts engagés pour que les populations prennent conscience des risques associés. Enfin, les résultats de cette étude pourraient être utilisés par les pouvoirs publics pour nourrir la réflexion des élus et des opérateurs publics dans la planification des projets d'aménagement du territoire.

Remerciements : Les auteurs remercient l'ADEME Grand Est pour son soutien financier, Sébastien Douche (Direction de la Transition Ecologique de l'Eurométropole de Metz) ainsi que les étudiants enquêteurs.

Bibliographie

- Bouaiche A., Lotfi N., Karrouk M. S., Chair M. et Yazami M., 2022, « *Situations météorologiques extrêmes au Maroc septentrional : cas des vagues de chaleur sur la ville de Casablanca* », 35^{ème} colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie, Toulouse, France.
- Hu J., Wen Y., Duan Y., Yan S., Liao Y., PAN H., Zhu J., Yin P., Cheng J. et Jiang H., 2020, « The impact of extreme heat and heat waves on emergency ambulance dispatches due to external cause in Shenzhen, China », *Environmental Pollution*, 261, P.
- Hassani N., 2023, « Caractérisation des îlots de chaleur de saison chaude dans les territoires de l'Eurométropole de Metz (France) et du grand Casablanca (Maroc) : observation, perception, vulnérabilité », Thèse de doctorat, Université de Lorraine, Metz, France, 452 p. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-04469142>.
- Chebli M., Dahech S. et Charfi S., 2023, « Vulnérabilité de la population face aux fortes chaleurs dans l'agglomération de Kairouan (Tunisie centrale) », *EchoGéo*, 66, <https://doi.org/10.4000/echogeo.26014>.

CLIMATE SHELTER NETWORKS: LEARNING FROM INTERNATIONAL STUDY CASES FOR A BETTER REFLECTION IN THE FRENCH CONTEXT

Julia HIDALGO¹, Brais VILARINO², Marion BONHOMME³

1. Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (UMR 5931, Université de Toulouse-CNRS-EHESS-ENSFEA), LISST, 31058 Toulouse – France, julia.hidalgo@univ-tlse2.fr

2. Universidade de Santiago de Compostela, Instituto de Estudos e Desenvolvimento de Galicia, IDEGA, 15782 Santiago de Compostela – Spain, brais.estevez.villarino@usc.es

3. Université Paul Sabatier, Laboratoire de Matériaux et Durabilité des Constructions, LMDC, 31400 Toulouse -France, marion.bonhomme@insa-toulouse.fr

Réseaux d'espaces refuge à la chaleur : tirer les leçons des cas internationaux pour une meilleure réflexion dans le contexte français

Mots-clés : surchauffe urbaine, politiques d'adaptation climatique, espace refuge, participation citoyenne

Keywords: urban overheating, climate adaptation policies, climate shelter, citizen participation

Introduction

This paper presents an analysis of the genesis, the circulation of models and the implementation of climatic adaptation policies to heat based on climate shelters. Slightly transforming existing infrastructures, climate shelters are public spaces that provide thermal comfort to vulnerable citizens, while maintaining other uses and functionalities. The analysis of international literature and the Barcelona's climate shelter network developed during the first phase of the Labex SMS-CROCUS (2023-2024) (Estevez *et al.*, accepted) allow for a better reflection in the french context in the framework of the recently started POPSU-Transitions research program in Toulouse (2024-2025).

1. Methodology

This research is the fruit of an interdisciplinary collaboration between social geographers, urban climatologists and civil engineers. An in-depth bibliography review concerning climate shelters definition, climate shelter networks implementation, anticipatory action and future urban living, and above all, a field work concerning the analysis of the Barcelona Climate Shelter Network was conducted in 2023.

2. Results

As we all know, in recent years, the world has undergone a significant transformation, from a realm of certainties to one filled with uncertainties and looming disasters. These catastrophes, which are both ecological and social, are largely attributed to the climate crisis caused by human activities. As a result, the future of cities and the planet is at stake, with the prospect of becoming uninhabitable.

To address this urgent issue, local governments worldwide have taken action to mitigate and adapt to climate change. One exemplary initiative is the Barcelona City Council's Network of Climate Shelters, established in 2019. This network aims to prepare the city for the anticipated rise in temperatures by transforming existing public spaces, such as libraries and schools, into climate shelters.

What sets the Barcelona Network of Climate Shelters apart, at least in one of its modes of assemblage, is its collaborative approach. The citizens actively participate in the design and implementation of some of these infrastructures.

This not only ensures that the shelters are efficient and effective but also fosters a sense of collective responsibility towards the climate crisis. By involving the public, the initiative not only prepares the city for climate change but also builds a more resilient citizenry capable of facing an uncertain future together.

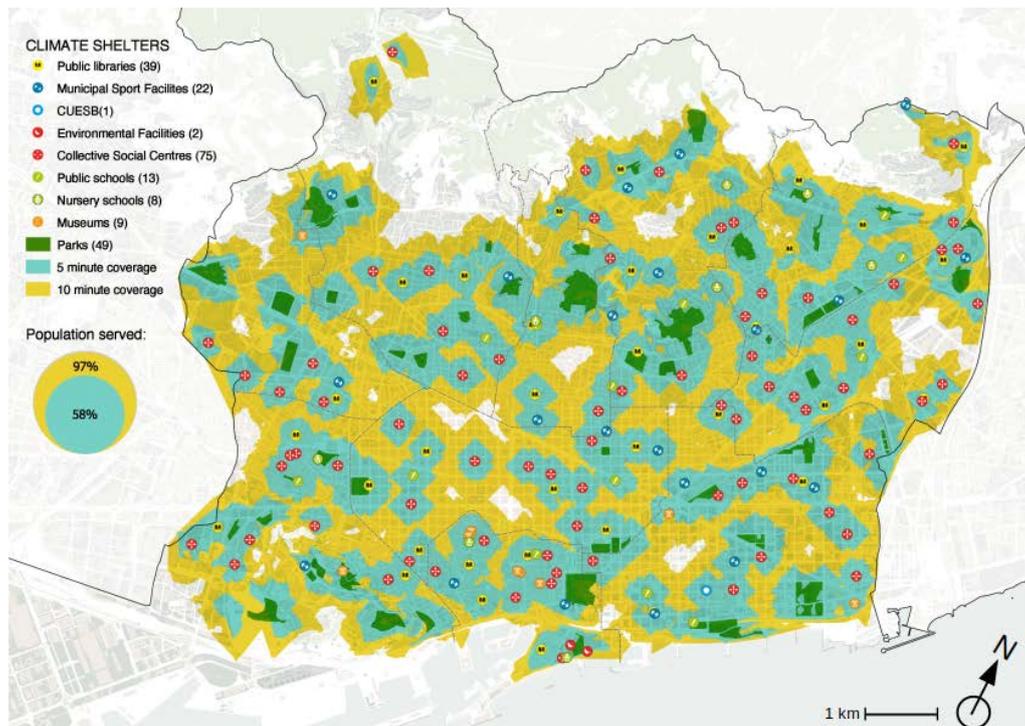


Figure 1. Network of climate shelters in Barcelona – summer 2023. Source : Barcelona Regional

Conclusion

When developing public heat adaptation policies, it is essential to understand the different modalities and potentials of each type of strategy. Climate shelters as apprehended by our research consortium, have the virtue of being not only a study case to apply knowledge in urban climatology, but also of conveying other values of climatic knowledge socialization and, promoting models of resource mutualization, a certain energy sobriety.

Bibliography

Estevez B., Hidalgo J. and Bonhomme M., Accepted : Anticipatory action and future urban living in a context of increasing temperatures: an analysis from the Barcelona Climate Shelter Network, **Book Chapter**, “Cities as anticipatory systems”, Elsevier.

UTILISATION DU KRIGEAGE AVEC RÉGRESSION POUR CARTOGRAPHIER L'ÎLOT DE CHALEUR À CLUJ-NAPOCA, ROUMANIE

Iulian-Horia HOLOBĂCĂ¹, Mircea ALEXE¹, Kinga TEMERDEK-IVAN², Cosmina URSU³

1. Département de Géographie Physique et Technique, Faculté de Géographie, Université Babeş-Bolyai, 5-7 Clinicilor, Cluj-Napoca, Roumanie, iulian.holobaca@ubbcluj.ro, mircea.alexu@ubbcluj.ro

2. Centre de Recherche pour le Développement Durable, Faculté de Géographie, Université Babeş-Bolyai, 5-7 Clinicilor, Cluj-Napoca, Roumanie, kinga.ivan@ubbcluj.ro

3. École Doctorale de Géographie, Faculté de Géographie, Université Babeş-Bolyai, 5-7 Clinicilor, Cluj-Napoca, Roumanie, cosmina.ursu@ubbcluj.ro

Application of Regression Kriging to Map the Urban Heat Island in Cluj-Napoca, Romania

Mots-clés : krigeage avec régression, îlot de chaleur urbain, Cluj-Napoca, climat urbain

Keywords: Regression-Kriging, Urban Heat Island, Cluj-Napoca, urban climate

Introduction

Cette étude emploie la méthode du krigeage avec régression pour cartographier l'îlot de chaleur urbain (ICU) à Cluj-Napoca, Roumanie. Le krigeage avec régression, fusionnant des données spatiales et météorologiques, offre une approche avancée pour évaluer et représenter les variations thermiques locales. Cette méthode permet une cartographie détaillée de l'ICU, fournissant ainsi des données essentielles pour la planification urbaine durable et la gestion des impacts climatiques (Holobaca *et al.*, 2022).

1. Zone d'étude et méthodologie

La ville de Cluj-Napoca est située dans la région de Transylvanie, au nord-ouest de la Roumanie. Sur le plan climatique, cette région se trouve dans une zone de climat tempéré continental, avec des hivers froids et des étés chauds. Le choix de cette zone d'étude repose sur plusieurs facteurs cruciaux : (1) une croissance urbaine rapide et une urbanisation importante, qui en font un site pertinent pour étudier l'îlot de chaleur urbain ; (2) des contextes urbains variés (topographie particulière, mosaïque des zones résidentielles, industrielles et commerciales), qui offrent l'opportunité d'analyser des variations thermiques ; (3) enfin, la disponibilité de données du réseau MICCRO et de relevés topographiques pour analyser la formation de l'ICU à Cluj-Napoca.

Cette étude utilise la méthode du krigeage avec régression, une approche géostatistique combinant les techniques de régression et d'interpolation spatiale (Hengl *et al.*, 2007). La partie déterministe repose sur l'utilisation d'une régression linéaire multiple à l'aide du logiciel SPSS. La variable dépendante est la température moyenne en août à 1h locale. Les variables indépendantes sont liées à la localisation (altitude, x, y, distance au centre, distances par rapport à l'axe nord-sud et à l'axe ouest-est) et à l'environnement urbain (densité des bâtiments, densité des arbres, NDVI et hauteur des bâtiments). La partie stochastique est obtenue en appliquant un krigeage ordinaire aux résidus du modèle linéaire. Les données de température proviennent du réseau MICCRO (Holobaca *et al.*, 2022) avec 40 capteurs pour la période de 2020 à 2023. L'altitude a été dérivée du modèle numérique de terrain ALOS PALSAR, avec une résolution spatiale de 12,5 m. Toutes les autres données spatiales ont été obtenues à partir du site Copernicus (<https://land.copernicus.eu/> ; résolution de 10 m). Pour faciliter le croisement des données, toutes les données ont été redimensionnées à une résolution de 30 m dans ArcGIS. Dans une première étape, les températures ont été vérifiées en utilisant l'analyse *Cluster and Outlier* (Anselin Local Moran's I) dans ArcMap, qui identifie les agrégats spatiaux présentant des valeurs élevées (*hot spots*) ou faibles (*cold spots*) et les points spatiaux aberrants. Puis, dans une deuxième étape, les coefficients du modèle de régression linéaire ont été déterminés, et le krigeage des résidus a été réalisé. Enfin, la calculatrice raster a été utilisée pour intégrer la partie déterministe et stochastique du krigeage avec régression.

2. Résultats et discussions

À partir de l'analyse *Cluster and Outlier*, 16 des 40 capteurs ont été identifiés comme statistiquement significatifs et classés dans l'une des 4 catégories (Fig. 1) : 4 points définissant une concentration de capteurs avec des températures élevées (*High-High Cluster*) dans la zone orientale ; un groupe avec des températures plus basses (*Low-Low Cluster*), avec 7 capteurs dans la zone occidentale ; 2 points spatiaux aberrants (*High-Low*) à l'ouest représentant des capteurs plus chauds que la zone autour ; et à l'inverse, 3 *outliers Low-High* dans la partie orientale. Les 24 capteurs restants ont été classés dans la catégorie « Non significatif ».

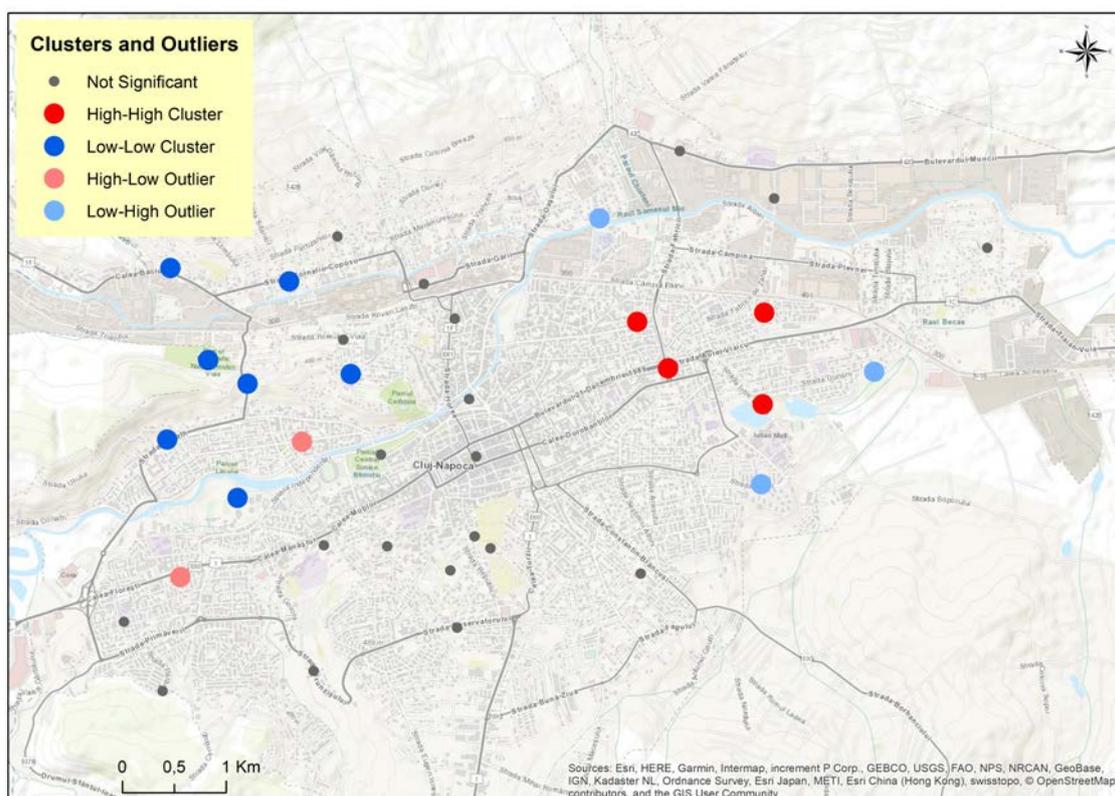


Figure 1. Résultats de l'analyse *Cluster and Outlier* (Anselin Local Moran's I), à partir des températures moyennes en août à 1h locale (réseau MICCRO)

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont en accord avec les résultats de la régression linéaire multiple (Tab. 1). La méthode ascendante (*forward*), itérative, a été utilisée pour sélectionner progressivement les variables indépendantes les plus significatives à inclure dans le modèle de régression. Selon le coefficient standardisé (Beta), qui indique l'importance de la variable dans la régression, la distance d'est en ouest (x) est le paramètre le plus crucial, puis deux autres variables de localisation (la distance au centre-ville et la distance par rapport à l'axe nord-sud) et enfin une seule caractérisant l'environnement urbain, à savoir la densité des arbres. Le score R^2 du modèle est de 0,687, expliquant ainsi près de 70% de la variation totale des températures au mois d'août, à 1h locale.

Tableau 1. Les coefficients standardisés (Beta) de la régression linéaire multiple

C	Distance E-W (x)	Distance au centre-ville	Distance N-S (y)	Densité des arbres
Beta	0.485	-0.363	-0.357	-0.231

Le modèle change à différentes heures, notamment dans l'après-midi, en raison des variations dynamiques dans la sélection des variables par la méthode ascendante (*forward*). Ces fluctuations témoignent de l'impact variable des facteurs environnementaux sur les températures.

Conclusion

Dans cette étude, nous avons appliqué avec succès le krigeage avec régression pour cartographier les températures nocturnes, en août, à Cluj-Napoca, Roumanie. Intégrant des données spatiales et météorologiques, cette approche a permis une évaluation des variations thermiques locales et de mettre en évidence l'îlot de chaleur urbain. Les résultats soulignent des tendances spatiales significatives, avec une concentration des capteurs avec des températures élevées dans la partie centrale orientale de la ville.

Bibliographie

Hengl T., Heuvelink G., Rossiter D. G. 2007 : About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*, 33(10), 1301–1315. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.05.001>

Holobacă I., Alexe M., Temerdeș-Ivan K., 2022 : Les premiers résultats de la surveillance de l'îlot de chaleur à Cluj-Napoca à l'aide du réseau automatique MICCRO (Monitorizarea Insulei De Caldura In Cluj - Romania). 35ème Colloque Annuel de l'AIC, Toulouse, France.

LE FRONT DE BRISE DE MER À DJIBOUTI

Moumina IDRIS DAUD¹, Salem DAHECH¹, Jean-Claude BERGES²

1. Université Paris Cité, UMR PRODIG ; Campus Paris Rive Gauche, Site Olympe de Gouges, 75013 Paris, France,

2. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne ; UMR PRODIG du CNRS (c.c. 7001), Campus Paris Rive Gauche, site Olympe de Gouge, 75013 Paris – France

mouminaidriss@gmail.com, salem.dahech@u-paris.fr, jean-claude.berges@univ-paris1.fr

Sea breeze front in Djibouti

Mots-clés : Brise littorale, front de la brise

Keywords: Coastal breeze, breeze front

Introduction

La différence de l'inertie thermique entre le continent et l'océan crée un contraste thermique important entre les masses d'air qui est capable de développer la brise marine. Ce vent thermique journalier se forme près des littoraux pour ensuite pénétrer dans le continent (Atkinson, 1981). Selon plusieurs études antérieures, la brise littorale est devancée par le front de brise diurne qui matérialise le contact entre l'air continental (chaud et sec) et l'air marin (frais et humide) avec une ligne de nuages distinctifs de type cumuliformes parallèles à la côte (Simpson, 1994). Il est donc important d'étudier la brise à Djibouti car cette dernière impacte certains paramètres météorologiques tels que la température et l'humidité de l'air au moment le plus chaud de la journée. Dans ce travail, nous cherchons à détecter par le biais des images satellitaires, la localisation du front de brise de mer, afin d'étudier la pénétration de cette dernière dans le continent.

1. Site d'étude

Djibouti, capitale de la République de Djibouti, située dans la région de la Corne d'Afrique, est une ville côtière et portuaire. À échelle fine, l'agglomération de Djibouti-ville est assez remarquable par sa topographie très basse près de la côte (plaine côtière s'étendant sur 8 km) et devient accidentée vers l'ouest avec le Mont Arta qui culmine jusqu'à 755 m. Elle est bordée à l'est par la Mer Rouge et le golfe d'Aden avec environ 35 km de côte. D'un point de vue climatologique, la ville est dotée d'un climat aride. Les températures maximales journalières oscillent entre 35°C et 45°C durant l'été (juin et juillet) et la précipitation annuelle moyenne est d'environ 245 mm.

2. Données et méthode

Pour réaliser ce travail, nous recourons à des imageries satellitaires de Meteosat Second Generation (MSG) téléchargées depuis le site [<http://193.55.96.62/redsea>]. La sélection des journées marquées par un front de brise visuellement couvre la période de 2017 à 2023. De surcroît, nous avons téléchargé depuis le site National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), des données météorologiques de la station d'Ambouli implantée à l'intérieur de l'Aéroport. Pour sélectionner les journées marquées par la brise, la méthode des filtres est appliquée. Nous avons retenu les jours où la vitesse du vent ne dépasse pas 11 m/s, puis on examine la direction du vent, pendant la journée, si le vent souffle de la mer et pendant la nuit du continent. Ces filtres sont en grande partie utilisés par des études antérieures (Simpson, 1994 ; Dahech *et al.*, 2012). Des anémogrammes et des roses de vent sont réalisés pour montrer l'alternance entre la brise de mer et celle de terre.

3. Résultats

Les journées marquées par un front de brise matérialisé par des cumulus, entre 2017 et 2023, présentent des variations mensuelles remarquables. Le front de brise de mer est plus observé durant la saison fraîche avec une fréquence comprise entre 5% et 19% (Fig. 1A). Quant à la période estivale, le front de brise est moins marqué avec une fréquence inférieure à 1.3% car il peut être masqué par d'autres formes de nuages d'échelles spatiales supérieures (Damato *et al.*, 2003). À titre d'exemple, la journée du 23/12/2023 à 12h00 (heure UTC) soit à 15h (heure locale), le front de brise de mer matérialisé par le cumulus coiffe la ville de Djibouti (Fig. 1B). Parallèle au trait de côte, ce front pénètre dans le continent d'environ 8km à 10h27 en heure locale (Landsat 9, Fig. 1C). Durant le mois de décembre 2023, la ville de Djibouti connaît un temps calme. Étant que la côte est orientée NO/SE (350° et 160°), la ville reçoit la brise de mer soufflant du quadrant E notamment de la direction comprise entre 80 et 110° (Fig. 1E). Sa vitesse maximale peut atteindre 7 m/s. Cependant, à 4h (heure locale) (Fig. 1D) domine le vent du sud-ouest soufflant des directions comprises entre 180° et 270° ; il s'agit de la brise de terre.

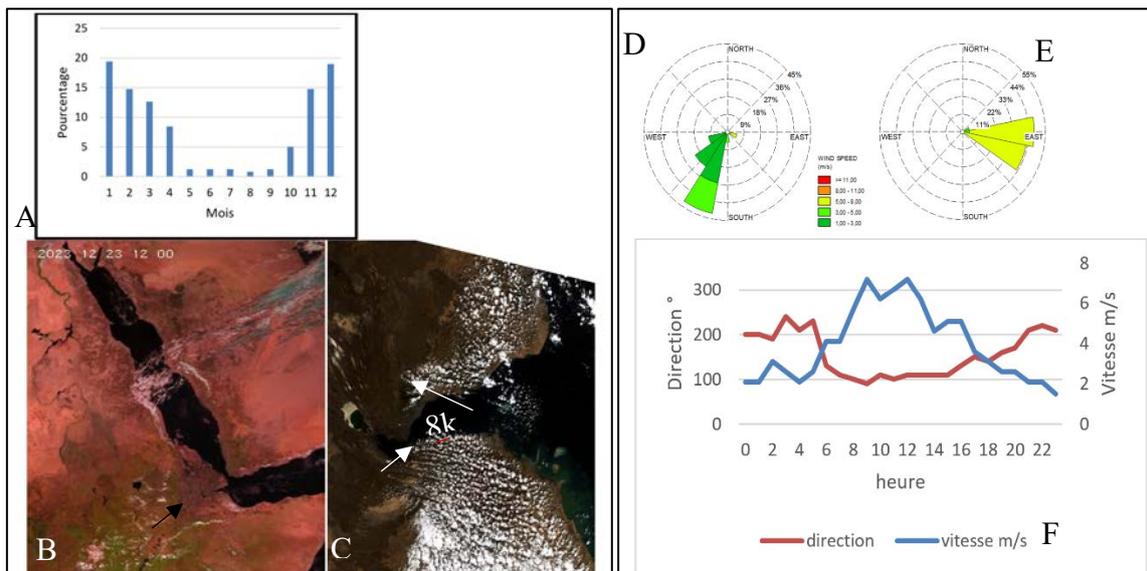


Figure 1. Fréquence du front de brise de mer (A), image MSG (B) et landsat 9 du 23/12/2023(C).
Roses de vent à 4h et 15h (heure locale ; D et E) et anémogramme (F) du mois de décembre (Données Station Ambouli).

Conclusion

À Djibouti, la fréquence du front de brise de mer, matérialisé par des cumulus sur des images MSG, oscille entre 1% (juin) et 19% (janvier) durant la période de 2017-2023. Cette fréquence est plus élevée durant la saison moins chaude qu'en été. La journée du 23/12/2023 est matérialisée par un alignement de nuages de type cumuliforme, parallèle au trait de côte. Ce dernier est facilement distinguable en raison de la résolution spatiale des images utilisées. Le vent enregistré le mois de décembre montre une alternance quotidienne entre brise de mer et brise de terre.

Bibliographies

- Atkinson B.W., 1981: *Meso-scale atmospheric circulation*. Academic Press. 495 pages.
- Dahech S., Berges J.-C., Beltrando G., 2012 : Localisation et dynamique du front de la brise de mer au Maghreb oriental. *Climatologie*, **9**, 59-81.
- Damato F., Planchon O. et Dubreuil V., 2003: A remote sensing study of the inland penetration of sea breeze fronts from the English Channel. *Weather*, **58**, 219–225.
- Simpson, 1994: *sea breeze and local wind*. Cambridge University Press, 234 pages.

SPECIFIC SYNOPTIC CONTEXT PRODUCING EXTREME MINIMUM AIR-TEMPERATURES IN ROMANIA. CASE STUDY: 13-14 JANUARY 1985

Raul-Gabriel ILEA^{1,2}, Nicoleta IONAC¹, Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN¹,
Elena GRIGORE¹

1. University of Bucharest, Faculty of Geography, 1 Nicolae Bălcescu Avenue, 010041, District 1, Bucharest, Romania, raul11_bv@yahoo.com, ionac.nicoleta@geo.unibuc.ro, oprea.constantin@geo.unibuc.ro, elazigzag@gmail.com
2. National Meteorological Administration, 97 București-Ploiești Street, 013686, Bucharest, Romania, raul11_bv@yahoo.com

Contextes synoptiques caractéristiques pour la production de températures minimales extrêmes sur le territoire de la Roumanie. Étude de cas : 13-14 janvier 1985

Mots-clés : températures minimales de l'air extrêmes, contextes synoptiques, inversions de température, Roumanie

Keywords: extreme minimum air-temperatures, synoptic contexts, temperature inversions, Romania

Introduction

The minimum air-temperatures often go to extremes in Romania (Busuioc *et al.*, 2015; Ilea, Ionac, 2022), thus having a great variability in time and space, accounting for the importance of their analysis (Bartholy and Pongrácz, 2007). The purpose of this study was not only to identify the synoptic context in which the lowest daily minimum air-temperatures were registered at most of the weather stations in Romania, in the 1980-2015 period, but also to show that topography may play an important role in their occurrence, especially by creating favorable conditions for air-temperature inversions. As most minimum air-temperatures extremes usually occur on the bottom of intra-mountainous depressions, during the cold season in Romania, their study may be useful in forecasting and mitigating potential climatic hazards and economic losses related to specific air-circulation patterns and local relief forms.

1. Data and methods

In order to relevantly outline the most extreme minimum air-temperature values recorded in Romania, 43 weather stations operated by the National Meteorological Administration (NMA) were taken into consideration. The period of reference is 1980-2015 and includes homogeneous data series for daily minimum air-temperatures.

A distinct synoptic situation (case study) was analyzed for 13-14 January 1985, a period in which extreme minimum air-temperatures were recorded at very many weather stations out of the 43 selected, at the same time. In this respect, maps of temperature and atmospheric pressure distribution at ground level (2 m), as well as maps of temperature and geopotential at different heights in the troposphere (850 hPa and 500 hPa), extracted from the GFS global area model archive, were mainly used (https://wetter3.de/archiv_gfs_dt.html), alongside with the distribution map of snow depth on Romania's territory, from the ECMWF global model archives (<https://meteologix.com/ro/reanalysis/ecmwf-era5/romania/snow-depth/19850113-0600z.html>).

In order to highlight the presence of an air-temperature inversion over some intra-mountainous depressions in the country, comparative analyses were carried out between two-paired neighboring weather stations (one being located in the high mountain area and the other one, on the bottom of the depression), not only to confirm the temperature inversions, but also to demonstrate that, in certain synoptic contexts and depending on local conditions, lower minimum air temperature values usually occur in depression areas and not on mountain tops.

2. Results

Among the 43 extreme minimum air temperature values recorded in January 1985, most of them occurred between 13 and 14 January (18 values, representing 41.9%) (Figure 1). Most of the respective temperatures occurred in lowland areas: Eastern Transylvanian depressions, on Siret and Mureș river valleys (at Bacău and Deva) and in plain areas, especially in the Bărăgan steppe plain (Eastern part of Muntenia).

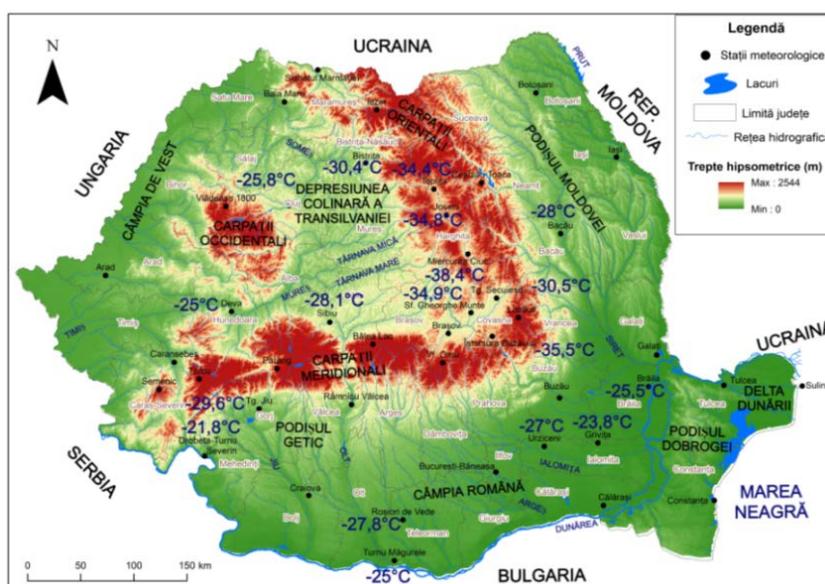


Figure 1. The absolute minimum air-temperatures recorded at 18 weather stations in Romania (13-14 January 1985)

The influence, over the entire country, of an anticyclone accounted for strong atmospheric stability and air-temperature inversions leading to the intense radiative cooling over the night between 13 and 14 January 1985. At the level of 500 hPa, a very cold air mass was lying over the Romanian territory, which has imprinted its characteristics on the largest part of the European continent. Thus, the high-altitude cold advection coupled with the high pressure ridge on the ground level produced extremely low minimum air-temperatures in Romania.

Significant air-temperature differences were noted between Întorsura Buzăului and Lacăuți weather stations (14.5°C), respectively between Toplița and Ceahlău-Toaca weather stations (11.4°C), mainly because of an intense temperature inversion occurring on the morning of 13th of January 1985 in the Eastern and South-Eastern parts of Transylvania (Table 1).

Table 1. Minimum air-temperatures (°C) recorded on 13th of January 1985 at seven pairs of weather stations and the air-temperature inversion highlighted (shade of yellow)

Id	Depression	Altitude (m)	Tmin (°C)	Mountain area	Altitude (m)	Tmin (°C)	Differences (°C)
1	Sighetu Marmatei	275	-21.2	Iezer	1785	-24	2.8
2	Toplița	687	-34.4	Ceahlău-Toaca	1897	-23	-11.4
3	Întorsura Buzăului	707	-35.5	Lăcăuți	1776	-21	-14.5
4	Brașov-Ghimbav	534	-31.8	Vf. Omu	2504	-27.8	-4
5	Sibiu	443	-28.1	Bălea-Lac	2070	-24.8	-3.3
6	Caransebeș	241	-20.9	Semenic	1432	-21.5	0.6
7	Cluj-Napoca	410	-25.8	Vlădeasa-1800 m	1836	-19.8	-6

Conclusion

The most frequent synoptic context for producing extreme minimum air-temperatures in Romania is given by the presence of an anticyclone at ground level, combined with a very cold air-mass throughout the entire troposphere, which determines strong atmospheric stability and intense radiative cooling during the night, thus creating favorable conditions for air-temperature inversions, especially in the intra-mountainous depressions of the Eastern Carpathians.

Bibliography

- Bartholy, J., & Pongrácz, R., 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary change*, **57**(1-2), 83-95.
- Busuioc, A., Dobrinescu, A., Birsan, M. V., Dumitrescu, A., & Orzan, A., 2015: Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms. *International Journal of Climatology*, **35**(7), 1278-1300.
- Ilea, R. G. & Ionac, Nicoleta, 2022: Minimum air temperatures going to extremes in Brașov city (Romania). *Present Environment & Sustainable Development*, **16**(2), pag. 95-204.

PROSPECTIVE ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Régis JUVANON DU VACHAT

| Météo et Climat, 94160 Saint Mandé, France, RJduVachat@gmail.com

Adaptation to climate change by using the “Prospective” method

Mots-clés : changement climatique, impacts, adaptation, filière économique

Keywords: climate change, impacts, adaptation, economical sector

Introduction

L'adaptation au changement climatique vient de la nécessité de s'adapter à une planète qui se réchauffe de plus en plus (4 à 5°C en moyenne globale en 2100 pour le scénario du GIEC RCP 8.5) même si des efforts d'atténuation pour limiter les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) sont réalisés. On voit en 2024 que ces efforts ont beaucoup de mal à se concrétiser pour être sur une trajectoire sobre en carbone. Aussi, il apparaît indispensable de s'adapter au climat futur, tout en travaillant simultanément sur l'atténuation, c'est-à-dire la limitation des émissions de GES (Dantec et Roux, 2019). En effet, même si on arrête d'émettre des GES, du fait de l'inertie du climat et de la durée de vie des GES (100 ans pour le CO₂ par exemple), l'effet de ce que l'on a déjà émis se fera sentir longtemps dans le futur : 100 ans pour la température, 1000 ans pour la hausse du niveau des mers (Juvanon du Vachat, 2006).

Examinons alors comment s'adapter au changement climatique futur. L'adaptation peut s'effectuer grâce aux projections climatiques futures (déduites des simulations régionales du climat) nécessairement entachées d'incertitudes, mais aussi à l'identification des impacts liés à la vulnérabilité du domaine concerné. L'adaptation a donc un caractère local ou régional, mais peut aussi s'exprimer au sein d'une filière économique, comme l'ont démontré avec pertinence des acteurs de l'agriculture ou de la forêt, domaines particulièrement touchés par le réchauffement climatique. De nombreux rapports thématiques ont été effectués par l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) sur l'adaptation pour des sujets ou des domaines sensibles au changement climatique : la santé en 2007, les forêts en 2014, le littoral en 2015. De nombreux travaux ont été réalisés à la fois dans les régions en France mais aussi dans les milieux ou les filières économiques, à travers des acteurs publics ou privés, comme en témoigne le rapport 2022 de l'ONERC (2022) consacré à la prospective. Cet article est organisé ainsi. Après une présentation de la démarche prospective (1), une illustration en est donnée avec le projet Climalait d'adaptation de la filière laitière au changement climatique (2).

1. Prospective et adaptation

La prospective est une démarche stratégique pour se projeter dans le futur et envisager la transformation d'une filière, d'un territoire, d'un écosystème. Elle représente une voie intéressante pour développer l'adaptation des territoires, des filières ou des écosystèmes au changement climatique. En effet, cette adaptation est une démarche prospective, en ce sens qu'elle permet d'aborder les transformations du territoire (de la filière ou de l'écosystème) de façon transversale, de faire émerger une culture d'anticipation du risque, avec un débat collectif sur les enjeux et les choix dans le cadre d'une stratégie. La démarche prospective comporte les quatre étapes suivantes (Dépoues, 2022) : (i) évaluation des risques et des vulnérabilités, (ii) construction d'un récit pour enclencher la réflexion, (iii) définition d'une vision commune et des choix stratégiques, (iv) élaboration d'une gouvernance partagée, explicitant les arbitrages. L'étape (i) décrit les dynamiques passée et actuelle avant de se projeter dans le futur, mais étudie aussi les paramètres importants auxquels le système est sensible. L'étape (ii) mobilise les acteurs et fait droit aux expériences (incluant images, émotions, ...). L'étape (iii) est la prospective stratégique qui a cours dans les grandes organisations (SNCF Société Nationale des Chemins de Fer, DATAR Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale). Enfin l'étape (iv) réunit les acteurs d'un territoire ou d'une filière pour partager une vision commune aux différents stades de la démarche. Cette étape (iv) est essentielle pour impliquer les acteurs dans cette démarche d'adaptation.

2. Le projet Climalait (adaptation de la filière laitière)

Une illustration est maintenant proposée, extraite du rapport « Prospective au service de l'adaptation » (ONERC, 2022) avec le projet *Climalait* qui vise à développer l'adaptation de la filière laitière au changement climatique. En effet, l'élevage bovin est responsable de 6% des émissions françaises de GES, ce qui justifie une telle action. Le projet s'est déroulé de 2015 à 2019 et a évalué les impacts du changement climatique sur les systèmes d'élevage laitier répartis dans vingt zones en France métropolitaine. Il comprend trois étapes : 1. Décrire l'évolution future du climat dans la zone. 2. Évaluer son impact sur les cultures fourragères et la pousse de l'herbe 3. Évaluer

les conséquences et les adaptations possibles pour un élevage laitier dans cette zone. Voici une illustration en Ille-et-Vilaine de ce projet.

Les projections climatiques sont issues de deux modèles de climat, dont le modèle Aladin de Météo-France, avec le scénario RCP 8.5 du GIEC (le plus pessimiste), mais aussi des données d'observation du Service météorologique des Pays-Bas (KNMI, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut). Elles montrent un réchauffement de 1°C (par rapport au climat actuel) dans le futur proche (2030-2060) et un réchauffement de 3 à 4°C dans le futur lointain (2050-2100). Dans ce cas, le réchauffement serait plus marqué l'été (+4,5°C) que l'hiver (+2,5°C) et les températures maximales en été pourraient atteindre +5 à +6°C contre +2 à +2,5°C pour les températures minimales en hiver. Les conséquences du changement climatique sur les rendements montrent que les cycles des cultures seront modifiés, impliquant d'adapter la gestion et la récolte, qu'une variabilité interannuelle se maintient (ainsi une année problématique peut être suivie d'une année à forts rendements), enfin que les rendements dépendront de façon importante des cultures, ceci impliquant des choix de variétés et d'espèces cultivées. Les impacts du changement climatique sur l'herbe, la luzerne et le maïs ont aussi été analysés. À partir de ces résultats, le projet a identifié des leviers d'action avec le jeu Rami Fourrager (Martin *et al.*, 2012) qui reproduit les composantes d'un système d'élevage (ressources fourragères et troupeau) avec une attention particulière aux années problématiques qui nécessitent de mobiliser des stocks.

Voici les observations qui émanent de ce projet. Les agriculteurs craignaient le risque de sécheresse, mais pour la pousse de l'herbe, le réchauffement entraînant une augmentation de la pluviométrie, il n'y a pas de crainte à avoir, même si le choix des espèces cultivées est primordial. Ils ont découvert le risque de stress des animaux par grande chaleur, ce qui nécessite de les mettre à l'ombre (intérêt des haies) ou de les humidifier. En conclusion, ce projet a permis l'appropriation de l'adaptation de la filière laitière en France par l'ensemble de ses acteurs (éleveurs, chambres d'agriculture, conseillers agricoles ...).

Conclusion

L'adaptation est une composante importante de la lutte contre le changement climatique et le rapport de l'ONERC en 2022 sur la prospective rapporte un grand nombre d'expériences qui démontrent son appropriation par de nombreux secteurs (acteurs publics et privés, domaines variés). Ce rapport observe en conclusion que le niveau d'appropriation est très différent suivant les secteurs concernés. Enfin il est important de développer une démarche d'adaptation très en amont, pour éviter une démarche simplement réactive à la catastrophe, qui s'avère inefficace dans le long terme. Cet article a illustré cette démarche d'adaptation prospective dans le cadre du projet Climalait d'adaptation de la filière laitière en France. Ce projet s'est déroulé de 2015 à 2019 et s'est appliqué à vingt zones d'étude réparties en France métropolitaine. C'est un exemple remarquable de la démarche, puisqu'il a permis un engagement de la plupart des acteurs de la filière et a donné lieu à une très large communication (environ 120 retours de communication).

Bibliographie

- Dantec R., et Roux J.-Y., 2019 : *Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050: urgence déclarée*. Rapport de la Délégation Sénatoriale à la Prospective N° 511. 190 pages
- Dépoues V., 2022 : Quatre usages de l'attitude prospective pour l'adaptation. In ONERC, 2022, p. 15-25.
- Juvenon du Vachat R., 2006 : L'adaptation au changement climatique en France. Evaluation des vulnérabilités et stratégie. *Actes du XIXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Epernay, France, p. 21-26.
- Martin, G., B. Felten, M. A. Magne, M. Piquet, M. Sautier, J. P. Theau, V. Thenard, et M. Duru, 2012 : Le rami fourrager : un support pour la conception de scénarios de systèmes fourragers avec des éleveurs et des conseillers. *Fourrages*, **210**, 119-128.
- ONERC, 2022 : *La prospective au service de l'adaptation*. La Documentation française, 385 pages.

MESURE MOBILE PARTICIPATIVE DU STRESS THERMIQUE

James KAMARA¹, Frédéric FILAINE², Arnaud GRADOS², Nassim FILLAOUÏ²,
Basile CHAIX³, Julien BIGORGNE⁴, Martin HENDEL¹, Laurent ROYON²

1. Université Paris Cité, LIED, UMR 8236, CNRS, 10 rue Alice Domon & Léonie Duquet, F-75013, Paris
Univ Gustave Eiffel, ESIEE Paris, département SEED, F-93162, Noisy-le-Grand
james.kamara.contact@gmail.com, martin.hendel@u-paris.fr

2. Université Paris Cité, LIED, UMR 8236, CNRS, 10 rue Alice Domon & Léonie Duquet, F-75013 Paris
frederic.filaine@univ-paris-diderot.fr, arnaud.grados@univ-paris-diderot.fr, nfillaoui@gmail.com, laurent.royon@univ-paris-diderot.fr

3. Sorbonne Université, INSERM, Institut Pierre Louis d'Épidémiologie et de Santé Publique, Nemesis research team, 27 rue Chaligny, F-75012, Paris, France
basile.chaix@iplesp.upmc.fr

4. APUR, 15 rue Jean-Baptiste Berlier, F-75013 Paris
julien.bigorgne@apur.org

Monitoring pedestrian heat stress in Greater Paris

Mots-clés : mesure microclimatique, stress thermique, science participative

Keywords: Microclimatic measurements, thermal stress, citizen science

Introduction

Les îlots de chaleur urbains, combinés à des vagues de chaleur, posent des problèmes sanitaires qui peuvent provoquer une surmortalité. Lors de la canicule de 2003 à Paris, il a notamment été observé un impact significatif des températures nocturnes d'air sur la surmortalité des habitants (Laaidi *et al.*, 2011). Pour autant, les travaux précédents se sont surtout focalisés sur les températures de l'air observées la nuit lorsque les habitants dorment chez eux, sans avoir d'informations sur le stress thermique auquel ils ont pu être exposés, tout au long de la journée, ni sur les caractéristiques de leur logement.

1. Objectif de l'étude H3 Sensing

C'est un des objectifs du projet ANR « Vagues de chaleur, îlots de chaleur urbains, et bien-être et santé : une approche par capteurs embarqués » (H3Sensing) qui adopte une démarche de science participative pour récolter des données de stress thermique mobile, dans les logements ainsi que des données de santé. L'étude dynamique des paramètres microclimatiques (Bartoli *et al.*, 2022) permettra de caractériser et cartographier des profils d'exposition au stress thermique dans le Grand Paris (Pigliautle *et al.*, 2018).

2. Présentation du dispositif portatif

Il a alors été conçu un dispositif portatif permettant de mesurer les paramètres microclimatiques (Tab. 1) au plus proche de l'environnement d'une personne cible dans son quotidien avec l'instrumentation suivante et son architecture (Fig. 1A).

Tableau 1. Paramètres microclimatiques mesurés et instrumentation

Paramètre	Instrument	Fournisseur	Incertitude
Température d'air (°C)	Thermistance	LSI Lastem	+0,5°C
Humidité relative (%)	Hygromètre capacitif	LSI Lastem	±2%
Vitesse de vent (m/s)	Anémomètre à fil chaud	Modern Device	±1,5 m/s
Température de globe noir	Pt100 et globe noir de 5cm	LSI Lastem	±0,3°C
Température de globe blanc	Pt100 et globe blanc de 5cm	LSI Lastem	±0,3°C
Intensité lumineuse (lux)	Photo-résistance sur 16bits	Adafruit	±0.01 lux

Des mesures fixes de l'évolution de ces paramètres dans les logements et des questionnaires compléteront le jeu de données microclimatiques, ainsi obtenu, qui sera croisé avec les données physiologiques enregistrées.

Conclusion

Nous présenterons les premières phases de prototypage des dispositifs, le système de communication et d'acquisition, principalement en I2C et codé sur une carte Arduino, ainsi que la caractérisation de certains capteurs. De plus, les premiers tests en laboratoire du dispositif portable seront présentés (Fig. 1B) avec les améliorations issues de cette phase, dans la conception d'un nouveau prototype plus solide et plus performant (autonomie, continuité électronique, protection des capteurs, ...).

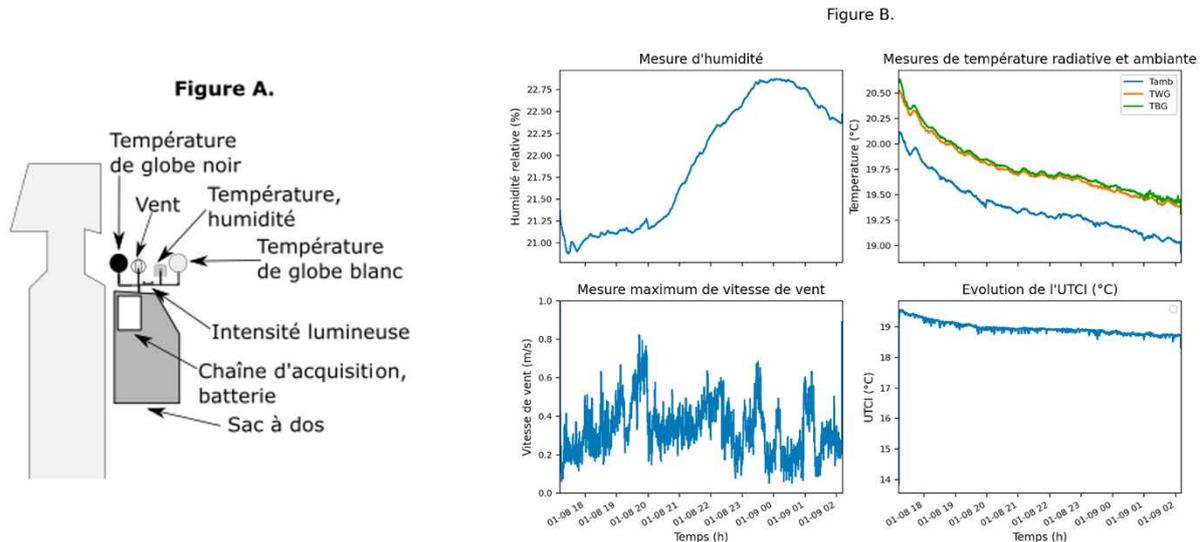


Figure 1. A. Schéma actuel du dispositif portable
B. Mesures de paramètres microclimatiques du dispositif portable en laboratoire avec calcul d'UTCI

Bibliographie

- Bartoli R., Filaine F., Parison S. et Hendel M., 2022, *Mise au point d'un dispositif de mesure portable du stress thermique du piéton*, CIFQ 2022, Paris (France).
- Laaidi K., Zeghnoun A., Dousset B., Bretin P., Vandentorren S., Giraudet E. et Pascal Beaudou, 2011, The Impact of Heat Islands on Mortality in Paris during the August 2003 Heat Wave, *Environmental Health Perspectives*.
- Pigliautile I., Pisello AL., 2018, A new wearable monitoring system for investigating pedestrians' environmental conditions: Development of the experimental tool and start-up findings, *Science of The Total Environment*.

RÉSILIENCE ET VULNÉRABILITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE AUX RISQUES D'INONDATIONS DANS LA COMMUNE DE DANGBO

Césaire KODJO SONOU¹, Japhet Domiho KODJA^{1,2,3}, Asai Akinni Gervais ATCHADE^{1,2,3},
Expédit W. VISSIN^{1,2,3}

1. Institut National de l'Eau, Centre d'Excellence pour l'Eau et l'Assainissement en Afrique (C2EA), Master Gestion des Crises et Catastrophes liées à l'Eau et au Climat : INE/UAC, kodjasonouc@gmail.com

2. Laboratoire Pierre PAGNEY, Climats, Eaux, Écosystèmes et Développement (LACEEDE) 03 BP 1122 Cotonou (Bénin), japhdom@gmail.com, exlaure@gmail.com

3. Université d'Abomey-Calavi (Bénin): DGAT/FASHS/UAC, akanni12@gmail.com

Socioeconomic resilience and vulnerability to flooding in the commune of Dangbo

Mots-clés : résilience, vulnérabilité socio-économique, inondations, Dangbo

Keywords: resilience, socio-economic vulnerability, Flooding, Dangbo

Introduction

La commune de Dangbo, située dans la basse vallée de l'Ouémé au sud du Bénin, est fréquemment exposée aux inondations, avec plus de 70 000 sinistrés sur une population de 96 426 environ selon l'ANPC en 2022. Ces inondations ont des impacts socioéconomiques importants sur les populations locales, surtout les agriculteurs, les femmes et les jeunes. Le but de cette étude est d'analyser la vulnérabilité socioéconomique et la résilience des autochtones de Dangbo face aux inondations.

1. Méthode

La commune de Dangbo est située dans la partie méridionale du Bénin entre 6°31' et 6°40' de latitude nord et entre 2°25' et 2°38' de longitude est. Elle s'étend sur une superficie de 149 km² avec une densité de 443 hab./km². Elle est limitée au nord par la commune d'Adjohoun, au sud par la commune des Aguégoués, à l'est par la commune d'Akpro-Misséré et à l'ouest par la commune de So-Ava.

Les données climatologiques, hydrologiques, environnementales, socio-économiques, démographiques ont été utilisées et proviennent respectivement des bases de données de la météo-Bénin, de la Direction Générale de l'Eau et de la Direction Départementale de l'Agriculture (ouémé). Les données climatologiques et hydrologiques couvrent la période de 1981-2021.

La collecte de données a été réalisée à partir des recherches documentaires et des enquêtes de terrain qui ont permis d'évaluer la vulnérabilité socio-économique de 249 ménages. La méthode probabiliste de Schwartz (1995) et celle des quotas ont été utilisées pour le calcul du nombre de personnes enquêtées. Ces différentes données ont fait l'objet de la statistique descriptive, dont l'analyse des indices pluviométriques standardisés (SPI), les indices de débits (SFI), la moyenne arithmétique et l'écart type ont permis de mieux caractériser les inondations dans la Commune de Dangbo sur la période d'étude. L'application du modèle PEIR (PRESSION-ETAT-IMPACT-REPNSE) a permis d'évaluer le niveau de la vulnérabilité socio-économique.

2. Résultats et Discussion

2.1. Caractérisation des inondations

Deux types d'inondations sont présents dans la Commune de Dangbo : il s'agit notamment des inondations pluviales et des inondations fluviales. Les figures ci-dessous présentent l'indice pluviométrique et l'indice de débit sur la période de 1981-2021 dans la Commune de Dangbo.

L'analyse de la Figure 1 indique la variabilité interannuelle des précipitations à Dangbo à l'exutoire de Bonou de plusieurs années excédentaires et déficitaires. Le plus grand pic pluviométrique enregistré sur cette période d'étude est de 1 664,4 mm en 2010 (année de référence d'inondation au Bénin). La Figure 2, montre la variation interannuelle à la hausse et à la baisse du débit du fleuve Ouémé sur la période de 1981-2021, confirmant l'argumentation de (Donou, 2007) qui souligne que les crues fluviales surviennent lorsque le volume de l'écoulement excède la capacité locale du cours d'eau, en raison de fortes pluies dans les zones en amont et les inondations lorsque le débit des rivières dépasse une certaine valeur, liée aux conditions topographiques d'écoulement. Cependant, les précipitations restent les principales causes des inondations dans le bassin de l'Ouémé compte tenu de sa position géographique (Kodja, 2011).

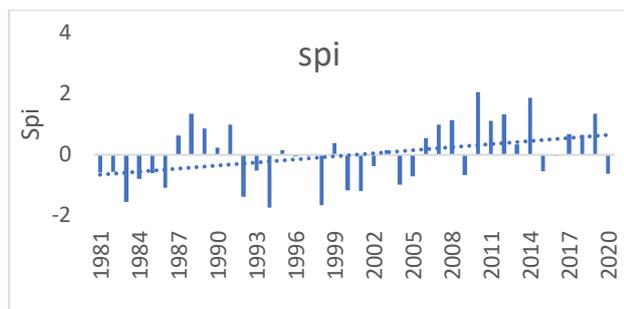


Figure 1. Indice pluviométrique de Dangbo

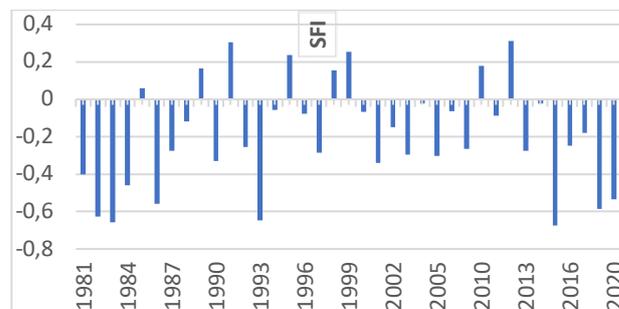


Figure 2. Indice de débit du fleuve Ouémé à Dangbo

2.2 Impacts socio-économiques

Les inondations ont plusieurs impacts socio-économiques positifs et négatifs. Les analyses ont révélé que les impacts négatifs priment sur les impacts positifs, soit 75% contre 25%. La planche de photos suivantes donne l'aperçu de quelques impacts négatifs.



Planche 1. Destruction d'un habitat et d'un champ agricole dans la commune de Dangbo.
Prise de vue : KODJO SONOU, septembre 2022

Cette planche montre la destruction d'un habitat et d'un champ agricole. Plusieurs activités socio-économiques sont menacées, notamment l'agriculture qui nourrit la communauté à plus de 80%. Le paludisme et les maladies diarrhéiques ont augmenté avec un taux de prévalence respectif de 45% et de 25%. Les pertes agricoles sont évaluées à plus de 50% de l'investissement chaque année depuis plus de 12 ans. Les risques auxquels sont confrontées les sinistrées pendant les périodes d'inondations sont la malnutrition, l'utilisation des eaux de crues à des fins domestiques et le manque d'hygiène.

Conclusion

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude mettent en évidence la vulnérabilité des autochtones de Dangbo aux risques d'inondations. Bien que diverses stratégies aient été développées, leur renforcement est nécessaire pour garantir une résilience accrue. Ceci requiert la mise en place de politiques de gestion intégrée des inondations adaptées aux réalités locales.

Bibliographie

- Donou B., 2007 : Dynamique pluvio-hydrologique et manifestation des crues dans le bassin du fleuve ouémé à Bonou, Mémoire de maîtrise Géographie, FLASH/UAC, 106 pages ;
- Kodja D. J., 2011 : Prédiction des crues dans le bassin versant du zou à Atchérigbé avec le modèle GR2M, mémoire de maîtrise DGAT/FLASH/UAC, 70 pages ;
- Koumassi H., 2014 : Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de couberé ; Doctorat UAC/FLASH/FAST 245 pages ;
- MBAYE I., 2011 : changement climatique, perceptions et stratégies des populations de la ville de ziguinchor au Senegal, UFR/ Ziguinchor, SÉNÉGAL, 9 pages ;
- Vissin W. *et al.*, 2016 : Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo, Bénin/UAC, 9 pages.

LE STRESS THERMIQUE DIURNE DANS L'AIRE URBAINE GRENOBLOISE : RÉFLEXION SUR LES DÉFINITIONS, LES ÉCHELLES SPATIO-TEMPORELLES ET LES MÉTHODES DE QUANTIFICATION-SPATIALISATION

Thomas LAGELOUZE^{1,2}, Sandra ROME¹, Julia HIDALGO², Sylvain BIGOT¹,
Xavier FOISSARD¹

1. Univ. Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement (UMR 5001, Univ. Grenoble Alpes – CNRS – INRAE – IRD – Grenoble INP), IGE, CS 40700 - 38058 Grenoble Cedex 9 – France, thomas.lagelouze@univ-grenoble-alpes.fr ; sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr ; sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr ; xavier.foissard@univ-grenoble-alpes.fr

2. Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (UMR 5931, Université de Toulouse-CNRS-EHESS-ENSFEA), LISSST, 31058 Toulouse – France, julia.hidalgo@univ-tlse2.fr

Daytime heat stress in the Grenoble urban area: a look at definitions, spatiotemporal scales and quantification-spatialization methods

Mots-clés : stress thermique, géostatistiques, analyses urbaines, territoire grenoblois

Keywords: heat stress, geostatistics, urban analyses, Grenoble area

Introduction

Le réchauffement climatique actuel s'accompagne de vagues de chaleur plus intenses, plus longues et plus fréquentes. À ce titre, les milieux urbains font l'objet d'une attention particulière en raison de l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU), qui exacerbe les températures urbaines par rapport aux territoires ruraux environnants, et expose davantage les populations citadines lors des épisodes d'extrêmes thermiques (IPCC, 2023). Aussi, l'exposition continue à la chaleur provoque de nombreuses conséquences sur la santé humaine (World Meteorological Organization, 2021), dont les plus documentées portent sur les troubles physiologiques. En effet, le corps humain dissipe la chaleur excédentaire par des processus de thermorégulation tels que la sudation ou la vasodilatation. Sa capacité à maintenir l'homéostasie (*i.e.* la régulation de la chaleur corporelle) ne dépend pas simplement de la température de l'air mais également d'autres variables climatiques spécifiques comme l'humidité de l'air (Brouillet, 2020).

Ainsi, dans le cadre des travaux précédents sur l'évaluation de la vulnérabilité sociale prenant en compte la phase nocturne de la ville au prisme de l'ICU (Lagelouze, 2022), et du projet doctoral récemment débuté (<https://www.theses.fr/s368280>) en lien avec 2 programmes de recherche de l'ADEME (PAENDORA_2 et CASSANDRE), il s'agit ici de se concentrer sur la phase diurne. Cet objectif soulève alors la nécessité de confronter les composantes socio-économiques et sociodémographiques qui expliquent une partie des inégalités de la vulnérabilité à la chaleur, à un indice de stress thermique. Ce dernier peut se définir comme une variable qui fait état des conditions climatiques préalablement identifiées comme exerçant une pression physique et psychologique sur le corps humain (Brouillet, 2020). Cette notion est aujourd'hui largement étudiée et l'analyse de la littérature scientifique idoine permet d'établir plusieurs remarques quant à sa conceptualisation et sa conception : (1) selon les régions, de nombreux indices sont employés et font appel à des variables climatiques différentes (McGregor *et al.*, 2015) ; (2) chaque étude ne prend pas en compte des échelles temporelles équivalentes pour caractériser le stress thermique ; (3) le stress thermique peut être étudié à plusieurs échelles spatiales, qui ne requièrent pas toutes ultérieurement les mêmes logiques de quantification. À ce titre, tout un champ d'études se focalise sur la spatialisation du stress thermique en milieu urbain à l'aide de méthodes ou modèles statistiques spécifiques, mais se confronte à la difficulté d'obtenir des données qui soient spatialement et physiquement précises.

Face à ce constat, et dans le besoin des projets futurs, cette étude se propose d'étudier le stress thermique dans l'aire urbaine grenobloise, en apportant des pistes de réflexion sur la manière de le définir, de le calculer et surtout, de le spatialiser à l'échelle locale / micro-locale. L'objectif final est d'aboutir à une conception générale du stress thermique en milieu urbain, suffisamment robuste pour venir alimenter les modèles d'évaluation de la vulnérabilité sociale à la chaleur, à l'instar ce qui a pu être réalisé pour l'ICU.

1. Matériel et méthodes

1.1. Site d'étude

La zone étudiée correspond aux communes de Grenoble (158 240 habitants en 2020) et Échirolles (36 970 habitants) situées au sein du département de l'Isère. La topographie contrastée environnante de fond de vallée leur confère des spécificités topoclimatiques diurnes et intra-saisonnières, parmi lesquelles se trouve l'accumulation d'air chaud pendant la saison estivale.

1.2. Données et méthodes utilisées

Les données climatiques quotidiennes utilisées proviennent du réseau de 62 capteurs thermiques et 5 stations météorologiques installés sur les deux communes considérées, dont les mesures couvrent la période 2019-2023. Les données d'occupation du sol pour caractériser l'environnement urbain sont issues de l'IGN.

La méthode de conception, de quantification et de spatialisation sera explorée à différents niveaux scalaires (échelle de la ville, d'un quartier ?) et temporels (saison estivale, événement caniculaire, journée très chaude, etc.) les plus adaptés à l'étude. Aussi, plusieurs indices seront testés (*e.g.* l'Humidex), ainsi que plusieurs méthodes statistiques pour la spatialisation (*e.g.* modèle de régression linéaire, modèle SOLWEIG, etc.).

2. Résultats

L'objectif premier serait d'aboutir à une cartographie du stress thermique, similaire aux données modélisées de l'ICU issues du projet MApUCE (Suher-Carthy *et al.*, 2023), déjà utilisées pour évaluer la vulnérabilité sociale dans les métropoles de Toulouse et Grenoble (Lagelouze, 2022).

Discussion et conclusion

Cette partie reviendra sur les deux composantes du projet d'étude ; (1) d'un point de vue strictement climatique, elle permettra de relater de potentielles réponses obtenues quant à la mesure du stress thermique, ainsi que les problématiques qui restent encore en suspens. Ces conclusions permettront de faire le lien avec le second point (2), qui insistera sur le caractère interdisciplinaire dans lequel ce travail s'inscrit, et de fait, la manière dont le premier point y a contribué. En effet, l'objectif sous-jacent est d'accompagner les organismes partenaires sur les questions de vulnérabilité sociale à la chaleur en ville, en fournissant des méthodologies qui permettront d'avancer sur les formulations de réponses interdisciplinaires plus adaptées, et des résultats qui pourront servir de leviers décisionnels.

Remerciements : Ce travail est réalisé dans le cadre des projets CASSANDRE et PAENDORA2 financés par l'APR PACT2e de l'ADEME, et le Labex Structuration des Mondes Sociaux (SMS).

Bibliographie

- Brouillet A, 2020, Évolution des extrêmes de température et de stress thermique au 21^{ème} siècle : cooccurrence, vitesses relatives et implications sur la perception du réchauffement climatique. PhD thesis, Université Paris-Saclay. (NNT : 2020UPASV015). (tel-03104239)
- IPCC, 2023: Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1^{re} éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Lagelouze T, 2022. Comparaison de méthodes d'évaluation statistiques de la vulnérabilité sociale à la hausse de la chaleur en milieu urbain : application aux métropoles de Toulouse, Grenoble, Lyon et Paris. Master 2 Mention « GAED » Parcours : GEOgraphie Information Interface Durabilité EnvironnementS. Université Grenoble Alpes, 69 p. (dumas-03774994)
- McGregor GR, Bessemoulin P, and WMO, 2015, Heatwaves and health guidance on warning-system development. World Meteorological Organization: Genf. ISBN 978-92-63-11142-5
- Suher-Carthy M, Lagelouze T, Hidalgo J, Schoetter R, Touati N, Jouglar R and Masson V, 2023, Urban heat island intensity maps and local weather types description for a 45 French urban agglomerations dataset obtained from atmospheric numerical simulations. Data in Brief 50: 109437. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109437>
- World Meteorological Organization, 2021, WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). 90. ISBN 978-92-63-11142-5

MODELING OF STREET TREES FOR URBAN MICRO-CLIMATOLOGY IN STRASBOURG – THE TIR4STREET PROJECT

Tania LANDES¹, Hélène MACHER¹, Pierre KASTENDEUCH², Georges NAJJAR²,
Françoise NERRY³, Jacques GANGLOFF³, Loïc CUVILLON³, Sylvain DURAND³,
Alex LALLEMENT³, Damien BONAL⁴, Nathalie BREDA⁴, Marc SAUDREAU⁵,
Thierry AMEGLIO⁵, Christophe SERRE⁵, Carole BASTIANELLI⁶, Philippe SLISSE⁶,
Vincent LECOMTE¹, Pierre COLOT¹, Pauline LAILLE⁷

1. Université de Strasbourg, CNRS, INSA Strasbourg, 24 bd de la victoire, 67000 Strasbourg, ICUBE UMR 7357, TRIO team, France, (tania.landes, helene.macher, vincent.lecomte, pierre.colot)@insa-strasbourg.fr
2. Université de Strasbourg, CNRS, Faculté de Géographie, 3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, ICUBE UMR 7357, TRIO team (kasten, georges.najjar)@unistra.fr
3. Université de Strasbourg, CNRS, ICUBE UMR 7357, TRIO, RDH and IMAGeS teams, 300 boulevard Sébastien Brant, 67412 Illkirch, France (f.nerry, jacques.gangloff, l.cuvillon, sylvain.durand, alex.lallement)@unistra.fr
4. Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, SILVA, Rue d'Amance, 54280 Champenoux, France (damien.bonal, nathalie.breda)@inrae.fr
5. Université Clermont Auvergne, INRAE, PIAF, 1 impasse Amélie Murat, 63178 Aubière, France (marc.saudreau, thierry.ameglio, christophe.serre)@inrae.fr
6. Eurométropole et Ville de Strasbourg, 1 parc de l'Étoile, 67000 Strasbourg, France (carole.bastianelli, philippe.slisse)@strasbourg.eu
7. Center for landscape and urban horticulture, Plante et Cité, 26 rue Jean Dixmèras, 49000 Angers, France, pauline.laille@plante-et-cite.fr

Modélisation des arbres urbains pour la climatologie urbaine à Strasbourg – Le projet TIR4sTREEt

Mots-clés : modélisation, mesures, infrarouge thermique, simulations, microclimat urbain

Keywords: modelling, measurements, thermal infrared, simulations, urban microclimate

Introduction

Urban vegetation acts as a microclimate regulator through transpiration and by providing shade for pedestrians and facades, thereby reducing surface temperatures of buildings and ground. The intensity of this phenomenon depends on the characteristics of the tree (species, leaf density, size, crown geometry, proximity to buildings, isolated or park trees), the soil and the surrounding environment. Street trees can have a significant impact on air and surface cooling, with a potential decrease of 2°C to 3°C and more than 10°C respectively (Gillner *et al.*, 2015). The project TIR4sTREEt (*Thermal Infrared for Street Trees*) aims to enhance our understanding and quantify the effect of three different species of street trees on urban climate, with a particular focus on surface temperature. To achieve this, the project's first objective is to conduct full-scale measurement campaigns of both seasonal street microclimate (soil, air, buildings) and tree functioning. The second objective is to develop a methodology for merging the geometry of an urban scene with the measured surface temperatures. The thermal 3D model can be used, in a third objective, to validate estimates produced by microclimatic simulation tools, currently being developed by the consortium, namely the LASER/F model (*LAtent SEnsible Radiation Fluxes*) adapted to the scale of a district (Kastendeuch *et al.*, 2017) and the RATP model (*Radiation Absorption, Transpiration and Photosynthesis*), operating at the scale of an individual tree (Sinoquet *et al.*, 2001). By coupling both, it is possible to analyse and model the impact of trees and urban morphology on the urban climate. In the long term, these findings will help urban planners to propose greening scenarios and thus improve the ambient climate.

Measurement campaign and first results

Simulating the energy balance at the scale of a street remains a major challenge, even if the processes are known. This is because it requires faithful reproduction of the geometry and physical characteristics of the surface, as well as all the energy exchange processes that take place between these elements. A large measurement campaign was conducted in the summer of 2023 to collect micro-climatological, meteorological, 3D, thermal, and eco-physiological information on several trees. The study area encompasses three adjacent streets in Strasbourg lined with alignment trees of three different species (lime, hackberry and plane trees).

In collaboration with Eurométropole et Ville de Strasbourg (EMS), meteorological and thermal sensors have been installed on masts. Evapotranspiration (ETR) plays a crucial role in regulating ambient air temperature. Therefore, sap-flux sensors, wireless dendrometers, and soil moisture sensors were placed on and near selected

trees. The 3D model of the street was reconstructed mainly from terrestrial laser scanning data with two levels of detail.

Thermal infrared images have been acquired using four cameras of different specifications, from both static and mobile viewpoints (Lecomte *et al.*, 2024a) (Fig. 1). A trolley system has been specially designed to carry out mobile measurements along horizontal transects during heatwave days, moving along roads at three key times of the day (sunrise, sun culmination, sunset). It is equipped with low-cost Red, Green, Blue cameras and a thermal infrared (TIR) camera. In the near future, a mobile system based on an aerial manipulator robot attached to a tethered balloon will be used to capture TIR measurements dynamically along a vertical transect.

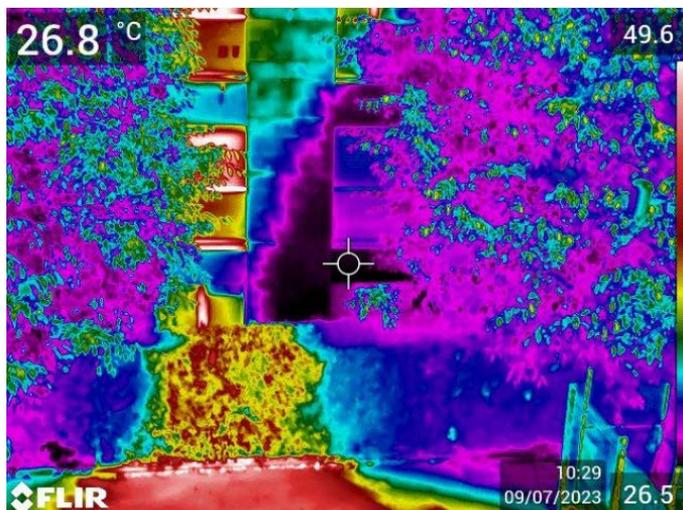


Figure 1. Thermal infrared image of a façade, acquired with a TIR camera (FLIR T560) on the 9th of July, 2023.

Work in progress

The collected measurements are currently under analysis. First experiments were conducted to generate thermal point clouds by merging the 3D model with measured surface temperatures. They have shown promising results, even for trees (Lecomte *et al.*, 2022). A methodology is being developed to create a temporal 3D thermal model on the whole scene based on the measurements performed during the campaign. The resulting model will be compared to surface temperature and shading simulations (Lecomte *et al.*, 2024b). This step is of great interest for refining urban microclimatic models. Indeed, it is a challenge to accurately reproduce the physical effects of buildings and trees on ETR, surface temperature, and thermal comfort.

Acknowledgment: The authors would like to thank the French national research agency (ANR) for supporting the TIR4sTREEt project (ANR- 21 CE 22 0021).

Bibliography

- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites, *Landscape and Urban Planning*, 143: 33-42
- Kastendeuch P.P., Najjar G., Colin J., 2017. Thermo-radiative simulation of an urban district with LASER/F. *Urban Climate* 21, 43–65.
- Lecomte, V., Macher, H., Landes, T., Nerry, F., Cifuentes, R., Kastendeuch, P., Najjar, G.; Delasse, C. (2024a). Thermal measurement campaign in the streets of Strasbourg to study interactions between trees and facades, *Société Française de Thermique 2024 (submitted)*
- Lecomte, V., Macher, H., Kastendeuch, P., Landes, T., Najjar, G. (2024b). Influence du niveau de modélisation urbaine sur une simulation microclimatique LASER/F, *Association Internationale de Climatologie (AIC), Paris (submitted)*
- Lecomte, V., Macher, H., and Landes, T. (2022). Combination of thermal infrared images and laserscanning data for 3D thermal point cloud generation on buildings and trees, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-2/W1-2022, 129–136.
- Sinoquet H., Le Roux X., Adam B., Améglio T., Daudet F. A. (2001). RATP: a model for simulating the spatial distribution of radiation absorption, transpiration and photosynthesis within canopies: application to an isolated tree crown. *Plant Cell and Environment* 24(4): 395-406.

IMPACT DE LA SÉCHERESSE SUR LA SINISTRALITÉ DES CONTRATS D'ASSURANCE CLIMATIQUE SUR RÉCOLTE EN FRANCE EN CONTEXTE DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE RÉCENT

Léa LAURENT^{1,2}, Albin ULLMANN¹, Thierry CASTEL¹

1. Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, université Bourgogne Franche-Comté, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France, lea.laurent@u-bourgogne.fr, albin.ullmann@u-bourgogne.fr, thierry.castel@u-bourgogne.fr

2. Domaine Assurance Récolte, Groupama Rhône-Alpes Auvergne, 24 rue Charles Durand, 18020 Bourges Cedex, France

Drought impact on climatic crop insurance loss ratio in a context of recent climate warming

Mots-clés : sécheresse, risque agro-climatique, sinistralité, France

Keywords: drought, agro-climatic risk, loss ratio, France

Introduction

Le changement climatique modifie l'aléa climatique et impose de reconsidérer les risques agro-climatiques. Parmi ces derniers, la sécheresse est l'un des risques impactant fortement la production agricole et les performances des assurances climatiques sur récoltes (Brisson *et al.*, 2010). La compréhension des effets régionalisés du changement climatique sur les risques agro-climatiques constitue donc un enjeu majeur pour le monde agricole, spécifiquement pour les assureurs proposant des contrats d'assurance MultiRisques Climatiques (MRC) (Lidsky *et al.*, 2017). Ce travail, fruit d'une collaboration entre un assureur et un laboratoire de recherche, se propose de développer un indice de stress hydrique qui permettrait d'expliquer de manière robuste et pertinente l'évolution de la sinistralité de l'assurance MRC. Le blé, le maïs et la vigne sont des cultures importantes dans le portefeuille de l'entreprise, et sont donc plus particulièrement étudiés dans ce travail.

1. Matériel et méthodes

Les données Safran-Isba-Modcou (SIM) produites par Météo France permettent, à l'échelle régionale, de quantifier l'évolution de l'aléa climatique lié au cycle de l'eau sur la période 1959-2021 (Soubeyroux *et al.*, 2008). La prise en compte de la vulnérabilité des espèces végétales via l'utilisation d'un modèle de bilan hydrique simplifié donne l'opportunité d'évaluer les changements dans la contrainte hydrique sur les bassins de production majoritaires des cultures d'intérêt (Jacquart & Choisnel, 1995). La définition d'un seuil de stress hydrique pour chaque culture conduit au développement d'un indice de sécheresse (Laurent *et al.*, in preparation). La corrélation entre ce dernier et les ratios sinistres à primes (S/P) est ensuite étudiée, pour chaque bassin de production, afin de voir si l'indice de sécheresse peut constituer un facteur explicatif robuste de l'évolution de la sinistralité des contrats MRC. Un autre indice de sécheresse, calculé à partir de l'index d'humidité des sols tiré de SIM (Soil Water Index, SWI), est comparé au ratio S/P des contrats MRC. Ce dernier prend en compte tous les types de couverts végétaux couvrant chaque point de grille, et n'est donc pas spécifique aux cultures d'intérêt.

2. Résultats

Le ratio S/P est comparé à la fois à l'indice de sécheresse calculé à partir de l'index d'humidité des sols et à l'indice de sécheresse calculé à partir de la modélisation du bilan hydrique du blé. Dans le bassin de production des Pays de la Loire, le ratio S/P du maïs co-varie avec notre indice de stress hydrique et un peu moins avec l'indice dérivé du SWI (Fig. 1). Les coefficients de corrélation de Pearson confirment cette analyse, avec un coefficient de 0,096 lorsqu'on utilise l'indice dérivé du SWI qui s'améliore de manière importante, jusqu'à 0,72, lorsqu'on utilise l'indice sécheresse tiré de la modélisation du bilan hydrique du maïs. Les autres bassins de production du maïs dévoilent eux aussi une amélioration de la corrélation avec le ratio S/P lorsqu'on utilise l'indice de stress hydrique développé dans nos travaux. Pour le maïs, l'indice de sécheresse prenant en compte la phénologie de la culture étudiée permet d'expliquer de manière plus robuste l'évolution de la sinistralité des contrats d'assurance MRC. Pour le blé, les résultats sont plus contrastés, avec une forte variabilité des scores qui nécessite d'être investiguée. L'échelle spatiale de calcul du ratio S/P notamment (ici le bassin de production agricole) masque des hétérogénéités en termes de sinistralité. On peut noter également les valeurs très importantes de sinistralité en 2016 et 2019, dues à des conditions climatiques particulières (fort excès d'eau en 2016 couplé à des épisodes de gel, de grêle et à un manque de rayonnement, stress hydrique précoce et intense en 2019, qui a continué presque jusqu'à la récolte fin juillet).

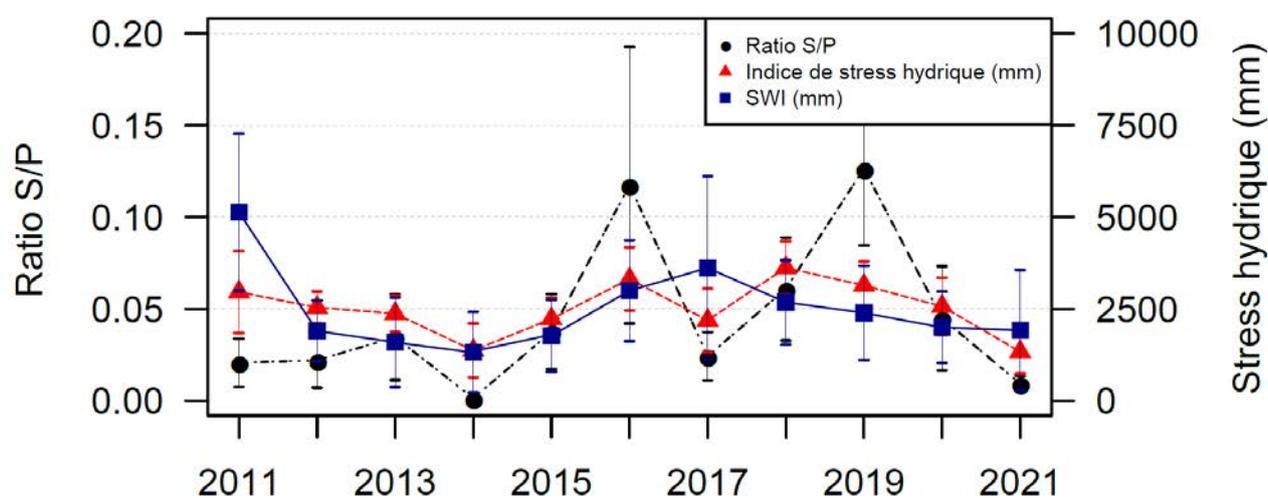


Figure 1. Évolutions annuelles du ratio S/P du maïs des contrats MRC de Groupama (en noir), de l'indice de stress hydrique tiré de l'indice d'humidité du sol (Soil Water Index en anglais, SWI) (en bleu) et de l'indice de stress hydrique calculé pour le maïs (en rouge) pour les départements du bassin de production du Centre-Ouest : Charente-Maritime, Deux-Sèvres, Vendée.

Conclusion

Les résultats sont très encourageants, démontrant l'intérêt potentiel de l'indice de stress hydrique comme proxy du risque assurantiel. Si la caractérisation fine de la sécheresse permet de mieux expliquer la variabilité de la sinistralité des contrats MRC, l'intégration de la vulnérabilité des cultures d'intérêt augmente la robustesse de la corrélation entre cet indice et la sinistralité de l'assurance MRC. Le lien entre l'indice de stress hydrique et la sinistralité n'est cependant pas univoque, et dépend de multiples facteurs – en attestent les résultats plus contrastés pour la culture du blé. Des facteurs cultureux (par exemple la présence d'irrigation, la variété, ...) et/ou territoriaux (par exemple l'échelle d'intégration) brulent le signal de co-variation. Le ratio S/P pris en compte dans cette étude comprend également les coûts des sinistres liés à tous les aléas couverts par l'assurance MRC, sans isoler uniquement ceux liés à la sécheresse. Les résultats nécessitent donc d'être affinés et consolidés par une approche d'échelle spatiale plus fine et en tenant compte des divers types de sinistralité.

Remerciements : Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse CIFRE en collaboration avec Groupama Rhône-Alpes Auvergne. Dans ce cadre, nous tenons à remercier Claude Perrot - responsable du Domaine Assurance Récolte de l'entreprise et responsable scientifique de la doctorante - et Xavier Aubouy – Direction Marché Agricole de Groupama Mutuelle d'Assurance et responsable administratif de la doctorante - pour leur aide dans l'élaboration de la méthodologie et la collecte des données, ainsi que pour leur écoute et leurs conseils.

Bibliographie

- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., & Huard, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Res.* 119, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012>
- Jacquart, C., & Choissnel, E., 1995. Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie. *La Météorologie 8ème série*, 29–44. <https://doi.org/10.4267/2042/51939>
- Laurent, L., Ullmann, A., & Castel, T., in preparation. Regional climate warming increase occurrence and intensity of winter wheat drought risk. *J. Agric. For. Meteorol.*
- Lidsky, V., Maudet, C., Malpel, G.-P., Gerster, F., Helfter, M., Lejeune, H., & Le Theule, F.-G., 2017. Les outils de gestion des risques en agriculture. Inspection Générale des Finances & Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux.
- Soubeyroux, J.-M., Martin, E., Franchisteguy, L., Habets, F., Noilhan, J., Baillon, M., Regimbeau, F., Vidal, J.-P., Lemoigne, P., & Morel, S., 2008. Safran-Isba-Modcou (SIM) : Un outil pour le suivi hydrométéorologique opérationnel et les études. *La Météorologie* 8, 40. <https://doi.org/10.4267/2042/21890>

EVIDENCES OF INCREASING ARIDITY IN THE SÃO FRANCISCO WATERSHED, NORTHEAST BRAZIL

Larissa LINHARES¹, Fábio LIMA¹, Iara SILVA¹, Albert MARTINS¹, Pedro MUTTI^{1,2}

1. Climate Sciences Post-Graduate Program, Federal University of Rio Grande do Norte, Brazil, larissamarkes275@gmail.com, fabiomarley.v@gmail.com, ambiental.iarabezerra@gmail.com, albert.suassuna.018@ufrn.edu.br

2. Department of Atmospheric and Climate Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN, Brazil, pedro.mutti@ufrn.br

Évidences de l'intensification de l'aridité dans le bassin du fleuve São Francisco, nord-est du Brésil

Mots-clés : changement climatique, désertification, indice d'aridité, bilan hydrique

Keywords: climate change, desertification, aridity index, water balance

Introduction

Aridity, despite a complex concept to define, is usually used as a term to characterize dry and barren lands which struggle to bear life or that are populated with highly-specialized and resilient ecosystems (Greve *et al.*, 2019). Aridity is often observed in drought-prone areas and is used as an indicator of susceptibility for desertification. In a climate change scenario, drought events are becoming more frequent, leading to increasing aridity and therefore increasing risk for desertification (Greve *et al.*, 2019). This poses an important threat to dryland ecosystems and populations, which will need to further adapt to face the challenges of an increasingly drier climate over these regions. Despite its complexity, aridity is usually assessed through the simple Aridity Index (AI), based on the early Thornthwaite's water balance studies, which is the ratio between water input (precipitation – P) and output (potential evapotranspiration – PET) over a region (Tsiros *et al.*, 2020). Depending on the AI value, a region's dryness can be classified as hyperarid, arid, semiarid, dry subhumid or humid. Assessing climatological changes in the AI is important to monitor the effects of climate change over drylands, and it should be conducted not only on 30-years average terms but also observing the annual frequency of aridity types. For example, Dubreuil *et al.* (2019) assessed Koppen's climate types changes over Brazil through a climatological and annual perspective, finding increasing occurrence of climate types that are not captured by the 30-year climatology.

Therefore, the objective of this work is to highlight changes in aridity over the São Francisco watershed (SFW), Northeast Brazil, which is a key basin in Brazil providing water to most of the semiarid areas of the country. The study is conducted comparing two periods: 1961-1990 and 1991-2020, while also accounting for annual changes in the frequency of AI classes. The idea is to complement previous studies conducted in the SFW which already found increasing PET and meteorological water deficit in the last decades (Mutti *et al.*, 2020, 2022).

1. Data and methods

The AI was calculated using P and PET data from the Brazilian Daily Weather Gridded Dataset (BR-DWGD) by Xavier *et al.* (2022), which provides ground-measured interpolated meteorological data in a 0,1° x 0,1° grid for the 1961-2020 period. We compared mean AI values over the SFW for the 1961-1990 and 1991-2020 periods (linear correlation between each period). We also analyzed the annual frequency of each aridity class defined by the AI in the entire period: AI < 0.03: hyperarid; 0.03 < AI < 0.20: arid; 0.20 < AI < 0.50: semiarid; 0.50 < AI < 0.65: dry subhumid; and AI > 0.65: humid.

2. Results and discussion

The Figure 1 shows the spatial result for the arid classification (0.03 < AI < 0.20), which features up to 90% more occurrences in the 1991-2020 if compared to 1961-1990 in most of the low-middle SFW (LMSF) and portions of the middle SFW (MSF). These results agree with Dubreuil *et al.* (2019), which found increasing frequencies of Koppen's dry climate types over these regions. Mutti *et al.* (2022) also found an expansion of drought occurrence towards the MSF and low SFW (LSF) in the last decades. It is noteworthy that large unprecedented arid areas were registered at least once in the 1991-2020 period, even in the more humid upper SFW (USF). These areas do not appear in the climatological map for the 1991-2020 period (figure not shown).

Regarding the average AI in 1961-1990 and 1991-2020, one can notice that it decreased in magnitude over the entire SFW (right panel of the figure 1). Mean overall reductions from 3% (LSF) to 16% (LMSF) in the AI were

observed. The Figure 1 also shows that the most remarkable change was from dry subhumid classes to semiarid, mostly in the MSF and USF.

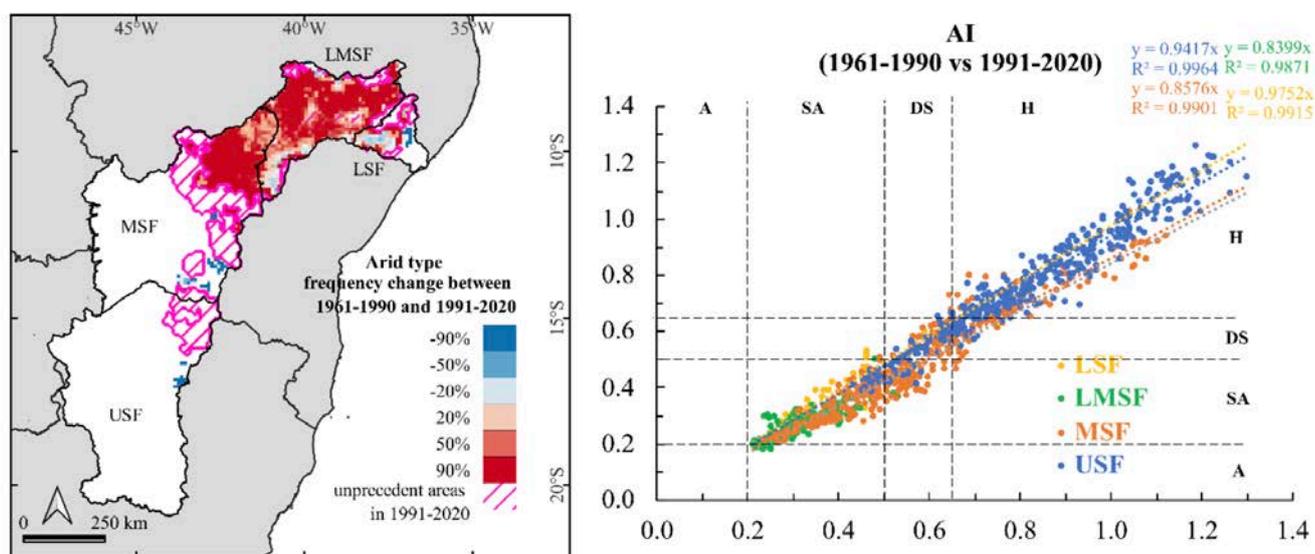


Figure 1. Left panel: arid type ($0,03 < AI < 0,20$) frequency change between 1961-1990 and 1991-2020, also showing areas classified as arid at least once in 1991-2020 but never in 1961-1990.

Right panel: scatter plot of the mean AI in sampled grid points of the study area in 1961-1990 (x-axis) versus 1991-2020 (y-axis). USF, MSF, LMSF and LSF refer to the upper, middle, low-middle and low portions of the São Francisco watershed. A: arid, SA: semiarid, DS: dry subhumid and H: humid.

Conclusion

Despite not all results being shown in the figure, our study revealed evidences of increasing aridity over the SFW, Northeast Brazil. We found that, in mean climatological terms, the region's overall dryness is increasing, with the expansion of semiarid lands and the diminishment of subhumid areas. Not only that, we also found that the annual occurrence of arid typologies is becoming more frequent, with unprecedented areas reaching high degrees of dryness.

Acknowledgements: the authors are thankful to the National Council for Scientific and Technological Development – CNPq for financing the project (grants 441315/2023-2 and 403279/2023-2).

Bibliography

- Dubreuil V., Fante K., Planchon O. et Sant'Anna Neto J. L., 2019 : Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, **39**, 3, 1446-1456.
- Greve P., Roderick M. L., Ukkola A. M. et Wada Y., 2019 : The aridity index under global warming. *Environmental Research Letters*, **14**, 124006, 1-11.
- Mutti P. R., Dubreuil V., Bezerra B. G., Arvor D., de Oliveira C. P. et Santos e Silva C. M., 2020 : Assessment of Gridded CRU TS Data for Long-Term Climatic Water Balance Monitoring over the São Francisco Watershed, Brazil. *Atmosphere*, **11**, 1207, 1-25.
- Mutti P. R., Dubreuil V., Bezerra B. G., Arvor D., Funatsu B. M. et Santos e Silva C. M., 2022 : Long-term meteorological drought characterization in the São Francisco watershed, Brazil: A climatic water balance approach. *International Journal of Climatology*, **42**, 16, 8162-8183.
- Tsiros I. X., Nastos P., Proutos N. D. et Tsaousidis A., 2020 : Variability of the aridity index and related drought parameters in Greece using climatological data over the last century (1900-1997). *Atmospheric Research*, **240**, 104914, 1-9.
- Xavier A. C., Scanlon B. R., King C. W. et Alves A. I., 2022 : New improved Brazilian daily weather gridded data (1961- 2020). *International Journal of Climatology*, **42**, 16, 8390-8404.

INFLUENCE DU NIVEAU DE MODÉLISATION URBAINE SUR UNE SIMULATION MICROCLIMATIQUE LASER/F

Vincent LECOMTE¹, Hélène MACHER¹, Pierre KASTENDEUCH², Tania LANDES¹, George NAJJAR²

1. Université de Strasbourg, INSA Strasbourg, 24 Boulevard de la victoire, 67000 Strasbourg, France, CNRS, Laboratoire ICUBE UMR 7357, Equipe TRIO, (vincent.lecomte, helene.macher, tania.landes)@insa-strasbourg.fr

2. Université de Strasbourg, CNRS, Faculté de Géographie et d'Aménagement, 3 Rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France, Laboratoire ICUBE UMR 7357, Equipe TRIO, (kasten, georges.najjar)@unistra.fr

Influence of urban level modeling on a LASER/F microclimate simulation

Mots-clés : simulation microclimatique, modèle thermo-radiatif, température de surface, LASER/F

Keywords: Microclimate simulation, Thermo-radiative model, Surface temperature, LASER/F

Introduction

La lutte contre la formation d'îlots de chaleur urbains est un sujet de plus en plus prédominant et essentiel dans la perspective du réchauffement climatique. L'enjeu aujourd'hui est de comprendre l'impact de la géométrie urbaine et le rôle de la végétation pour lutter contre ce phénomène en milieu urbain. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet TIR4sTREEt qui vise à étudier l'importance de l'arbre en ville dans trois rues arborées de Strasbourg.

L'un des axes majeurs de ce projet est la validation de l'outil de simulation microclimatique LASER/F (Kastendeuch *et al.*, 2006). Ce modèle thermo-radiatif permet de réaliser des simulations microclimatiques à l'échelle de la rue et du quartier (Kastendeuch *et al.*, 2017) pour obtenir, entre autres, les températures de surfaces des éléments modélisés.

Dans ce travail, nous nous intéresserons dans un premier temps à l'influence du niveau de modélisation géométrique 3D des objets étudiés. Puis, dans un second temps, l'influence du niveau de caractérisation des matériaux sera étudiée dans l'outil. Enfin, les résultats seront analysés et comparés à des mesures (microclimatiques, écophysologiques et infrarouges thermiques) réalisées dans la zone d'étude.

1. Impact du niveau de modélisation géométrique

Le niveau de modélisation géométrique de la maquette est un point non négligeable dans une simulation microclimatique à l'échelle de la rue. Plus un élément urbain est modélisé finement, plus il sera possible d'analyser précisément sa température de surface et son impact sur son environnement proche. Certains éléments sont toutefois plus importants que d'autres, notamment les balcons, les fenêtres et le mobilier urbain (Lee *et al.*, 2020).

Plusieurs niveaux de modélisation seront testés à l'échelle du bâtiment et de la rue. Les bâtiments et les arbres d'intérêt seront modélisés à différents niveaux de détails. Les résultats des simulations réalisées à partir de ces éléments à différents niveaux de détails seront comparés. Le temps de calcul nécessaire au logiciel sera également pris en compte. Les résultats de la comparaison permettront d'évaluer la pertinence du niveau de modélisation géométrique dans LASER/F et de définir le niveau de représentation géométrique nécessaire et optimal de la maquette.

2. Impact de la caractérisation des matériaux

Les éléments de la maquette géométrique doivent également être caractérisés en termes de matériaux. Cet aspect joue un rôle déterminant dans la précision des températures de surfaces qui sont simulées. Chaque objet de la maquette est associé à un ou plusieurs matériaux. Il faut connaître les propriétés thermo-physiques des différents murs, des chaussées, des toitures, etc. Des valeurs telles que l'épaisseur, l'albédo, l'émissivité et la conductivité thermique doivent être renseignées dans une table des matériaux.

Dans la pratique, il est difficile de connaître l'ensemble des matériaux composant les éléments urbains. L'étude de la sensibilité de ces paramètres est donc nécessaire afin de déterminer leur impact dans les simulations et obtenir des températures de surfaces correctes (Roupioz *et al.*, 2018).

3. Validation des résultats

À partir de l'étude de l'influence de la modélisation géométrique et de la caractérisation des matériaux, il sera possible de définir des critères de paramétrisation optimale de la maquette. Ces résultats doivent toutefois être vérifiés par des mesures réalisées sur le terrain.

De nombreuses mesures microclimatiques telles que la température de l'air, le vent ou l'humidité, ont été acquises tout au long de l'été 2023 dans la zone d'étude. Ces mesures constituent d'une part des données de forçage nécessaires au lancement d'une simulation sur LASER/F. D'autre part, elles permettent de vérifier ponctuellement les résultats de simulations. Par ailleurs, de nombreuses images thermiques ont été prises dans la rue pour vérifier les températures de surfaces simulées (Fig. 1).

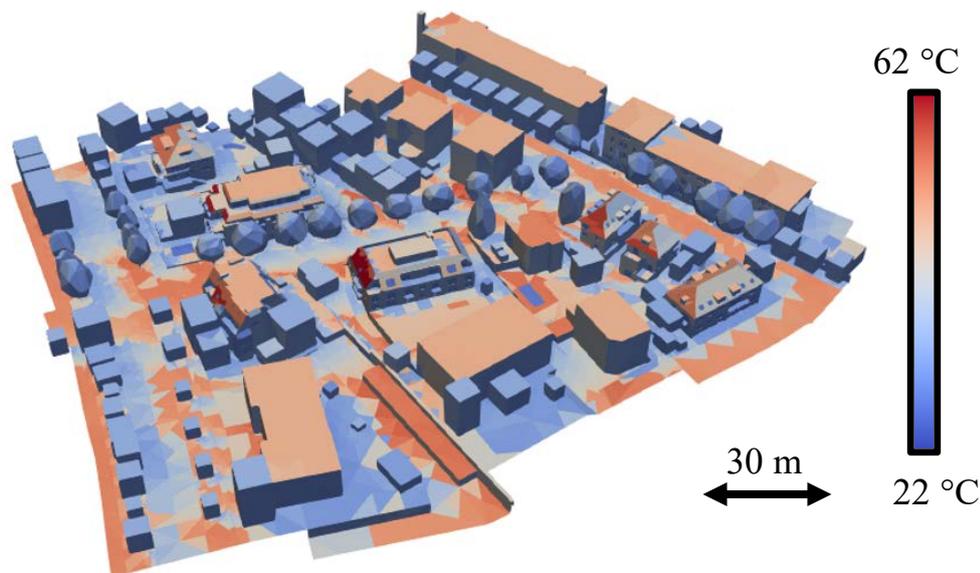


Figure 1. Températures de surfaces obtenues avec LASER/F sur la zone du projet TIR4sTREEt pour la journée du 23 août 2023 à 14h15

Conclusion

La comparaison des données simulées et mesurées permettra de définir le niveau de modélisation et de caractérisation nécessaire de la maquette afin de pouvoir valider le modèle de simulation. Cela permettra également d'analyser et de quantifier l'effet rafraîchissant de l'arbre en ville.

À l'issue du projet, la vérification des températures de surfaces simulées se fera, non pas avec des images thermiques individuelles, mais à l'aide d'une maquette thermique 3D temporelle. Celle-ci sera produite par couplage de la maquette 3D et de l'ensemble des images thermiques prises dans la zone d'étude.

Une fois validées, les simulations permettront de tester différentes essences et dispositions d'arbres dans le but de proposer des scénarios de verdissement urbain et ainsi de trouver des solutions limitant la formation d'îlots de chaleur urbains.

Remerciements : Les auteurs souhaitent remercier l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour son soutien au projet TIR4sTREEt (ANR- 21 CE 22 0021).

Bibliographie

- Kastendeuch P., Najjar. G. et Ringenbach N., 2006 : Modélisation du bilan radiatif et d'énergie d'un canyon urbain à Strasbourg. *Climatologie*, **3**.
- Kastendeuch P., Najjar G. et Colin J., 2017 : Thermo-radiative simulation of an urban district with LASER/F. *Urban Climate*, **21**, 43-65.
- Lee, D., Pietrzyk, P., Donkers, S., Liem, V., van Oostveen, J., Montazeri, S., Boeters, R., Colin, J., Kastendeuch, P., Nerry, F., Menenti, M. et Verbree, E., 2013 : Modeling and observation of heat losses from buildings: The impact of geometric detail on 3D heat flux modeling. *Proceedings of the 33rd European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) Symposium*, Matera, Italy, 3-6.
- Roupioz L., Kastendeuch P., Nerry F., Colin J., Najjar G. et Luhahe R., 2018 : Description and assessment of the building surface temperature modeling in LASER/F. *Energy and Buildings*, **173**, 91-102.

DROUGHT CHARACTERIZATION IN THE ITAPARICA RESERVOIR, SÃO FRANCISCO BASIN, BRAZIL, USING PRECIPITATION AND TWS-GRACE BASED INDICES

**Fábio LIMA¹, Pedro MUTTI^{1,2}, Rodrigo GONÇALVES³, Larissa LINHARES¹,
Jonathan SILVA², Tácito da SILVA³**

1. Climate Sciences Post-Graduate Program, Federal University of Rio Grande do Norte, Brazil,
fabiomarley.v@gmail.com, larissamarques275@gmail.com

2. Department of Atmospheric and Climate Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN,
Brazil, pedromutti@gmail.com, jonathan.mota@ufrn.br

3. Department of Cartographic Engineering, Geodetic Science and Technology of Geoinformation Post Graduation,
Federal University of Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brazil, Rodrigo.mikosz@gmail.com, tacitorfs@hotmail.com

Caractérisation de la sécheresse à l'aide d'indices basés sur les précipitations et de TWS-GRACE dans le réservoir d'Itaparica, bassin de São Francisco, Brésil

Mots-clés : stockage total d'eau, indice de gravité de la sécheresse, analyse des séries temporelles

Keywords: Total Water Storage, Drought Severity Index, time series analysis

Introduction

Climate change alters water cycle processes, causing changes in precipitation patterns that will lead to extreme events on global and regional scales. Drought, as a natural phenomenon caused by water flux imbalance, leads to the persistence of water scarcity in the context of global warming, impacting human consumption, agricultural irrigation, and the stability of ecological systems. Over the last decade, drought events have occurred more frequently, resulting in a decrease in river flow, reservoir volume, lake levels, groundwater levels, and soil moisture. Furthermore, the reduction in stored water volume in reservoirs directly impacts water security and water resource management. Climate data information support is necessary to better understand the mechanisms influencing extreme events. Drought can be characterized and classified using indices, where different types of data, parameters, and mathematical models are used for their development and applications. The Standardized Precipitation Index (SPI) proposed McKee *et al.* (1993) is widely used for drought characterization, with its multiscale nature providing insights from meteorological to hydrological scales. In this context, remote sensing (RS) products complement in-situ observations and overcome obstacles regarding data availability. Recently, Total Water Storage (TWS) has been calculated using the GRACE mission, providing an alternative approach to monitoring the global and regional water cycle. The use of TWS-GRACE as an indicator of water availability has resulted in the creation of new drought indices or improvements to existing ones, such as the Drought Severity Index (DSI-GRACE) proposed by Zhao *et al.* (2017). The objective of this research is to characterize drought using precipitation and TWS-GRACE-based drought indices and correlate them with the volume of the Itaparica reservoir in the São Francisco River.

1. Data and methods

The SFW is the largest basin in the Brazilian semiarid region, covering 639.219 km² of drainage area. Its main river has an average flow of 2.850 m³ and a length of 2.700 km. The reservoir of Itaparica is in the lower-middle portion of the SFW, with extensions of 149 km, area of 828 km² and capacities of 10,7 billion m³, respectively. Monthly GRACE solutions of mass concentration processed by the Center for Space Research were utilized. In total, monthly solutions from April 2002 to December 2022 (RL06M v.02) were used. Precipitation data from the most current version of the monthly global precipitation dataset of the Climatic Research Unit (CRU TS v.4.07) were also used. We used data from January 1992 to December 2022, encompassing the entire study area. Reservoir volume observational data were obtained from the National Electric Energy Operator (ONS) and cover the period from April 2002 to December 2023, with gapless documented monthly information. The methodological structure and workflow applied in this research encompass the following steps: (i) data acquisition, where all data used were obtained freely, (ii) pre-processing for database creation and filling gaps in the time series of the TWS variable, (iii) DSI-GRACE, SPI – 12 and 36 months drought index processing, (iv) statistical analysis using Spearman correlation, maxima and minima analysis, and scatter plots, followed by the examination of results, including drought event characteristics and statistical responses of the data.

2. Results and discussion

Figure 1 presents the results of the indices (A) DSI e (B) SPI -12, 36 correlated with the reservoir volume. The negative slope coefficients obtained from the regression equations indicate a decline throughout the time series, where the reservoir volume collapses from 2013 to 2018. The beginning of the dry period is identified in different periods in the three indices, where the DSI identifies it in November 2014, the SPI-12 and 36 identify the beginning of the dry period in January 2012 and 2013 respectively, the SPI-12 presents fluctuations throughout the time series, this behavior is related to a rapid response to climate variability triggering a meteorological drought. However, DSI and SPI-36 better represent the behavior of the reservoir volume, presenting constant dry values between 2014-2019 within the drought classification limit. These results corroborate studies referring to the last period of drought in northeastern Brazil. Climatic factors such as the Inter-Tropical Convergence Zone, Madden-Julian Oscillation, El-Nino-Southern Oscillation events, and sea surface temperature in the Atlantic directly influenced the occurrence of the latest drought event observed between 2012 and 2018, as documented in various studies (Mutti *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2019).

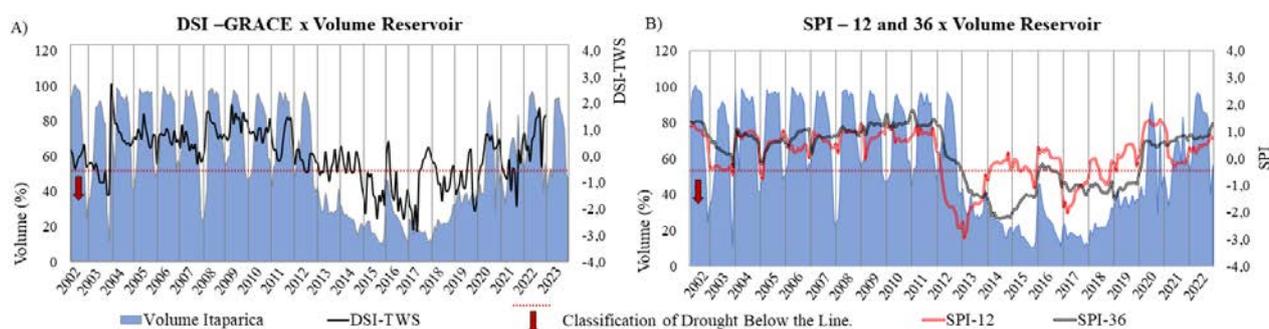


Figure 1. Reservoir volume in Itaparica, (A) Time series of DSI-TWS and (B) Time series of SPI – 12 and 36 months.

Despite being from distinct datasets, both variables exhibit similar seasonalities over the years. As non-parametric and independent variables with a coefficient of variation greater than 30%, the Spearman rank correlation (σ) was calculated for the results of the drought index and the volume. The obtained results were (σ) = 0.62, (σ) = 0.49 and (σ) = 0.75 in relation to the reservoir volume with DSI-GRACE, SPI-12 and spi-36 respectively. The SPI-36 and DSI-GRACE presented similar results, with a correlation of (σ) = 0.65. The correlations were significant at the 5% level, thus accepting the alternative hypothesis that there is a real strong correlation between the indices.

Conclusion

The crucial role of reservoirs in the SFW is highlighted by their contribution to providing potable water, supporting agricultural irrigation, generating hydroelectric power, and assisting in flood mitigation. Given the frequent occurrence of droughts in the region, it is essential to study and quantify these events to guide strategic decisions. The utilization of observations from the GRACE mission has proven to be a viable alternative for assessing and monitoring reservoir water availability, enabling the identification of specific drought patterns and enhancing water resource management.

Acknowledgements: the authors are thankful to the National Council for Scientific and Technological Development – CNPq for financing the project (grants 441315/2023-2 and 403279/2023-2) and to the CAPES for the Phd scholarship for the first author.

Bibliography

- Cunha, A. P. M. *et al.*, 2019 : Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, **10**, 11, 642.
- McKee, T. B. *et al.*, 1993 : The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179-183.
- Mutti P. R. *et al.*, 2022 : Long-term meteorological drought characterization in the São Francisco watershed, Brazil: A climatic water balance approach. *International Journal of Climatology*, **42**, 16, 8162-8183.
- Zhao, Meng *et al.*, 2017 : A global gridded dataset of GRACE drought severity index for 2002– 14: comparison with PDSI and SPEI and a case study of the Australia millennium drought. *Journal of Hydrometeorology*, **18**, 8, 2117-2129.

CLIMATIC AND HYDROLOGICAL CHANGES AT THE NORTH COAST OF RIO DE JANEIRO (BRAZIL) AS PERCEIVED BY THE FAMILY FISHERMEN

Mauro MACEDO CAMPOS¹, Martin SEIDL², Victor F.G.V. CUNHA¹

1. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Brazil, maurocampos@uenf.br

2. Ecole des Ponts ParisTech, Laboratory of Water, Environment and Urban Systems (LEESU), France

Changements climatiques et hydrologiques de la côte nord de Rio de Janeiro (Brésil) tels que perçus par les pêcheurs artisanaux

Mots-clés : écosystème lagunaire, pêcheurs artisanaux, changement climatique, perception

Keywords: lagoon ecosystem, artisanal fishermen, climate change, perception

Introduction

The transformations of our environment resulting from anthropogenic climate change are increasingly present in people's lives, whether they are in urban or rural areas. They are drawing the attention of experts, civil society public authorities and even the market. They become central to the debates and challenges to be faced today and over the coming decades (O'Brien & Leichenko, 2000). More and more climate studies point out alarming levels of temperature or precipitation, extremes being observed in different parts of the world, with increasing frequency (Begum *et al.*, 2022; Shaffril *et al.*, 2017). Extreme climatic phenomena such as heat and cold waves, drought periods, recurrent storms or frequent flooding end up changing the structures of environments and biotope linked with them, which affect consequently, directly and indirectly, the populations depending on them (Marengo & Valverde, 2007; Seixas *et al.*, 2014). Specific groups of population like fishermen or farmers, through their dependency relationship with the surrounding natural environment, have aptitude to observe the climatic phenomena and adapt their way of subsistence.

The research presented here, focus therefore on artisanal fishermen from the municipalities of the coastal area of the North of Rio de Janeiro, population considering water as a productive input, depending on its abundance and quality. The aim is to understand how these artisanal fishermen perceive the climate change in their working environment, based on their experience and their capacity to adapt their daily lives and their ability to provide subsistence for their families. Some of the working hypothesis are the corroboration of the hydrological changes related with meteorological data measured, the existence of individual adaptation strategies and the correlation between understanding of climate change and the capacity of adaptation.

1. Methodology

In order to understand the perception, the individual interpretation of observed environmental data, we analysed observations collected through interviews and focus group with artisanal fishermen in the coastal region between Guanabara Bay (Rio de Janeiro) and delta of river Paraíba do Sul (Campos dos Goytacazes). This region includes coast as well two big lagoons systems, that of Lagoa de Araruama (approx. 150 km²) and that of Lagoa Feia (approx. 100 km²). The interviews use 10 short questions about rain, flood, fishing water quality and fish population. The interviews are applied directly or through Whatsapp spoken messages as a part of a PhD research project. The focus groups include other questions about social and working environment and are part of the Environmental Education Programme (PEA-Pescarte) (IBAMA, 2010). The PEA, ongoing since 2015, has as main objective the implementation of work and income generation projects together with family fishermen organisation of 10 municipalities in the Campos Basin (BC). The PEA is financed through environmental taxes of the Petrobras off shore activities and the program is technically supported by the State University of Northern Rio de Janeiro Darcy Ribeiro (UENF), located in Campos dos Goytacazes..

2. Preliminary results and discussion

The study focused on artisanal fishermen's interpretations of the perceived effects of climate change and how they have adapted to these changes, in their daily live, in the ways they work and earn income. Understanding how this adaptive capacity manifests itself in traditional communities, according to Souza Silva (2014), is not limited solely to changes in physical spaces, based on local ecological knowledge, but also extends to social, cultural and economic changes. In this sense, it means understanding how people produce practical answers to everyday

questions and mould themselves to changes in the environment and water quality, in a context of greater social vulnerability.

The words of first fishermen interviewed corroborate the findings of the literature and experts on the climate change. The perception, albeit simple, but attentive, of the effects of anthropogenic climate change appears in the speeches of most of the interviewees. As expected the excessive temperatures were a recurring theme, but were equally reported reduction of rainfall frequency (seen as a "blessing from nature"), but with increased rainfall intensities, causing more frequent flooding. These effects are accompanied by water pollution, whether from sewage or waste, and massive presence of algae and mud, producing bad water odour. The interviews reports also fish shortage, as well as drop in number of commercially important species, as the presence of smaller fish, leading to a reduction in fish volume to be sold. The changes in the environment, cited, have led to alternative fishing practices, as well as to search for an additional income activity to minimise the effects of the fishing volume reduction.

The presentation will give more detailed results of the collected data, its statistical treatment and possible policy implications.

Conclusions

The text draws attention to the essentiality of water, in our case not for human consumption, but as working conditions and economic resource of subsistence. The first results allow to estimate the importance of this "factor of production" from the point of view of those who work and depend on the waters for their survival and that of their families. The collected data show a relatively accurate perception of the changing climatic phenomena like rainfall and their impact on the fish population. The climatic changes express themselves in the form of uncertainties of the working conditions and of the continuity of fishing activity. The interviewee's speeches corroborate findings from the literature (Begum *et al.*, 2022) pointing to an important negative effect of the climate change on social groups that depend on natural environment (water). The final result of these effects, as one fishermen said, is an important reduction of income, discouraging the artisanal fishing and inducing shift to more urban economical activities. The public policies should therefore limit artisanal fishing to the future environmental capacities and help the exceeding fishermen population with economical reconversion. The combination of environmental education and monitoring of human activities will contribute to both environmental restoration and the preservation of fish population, in order to guarantee the future of artisanal fishing in the region.

Acknowledgements: Project Pescarte, UENF, Fundação Carlos Chagas and ENPC for the collaboration in data collection, postdoctoral funding and research facilitation

References

- Begum, M., Masud, M. M., Alam, L., Mokhtar, M. B., & Amir, A. A. (2022). The adaptation behaviour of marine fishermen towards climate change and food security: An application of the theory of planned behaviour and health belief model. *Sustainability*, 14(21), 14001. <https://doi.org/10.3390/su142114001>
- Ibama. (2010). Diretrizes para a elaboração, execução e divulgação dos programas de educação ambiental desenvolvidos regionalmente, nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás (PEA-BC Programa de educação ambiental Bacia de Campos) (Nota técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/10). Ministério do meio ambiente, Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis, Diretoria de licenciamento ambiental, Coordenação geral de petróleo e gás. <http://www.pea-bc.ibp.org.br/?view=projeto-apresentacao&id=6>
- Marengo, J. A., & Valverde, M. C. (2007). Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, 8, 5-28.
- O'Brien, K. L., & Leichenko, R. M. (2000). Double exposure: Assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change*, 10(3), 221-232. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00021-2)
- Seixas, S. R. D. C., Hoeffel, J. L. D. M., Renk, M., Silva, B. N. D., & Lima, F. B. D. (2014). Percepção de pescadores e maricultores sobre mudanças ambientais globais, no litoral Norte Paulista, São Paulo, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14(1), 51-64. <https://doi.org/10.5894/rgci424>
- Shaffril, H. A. M., Abu Samah, A., & D'Silva, J. L. (2017). Adapting towards climate change impacts: Strategies for small-scale fishermen in Malaysia. *Marine Policy*, 81, 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.03.032>

INTENSITÉ DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN PARISIEN ET VARIABILITÉ SPATIALE DES TEMPÉRATURES À PARTIR DE DONNÉES CROWDSOURCÉES : CAS DE L'ÉTÉ 2022

Malika MADELIN¹, Louis LEGRAND³, Vincent DUPUIS²

1. Université Paris Cité, UMR 8586 PRODIG, Paris, France, malika.madelin@u-paris.fr

2. Sorbonne-Université, UMR 7195 PHENIX, Paris, France

3. UMR 8586 PRODIG, Paris, France

Intensity and gradient of the Paris Urban Heat Island from crowdsourced data: the summer 2022 case study

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, données crowdsourcées, variabilité spatio-temporelle, gradient

Keywords: urban heat island, crowdsourced data, space-time variability, gradient

Introduction

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui se manifeste essentiellement la nuit sous la forme d'un différentiel de température entre les centres urbains et les campagnes environnantes (Oke *et al.*, 2017) influence fortement la vie des citadins, l'été, en période de canicule, et peut avoir des impacts sanitaires importants (Forceville *et al.*, 2024). Sa compréhension dans les centres urbains denses comme l'agglomération parisienne suscite de nombreux travaux de recherche que ce soit dans le domaine de la modélisation climatique aux échelles fines (quelques centaines de mètres) ou celui des mesures microclimatiques à partir de réseaux denses de stations météorologiques, de données d'opportunité massives provenant de stations météo « citoyennes », de mesures mobiles sur des transects ou encore de systèmes de mesures innovants (ballons-sondes à bas coût, drones, etc.).

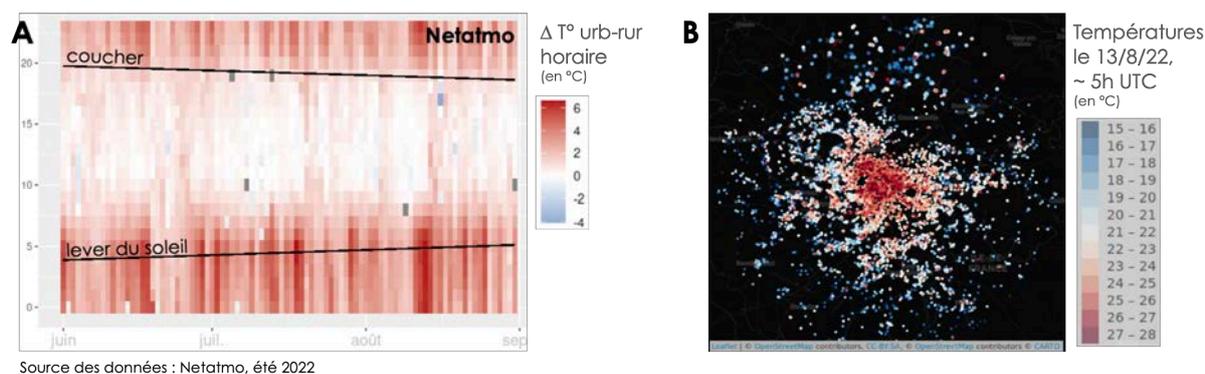
1. Contexte et données

L'été 2022 a été marqué par plusieurs épisodes de très fortes chaleurs : 5 jours avec des maxima-supérieurs à 35°C et 10 avec des minima supérieurs à 20°C, à la station de Paris Montsouris. Une intense campagne de mesures a été mise en place dans le cadre du programme PANAME 2022 (Masson *et al.*, 2022), combinant le déploiement de multiples instruments fixes mais aussi l'utilisation de ballons-sondes et de mesures itinérantes donnant accès à de la très haute résolution spatiale au sol et dans la couche limite atmosphérique.

Dans le cadre de PANAME 2022 et celui de l'ANR H2C *Heat and Health in Cities*, nous avons utilisé les données d'opportunités du réseau Netatmo (www.netatmo.com) ainsi que les données des stations de référence de Météo-France pour caractériser la variabilité spatiale et temporelle de l'îlot de chaleur urbain parisien au cours de l'été 2022. Les données crowdsourcées de Netatmo, installées dans des contextes de mesure variés et non documentés, nécessitent une sévère critique des données, que nous avons réalisée en reprenant et en prolongeant celle réalisée dans des travaux précédents (Madelin et Dupuis, 2020). Nous disposons ainsi d'un jeu de données de températures, à l'échelon horaire, pour environ 8 000 capteurs autour de Paris (50km).

2. Résultats

L'analyse des données Netatmo pour l'été 2022 a permis de mettre en évidence l'intensité de l'îlot de chaleur urbain parisien et de caractériser sa variabilité spatiale en période de fortes chaleurs, avec un fort gradient centre urbain-campagne environnante (Fig. 1). L'analyse plus fine dans la zone intra-urbaine aux échelles hectométriques, tout comme l'exploitation de mesures mobiles réalisées lors de plusieurs nuits tropicales (températures supérieures à 20°C), ont montré des contrastes marqués en ville et l'influence des parcs urbains.



Source des données : Netatmo, été 2022

Figure 1. Variabilité spatiale et temporelle de l'îlot de chaleur urbain parisien, pendant l'été 2022. (A) intensité de l'îlot à partir de la différence thermique entre la médiane de stations Netatmo urbaines et celle des « rurales » (les dates sur l'axe des abscisses et les heures UTC sur l'axe des ordonnées) ; (B) cartographie des températures relevées par les stations personnelles Netatmo dans un rayon de 50km autour du centre de Paris le 13 août 2022 à 5h UTC.

Conclusion

À partir des données d'opportunités du réseau Netatmo pour l'été 2022, nous avons pu caractériser l'îlot de chaleur urbain parisien et la variabilité spatiale des températures aux échelles fines, pour plusieurs épisodes de fortes chaleurs. Le croisement de ces données avec les sorties de simulations du modèle atmosphérique MesoNH-TEB du Centre National de Recherches Météorologiques est en cours et devrait apporter des éléments supplémentaires dans la compréhension fine de l'îlot de chaleur urbain parisien en période de canicule.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ANR H2C soutenu par l'Agence Nationale de Recherche ANR-20-CE22-0013 et coordonné par Aude Lemonsu (CNRM). Les auteurs et autrice souhaitent aussi remercier la mise à disposition des environnements serveurs de développement et de publication de R par la TGIR Huma Num.

Bibliographie

- Forceville G., Lemonsu A., Gorla S., Stempfelet M., Host S., Alessandrini J.M., Cordeau E. et Pascal M., 2024 : Spatial contrasts and temporal changes in fine-scale heat exposure and vulnerability in the Paris region. *Science of the Total Environment*, 906:167476.
- Madelin M. et Dupuis V., 2020 : Intensité et spatialisations de l'îlot de chaleur urbain parisien à partir de données participatives. *Climatologie*, 17.
- Masson V., Lemonsu A., Martinet P., Denjean C., Boissard C., Cantrell C., Michoud V., Gros V., Haeffelin M., Kotthaus S., Leymarie J., Madelin M. et Price J., 2022 : Une campagne de mesures sur le climat urbain et la qualité de l'air de la région parisienne. *La Météorologie*, **118**, 4-6.
- Oke T. R., Mills G., Christen A. et Voogt J. A., 2017 : *Urban climates*. Cambridge University Press.

INFLUENCE DU PARC MONTSSOURIS SUR LES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES PAR TEMPS RADIATIF ESTIVAL À PARIS

Samuel MARCHANTE-GIL¹, Malika MADELIN¹, Vincent DUPUIS², Salem DAHECH¹

1. Université Paris Cité, UMR 8586 PRODIG, Paris, France, samuel.marchante-gil@ctu.u-paris.fr

2. Sorbonne-Université, UMR 7195 PHENIX, Paris, France

Influence of Montsouris park on atmospheric conditions during high temperatures in Paris

Mots-clés : brise thermique, îlot de chaleur urbain, confort thermique, parc

Keywords: thermal breeze, urban heat island, thermal comfort, park

Introduction

Alors que plus de la moitié de la population mondiale vit dans des espaces urbanisés, l'augmentation des températures d'origine anthropique et l'intensification des vagues de chaleur dans les années à venir représentent un risque majeur pour les populations urbaines. Les périodes de fortes chaleurs ou de pics de pollution atmosphérique engendrent un risque de surmortalité pour les habitants de grandes agglomérations (Besancenot, 2002). Une meilleure compréhension de phénomènes propres au climat de la ville, tels que l'îlot de chaleur urbain (ICU), permettrait de faire face plus efficacement aux périodes de forte chaleur et de réduire leurs impacts sanitaires (Champiat, 2009).

À Paris, l'ICU a été étudié et documenté récemment, notamment par les travaux de Madelin et Dupuis (2020), à partir d'une base de données de capteurs individuels, allant de 2017 à 2020. Le rôle des parcs lors de périodes de fortes chaleurs a également été souligné par Dahech *et al.* (2020), qui ont observé un différentiel de 4°C entre le parc Montsouris et le centre de Paris par temps caniculaire. Par ailleurs, la campagne Paname 2023, copilotée par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), a également documenté l'effet rafraîchissant des parcs à Paris (Masson *et al.*, 2022).

C'est dans le cadre du projet *Heat and Health in Cities*, financé par l'Agence Nationale pour la Recherche et qui vise à étudier les impacts de la chaleur et de la pollution de l'air sur la santé en milieu urbain, que nous avons réalisé une série de mesures au cours de l'été 2023, affiliées à la campagne Paname 2023. L'objet de ces mesures a été de documenter et caractériser l'occurrence de brises thermiques aux abords du parc Montsouris à Paris, et d'étudier l'influence du parc sur la fraîcheur à ses abords et dans les rues adjacentes. C'est un des parcs les plus importants de la capitale en superficie, avec une forte fréquentation en période estivale. La compréhension des situations d'ICU et de l'occurrence de brises au sein de ce parc permet ainsi d'étudier son effet dans le quartier et de renforcer les perspectives d'adaptation aux périodes de fortes chaleurs.

1. Caractérisation des brises thermiques

La campagne a été menée du 7 juillet au 31 août 2023. Les sessions de mesures ont été effectuées entre 23h30 et 2h du matin (heures locales) durant les nuits où les conditions météorologiques, déduites à partir de la station Paris-Montsouris de Météo France (48,82°N 2,34°E), favorisaient l'installation de l'ICU et l'occurrence de brises. Les nuits pluvieuses ou venteuses ont été exclues. Les mesures ont été réalisées à pied, à l'aide d'un sac à dos équipé de capteurs à nu, ventilés et ventilés-abrités, assemblés au FabLab de Sorbonne Université et testés au préalable, mesurant la température de l'air (en °C) et l'humidité relative (en %). Cette diversité de capteurs nous permet une meilleure interprétation des résultats, notamment en comparant la réactivité aux changements de température. Nous étions également équipés d'un anémomètre à hélice et d'encens, pour saisir la direction et l'intensité des brises.

Sur un total de 20 trajets menés, nous avons observé des brises thermiques aux abords et à l'intérieur du parc Montsouris sur près de la moitié des trajets. Le relief du parc Montsouris et l'organisation urbaine à ses abords créent un effet de canalisation des brises, qui est renforcé sous l'effet de la pente, par la différence d'une vingtaine de mètres entre le sud-ouest (78 m) et le nord-est du parc (54 m). Si la moyenne des vitesses des brises mesurées sur l'ensemble des sessions se situe entre 0,9 et 1,2 m/s, celles-ci vont être plus importantes au nord-est et à l'est du parc (1 m/s et 0,9 m/s en moyenne) qu'au nord-ouest ou au sud-ouest (0,7 m/s). Cela s'explique en partie par une accélération de la brise sous l'effet du relief. Les brises les plus stables ont été observées dans la partie basse du parc, au NE, E et NO, tandis que peu de brises stables ont été mesurées dans la partie haute, au SO, S. On suppose alors que les bâtiments (disposition, hauteur, alignement) aux alentours du parc et la pente favorisent une canalisation et une accélération de la brise.

2. Influence sur la fraîcheur et le confort thermique

La Figure 1 illustre l'écart thermique que nous retrouvons entre les parties hautes et basses du parc pour la nuit du 10 au 11 juillet 2023 (journée radiative avec une amplitude diurne de 14°C), mais également l'influence du parc sur la fraîcheur dans les rues adjacentes. On observe une différence de température allant jusqu'à 2°C au sein même du parc (entre la station Météo France et la sortie NE, par exemple). Si le lac joue un rôle dans ce différentiel, on peut aussi souligner l'importance des brises dans le rafraîchissement du parc et des rues.

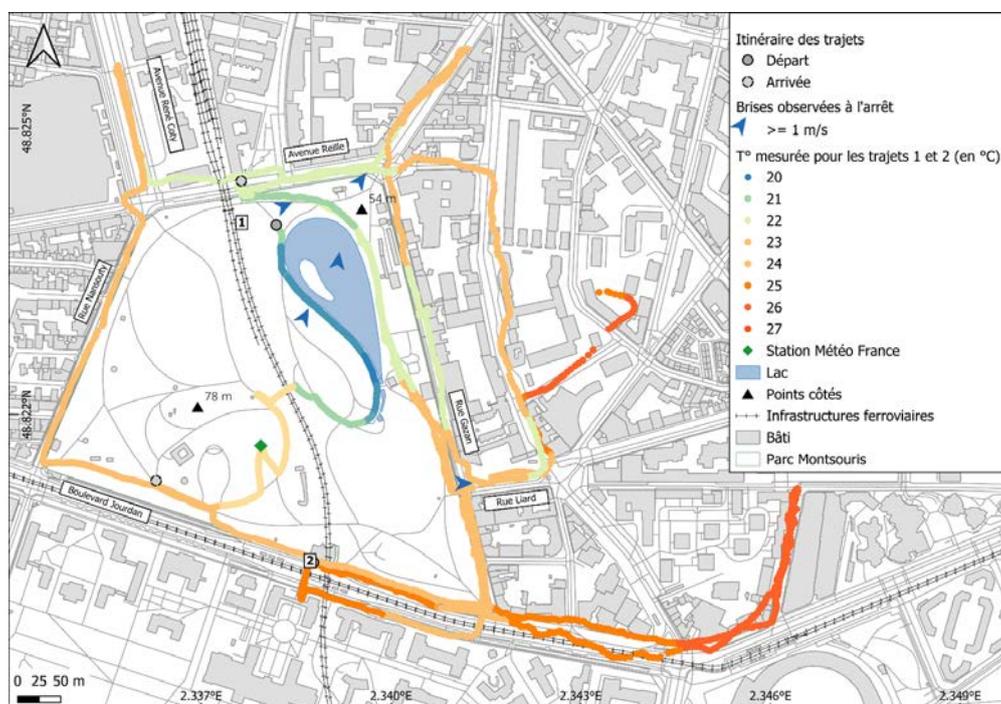


Figure 1. Variations de température (en °C) au cours de deux trajets réalisés la nuit du 10 au 11 juillet 2023, de 21h30 à 23h15 UTC. 1 – T° mesurée par anémomètre à fil chaud. 2 – T° mesurée par un capteur abrité et ventilé.

Conclusion

Cette campagne de mesures nous a permis de confirmer le rôle de l'îlot de fraîcheur joué par le parc Montsouris lors de fortes chaleurs. Le différentiel de températures et la présence de brises thermiques aux abords du parc engendrent un effet de rafraîchissement dans le quartier, et offrent un espace de repos et de fraîcheur en période chaude. Le traitement des données de cette campagne est en cours pour en tirer une meilleure adaptation de la ville aux vagues de chaleur.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ANR H2C soutenu par l'Agence Nationale de Recherche ANR-20-CE22-0013 et coordonné par Aude Lemonsu (CNRM).

Bibliographie

- Besancenot J-P, 2002 : Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement, Risques & Santé*, **1**, 4.
- Champiat C., 2009 : Heat island analysis to reduce the public health impact of heat waves. *Environnement, Risques & Santé*, **8**, 5.
- Dahech S., Charfi S. et Madelin M., 2020 : Représentativité des températures mesurées dans la station météorologique Paris-Montsouris. *Climatologie*, **17**.
- Madelin M. et Dupuis V., 2020 : Intensité et spatialisations de l'îlot de chaleur urbain parisien à partir de données participatives. *Climatologie*, **17**.
- Masson V., Lemonsu A., Martinet P., Denjean C., Boissard C., Cantrell C., Michoud V., Gros V., Haeffelin M., Kotthaus S., Leymarie J., Madelin M., Price J., 2022 : Une campagne de mesures sur le climat urbain et la qualité de l'air de la région parisienne. *La Météorologie*, **118**, 4-6.

LA VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION PARTICULAIRE PAR LA MODÉLISATION : NOUVELLES PERSPECTIVES À PARTIR D'UN RÉSEAU DENSE DE MICRO-CAPTEURS EN MILIEU URBAIN

Sarah MARION¹, Nadège MARTINY¹, Julita DUDEK², Mathieu BOILLEAUT³, Marie RISTORI³, Anaïs DETOURNAY⁴

1. Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université de Bourgogne Franche-Comté, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France, sarah.marion@u-bourgogne.fr

2. Département D2A2E, Institut Agro Dijon, Dijon, France

3. ATMO Bourgogne – Franche – Comté, Bart, France

4. ATMO Bourgogne – Franche – Comté, Besançon, France

The spatio-temporal variability of particulate pollution through modelling: new insights from a dense network of micro-sensors in urban environment

Mots-clés : modélisation à haute résolution, environnement urbain, pollution particulaire, micro-capteurs

Keywords: High resolution modelling, urban environment, particulate pollution, micro-sensors

Introduction

Les modèles à haute résolution spatiale actuels présentent généralement une variabilité spatiale faible ailleurs que sur les axes routiers, et aplatissent la saisonnalité de la pollution particulaire à l'échelle d'une ville.

1. Matériel et méthodes

Cette étude est basée sur le modèle SIRANE, un modèle de qualité de l'air urbain qui permet de simuler la dispersion des polluants atmosphériques en fonction de la géométrie de la ville à une résolution spatiale de 10 mètres. Le modèle SIRANE traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (une voie de circulation par exemple) et de sources ponctuelles (bâtiments industriels notamment). SIRANE s'intéresse également au transport à l'intérieur et à l'extérieur d'une rue : advection le long de l'axe de la rue, diffusion à l'interface entre la rue et le flux d'air sous-jacent et échanges avec d'autres rues aux intersections (Soulhac *et al.*, 2011). Les sorties du modèle ont été post-traitées sur la base d'une équation physique dérivée pour les niveaux de concentration en PM₁₀ ($d < 10 \mu\text{m}$) et PM_{2.5} ($d < 2.5 \mu\text{m}$) mesurés à Dijon par 4 micro-capteurs sur l'année 2021 (Martiny, 2023).

Cette étude vise tout d'abord à vérifier si les équations établies pourraient être appliquées à une autre période, en prenant en compte les éventuelles différences de circulation atmosphérique. Le second objectif est de tester si l'intégration d'un plus grand nombre de micro-capteurs de mesure pour construire les équations physiques améliore la correction du modèle SIRANE. Ainsi, nous nous intéressons à l'apport d'un réseau de micro-capteurs plus dense spatialement, en nombre et en typologie, en doublant la surveillance de la ville de Dijon. Plus généralement, nous cherchons ici à savoir dans quelle mesure les micro-capteurs peuvent améliorer l'information fournie par les modèles à très haute résolution spatiale et en particulier pendant la saison des particules, d'octobre à avril. À Dijon, le réseau de micro-capteurs a été porté à une dizaine de points en juillet 2023.

2. Résultats préliminaires

Les premières cartes issues de SIRANE et corrigées sur la base de 4 microstations représentatives de l'environnement urbain dijonnais permettent de mettre en avant une variabilité spatiale plus réaliste dans la ville, illustrée par un gradient de pollution du centre-ville vers la banlieue (avec une plus grande gamme entre les niveaux de concentration et un plus grand nombre de classes) (Fig. 1). Le cycle saisonnier apparaît également moins plat avec des niveaux de PM plus réalistes en hiver partout dans la ville.

Conclusion et perspectives

Notre travail s'articule autour de trois étapes : premièrement, appliquer les équations physiques développées aux cartes SIRANE de 2022 et 2023 et comparer les résultats avec les stations de mesures de référence de l'organisme de surveillance de la qualité de l'air ATMO Bourgogne – Franche – Comté ; deuxièmement, analyser les mesures des nouveaux micro-capteurs et les comparer avec les résultats des stations de référence ATMO-BFC et troisièmement, tester les équations physiques intégrant ces micro-capteurs.

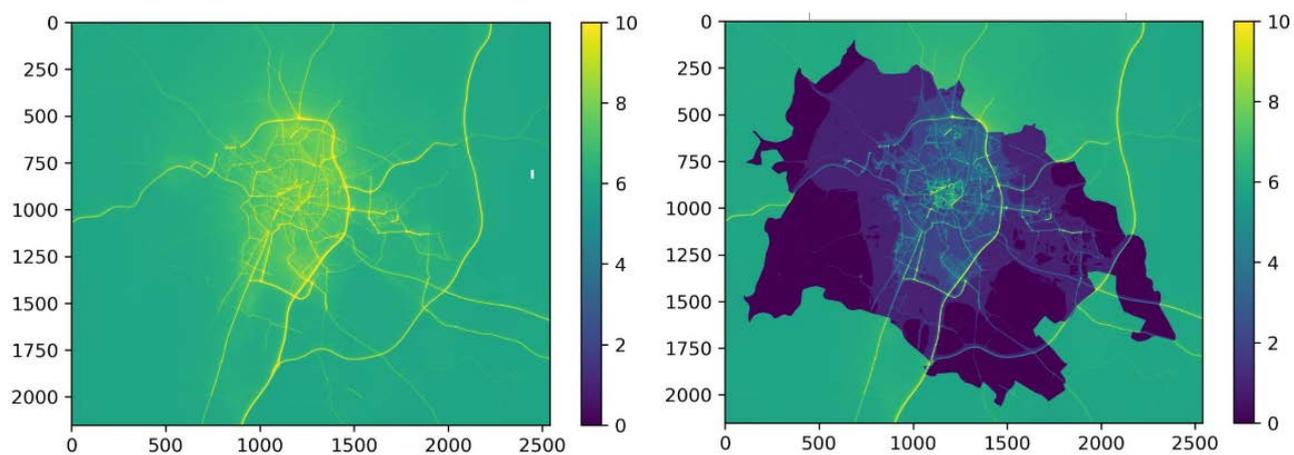


Figure 1. Cartes SIRANE avant et après application des équations physiques basées sur 4 microstations de mesures en Décembre 2020. Source : Dudek dans Martiny (2023).

Bibliographie

Martiny, N., 2023. Outdoor air quality monitoring improvement : integration of in-situ measurements into Very High Resolution model to better forecast air quality. H2020 Webinar « New insights into Air Quality management in the frame of the RESPONSE project : example of Dijon Metropolis ».

Soulhac, L., Salizzoni, P., Cierco, F. X., et Perkins, R., 2011. The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion; part I, presentation of the model. *Atmospheric Environment*, 45(39), 7379–7395. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2011.07.008>

LES IMPACTS DES INONDATIONS À CURITIBA/PR (BRÉSIL) : L'ÉTÉ 2022-2023

Francisco MENDONÇA, Braien GONÇALVES

| UFPR, Laboclima (www.laboclima.ufpr.br), chico@ufpr.br, braienhg@ufpr.br

The impacts of flooding in Curitiba (Brazil) – Summer 2022-2023

Mots-clés : impacts, inondation, ville, Curitiba

Keywords: impacts, flooding, city, Curitiba

Introduction

Les événements climatiques et météorologiques extrêmes sont devenus de plus en plus répétitifs et intenses au cours des dernières décennies (GIEC, 2023). Il s'agit d'une des caractéristiques les plus évidentes du changement climatique mondial appelée, après la COP/Paris (2015), « Émergence Climatique ». Des situations extrêmes de chaleur ou de froid, de sécheresse ou d'inondation, de calme ou de tempête de vent, par exemple, sont enregistrées partout dans le monde, mais ont des impacts plus importants dans certaines régions, notamment celles où l'urbanisation et l'agriculture sont intenses. Dans les pays du Sud Global, en raison d'une grande vulnérabilité environnementale et sociale, une partie importante de la population est exposée aux risques naturels, ce qui contribue à l'enregistrement de pertes matérielles, à une augmentation du nombre de cas de maladies transmissibles et à la perte de vies humaines.

Dans ce contexte, en tenant compte des scénarios qui indiquent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes dans le sud du Brésil (Pinheiro, 2016 ; GIEC, 2023), la présente étude traite du record de précipitations extrêmes survenues dans la ville de Curitiba et des impacts associés au cours de l'été austral 2022-2023. Plusieurs publications (Goudard et Mendonça, 2017 ; Goudard et Mendonça, 2020), outre les données de la Défense Civile, indiquent une intensification des inondations urbaines en raison de la concentration des pluies associées à l'urbanisation désordonnée dans certains quartiers de la ville.

Au centre de la présente étude se trouve l'analyse du phénomène dans la période de l'été austral (21/12/2022 – 20/03/2023), avec la collecte et le traitement des données de précipitations (mm) des jours où il y a eu des enregistrements de précipitations extrêmes (étape 1), qui ont été collectées auprès des stations météorologiques distribuées dans la ville, et comparées aux données de la station météorologique de l'Institut National de Météorologie (INMET; Latitude : -25,45 ; Longitude : -49,23 ; Altitude : 923 m). Ensuite (étape 2), une analyse documentaire (couverture journalistique) a été réalisée sur les événements enregistrés les jours où il y a eu des inondations, en sélectionnant autant d'informations que possible et à partir de différents portails de communication, tels que : Bem Paraná, CBN Curitiba, Gazeta do Povo et le Portal Banda B. D'autres informations ont été analysées, en plus de celles spécifiques concernant les événements : les quartiers touchés, la pluviosité en millimètres (en comparant les valeurs rapportées avec celles obtenues dans l'analyse des données dès l'étape 1) et les dégâts causés à la population liés aux événements extrêmes.

1. Les inondations et ses impacts – L'été 2022-2023

Au cours de l'été austral (2022-2023) des crues et des inondations ont été enregistrées dans 24 des 75 quartiers de Curitiba, soit plus de 30% des quartiers de la ville ont été touchés. Ils ont été associés à plusieurs problèmes pour les populations des zones les plus touchées, tels que le blocage des rues et des avenues, aussi bien que des dégâts matériels, par exemple. L'épisode le plus critique de la période analysée, selon les médias de la région, s'est produit entre le 16 et le 18 janvier 2023, où environ 154 mm de pluie sont tombés, ce qui a donné lieu à plusieurs demandes d'aide de la part de la Défense Civile de Curitiba. Rien que pour la journée du 17 janvier 2023, 43 demandes d'aide ont été enregistrées en raison d'inondations dans 9 quartiers de la ville.

Les mois d'été à Curitiba sont généralement les plus humides (Cfb, de Köppen) et, selon les données de la station météorologique de l'INMET, la pluviométrie de la période d'étude a été de 512,8 mm, c'est-à-dire, inférieure à la moyenne historique de la même période (moyenne de 718,7 mm - Normale Climatologique 1991-2020 ; Fig. 1). Cette valeur représente plus de 30% de la pluviométrie annuelle moyenne de la ville, qui sur cette période était de 1 630,7 mm. Les inondations enregistrées en janvier 2023 sont liées à des pluies concentrées sur certaines journées, comme indiquées avant.

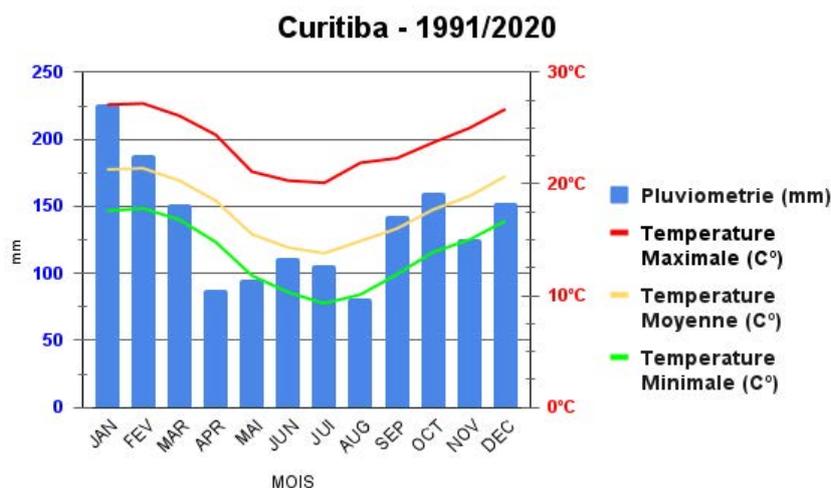


Figure 1. Température et pluviométrie à Curitiba/Brésil (1991/2020). Source: INMET – Institut National de Météorologie.

Les inondations ont touché des quartiers de différents groupes socio-économiques, devenant un problème non seulement pour les populations et les quartiers les plus vulnérables, mais aussi pour les plus privilégiés, même si la résilience dans les premiers est beaucoup plus difficile à atteindre que dans les seconds. Au total, selon le portail d'information Bem Paraná, la zone sud de Curitiba (la plus basse) a été la plus touchée, avec un total de 10 quartiers touchés ; suivie de la Zone Centrale, avec 6 quartiers ; la Zone Ouest avec 5 quartiers ; les quartiers de la zone Est 2 ; et la Zone Nord avec un seul quartier avec un cas d'inondation enregistré. La zone sud de Curitiba est la partie de la ville à laquelle se trouvent les populations à haute vulnérabilité sociale (Cunico et Oka-Fiori, 2014).

Conclusions

Ce type d'étude met en évidence le fait que les problèmes liés au changement climatique mondial doivent être analysés sous deux perspectives : celles de (1) l'intensification et la concentration des précipitations urbaines (Pinheiro, 2016), et également (2) l'urbanisation effrénée sans planification dans les pays du Sud.

La ville de Curitiba, parmi toutes les villes de l'État du Paraná (399 au total), est celle qui a connu le taux de croissance démographique le plus élevé au cours des dernières décennies, étant responsable de près de 10% de la croissance démographique de l'ensemble de l'État (une augmentation d'environ 125 000 personnes au cours de la dernière décennie). Compte tenu des scénarios et des enregistrements du GIEC en matière de précipitations et d'inondations à l'échelle régionale et locale, ainsi que de l'urbanisation complexe de cette ville, on estime que le problème a tendance à s'aggraver dans les années et décennies à venir.

La climatologie peut notamment contribuer à prévenir les problèmes évoqués ici.

Bibliographie

- Cunico O. et Oka-Fiori, C., 2014 : A espacialização da vulnerabilidade socioambiental de Curitiba – PR. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, **12**, 91-115.
- Goudard, G., Mendonça, F.A., 2017 : Eventos pluviiais extremos em Curitiba (Paraná): entre antigos problemas e novos desafios. In: Perez Filho, A., Amorim, R, R. (Org). *Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. 1^a ed. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, v. **1**, p. 1919-1930.
- Goudard, G., Mendonça, F.A., 2020 : Eventos e episódios pluviiais extremos: a configuração de riscos hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil). *Idées d'Amériques* [Online], n. **15**.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia., 2023 : *Normais Climatológicas do Brasil*, Período: 1991- 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais#>>. Acesso em: 17 fev. 2023.
- IPCC – International Panel on Climate Change., 2023 : *Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- Pinheiro, G. M., 2016 : Variabilidade temporo-espacial da pluviosidade na bacia do alto Iguaçu. Curitiba/PR: PPGEO/UFPR. 274 pages.

CHANGEMENTS RÉCENTS ET PROJECTION FUTURE DE L'ÉVAPORATION EN ROUMANIE

Florentina MINCU, Gianina NECULAU, Nicu CIOBOTARU, Viorel CHENDEȘ, Cristina FLOREA

Institut National d'Hydrologie et de Gestion des Eaux, 97E Bucuresti-Ploiesti, 013686, Bucarest, Roumanie, florentina.mincu@hidro.ro, gianina.neculau@hidro.ro, nicu.ciobotaru@hidro.ro, viorel.chendes@hidro.ro, cristina.florea@hidro.ro

Recent changes and future projection of evaporation in Romania

Mots-clés : évaporation, changement climatique, tendance, Roumanie

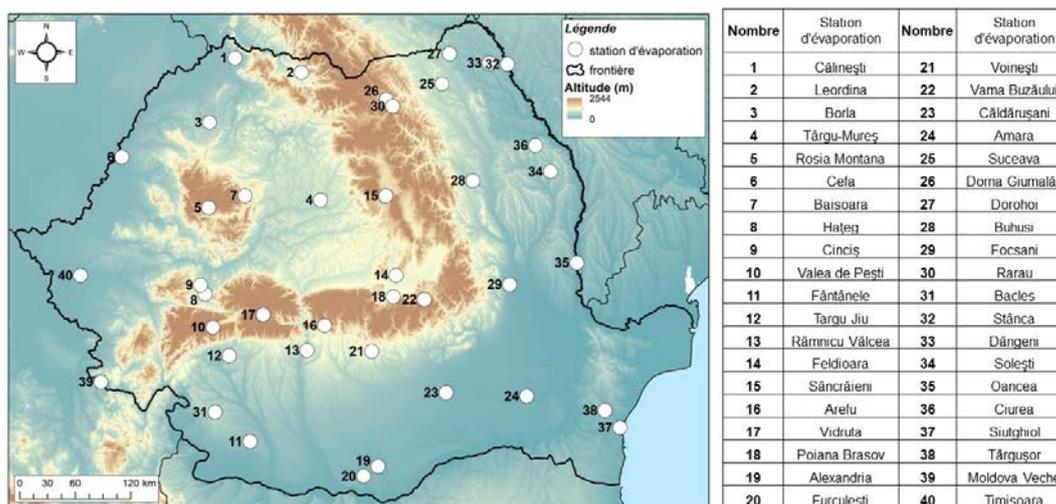
Keywords : evaporation, climate change, trend, Romania

Introduction

Les dernières décennies la variabilité et les tendances de l'évaporation ont été largement étudiées dans le monde entier, en raison de l'importance de ce processus dans les études climatiques et hydrologiques. Les résultats ont indiqué une tendance générale à la diminution de l'évaporation au cours des 50 dernières années, mais cette diminution n'est pas universelle (Vicente-Serrano *et al.*, 2014). L'objectif de cette étude est d'analyser les tendances dans la variabilité de l'évaporation dans le contexte du changement climatique en Roumanie, ainsi que de projeter l'évaporation pour l'horizon temporel 2100, afin d'estimer les possibles changements de ce paramètre dans le futur proche (2021-2050) et lointain (2071-2100).

1. Méthodologie

Les données d'évaporation, de température de l'air et de précipitations utilisées dans l'étude ont été mesurées directement au niveau des 40 stations d'évaporation situées sur l'ensemble du pays (Fig. 1). La répartition de ces stations à l'échelle du pays est relativement uniforme, couvrant aussi bien les zones de plaine que celles de montagne (jusqu'à 1468 m). L'intervalle d'analyse est 1981-2010, durant la période mars-novembre. Pour identifier les tendances à l'échelle mensuelle et annuelle, ainsi que pour établir la signification statistique de la tendance, le test non paramétrique de Mann-Kendall a été appliqué.



et la température de l'air a fourni des coefficients de corrélation compris entre 0,6 et 0,9 (des relations plus faibles ont été obtenues pour les stations de la région montagneuse). Les modèles de régression obtenus pour chaque station ont ensuite été utilisés pour projeter l'évaporation dans le futur proche (2021-2050) et lointain (2071-2100), pour les scénarios climatiques RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5.

2. Tendances de l'évaporation dans la période 1981-2010

Le test de Mann-Kendall appliqué sur les séries des valeurs de l'évaporation mesurées dans la période 1981-2010, a montré une tendance à l'augmentation dans tout le pays, en particulier en juin et juillet, avec des niveaux de signification de 0,01-0,05. Une tendance à la hausse a été observée également en août, notamment aux stations situées dans la zone montagneuse et du sud-est du pays. Nos résultats sont en concordance avec ceux d'autres études réalisées en Roumanie pour de différentes périodes (Neculau *et al.*, 2016).

3. Projection de l'évaporation dans le futur proche (2021-2050) et lointain (2071-2100)

L'évaporation moyenne annuelle en Roumanie, pour la période 1981-2010, était de 641 mm, et la projection dans le futur (selon le scénario RCP 8.5) indique une augmentation d'à peu près 100 mm dans le futur proche (2021-2050) (Fig. 2). Les projections d'évaporation dans le futur ont montré des augmentations différentes d'une région à l'autre. Les prévisions d'évaporation pour les scénarios RCP 2.6 et RCP 4.5 dans le futur proche 2021-2050, montrent une augmentation de +50 à +120 mm dans les régions de basse altitude et celles proches de la Mer Noire, par rapport à la période de référence 1981-2010 (avec des données mesurées). Les changements les plus importants pour la période 2021-2050, sont observés dans le cas du scénario RCP 8.5, où l'augmentation dépasse la valeur de la période de référence de +130 mm dans les régions des plaines, et de +60 mm dans les régions montagneuses. Concernant le futur lointain (2071-2100), le scénario optimiste RCP 2.6 montre que l'évaporation peut atteindre des écarts de +110 mm pour les stations de la zone littorale, alors que le scénario RCP 4.5 indique des augmentations de +120 mm pour les régions de plaine. Pour le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5), pour la période 2071-2100, la prévision l'évaporation dépasse la période de 1981-2010, d'environ +200 mm, pour l'ensemble du pays.

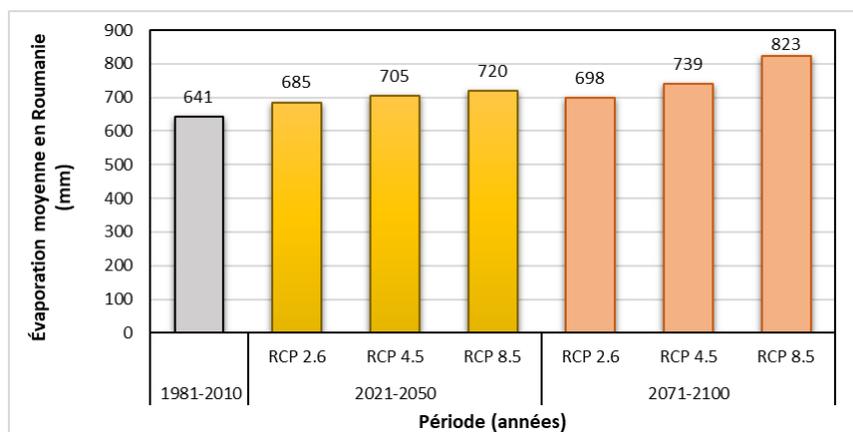


Figure 2. L'évaporation moyenne annuelle dans la période avec des données mesurées (1981-2010) et projetée pour le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100), en Roumanie.

Conclusion

Les tendances identifiées par le test statistique de Mann-Kendall montrent une augmentation significative des valeurs de l'évaporation au niveau national, quelle que soit la période analysée. Sous l'impact de l'augmentation de la température de l'air de plus +2,0°C, l'évaporation moyenne en Roumanie pourrait dépasser 800 mm/an en 2100, ce qui aurait des conséquences négatives importantes sur la ressource en eau, les activités socio-économiques et sur les écosystèmes.

Bibliographie

- Neculau, G. et Stan, F., 2016 : Evaporation and evapotranspiration in Romania. *Forum Geografic*, **15**, 39-48.
- Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno J.I., Begueria S., Lorenzo-Lacruz J., Sanchez-Lorenzo, A., Garcia-Ruiz J.M., Azorin-Molina C., Moran-Tejeda, E., Revuelto J., Trigo R.M., Fatima Espirito Santo Coelho et Espejo F., 2014 : Evidence of Increasing Drought Severity Caused by Temperature Rise in Southern Europe. *Environmental Research Letters*, **9**, 1-9.

CONTRIBUTION OF EVAPOTRANSPIRATION TO CLIMATE BENEFITS OF A RECENTLY UNSEALED AND REHABILITATED SITE

Antoine MOREL¹, Sophie HERPIN², Lydia BRIALIX², Dominique LEMESLE³,
David RAMIER³, Adeline BULOT⁴, Laure VIDAL-BEAUDET⁵

1. Institut Agro EPHOR, Institut Agro BAGAP, IRSTV FR CNRS 2488, 2 rue André le Notre 49100 Angers, antoine.morel@agrocampus-ouest.fr

2. Institut Agro EPHOR, IRSTV FR CNRS 2488, 2 rue André le Notre 49100 Angers, sophie.herpin@agrocampus-ouest.fr, lydia.brialix@agrocampus-ouest.fr, dominique.lemesle@agrocampus-ouest.fr

3. Cerema Team, 12 rue Teisserenc de Bort 78190 TRAPPES, david.ramier@cerema.fr

4. Institut Agro EPHOR, Institut Agro BAGAP, 2 rue André le Notre 49100 Angers, adeline.bulot@agrocampus-ouest.fr

5. Institut Agro EPHOR, IRSTV FR CNRS 2488, 2 rue André le Notre 49100 Angers, laure.beaudet@agrocampus-ouest.fr

Contribution de l'évapotranspiration aux bénéfices climatiques d'un site récemment descellé et réhabilité

Mots-clés : descellement, végétalisation, évapotranspiration, microclimat urbain

Keywords: unsealing, revegetation, evapotranspiration, urban microclimate

Introduction

Soil artificialization in urban areas induces an increase of thermal stress of inhabitants and a loss of biodiversity. In order to address these issues, more and more desealing and renaturation projects are being undertaken by cities stakeholders, but their impact on local microclimate still needs to be understood and quantified. In this contribution, we propose to study the evapotranspiration and microclimate of a recently unsealed site, with different conditions of revegetation.

1. Description of the unsealed site and revegetation process

The studied site is located in a parking lot near Angers, western France. A surface of 64 m² was unsealed in October 2022: the upper layer (20 cm thick) of asphalt and gravel was removed and replaced by topsoil, and the deeper soil (down to a depth of 110 cm), mainly composed of stones and sand, was partly reused after being decompacted and completed with topsoil down to a depth of 70 cm (proportions 50/50). This unsealed site will be referred to as the “Oasis” hereafter. Four indigenous trees (*Sorbus torminalis*) were planted in December 2022 and herbaceous species were sown in April 2023 on certain sections of the Oasis. The Oasis was indeed divided into 12 sections of 3 to 5 m², in order to compare two combinations of herbaceous species (a first mix, called “dicots”, composed of 11 dicotyledonous species and a second one, called “dicots-grass”, composed of the same 11 dicot species plus three grass species) along with a control condition (unsown), each with four replicates. The seeds were sown at high densities.

We assumed that deliberately sowing seeds, rather than relying on spontaneous colonization, could result in a more substantial vegetation cover ratio. Specifically, we hypothesized that the introduction of grass species would accentuate and accelerate this process, leading to a higher vegetation cover ratio. Consequently, the surface would evapotranspire more, thus enhancing the cooling effect of the Oasis. We also made the hypothesis that the evapotranspiration of the Oasis would be limited by the fact that the vegetation was only recently installed, and that the soil was made of a significant number of coarse elements, in comparison with a large meadow, with full vegetation cover and a mature rooting system with better access to water.

2. Measurement methods

To address these hypotheses, an evapotranspiration (ET) chamber (Ramier *et al.*, 2015; Versini *et al.*, 2023) was used to evaluate the latent heat flux both in the Oasis surface (Fig. 1) and in a meadow located 220 meters from the studied site, before and after mowing. The measurements were made on the 13th of June 2023, two days after a rain event of 18 mm. Weather conditions were sunny and stable throughout the day.

The latent heat flux (LE) was non-dimensionnalized with respect to net radiation (RN). The vegetation cover rate of each of the 12 sections of the unsealed site was evaluated using ImageJ according to Xiong *et al.* (2019) method, and the soil volumetric water content (VWC) was monitored with TDR probes at 20 cm depth. Meteorological stations recording air temperature, relative humidity, globe temperature, global radiation and wind

speed and direction were installed in the meadow, in the Oasis, as well as in a sealed reference site in order to evaluate the cooling effects of the Oasis.



Figure 1. Measurement with the chamber on the Oasis on 13/06/2023

3. Results

Around solar noon, in the Oasis, the ratio LE/RN in the dicots-grass sections (0.21) is significantly higher than in the control (non-sowed) sections (0.17), but no significant difference was found between the control and the dicots only sections. These findings are consistent with the fact that the vegetation cover rate in the dicots-grass sections (51%) is significantly higher than in the control sections (17%), but that no significant difference was found in the cover rate between the dicot only and the control sections. Also, the ratio LE/RN was always higher in the non-mowed meadow (0.29) compared to the Oasis, for the two sowing and the control conditions. Finally, the mowed meadow ratio (0.22) was only significantly higher than the one of control sections: no difference was found between the mowed meadow and the sown sections. These differences can be attributed to differences in cover rates, vegetation heights and soil water contents (VWC=11.8% for the Meadow, VWC=7.9% on average for the Oasis).

In the Oasis, the lower ratio LE/RN is associated with a higher surface temperature (27°C versus 24°C), a lower air absolute humidity (11.3 versus 12.2 g of water/kg of dry air) but a slightly lower air temperature (27.2 versus 27.9°C) compared to the meadow, where the grass is not mown. The sealed reference has an intermediate situation regarding air temperature (27.6°C) and air absolute humidity (11.6 g/kg). Shashua-Bar *et al.* (2011) already showed that well irrigated grass could reduce the thermal stress during the day compared to a sealed surface. If the air temperature was not reduced itself, surface temperature and long waves emissions were both reduced.

Conclusion

This experiment shows that densely sowing after desealing has a significant impact on evapotranspiration. Furthermore, soil water content is a limiting factor of that effect, as well as the mowing management.

Bibliography

- Ramier, D., Chollet, J., Berthier, E., Sabre, M., Tétard, Y., Flori, J.-P., Bouyer, J., Lanher, A., Bouzouidja, R., Claverie, R., 2015 : Mesure de l'évapotranspiration à petite échelle spatiale : applications aux toitures végétalisées. *Journée Scientifique SIRT.A*.
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., Erell, E., 2011 : The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot- arid environment. *International Journal of Climatology*, **31**, 1498–1506.
- Versini, P.-A., Castellanos-Diaz, L.A., Ramier, D., Tchiguirinskaia, I., 2023 : Evapotranspiration evaluation by 3 different protocols on a large green roof in the greater Paris area. *Earth System Science Data*. [preprint]
- Xiong, Y., West, C.P., Brown, C.P., Green, P.E., 2019 : Digital Image Analysis of Old World Bluestem Cover to Estimate Canopy Development. *Agronomy Journal*, **111**, 1247–1253.

RAINFALL VARIABILITY IN THE SUBTROPICAL CLIMATE OF BRAZIL

Pedro MURARA¹, Fiorella ACQUAOTTA², Guillaume FORTIN³

1. Federal University of Fronteira Sul, Brazil. Campus Erechim-RS - ERS 135 - Km 72, pmurara@gmail.com

2. Università degli studi di Torino, Italy. Via Verdi 8 - 10124 Turin, fiorella.acquaotta@unito.it

3. Université de Moncton, Canada. 18, avenue Antonine-Maillet, Moncton, guillaume.fortin@umoncton.ca

Variabilité des précipitations dans le climat subtropical du Brésil

Mots-clés : indices climatiques, variabilité, changements, tropicalisation

Keywords: Climate indices, climate variability, climate changes, tropicalization

Introduction

The sixth report from IPCC Working Group I shows that the world is likely to reach or exceed 1.5°C of warming over the next two decades – sooner than in previous assessments. Consequently, the distribution of rainfall will also be affected.

According to the report (IPCC, 2021), rainfall on the continents has increased globally since 1950, but some regions have registered and are expected to suffer a significant reduction in precipitation. Regional scenarios indicate that changes in rainfall patterns will occur in Brazil, which is essential for agriculture and hydroelectric power generation. In this way, the scenarios suggest that mainly the central region of Brazil and the eastern part of the Amazon will become drier, with a drop of 10% to 20% in precipitation. This will happen in both a 2°C and 4°C global warming scenario.

Brazil is known for its predominant tropical climate. In its southern portion, which covers an area of approximately 576,000 km², formed by the states of Paraná, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul, Brazil is characterized by the subtropical climate type. This climate type is responsible for several extreme meteorological events and climatic phenomena that severely affect the region, such as floods, landslides, windstorms, and droughts. Faced with a climate change scenario, this research analyzed rainfall variability for the subtropical climate of Brazil.

1. Methodology

We used daily precipitation datasets from five national networks Agricultural Research and Rural Extension Company of Santa Catarina (EMPRAPA - Brazil), National Meteorological Institute (INMET - Brazil), National Water Agency (ANA - Brazil), Instituto Uruguayo de Meteorología (IUM) and Servicio Meteorológico Nacional da Argentina (SMNA) from the three following countries: Brazil, Argentina, and Uruguay. For Argentina and Uruguay, we have selected 10 weather stations along the border to distribute weather stations better.

Initially, we selected and made analyses for 180 weather stations. After quality control (QC), the number of stations was reduced from 180 to 70 for inhomogeneity, missing data, and closure issues. After QC, we applied the following extreme indices: SDII, CDD, CWD, R95p, R99p, and PRCPTOT to characterize the variability of extreme rainfall patterns. We also carried out a cluster analysis of the hierarchical agglomerative Ward method to identify homogeneity areas for the rain distribution.

2. Results

The results indicated that although the classic literature (Monteiro, 1963; Nimer, 1971) presents the distribution of rainfall as homogeneous in the southern region of Brazil, especially in comparison with the other climate types in the country, it was possible to observe the regional scale that there are differences between the totals of precipitation.

They were characterized by the presence of five distinct regions of Brazil's subtropical climate. In three areas, we identified an increase in annual precipitation by extreme events, while other regions, such as two areas, show a reduction in precipitation values. These last two areas, located in the northernmost portion of the southern region, very close to the tropical climate of Brazil, suggest a possible process of tropicalizing rainfall on the edges of the subtropical climate.

Conclusion

These results, in addition to indicating changes in the rainfall pattern, which is not expected for the subtropical climate type, suggest changes to rainfall extremes. Internal regions in the subtropical climate have higher concentration rates for more rain and others for reduced precipitation. Furthermore, the results suggest that the portion close and tangential to the tropical climate may be associated with the expansion of the tropics, which will be one of the causes of climate change (Yang *et al.*, 2020).

Bibliography

Marengo, J.A., Ambrizzi, T., da Rocha, R.P. *et al.* (2010) Future change of climate in South America in the late twenty- first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Clim Dyn* **35**.

Mimmack, G. M., S. J. Mason, and J. S. Galpin (2001). Choice of Distance Matrices in Cluster Analysis: Defining Regions. *J. Climate*, **14**.

Murara, P., Acquaotta, F., Garzena, D. *et al.* (2019) Daily precipitation extremes and their variations in the Itajaí River Basin, Brazil. *Meteorology Atmos Phys*, **131**.

Wang, X. L., H. Chen, Y. Wu, Y. Feng, and Q. Pu (2010). New Techniques for the Detection and Adjustment of Shifts in Daily Precipitation Data Series. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **49**.

Yang, H., Lohmann, G., Lu, J., Gowan, E. J., Shi, X., Liu, J., & Wang, Q. (2020). Tropical expansion driven by poleward advancing midlatitude meridional temperature gradients. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **125**.

UNRAVELING THE ROLE OF BRAZILIAN SEASONALLY DRY TROPICAL FOREST (CAATINGA) ON CO₂, ENERGY AND WATER EXCHANGES

Pedro MUTTI^{1,2}, Bergson BEZERRA^{1,2}, Cláudio SANTOS E SILVA^{1,2}, Pablo DE OLIVEIRA^{1,2}, Keila MENDES¹

1. Climate Sciences Post-Graduate Program, Federal University of Rio Grande do Norte, Brazil, pedro.mutti@ufrn.br, bergson.bezerra@ufrn.br, claudio.silva@ufrn.br, pablo.oliveira@ufrn.br, keila.inpa@gmail.com

2. Department of Atmospheric and Climate Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN, Brazil

Le rôle de la forêt tropicale sèche brésilienne (Caatinga) dans les échanges de CO₂, d'eau et d'énergie

Mots-clés : covariance des turbulences, changement climatique, puits de carbone

Keywords: eddy covariance, climate change, carbon sink

Introduction

In a climate change context, it is crucial to better understand the role of ecosystems in regional and global carbon and energy balances. Highly productive ecosystems, such as the Amazon Forest and other rainforests worldwide, usually act as carbon sinks, absorbing carbon from the atmosphere. However, these lands suffer from deforestation and climate change itself, and recently have behaved as carbon sources (Gatti *et al.*, 2021). However, dryland ecosystems, which cover 45% of Earth's surface, have been reported to be controlling observed trends in global carbon balance (Mendes *et al.*, 2020). Seasonally dry tropical forests, for example, feature extremely high carbon and water use efficiency, mainly due to moderate annual gross primary production (GPP) rates associated with low respiration rates, acting as carbon sinks even in extreme scenarios.

In Brazil, the Caatinga ('white forest' in native indigenous language) dry forest occupies 11% of the national territory and hosts a highly biodiverse and endemic ecosystem, which provide resources for the most populated semiarid land in the world. Nevertheless, it has been suffering for decades from the lack of specific conservation policies, poor agricultural management practices, and scarce environmental monitoring (Mendes *et al.*, 2021). In this context, the Research Group for Observational and Modelling Studies on the Biosphere-Atmosphere Interactions (GEOMA) is one of the pioneering and leading groups conducting research focused on understanding the role of the Caatinga forest in the carbon and energy balance. The group is supported by the National Observatory of Water and Carbon Dynamics in the Caatinga Biome (NOWCDCB - <https://www.ondacbc.com.br/redes?lang=fr>) and aims to understand in which conditions the Caatinga behave as a carbon sink or source (Mendes *et al.*, 2020), how the environment controls water and energy fluxes on the biome (Marques *et al.*, 2020), how the forest use energy in its biophysical activities (Campos *et al.*, 2019), how rainfall influences on energy, water and carbon fluxes in the Caatinga (Santos e Silva *et al.*, 2024), how can we improve the Caatinga representation in ecological and land models (Mendes *et al.*, 2021), among other goals.

The objective of this communication is to briefly summarize the main results found by the GEOMA group and the NOWCDCB for a particular fragment of preserved Caatinga (mostly xerophytes and deciduous species lower than seven meters, sparsely distributed with shrubs and herb patches) located in the Seridó Ecological Station (ESEC-Seridó), Rio Grande do Norte, Northeast Brazil. Results were generated using two years (2014-2015) of high and low frequency data measured in a flux tower equipped with an eddy covariance system owned by the National Institute for the Semiarid (INSA). Measured variables included carbon and water fluxes, temperature, humidity, wind, net radiation and albedo.

1. Energy exchanges

Energy partitioning in the Caatinga is highly dependent on rainfall seasonality, with approximately 70% of net radiation (Rn) being converted into sensible heat flux (H) and roughly 5% into latent heat flux (LE) during the dry season. In the wet season, however, both fluxes account for approximately 40%. Water scarcity greatly reduces LE in the dry season, since plants are usually dormant and stomates are closed to prevent further water loss. In rainforests, this behavior is not observed since evaporation is limited by the dense canopies.

2. Water exchanges

In the Caatinga, higher atmospheric demand for water did not necessarily lead to an immediate increase in actual evapotranspiration (ET). Annual ET was of 473 mm in 2014 (513 mm concentrated annual precipitation), but only 283 mm in 2015 (466 mm distributed precipitation), while surface conductance was also lower in 2015. Seasonally, high vapor pressure deficit did not lead to increasing ET, since it was controlled by surface conductance and the biophysical behavior of Caatinga and semiarid plants, which will reduce water loss via stomatal closure in the transition and dry seasons despite atmospheric demands for water.

3. CO₂ exchanges

Despite 2014 and 2015 being drier-than-average years, the Caatinga still acted as a carbon sink in both years (-626 and -538 g C m⁻² y⁻¹), due to low respiration rates and highly-efficient carbon-use. In fact, the balance was comparable and even better than results found in tropical rainforests, even the Amazon, which struggle with high respiration rates (carbon loss). Rainfall pulses also proved to greatly influence on CO₂ absorption, with up to 68% of total carbon uptake happening after rain pulses.

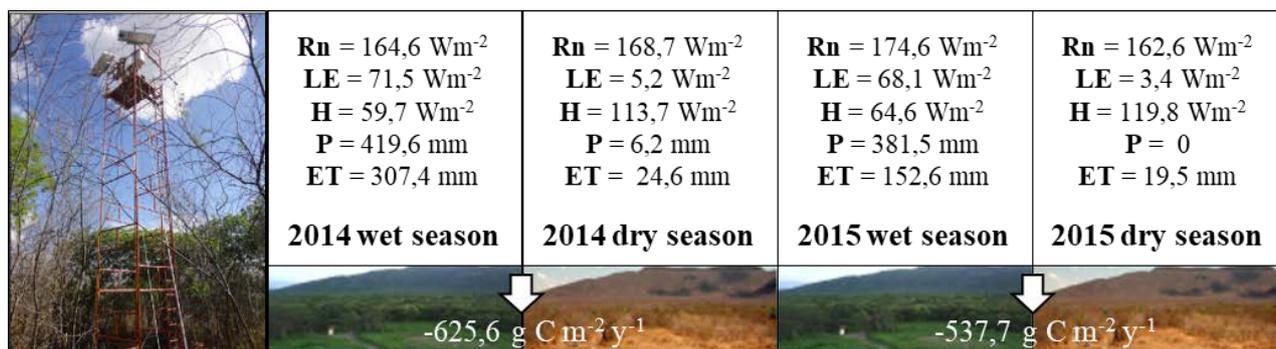


Figure 1. Summary of main results of the Caatinga role on energy, water and carbon exchanges.

Rn: net radiation; LE: latent heat flux; H: sensible heat flux; P: precipitation; ET: actual evapotranspiration

Conclusion

So far, results indicate that the Caatinga is an extremely efficient ecosystem regarding water and carbon use, even during dry years. It acted as a carbon sink under below-average rainfall conditions. We urge for attention and more investments to research on this extremely important biome, with the potential to contribute to climate change mitigation by providing high carbon fixation among other ecosystem services explored by other fields.

Acknowledgements: We are thankful to the Council for Scientific and Technological Development – CNPq for financing the research (grant n° 420854/2018–5) and for the productivity grant conceded to the second and third authors (grant n° 310781/2020–5 and n° 314257/2021–7), to the FUNPEC/UFRN for financial support (Project n° 372022), and to the NOWCDCB project (INCT -MCTI/CNPq/CAPES/FAPs 16/ 2014, grant: 465764/2014–2 and MCTI/CNPq N° 28/2018, grant 420854/2018–5)

Bibliography

- Campos S., Mendes K. R., da Silva L. L., *et al.*, 2019 : Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **271**, 398-412.
- Gatti L. V., Basso L. S., Miller J. B., Gloor M., *et al.*, 2021 : Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, **595**, 388-393.
- Marques T. V., Mendes, K. R., Mutti P., Medeiros S., *et al.*, 2020 : Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest Meteorology*, **287**, 107957.
- Mendes K. R., Campos S., da Silva L. L., Mutti P. R., *et al.*, 2020 : Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Scientific Reports*, **10**, 9454.
- Mendes K. R., Campos S., Mutti P. R., Ferreira R. R., *et al.*, 2021 : Assessment of SITE for CO₂ and Energy Fluxes Simulations in a Seasonally Dry Tropical Forest (Caatinga Ecosystem). *Forests*, **12**, 86, 1-21.
- Santos e Silva C. M., Bezerra B. G., Mendes K. R., Mutti P. R., *et al.*, 2024 : Rainfall and pulse role on energy, water vapor and CO₂ exchanges in a tropical semiarid environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, **345**, 109829.

INTENSE RAINFALL EVENTS AND FLOODING IN THE IGUAÇU-SARAPUÍ RIVER BASIN, RJ, BRAZIL

Mariana OLIVEIRA DA COSTA¹, Antonio Carlos da Silva OSCAR JÚNIOR²,
Vincent DUBREUIL³

1. State University of Rio de Janeiro (UERJ), University Rennes 2, mariana.oliveira-da-costa@etudiant.univ-rennes2.fr
2. Department of Physical Geography and the Postgraduate Program in Geography at the University of the State of Rio de Janeiro (UERJ), antonio.junior@uerj.br
3. LETG Rennes, University Rennes 2, UMR 6554 CNRS, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

Événements de pluie intenses et inondations dans le bassin de la rivière Iguaçu-Sarapuí, RJ, Brésil

Mots-clés : pluies intenses, inondations, bassin de la rivière Iguaçu-Sarapuí (RJ/Brésil)

Keywords: intense rain, flooding, Iguaçu-Sarapuí river basin (RJ/Brazil)

Introduction

Extreme weather events and the occurrence of hydrometeorological disasters have gained more intense proportions and magnitudes, becoming environmental problems in several Brazilian cities. Zanella and Olímpio (2014) discussed that urban environments are susceptible to major impacts associated with concentrated rainfall, leading to floods.

The intense and rapid urbanization and population agglomeration in cities led to changes in land use and coverage, which consequently led to a gradual reduction in ecosystems and biodiversity, resulting in a significant increase in environmental problems and making large cities more exposed to climate change (Silva, 2019). The study area of this work comprises the Iguaçu-Sarapuí river basin, located in the Metropolitan Region of the State of Rio de Janeiro, Brazil. It is an area with a tropical climate, located between two mountains, with a drainage area of 726 km². This work aimed to evaluate the distribution by months of rainfall events over 100 mm and the impacts associated with the occurrence of floods in the basin area.

1. Data and methodology

The rainfall data were extracted from the information bank of the National Water Agency (ANA) and the Meteorological Database of the National Institute of Meteorology (INMET) – which are Brazilian agencies responsible for collecting rainfall data. After reviewing the sources, 10 rainfall stations were selected, providing daily data (in different periods). For this article, in an attempt to optimize the study, we analyzed the distribution of daily rainfall accumulated above 100 mm. The data extraction utilized the Hidro 1.4 software and the gauges stations used in this study provide data ranging from 1961 to 2022: Xerém INMET (2002-2022); Tinguá (1961-1993); Xerém INEA (1976-2015); Catavento (2008-2021); GBM (2008-2022); Nova Iguaçu (1976-1996); Mendanha (1970-2014); Realengo (1965-2011); Bangu (1961-1998) and Vila Militar (2007-2022).

It is worth mentioning that this work was developed in the context of data from stations with historical series covering different periods (start and end), and presenting data gaps. However, for this initial phase of the study, it was considered pertinent to identify intense rainfall above 100 mm, which consequently caused impacts on the population, such as floods, for example. Up to this point, the analysis of the impacts of the rain events has been based on information collected from the statistical reports of the municipal Civil Defense of Nova Iguaçu – city with more than 50% of its territory in the basin area. The information collected was on the number of floods already recorded and the areas most affected between 2013-2022.

2. Results

The analysis of daily precipitation above 100 mm is conducted for the pluviometric series of the Iguaçu-Sarapuí river basin. It revealed that in total 157 rainfall events above 100 mm were recorded between 1961-2022. The most frequent months of occurrence are November, December, January, February, March and April, being more intense in January and February - corresponding to the summer period in the study area (Fig. 1).

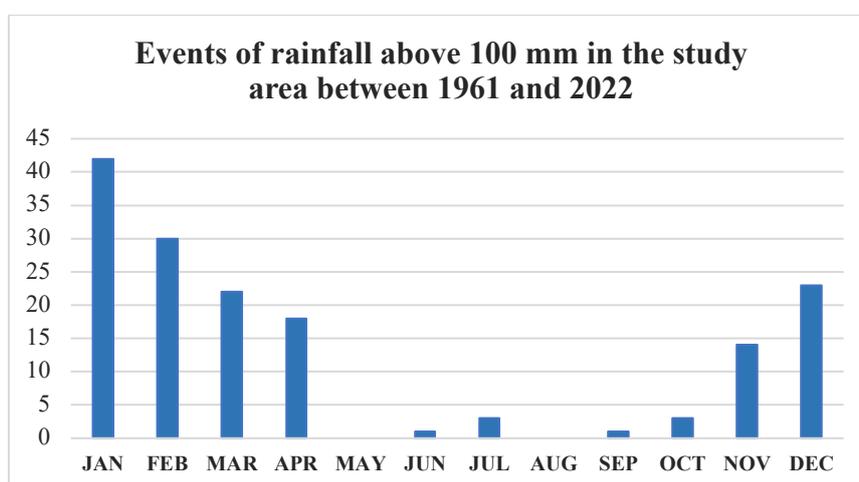


Figure 1. Number of events of rainfall above 100 mm and their distribution by months in the study area

It is important to mention that the annual precipitation regime in the study area is marked by a rainy summer, with reduced precipitation in winter, and the average annual precipitation is around 1700 mm. Through the figure we can see that the accumulations of over 100 mm have been recorded outside of the expected period: for example, in the month of July, a winter and dry period, 3 events above 100 mm were recorded.

Another example that draws attention was observed in the month of April, although this type of accumulation is recurrent. The GBM gauge station on 04/01/2022 recorded an accumulation of 86.4 mm in 1 hour and 228.6 mm in 24 hours, representing 240.6% of the climatological average for April, which is 95 mm. The combination of intense rain with problems of urban drainage and changes in land use and coverage generated various impacts on the population. This includes the occurrence of floods on the Botas River – one of the main rivers in the basin, which reached a maximum level of 5.03 meters, exceeding the overflow quota of 3.7 meters on 04/01/2022. In addition to the Botas River, other rivers in the city of Nova Iguaçu also flooded, and according to the Civil Defense, approximately 500 incidents of flooding were recorded in this event of intense rain on 04/01/2022. This number corresponds to 37% of all episodes of flooding attended between 2013 and 2022.

In a study carried out by Oscar Júnior (2015), it was observed that events with less intensity (between 50 and 60 mm) still caused significant impacts in the municipality of Duque de Caxias (other city in the basin area). This raises concerns about concentrated rain in a short period, raising the hypothesis that the organization of the territory may be a contributing factor for the occurrence of disasters.

Conclusion

Daily rainfall above 100 mm holds significant potential to trigger flooding events, especially in highly impermeable areas, and many of these events become disasters. For the study area, we have the perspective that the main anthropogenic interventions contribute to the occurrence of disasters, associated with inefficient urban planning, poor management of watersheds, soil sealing, pollution of watercourses, irregular occupation of riverbanks and slopes. To further our investigation, we plan to analyze the events of rainfall introducing new classes (40 – 60 mm, 60 – 80 mm, 80 – 100 mm), and correlate these classes with hydrological impacts in the study area.

Bibliography

- Oscar Júnior, A.C, 2015. Extremos Atmosféricos e Desastres Hidrometeorológicos em Duque De Caxias (RJ). *Revista Brasileira de Climatologia*, **17**, 189-215.
- Silva, E. M, 2019. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. *Estudos Avançados*. **33**, 81-102.
- Zanella, M.E; Olímpio, J. L, 2014. S. Impactos pluviiais, risco e vulnerabilidade em Fortaleza – CE. In: MENDONÇA, F. *Riscos Climáticos: vulnerabilidades e resiliências associados*. Jundiaí, Paco Editorial, 115-136.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES EAUX DE SURFACE DANS LA RÉGION DU CENTRE-MAROC

**Meriem OUATTAB^{1,2,3}, OUCHKIR I⁴, CHARIFI H¹, MOUSTABCHIR R¹, Pascal ROUCOU²,
Albin ULLMAN², Abdelali SEBBAR³, KASMI A³, ARIOUA A⁴, FILALI A⁵.**

1. Materials and Renewable Energies Research Laboratory, Agadir Faculty of Science. University Ibn Zohr Agadir (UIZ). Morocco, m.ouattab20@gmail.com
2. Climatological Research Center, University of Bourgogne Franche Comté (UBFC) Dijon. France.
3. General Directorate of Meteorology (DGM), BP 8106-Casa Oasis ; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani, Casablanca. Morocco, sebbar202@gmail.com
4. Data4Earth Laboratory, Faculty of Science and Technology, University Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal. Morocco, Inssafouchkir123@gmail.com
5. Research Laboratory in Territorial Management-Communication and Modeling, Khouribga Polytechnic Faculty. University Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal. Morocco, filalihakim@gmail.com

Impact of climate change on the ground water and surface water in central region – Morocco

Mots-clés : changement climatique, évolution, extrêmes climatiques, stress hydrique

Keywords: Climate change, evolution, climatic extremes, water stress

Introduction

L'augmentation de l'ampleur du changement climatique est sans précédents, une conclusion signalée dans le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014). Les dernières décennies ont été marquées par des variations significatives dans les conditions atmosphériques, mettant en évidence la vulnérabilité croissante de différentes régions du Maroc (Sinan *et al.*, 2016). La région centre du Maroc s'affirme comme une région d'avenir, une région riche en composants tels que les sources et les plans d'eau et les massifs à couvert végétal et forestier diversifiés. Ces composants sont devenus plus vulnérables au changement climatique qu'on vit au jour d'aujourd'hui, un changement qui se traduit par la hausse de température et une baisse du cumul des précipitations (Bissour, 2019). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'évolution temporelle du bilan hydrique, le taux de remplissage du barrage Ahmed Alhanssali l'un des grands barrages de la région centre ainsi d'évaluer l'évolution des niveaux piézométriques des deux nappes phréatiques choisies à savoir la nappe de Beni Amir et la nappe ben Moussa.

1. La zone d'étude

La région centre est située géographiquement entre 31°33 et 33°46 latitude Nord et 5°28 et 7°00 longitude Ouest. Elle s'étend sur une superficie de 28 374 km² soit 4% du territoire du Royaume. Elle est dotée de plusieurs fleuves dont les plus importants sont Oued Oum Rbia, Oued El Abid et Oued Lakhdar et compte plusieurs barrages en plus de 7 systèmes de transfert d'eau.

2. Données et méthode

Pour cette étude, nous avons utilisé les données des niveaux piézométriques des deux nappes phréatiques sur une période de 1983-2021 et les données du taux de remplissage du barrage Ahmed Alhanssali qui sont disponibles sur une période continue de 2019-2021 issues de l'agence des bassins hydrauliques. Ainsi que les données des précipitations et d'évapotranspiration ont été utilisées couvrant la période de disponibilité des données du taux du remplissage du barrage Ahmed Alhanssali issues de la base de données terraclimate.

Ce travail porte principalement sur une étude d'évolution annuelle du bilan hydrique et du taux de remplissage du Barrage Ahmed El Hansali sur la période 2019-2021 ainsi qu'une étude d'évolution des niveaux piézométriques des deux nappes phréatiques à savoir la nappe Béni Amir et la nappe Ben Moussa sur la période 1983-2021. Le bilan hydrique a été calculé à partir de la formule suivante où P est la précipitation, R est le ruissellement, E est l'évaporation et ΔS est le changement de stockage dans le sous-sol.

$$0 = P - R - E \pm \Delta S$$

3. Résultats et discussion

À partir des résultats des cas étudiés, on constate que les dernières années montrent une diminution des niveaux piézométriques sur tous les piézomètres implantés au niveau des nappes Béni Amir et Béni Moussa indiquant une diminution des niveaux sources d'eau souterraine (Fig. 1). Ce qui montre une réduction de la quantité d'eau disponible dans ces nappes au fil du temps avec des fluctuations prononcées des nappes de l'ordre parfois de 2 m à 10 m, voire plus. On assiste ainsi à l'abaissement du taux de remplissage du Barrage Ahmed El Hansali avec un réservoir moins de $\frac{1}{4}$ de la capacité maximale du barrage constaté pendant les dernières années (Fig. 2).

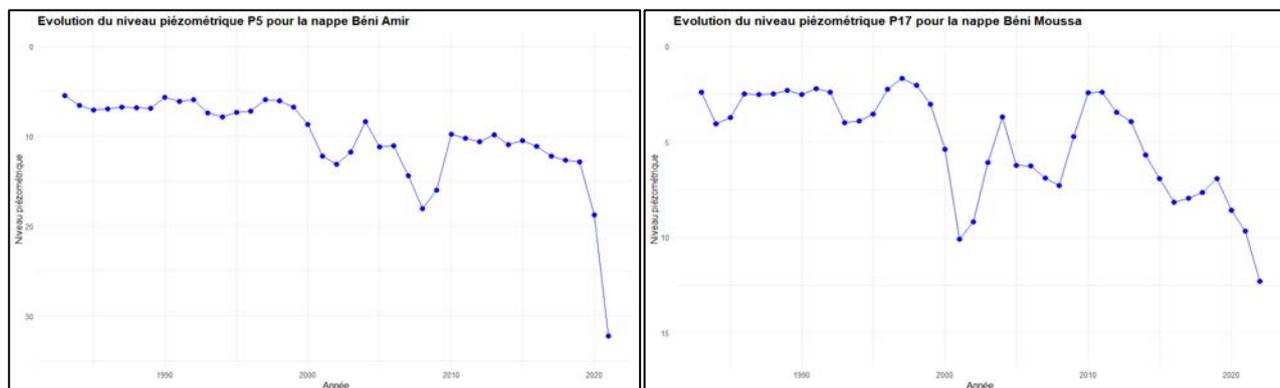


Figure 1. Évolution du niveau piézométrique (P5) pour la nappe Béni Amir et du (P17) de la nappe Beni Moussa sur la période 1983-2021

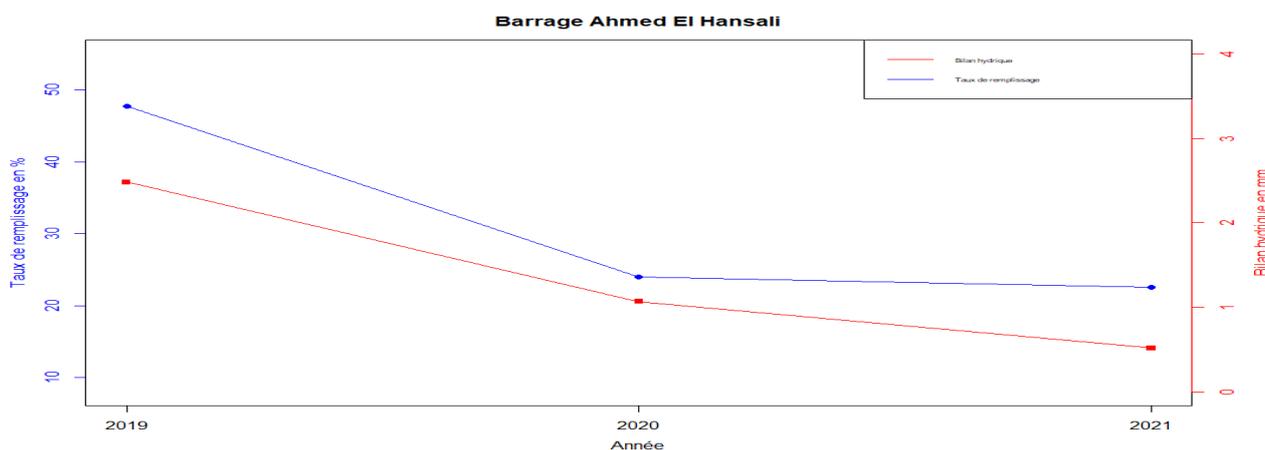


Figure 2. L'évolution annuelle de bilan hydrique et le taux de remplissage du Barrage Ahmed El Hansali en 2019-2021

Conclusion

Ces résultats sont attribués aux tendances climatiques observées dans la région, notamment la diminution des précipitations, et l'augmentation de la température moyenne. En résumé, ces impacts indiquent une situation préoccupante en termes de disponibilité de l'eau dans la région centre du Maroc. La diminution des niveaux piézométriques et le faible taux de remplissage du barrage suggèrent un stress hydrique croissant.

Bibliographie

Bissour, R. (2019). Ressources en eau de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane et agriculture irriguée : caractérisation, quantification et valorisation. Cas du périmètre irrigué de Béni Moussa (Région Béni Mellal Khénifra) (Doctoral dissertation, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal (Maroc)).

GIEC., 2014: Changements Climatiques: Rapport de Synthèse; Contribution des Groupes de Travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe D'experts Intergouvernemental sur L'évolution du Climat; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; GIEC: Genève, Switzerland, 159 pp.

Sinan, M., & Belhouji, A. (2016). Impact du changement climatique sur le climat et les ressources en eau du Maroc aux horizons 2020, 2050 et 2080 et mesures d'adaptation. *La Houille Blanche*, 4 32-39.

THE IMPACT OF RECENT CLIMATE CHANGE ON LAND SUITABILITY FOR AGRICULTURE IN ROMANIA

Cristian Valeriu PATRICHE¹, Liviu Mihai IRIMIA², Bogdan ROȘCA¹,
Radu Gabriel PÎRNĂU¹, Ionuț VASILINIUC³

1. Romanian Academy, Iasi Branch, Geographic Research Center, 8 Carol I, 700505, Iași, Romania, pvcristi@yahoo.com, roscao@gmail.com, radupirau@yahoo.com

2. Iasi University of Life Sciences, Faculty of Horticulture, 3 Mihail Sadoveanu, 700490, Iași, Romania, liviuirimia2005@yahoo.fr

3. "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Faculty of Geography and Geology, 20A Carol I, 700505, Iași, Romania, vasiliniucionut@yahoo.com

L'impact du changement climatique récente sur la favorabilité du terrain pour l'agriculture en Roumanie

Mots-clés : changement thermique et pluviométrique, méthodologie d'évaluation du terrain, cultures agricoles

Keywords: thermal and rainfall change, land evaluation methodology, agricultural crops

Introduction

The drastic changes in temperature and other climate variables affect significantly the land suitability for different crops. When a standard methodology for land suitability assessment has been used for a long time over a certain territory, it is imperative to know if, in the context of climate change, the respective methodology still provides sufficiently accurate results. Our study aims to point out that the land evaluations carried out in Romania, based on the methodology developed in the '80 by the National Institute for Pedology and Agrochemistry (ICPA, 1987) using the climate data for the reference period 1961 – 1990, are no longer realistic.

1. Materials and methods

We used the ROCADA climate database (Dumitrescu et Bîrsan, 2015) to map the temperature and precipitations for the reference period (1961-1990), and the CHELSA database (Karger *et al.*, 2017) for the recent period of 1990-2019. The same methodology proposed by ICPA (1987) was applied to point out the differences induced by climate change. This methodology uses 18 indicators to assess land suitability for various crops, among which 2 are climate factors, and the rest are soil and terrain factors. Our study focuses on the mean annual temperatures and precipitations, which are corrected by account for terrain slope and aspect influence, in the case of temperature, and for the influence of slope and soil permeability on water infiltration, in the case of precipitations. The climate factors were classified and suitability scores for the main annual crops of Romania were assigned to these classes.

2. Results

Figure 1 clearly shows the climate warming process throughout Romania, especially in the plain and hilly areas. The > 12° C temperature class, which was very limited in the 1961-1990 period (0.12% of the country), has extended significantly and occupies now about 24% of the country. The methodology from the '80 does not evaluate this temperature class, which is a major shortcoming under the current climate conditions. The annual precipitations, generally increased, especially in the southeastern and eastern parts of the country. All these climate changes are reflected in the suitability for the main crops. In the case of winter wheat, which is one of the most widespread crops in Romania, the temperature increase has led to a decrease in suitability in the plain areas, but also in some plateau regions (southern Dobrogea Plateau) (Fig. 2). In other plateau and hilly regions (e.g. northern Moldavian Plateau, eastern Transylvanian Depression), the higher temperatures have led to an increase in suitability. The change in precipitations has generally increased suitability for winter wheat in the plain areas, especially in the south and southeastern parts of the country. On the other hand, in the hilly and plateau areas we notice a general decrease of suitability (Moldavian Plateau). The results clearly show that there are significant differences between the land evaluation results using the old 1961-1990 climate data and the recent data (1990-2019) throughout Romania.

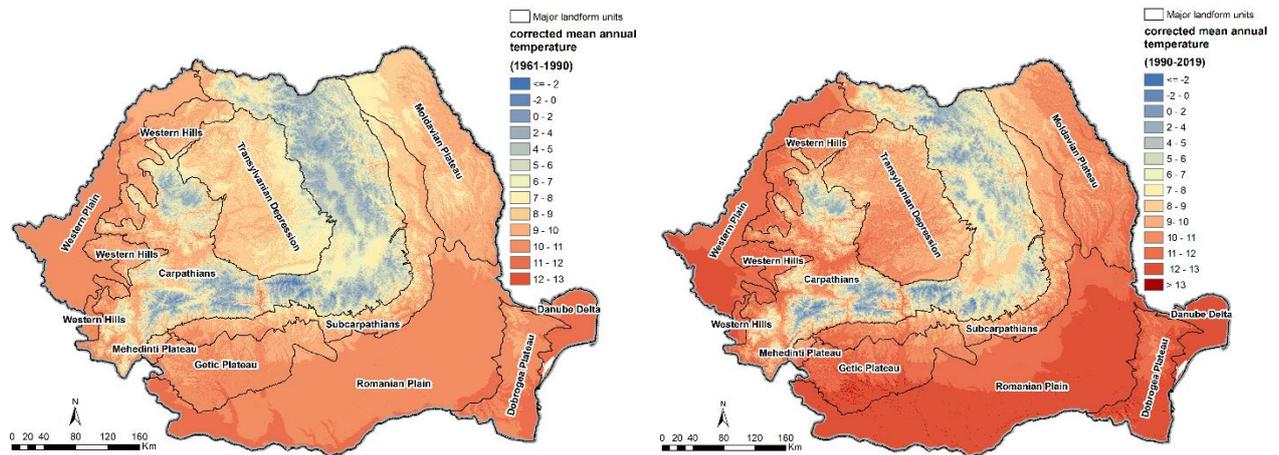


Figure 1. Corrected mean annual temperatures in Romania for 1961-1990 (left) and 1990-2019 (right)

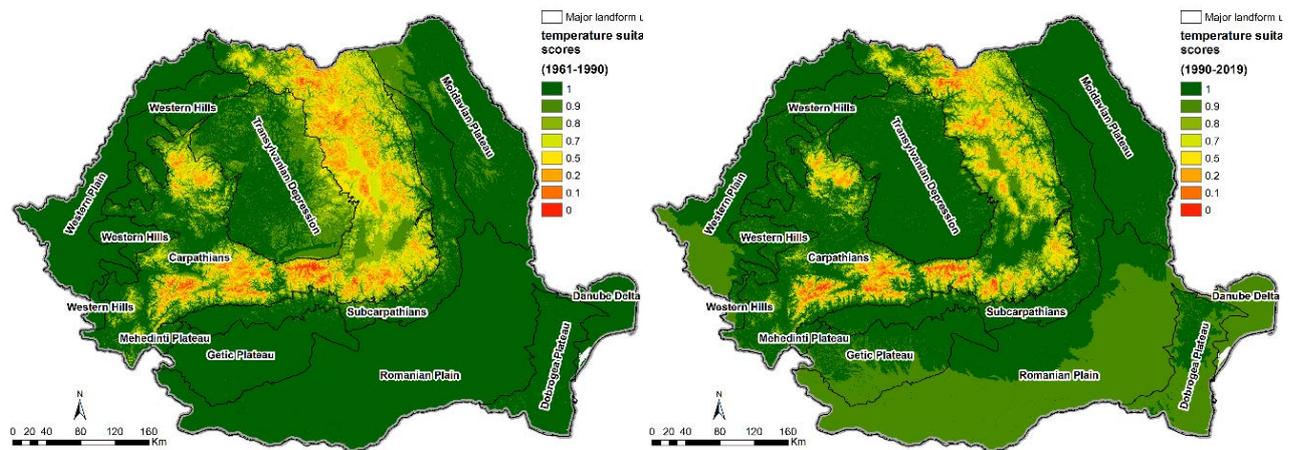


Figure 2. Suitability scores for mean annual temperatures and winter wheat during 1961-1990 (left) and 1990-2019 (right)

Conclusions

In view of our results, it becomes imperative that the institutions which carry out land evaluation studies use the more recent climate data, in order to achieve more accurate and realistic results. Also, an upgrade of the land evaluation methodology is necessary.

Acknowledgements. This research has benefitted from the support of the PN-III-P4-PCE-2021-1350 project, funded by the UEFISCDI program, Romania.

Bibliography

Dumitrescu A. and Bîrsan M.V., 2015 : ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Natural Hazards* **78(2)**, 1045–1063.

ICPA, 1987 : *Methodology for elaboration of soil studies. Part II – Elaboration of soil studies for different purposes*. National Institute for Soil and Agrochemical Research (ICPA), Bucharest, Romania, 349 pages (in Romanian).

Karger D.N., Conrad O., Böhner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder P. and Kessler M., 2017) : Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*, **4**, 170122.

IMPACT DES COUVERTS HIVERNAUX SUR LES GELÉES DE PRINTEMPS EN CHAMPAGNE VITICOLE

Basile PAUTHIER, Alexane PERRET, Élisabeth COUSIN, Géraldine URIEL, Sébastien DEBUISSON

| Comité Champagne 5 rue Henri Martin 51200 Epernay, France, basile.pauthier@civc.fr

Impact des couverts hivernaux sur les gelées de printemps en Champagne viticole

Mots-clés : gelées, couverts, vigne, Champagne

Keywords: frost, cover crops, vine, Champagne

Introduction

L'un des effets les plus contre-intuitifs du changement climatique est l'augmentation de la fréquence des gelées de printemps. Des études ont mis en garde contre ce problème (Sgubin *et al.*, 2018), décrivant un débourrement plus précoce en raison de températures plus élevées durant l'hiver alors que le dernier jour de gel reste possible à la même date. Le risque de déstabilisation du vortex polaire et du courant-jet associé occasionnant des gelées par advection est également mentionné (Molitor *et al.*, 2014).

Pour limiter leur impact sur l'environnement, les vignerons champenois adoptent de nouvelles pratiques. L'une d'elles consiste à installer des couverts hivernaux semés afin de limiter l'érosion, favoriser la biodiversité et fixer du carbone atmosphérique (Bonomelli *et al.*, 2018). Certains distributeurs avancent le fait que cette pratique permettrait de limiter les dégâts de gel. Ce discours allant à l'encontre de travaux précédemment menés par le Comité Champagne dans les années 1990 (Langellier, 1991), une expérimentation a été mise en place afin d'évaluer l'impact des couverts hivernaux sur les dégâts de gel de printemps dans le vignoble champenois.

1. Méthode d'évaluation de l'impact des couverts sur le gel printanier

Afin d'évaluer l'impact des couverts hivernaux sur le gel de printemps en milieu viticole, une expérimentation a été menée sur trois années (2021, 2022, 2023). Elle consistait à évaluer non seulement l'impact sur la température mais également sur l'humidité relative, sur les dégâts occasionnés à la vigne et les conséquences sur le rendement.

Dans le cadre de cette étude, cinq parcelles ont été sélectionnées dans le vignoble champenois. Les critères de choix ont été logiquement, la présence de couverts semés mais également le type de couvert utilisé, la présence d'un témoin dépourvu de couverts hivernaux (enherbement naturel et/ou semé ras) situé à une altitude équivalente à celle des couverts afin d'éviter les différences de températures pendant un événement radiatif et si possible d'un historique gélif. Les cinq parcelles sélectionnées étaient situées à Avize, Verzenay, Aÿ-Champagne, Bouzy et Ville-sur-Arce.

Chaque parcelle a été équipée de deux capteurs Tinytag Plus2-TGP-4505 installés sous abri. Ces capteurs permettaient de mesurer la température et l'humidité relative dans la modalité « couverts » pour le premier et dans le témoin pour le second. Après les épisodes de gel, un relevé des capteurs était effectué ainsi que des comptages de dégâts sur la partie végétative de la vigne. Une distinction de chaque événement gélif en fonction de leur nature, basée sur les vitesses de vent, a été effectuée. Ainsi un événement présentant une vitesse de vent (à 2m) $> 2 \text{ ms}^{-1}$ était qualifié d'advection, dans le cas contraire, l'événement était qualifié de radiatif (Prabha et Hoogenboom, 2008). Ces comptages étaient faits sur 50 cepes en prenant en compte d'une part le nombre total de bourgeons mais également le nombre de bourgeons gelés.

Les parcelles étaient par la suite suivies jusqu'à la vendange durant lesquelles, des comptages de grappes et des pesées étaient faits sur 50 cepes afin de connaître le nombre de grappes et les rendements totaux et par cepes.

2. Résultats

Lors de la première année d'essai (2021), seul un faible épisode de gelée ($-1,1^{\circ}\text{C}$) a pu être enregistré dans le vignoble. Les enregistrements ont cependant montré, hors période de gelées, qu'à partir du moment où la hauteur des couverts dépassait la hauteur des bourgeons, la température maximale était supérieure et la température minimale inférieure dans les « couverts ». Les deux années suivantes ont donc cherché à confirmer cela (Fig. 1).

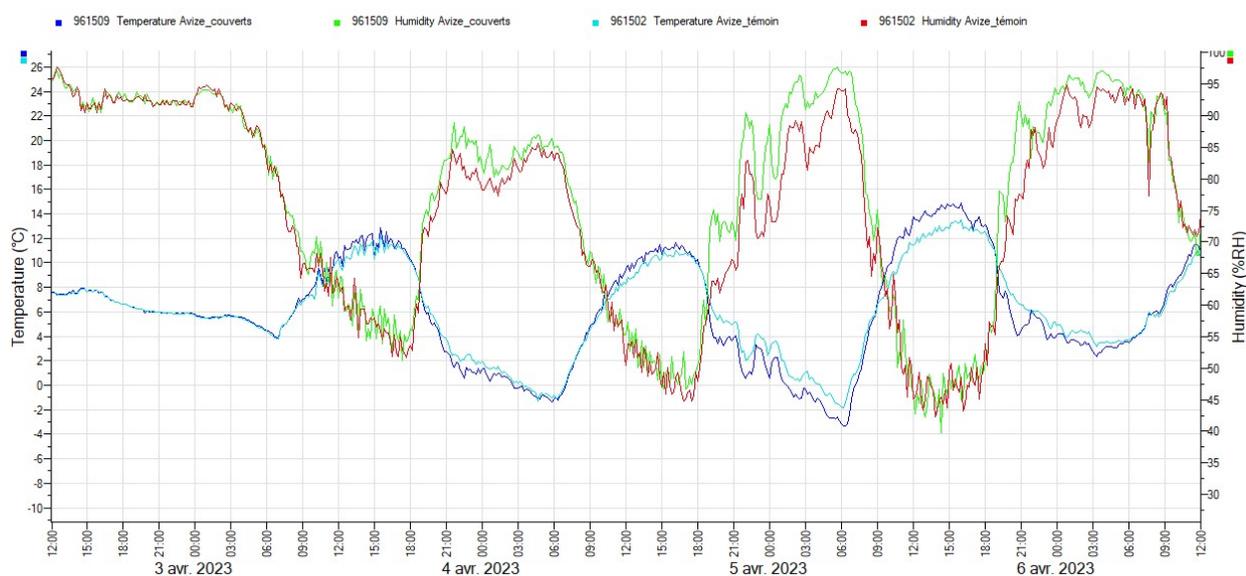


Figure 1. Évolution des températures et des humidités relatives des modalités « couverts » et « témoin » durant la période du 3 au 6 avril 2023 pour la parcelle d'Avize.

La figure 1 illustre que lors d'épisodes de gelées radiatives, les températures minimales sont significativement plus faibles dans la modalité « couverts » que dans le témoin. Elle illustre également que lors de ces événements, l'humidité est significativement supérieure dans la modalité « couverts ». Enfin on peut voir que les températures maximales sont systématiquement supérieures dans la modalité « couverts ». Cette observation a pu être effectuée sur les cinq parcelles d'essai de façon systématique pour les événements de gelées radiatives mais pas pour les événements par advection. Lors des estimations de dégâts de gel, les comptages effectués ont montré que dans la modalité « couverts », les dégâts étaient de 35% en moyenne contre 11% dans la modalité témoin. Les estimations de rendement (kg/ha) à la vendange présentent une différence de l'ordre de 13% en faveur de la modalité témoin.

Conclusion

Cette étude avait pour objectif de connaître l'impact des couverts hivernaux sur les gelées de printemps. Les moyens mis en œuvre ont permis de démontrer que ces couverts, s'ils dépassent la hauteur des bourgeons au moment d'un épisode de gelées radiatives, ont tendance à augmenter significativement le risque de gel. Ceci s'explique principalement par un forçage de la phénologie du fait des températures diurnes plus élevées, ce qui rend la plante plus sensible. De plus les températures inférieures et les humidités supérieures dans les couverts vont plus rapidement passer le seuil de létalité, augmentant logiquement les dégâts de gel. Ces résultats contraires au discours des distributeurs corroborent donc les travaux menés dans les années 1990.

Bibliographie

- Bonomelli A., Debuisson S. et Descôtes A., 2018 : Enherbement des parcelles viticoles – Quels choix ? *Le Vigneron Champenois*, (septembre) 33-43.
- Langellier F., 1991 : Les gelées de printemps. *Le Vigneron Champenois* (hors-série novembre)
- Molitor D., Caffara A., Sinigoj P., Hoffmann L. et Junk J., 2014 : Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions : a case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **20**, 160-168
- Sgubin G., Swingedouw D., Dayon G., Garcia de Cortazar-Atauri I., Ollat N., Pagé C. et van Leeuwen C., 2018 : The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, **250**, 226-242
- Prabha T. et Hoogenboom G., 2008 : Evaluation of the weather research and forecasting model for two frost events. *Computers and electronics in agriculture*, **64(2)**, 234-247

ÉVALUATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉPISODES DE FORTES CHALEURS EN RÉGIONS BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE POUR L'ADAPTATION DE LA VITICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Théo PETITJEAN¹, Valérie BONNARDOT¹, Cyril TISSOT², Hervé QUENOL¹

1. LETG-Rennes UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2, Place du recteur Henri Le Moal, 35043, Rennes, France, theo.petitjean@univ-rennes2.fr, valerie.bonnardot@univ-rennes2.fr, herve.quenol@univ-rennes2.fr

2. LETG-Brest UMR 6554 CNRS, Université Bretagne occidentale, IUEM, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, France, cyril.tissot@univ-brest.fr

Spatial and temporal assessment of extreme heat events in Pays de la Loire and Brittany regions to adapt viticulture to climate change

Mots-clés : changement climatique, chaleur extrême, viticulture, Bretagne et Pays de Loire

Keywords: Climate change, extreme heat, viticulture, Brittany and Pays de la Loire

Introduction

Les impacts du changement climatique sur la viticulture sont observés sur l'ensemble des vignobles mondiaux. L'augmentation des températures, ainsi que de l'intensité, la fréquence et la durée des épisodes de fortes chaleurs peuvent entraîner un ralentissement de la croissance de la vigne, une modification de la composition des raisins et une perte de rendement (Fraga *et al.*, 2020). Cette étude propose une analyse spatio-temporelle de l'évolution des épisodes de fortes chaleurs sur une région viticole traditionnelle, les Pays de la Loire et une région émergente, la Bretagne. L'objectif est d'identifier des secteurs plus ou moins exposés à ces épisodes et de caractériser leurs occurrences en lien avec le développement de la vigne. Cette approche s'inscrit dans la continuité des analyses du potentiel climatique et la durabilité de la viticulture sur ces deux régions face au changement climatique dans le cadre du projet CLIMATVEG (Petitjean *et al.*, 2023).

1. Matériel et Méthode

Les températures maximales journalières issues des projections climatiques régionalisées à 8 km (jeu de données DRIAS-2020 corrigé ; <http://www.drias-climat.fr/>) ont été extraites pour les 962 points de grille des régions Bretagne et Pays de la Loire en distinguant trois périodes : la période historique de référence (1976-2005), deux périodes futures : proche (2021-2050) et lointaine (2071-2100). Suite aux évaluations actualisées des modèles climatiques présentant un réchauffement plus élevé que les précédentes simulations (Ribes *et al.*, 2022), le scénario RCP 8.5 a été sélectionné correspondant à un réchauffement de 2,6°C à 4,8°C en moyenne globale d'ici 2100. Afin d'évaluer la précision des différents modèles, les températures maximales sur la saison végétative (mars à octobre) de la période historique (1976-2005) issues de trois modèles ont été comparées à celles mesurées in situ par les stations météorologiques issues du réseau synoptique de Météo-France, représentatives de la variabilité climatique régionale. Ces trois modèles ont été préalablement sélectionnés en fonction de leur niveau de réchauffement projeté sur ces 2 régions : réchauffement médian (CNRM-CM5/ALADIN63), réchauffement le plus fort (HadGEM2/RegCM4-6) et le plus faible (IPSL-CM5A/RCA4) par rapport aux températures moyennes de la saison végétative sur l'ensemble des deux régions (Bonnardot *et al.*, 2023). Plusieurs indicateurs climatiques ont été spatialisés avec ces données en intégrant l'occurrence, la durée et l'intensité de ces épisodes afin d'évaluer le risque climatique futur pour la vigne. Les épisodes de fortes chaleurs présentés dans ce travail ont été définis comme des épisodes de 3 jours consécutifs (Perkins, 2015) enregistrant une température maximale dépassant 35°C, seuil critique pour la physiologie de la vigne.

2. Résultats

L'évaluation des modèles indique que les températures maximales sont en moyenne sous-estimées par les modèles d'environ 0,55°C (Tab. 1). Le modèle qui réchauffe le plus HadGEM2/RegCM4-6 apparaît comme le plus proche des données observées avec un écart moyen de -0,47°C. Les températures sont sous-estimées sur 6 des 7 stations étudiées, avec des écarts allant de +0,12°C à Brest à -1°C à Lorient.

Tableau 1. Écart de la moyenne des températures maximales (en °C) de la saison végétative (mars à octobre) sur la période historique (1976-2005) entre des données modélisées provenant des trois modèles climatiques sélectionnés et les données observées pour 7 stations météorologiques (réseau synoptique Météo-France) représentatives du secteur d'étude.

	Nantes	Angers	Lorient	Quimper	Rennes	Brest	Dinard	Moyenne
IPSL-CM5A/RCA4	-0,68	-0,80	-0,99	-0,50	-0,46	0,14	-0,56	-0,55
CNRM-CM5/ALADIN63	-0,77	-0,88	-1,11	-0,62	-0,54	0,04	-0,61	-0,64
HadGEM2/RegCM4-6	-0,59	-0,73	-0,89	-0,38	-0,37	0,20	-0,52	-0,47
Moyenne	-0,68	-0,80	-1,00	-0,50	-0,46	0,12	-0,56	

Les résultats présentés en Figure 1 sont un exemple généré à partir des données du modèle médian CNRM-CM5/ALADIN63. Cette figure représente le pourcentage d'années enregistrant au minimum un épisode de fortes chaleurs. Sur la période historique, ces épisodes sont rares sur les 2 régions (0 à 10%). Dans un futur proche, ces événements extrêmes augmentent sur l'ensemble du territoire, particulièrement dans le sud et l'est des Pays de la Loire (20 à 30%). Dans un futur lointain, l'augmentation est plus marquée avec jusqu'à 77% des années enregistrant au moins 1 épisode de fortes chaleurs à Angers. Ces événements extrêmes restent plutôt rares dans le nord et l'ouest de la Bretagne (0 à 20%) mais sont plus fréquents dans le sud et l'est de cette région (25% à 50%).

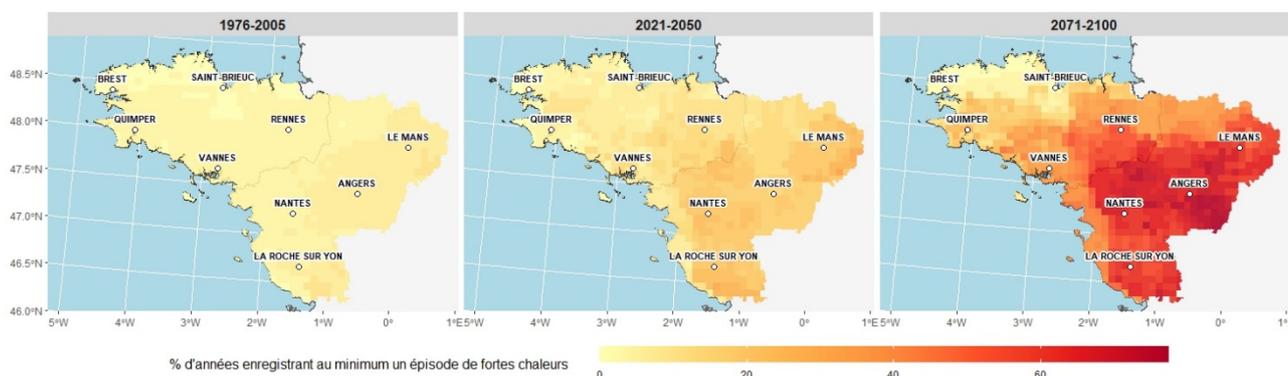


Figure 1. Pourcentage d'années enregistrant au minimum un épisode de fortes chaleurs (3 jours consécutifs avec $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$) durant la période végétative de la vigne (mars à octobre) selon le scénario RCP 8.5 du modèle CNRM-CM5/ALADIN63 sur la période historique (1976-2005) et 2 périodes futures pour les régions Pays de la Loire et Bretagne.

Conclusion

L'augmentation des épisodes de fortes chaleurs est variable selon les régions et les horizons. Dans un futur lointain, les Pays de la Loire et le sud-est de la Bretagne pourraient être soumis fréquemment à ces événements extrêmes pouvant fortement impacter les vignobles existants. Cet aléa augmenterait également dans l'ouest et le nord de la Bretagne mais resterait toutefois plus rare. Ces épisodes extrêmes pourraient être en réalité plus ou moins fréquents si on prend en compte la difficulté des modèles à reproduire les températures maximales. Cette méthodologie peut également être appliquée à d'autres cultures, pérennes ou annuelles.

Remerciements : Nous tenons à remercier les Régions Pays de la Loire et Bretagne et l'ADEME pour le financement du projet CLIMATVEG piloté par VEGEPOLYS VALLEY ainsi que Jeanne Thibault de LETG-Brest pour son soutien technique.

Bibliographie

- Bonnardot V., Robine-Kormendi E., Tissot C., Quénot H., 2023 : Evaluation de la sensibilité des modèles climatiques de Drias sur les régions Bretagne et Pays de la Loire (France). Actes du 36ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Bucarest, 33-36.
- Fraga H., Molitor D., Leolini L. et Santos, J.A., 2020 : What is the impact of heatwaves on European viticulture ? A modelling assessment. *Applied Sciences*, **10** (9): 3030. <https://doi.org/10.3390/app10093030>
- Perkins S.E., 2015 : A review on the scientific understanding of heatwaves - Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale, *Atmospheric Research*, 164-165, pp. 242-267. doi: 10.1016/j.atmosres.2015.05.014
- Petitjean T., Bonnardot V., Tissot C., Chassaing T., Quénot H., 2023. Représentations spatiales du potentiel de maturité des cépages Chardonnay et Chenin en régions Bretagne et Pays de la Loire (1976-2100). *Climatologie*, **21**, 2.
- Ribes A. *et al.*, 2022 : An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint, *Earth Syst. Dynam.*, **13**, 1397-1415, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>.

ÉVALUATION DE L'IMPACT DE SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENT SUR LE CONFORT THERMIQUE URBAIN : CAS DE LA VILLE DE STRASBOURG

Nathalia PHILIPPS¹, Adine HECTOR², Marine GORET³, Pierre KASTENDEUCH¹,
Georges NAJJAR¹

1. Université de Strasbourg, Faculté de Géographie et d'Aménagement, Laboratoire ICUBE UMR 7357,
philippsn@unistra.fr, kasten@unistra.fr, georges.najjar@unistra.fr

2. Eurométropole de Strasbourg, Département Ecologie du Territoire, service Aménagement du Territoire et Projets
Urbains, adine.hector@strasbourg.eu

3. Météo France, Direction des Services Météorologiques, marine.goret@meteo.fr

Evaluating the impact of planning scenarios on urban thermal comfort: a case study in Strasbourg city, France

Mots-clés : simulation microclimatique, UTCI, végétalisation, densification urbaine

Keywords: microclimate modelling, UTCI, greening, urban densification

Introduction

Cette étude se propose de modéliser l'impact sur le confort thermique urbain de plusieurs scénarios d'aménagement conçus par les services d'urbanisme de l'Eurométropole de Strasbourg (EMS). L'objectif est de fournir des préconisations opérationnelles à destination des urbanistes et aménageurs en termes de lutte contre l'îlot de chaleur urbain (ICU) et le stress thermique.

Les scénarios sont répartis en trois catégories distinctes : tout d'abord, les **scénarios d'adaptation** visent à quantifier le potentiel d'atténuation de l'ICU et du stress thermique de plusieurs solutions de remédiation. Ensuite, les **scénarios de densification verticale** cherchent à estimer les conséquences d'une augmentation de la hauteur du bâti, dans le but de vérifier s'il est possible de parvenir à un compromis entre lutte contre l'ICU et enjeux urbanistiques. Enfin, l'étude se termine par **la simulation de l'impact d'un projet urbain** en cours de réalisation au sein de l'EMS, afin de proposer une procédure d'évaluation applicable à tout aménagement futur.

Les simulations sont réalisées à l'aide d'un emboîtement de modèles (Philipps *et al.*, 2022). Ce dernier est composé du système mésoclimatique Méso-NH/SURFEX (Goret, 2021), et du modèle de micro-échelle LASER/F (Kastendeuch *et al.*, 2015). La période choisie est la série de journées caniculaires allant du 30 juin au 2 juillet 2015. L'indice de confort UTCI (Universal Thermal Comfort Index) et la température de l'air font office d'indicateurs d'évaluation.

1. Scénarios d'adaptation

Trois scénarios d'adaptation sont modélisés au sein du quartier Malraux (Fig. 1 à gauche), situé à proximité de l'hypercentre strasbourgeois. Le premier simule une hausse du pourcentage de surface végétale. Le second augmente l'albédo et l'émissivité des bâtiments de la zone. Enfin, le troisième combine les caractéristiques des deux scénarios précédents.

Ces scénarios sont modélisés à méso-échelle avec Méso-NH/SURFEX, ainsi qu'à micro-échelle avec LASER/F (Fig. 1 à droite) : les simulations mésoclimatiques permettent en effet de définir l'effet maximal d'un scénario d'atténuation sur l'ICU et le stress thermique, tandis que les microclimatiques offrent la possibilité d'en estimer l'impact sur l'ambiance climatique d'une place ou une rue. Les résultats démontrent que c'est le troisième scénario, et donc la combinaison de plusieurs solutions qui présente les meilleurs résultats d'atténuation du stress thermique et de la température de l'air.

2. Scénarios de densification verticale

La lutte contre l'ICU et le stress thermique n'est pas la seule problématique à laquelle sont confrontées les collectivités : ces dernières doivent également produire un certain nombre de logements neufs annuels tout en limitant l'étalement urbain, ce qui implique de densifier les agglomérations. Bien que nécessaire, cette densification tend à aggraver le phénomène d'ICU nocturne : il apparaît donc essentiel de parvenir au meilleur compromis possible entre ces deux enjeux.

De ce fait, trois scénarios de surélévation du bâti du quartier Malraux sont modélisés afin de vérifier dans quelle mesure il est possible de concilier densification urbaine et atténuation de l'ICU : le premier consiste à augmenter d'un étage supplémentaire (soit trois mètres de hauteur) tout le parc bâti. Le second augmente la hauteur des bâtiments jusqu'à la hauteur maximale autorisée par le Plan Local d'Urbanisme (PLU). Enfin, le troisième scénario fixe à 60 mètres la hauteur de l'ensemble du parc bâti.

Les modélisations indiquent notamment que l'ajout d'un étage supplémentaire par rapport à la situation initiale n'aggrave pas l'UTCI de manière significative : cela signifie que la surélévation peut potentiellement représenter un moyen de concilier lutte contre le stress thermique nocturne et densification urbaine, à condition toutefois de ne pas dépasser un certain seuil.

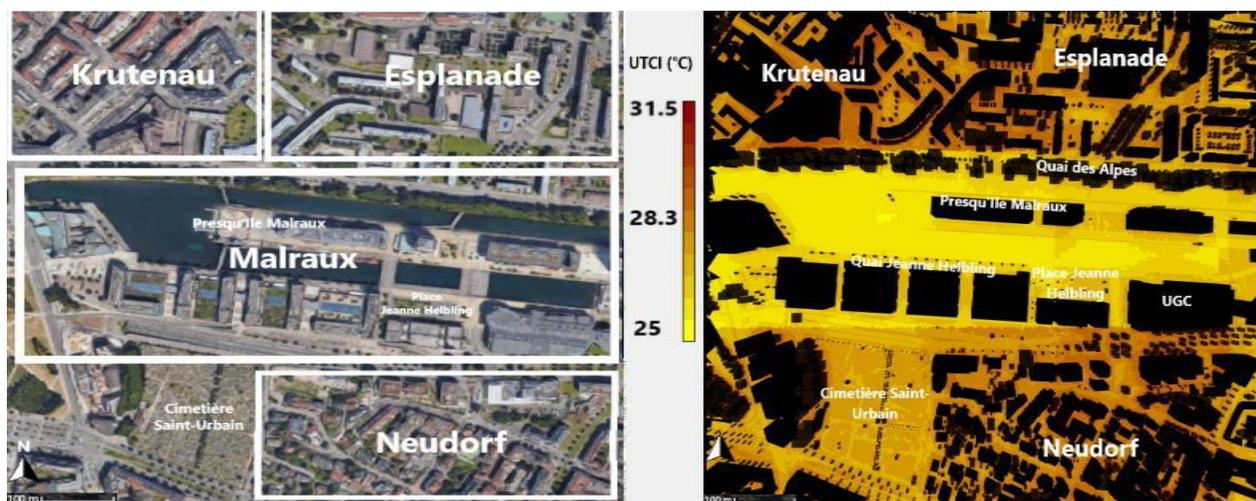


Figure 1. Zone d'étude Malraux découpée en quatre secteurs (à gauche) et exemple de carte de l'indice de confort UTCI simulé par le modèle LASER/F sur la zone Malraux le 2 juillet 2015 à 23h TU pour le scénario « État initial » (à droite).

3. Évaluation d'un projet d'aménagement

Pour une collectivité, la simulation de l'ambiance climatique d'une zone urbaine représente également un potentiel outil d'aide à la décision dans le choix de plusieurs scénarios de projets d'aménagement. Deux scénarios d'aménagement sont donc modélisés pour une zone en cours de construction : le futur quartier Starlette, conçu dans le cadre du projet urbain Deux Rives (Strasbourg Deux Rives, 2022). Le premier scénario reprend le quartier tel que conçu par les urbanistes, et le second simule un parc urbain.

Les résultats permettent d'établir un état des lieux qui souligne les avantages et inconvénients de chacun des scénarios modélisés. Ce diagnostic vise ainsi à servir d'exemple à la mise en place d'une démarche d'évaluation utilisable à terme pour l'ensemble des futurs projets d'aménagement d'une agglomération.

Conclusion

À partir des résultats fournis par la modélisation de scénarios réalistes du point de vue opérationnel, il est possible d'aboutir à des préconisations à la fois efficaces en termes d'amélioration du confort thermique et tenant compte des contraintes urbanistiques auxquelles sont confrontées les agglomérations. Or du fait du nombre considérable de facteurs intervenant dans la mise en place de l'ambiance climatique d'une zone urbaine, il sera à l'avenir nécessaire de modéliser de nouveaux scénarios afin de mieux cerner le rôle de certains paramètres, en particulier celui de la géométrie urbaine.

Bibliographie

- Goret M., 2021 : Diagnostic de surchauffe Eurométropole de Strasbourg. Rapport d'étude, Météo France, 37 pages.
- Kastendeuch P.P. et Najjar G., 2015 : Une simulation des interactions ville-atmosphère à différentes échelles : application sur Strasbourg. *Climatologie*, **12**, 44-64.
- Philipps N., Goret M., Kastendeuch P.P., Najjar G. et Gourguechon C., 2022 : Modélisation climatique d'une zone urbaine à différentes échelles. 35e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Toulouse, 6 pages.
- Strasbourg Deux Rives, 2022 : Le projet urbain Strasbourg Deux Rives/Zwei Ufer. Retrieved March 2023 from www.strasbourgdeuxrives.eu

TRAJECTORIES OF THE MEDITERRANEAN CYCLONES INFLUENCING THE PRECIPITATION IN BULGARIA DURING THE MONTHS OF SEPTEMBER-APRIL

Hristo POPOV¹, Anna-Maria GEORGIEVA²

¹ Sofia University St. Kliment Ohridski, Faculty of Geology and Geography, Department of Climatology, Hydrology and Geomorphology, hpopov@gea.uni-sofia.bg

² Master student in Sofia University St. Kliment Ohridski, Faculty of Geology and Geography, Department of Climatology, Hydrology and Geomorphology

Trajectoires des cyclones méditerranéens influençant les précipitations en Bulgarie pendant les mois de septembre-avril

Mots-clés : cyclones méditerranéens, précipitations, Bulgarie, trajectoires

Keywords: Mediterranean cyclones, precipitation, Bulgaria, trajectories

Introduction

The Mediterranean region is known for the formation of an area of low atmospheric pressure during the cold half of the year and the formation of cyclones. The cyclogenesis of this area is influenced by both cold air advections along the cold fronts of the Atlantic cyclones, the East European Maximum, and high-pressure ridges coming from the Azores Maximum located to the west. The formed cyclones over the waters of the Mediterranean Sea have an impact on a vast territory covering southern Europe, the Middle East and the northern parts of Africa, which defines the zone of Mediterranean climates. Their mode, trajectories, speed of movement and duration of retention over a given territory determine to varying degrees the intra-annual rainfall regime, as well as the individual economic activities related to them.

Pioneering studies that include climatology of cyclones and cyclogenesis in the Mediterranean (in the frame of hemispheric studies) are those by Pettersen (1956) and Klein (1957). Most of studies about Mediterranean cyclones have been focused on precipitation (Trigo *et al.*, 2000; Jansa *et al.*, 2001b; Kahana *et al.*, 2002; Maheras *et al.*, 2002, 2004).

1. Data and methods

For the purposes of this article, data from synoptic maps at a height of 500 hPa were used, as well as average monthly precipitation data for 10 meteorological stations - four located in Northern Bulgaria (Vidin, Pleven, Ruse, Varna) and six in Southern Bulgaria: Burgas, Sliven, Plovdiv, Sofia, Kyustendil and Sandanski. They are collected from NIMH (National Institute of Meteorology and Hydrology) monthly newsletters.

Pisarski's (1955) classification scheme was used as the basis for the types of trajectories of Mediterranean cyclones. The monthly, seasonal and annual total number of Mediterranean cyclones is calculated. The main areas of cyclogenesis and their percentage ratios in relation to the total number of formed cyclones have been established. For each trajectory, the shares of cyclone formation areas relative to the total number of Mediterranean cyclones formed were calculated. The monthly and seasonal distribution of cyclones passing along the different trajectories, as well as average, minimum and maximum duration, are presented.

To analyze the influence of Mediterranean cyclones on the precipitation in Bulgaria, the correlation coefficient (r) between the precipitation amounts for the 10 selected stations and the frequency of occurrence of the formed cyclones was used.

2. Results

The total number of Mediterranean cyclones that formed and passed through Trajectory 1, Trajectory 2, Trajectory 3.1 and Trajectory 3.2 for the period 2010–2020 is 215. With the largest share and as the main area of occurrence of Mediterranean cyclones is the Gulf of Genoa with 31% of the total number of cyclones formed during the period. It is followed by the Ionian Sea with 13%; Balearic Sea with 12%; Aegean Sea with 9%; Adriatic Sea with 8% and Tyrrhenian Sea with 8%. A high share (10%) has cyclones coming from Africa.

If we compare the results with the cited studies, the share of cyclones that occurred in the Gulf of Genoa (31%) is smaller by nearly 15% for the studied period. The share of cyclones that occurred in the region of

southern Italy (Ionian, Adriatic and Tyrrhenian Seas) is almost the same - 29%. More than half of the cyclones passing through trajectories 1 and 2 formed in the Gulf of Genoa region.

As a second center of cyclogenesis related to these trajectories is the Balearic Sea region. Nearly one-third (32%) of the cyclones passing through trajectory 3.1 formed in the region of southern Italy, and 29% originated in the Gulf of Genoa. The Aegean Sea is also the area of cyclogenesis for 11% of the cyclones moving along this route.

Nearly 40% of cyclones passing through trajectory 3.2 originate in southern Italy. One-sixth of the cyclones passing through this southernmost of the studied routes originate in the Gulf of Genoa region. Over 10% of the cyclones moving along trajectories 3.1 and 3.2, respectively, originate over Africa.

When comparing the total number of Mediterranean cyclones and precipitation in Bulgaria, the strongest correlation is for the month of December. For Sofia, it is over 0.8. We establish such a relationship for the precipitation in December over Sofia and regarding the cyclones passing along trajectory 1. According to trajectory 2, we register a strong correlation between Mediterranean cyclones and monthly amounts of precipitation for the eastern part of the country for the month of February. For the Northern part of the Black Sea coast, a very strong correlation was reported for the months of January and February. On trajectory 3.1, we report a strong positive correlation between the frequency of cyclones for the entire country in the month of December. In southern and southwestern Bulgaria, we register a strong negative correlation between precipitation and cyclones along this trajectory in the month of April.

Conclusion

The highest frequency of Mediterranean cyclones is in January and with the lowest is in September.

Decrease of cyclogenesis was found in the Gulf of Genoa, the Adriatic and the Tyrrhenian Sea for the period studied. The areas of the Balearic, Ionian and Aegean Seas have been registered as new centers.

When studying the correlation coefficients between the frequency of occurrence of Mediterranean cyclones and precipitation, the results show a very strong positive correlation for December for the Sofia region – 0.83. The highest values on correlation coefficients on trajectory 2 were recorded for Varna in January and February – 0.81 and 0.87. In October on trajectory 2, a significant and strong correlation was found for the region of Western Bulgaria.

The best-expressed positive correlation was found in the winter months, and negative - in the spring months.

Between the frequency of cyclones crossed on trajectory 3.1 and the rainfall amounts, there is a significant to strong positive dependence. There is a very strong positive correlation for Vidin (0.80) in February and for Sofia (0.85) in November.

Bibliography

- Jansa, A., Genoves, A., Picornell, M. A., Campins, J., Riosalido, R., & Carretera, O. (2001b). Western mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: statistical approach. *Meteorol. Appl.*, **8**, 43-56.
- Kahana, R., Ziv, B., Enzel, Y., & Dayan, U., 2002. Synoptic climatology of major floods in the Negev Desert, Israel. *7/7^/ Climatology*, **22**, 867-882.
- Klein, W. H., 1957. Principal tracks and frequencies of cyclones and anticyclones in the Northern Hemisphere. U.S. Weather Bur., Res. Paper num 40.
- Maheras, P., Flocas, H. A., Anagnostopoulou, Ch., & Patrikas, I., 2002. On the vertical structure of composite surface cyclones in the Mediterranean region. *Theor. Appl. Climatol.*, **71**, 199-217.
- Maheras, P., Tolika, K., Anagnostopoulou Chr., Vafiadis, M., Patricas, I., & Flocas, H. (2004). On the relationships between circulation types and rainfall variability changes in Greece. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1695-1712.
- Pettersen, S. (1956). *Weather analysis and forecasting*. Mac Graw Hill, New York.
- Pisarski's (1955) Mediterranean cyclones and their influence on the weather in our country (Bulgaria) – *Hydrology and meteorology*, vol. **5-6**
- Trigo, I. F., Davies, T. D., & Bigg, G. R. (2000). Decline in Mediterranean rainfall caused by weakening of mediterranean cyclones. *Geophysical Research Letters*, **27**, 2913-2916

ÉVALUATION DE LA ROBUSTESSE DU PLAN D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION (PAG) DES AIRES PROTÉGÉES COMMUNAUTAIRE DU SUD-OUEST DE MADAGASCAR FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Hajaniaina RASOLOARISON¹, Rindra RAMANANJATOVO²,
Nirhy-Harinelina C. RABIBISOA^{1,3}

1. École Doctorale Écosystèmes Naturels, Université de Mahajanga, Madagascar, hrasoloarison@outlook.com, nhcrabibisoa@gmail.com
2. École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar, rindra.ramananjatovo@gmail.com
3. Mention Science de la Vie et de l'Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar

Assessing climate change-robustness of locally-managed protected area management plans in southwestern of Madagascar

Mots-clés : adaptation, aires protégées communautaires, changement climatique, sud-ouest de Madagascar

Keywords: adaptation, community protected areas, climate change, southwest Madagascar

Introduction

À ce jour, Madagascar compte 98 aires protégées (AP) terrestres qui sont réparties dans les différents biomes qui existent dans la grande île (Goodman *et al.*, 2018). Ces aires protégées sont gérées par différentes organisations nationales et internationales, et des fois aux communautés locales. Le Plan d'Aménagement et de Gestion (PAG) est un outil indispensable pour assurer la gestion de ces AP, et ce, afin de mesurer les objectifs fixés au début de sa création. En effet, un nombre considérable d'évaluations de l'efficacité de la gestion des AP ont été réalisées en appliquant diverses méthodes, dont la plupart sont basées sur le cadre d'efficacité de la gestion de l'UICN (par exemple, Nolte *et al.*, 2010 ; Geldmann *et al.*, 2015). Cependant, contrairement à de nombreuses autres menaces conventionnelles, le changement climatique est un élément global à multiples facettes qui affecte sans précédent toutes les parties d'un système de conservation ainsi que la gestion elle-même (Baron *et al.*, 2009). Par conséquent, tous les éléments d'un système de gestion contribuent à l'efficacité de la conservation dans le contexte du changement climatique, et doivent être adaptés spécifiquement à cet effet. La recherche sur la gestion des AP en a rarement tenu compte. De ce fait, cette étude essaie d'évaluer la robustesse des PAG de ces AP communautaires vis-à-vis du changement climatique.

1. Matériels & Méthodes

1.1. Site d'étude

Cette étude concerne les aires protégées communautaires du sud-ouest de Madagascar mise en place récemment : Agnalamahaso, Lovaso, Mikea Mitambatra, Analamaitso, Loharano, Vezo et Tahiry.

1.2. Méthode d'évaluation

Le protocole d'évaluation a été conçu à l'aide des chaînes de résultats développés pour les axes stratégiques identifiés dans le Plan d'Aménagement et de Gestion de chaque AP. Ainsi, pour assurer la gestion des aires protégées (AP) pour les cinq ans à venir (2023-2028), et pour atteindre les objectifs à court et à long terme de gestion, trois stratégies ont été identifiées en s'inspirant des modèles conceptuels développés pour chaque AP. Ce sont les axes stratégiques : (i) Conservation, (ii) Gouvernance et (iii) Développement. Pour le cas de cette étude, les deux premiers axes stratégiques seront pris en considération. En outre, le cadre d'évaluation de l'analyse des données serait basé sur trois types de sources concernant les stratégies d'adaptation au changement climatique à Madagascar pour la biodiversité que sont : (1) des normes fixes pour une gestion holistique, durable et équitable des ressources naturelles et de la conservation (comme l'approche écosystémique), (2) des publications scientifiques sur les options et les recommandations pour l'adaptation de la conservation au changement climatique et (3) l'expérience des activités de projet sur la planification de la gestion intégrant le changement climatique. La note a été attribuée sur une échelle de 0 à 3 pour tous les attributs.

2. Résultats

2.1. Constat climatique

Les données climatiques analysées pendant une période de 30 ans entre 1990-2020 ont mis en évidence une variation des paramètres climatiques dans le sud-ouest de Madagascar. En effet, concernant la température, une augmentation de 0,5°C toutes les décennies ont été constatée suivant l'analyse de la régression linéaire ($y=0,023x + 22,99$, $R^2=0,65$). Tandis que la précipitation accuse une réduction de 5% par rapport au constat observé dans les années 60, et que l'analyse de la régression linéaires est de la forme : $y=3,18x + 649,3$, $R^2=0,04$).

2.2. Performance des robustesses face au changement climatique

D'après le résultat de l'analyse (Fig. 1), les aires protégées communautaires qui possèdent un corridor sont les plus résilientes, en l'occurrence, les aires protégées Tahiry, Vezo et Analamaitso avec un score avoisinant 14 et 13 points respectivement. Tandis que l'AP Mikea Mitambatra est le moins résiliente avec un score avoisinant 10 points.

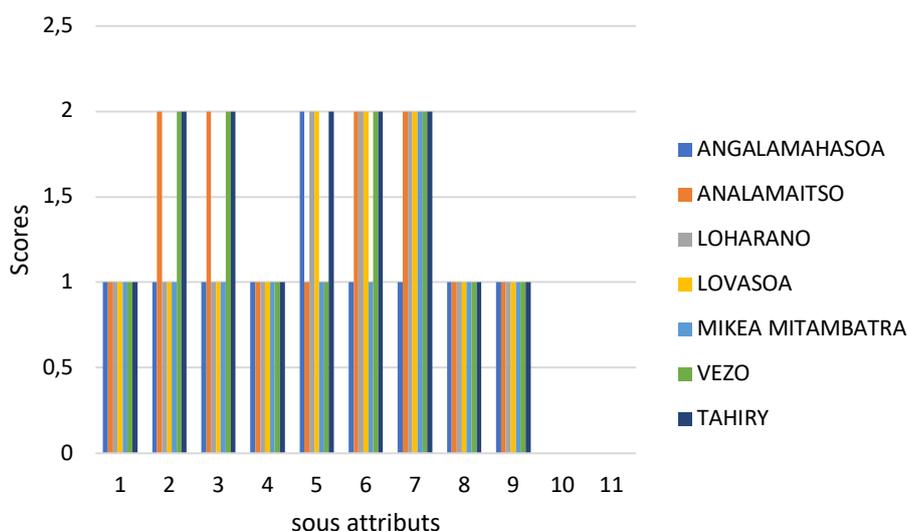


Figure 1. Score de chaque sous-attribut des aires protégées communautaires face au changement climatique

Conclusion

L'impact du changement climatique dans cette région bioclimatique affecte la gestion des aires protégées de Madagascar. Cette étude, qui est un aperçu, a examiné les facteurs qui pourrait compromettre la gestion des aires protégées vis-à-vis du changement climatique. En outre, cette étude a révélé l'importance ainsi que les rôles joués par les corridors forestiers dans l'atténuation du changement climatique à l'échelle locale.

Bibliographie

- Baron JS, Gunderson L, Allen CD, Fleishman E, McKenzie D, Meyerson L, *et al.*, 2009. Options for National Parks and Reserves for Adapting to Climate Change. *Environmental Management* 44(6):1033– 42. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9296-6> PMID: 19449058.
- Geldmann J, Coad L, Barnes M, Craigie ID, Hockings M, Knights K, *et al.*, 2015. Changes in protected area management effectiveness over time: a global analysis. *Biological Conservation* 191 :692–9.
- Goodman, SM, Raherilalao, MJ, & Wohlauser S (2018). *Les aires protégées de Madagascar : leur histoire, description et biotes*. Association Vahatra, Madagascar.
- Nolte C, Leverington F, Kettner A, Marr M, Nielsen G, Bomhard B, *et al.*, 2010. Protected area management effectiveness assessments in Europe—a review of application, methods and results. BfN-Skripten 271a. Federal Agency for Nature Conservation editor. Bonn, Germany: Federal Agency for Nature Conservation.

ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES OBSERVÉES (1980-2018) DANS LA RÉGION DE BENI MELLAL-KHENIFRA ET PROJECTIONS FUTURES

Kawtar REZKALLAH¹, Abdelali SEBBAR², Mohammed HSAINE¹,
Kaoutar HAMDIA ALAOU¹, Hassan FOUGRACHE¹, Wadi BADRI¹

1. Université Hassan II- Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sick, Laboratoire d'Écologie et d'Environnement (LEE), b1.wadi@hotmail.fr

2. Direction Générale de la Météorologie (DGM), BP 8106-Casa Oasis ; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani, Casablanca, Maroc, sebbar202@gmail.com

Evolution of observed temperature (1980-2018) in the Beni Mellal Khenifra region and future projections

Mots-clés : température, rupture, réchauffement climatique, projection future

Keywords: temperature, break, global warming, future projection

Introduction

Selon GIEC (2007), l'analyse de l'évolution climatique mondiale au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle indique une tendance significative au réchauffement. Cette tendance a des répercussions significatives au niveau de la rive sud méditerranéenne. Par ailleurs, le Maroc, avec une population sans cesse croissante, subit des impacts importants sur les secteurs économiques, agricoles et sur les ressources en eau (Sebbar *et al.*, 2011). Ainsi, l'objectif de notre étude est de fournir aux décideurs des informations sur l'évolution et les projections futures de la température. Ceci à travers l'étude de l'évolution et la variation des températures dans la région de Béni Mellal-Khénifra.

1. La base de données

La base de données de trois stations se compose des températures maximales et minimales, et les précipitations quotidiennes sur la période 1980-2018. L'homogénéité des séries temporelles a été vérifiée à l'aide de logiciel Anclim (Stépànek, 2005) par l'approche relative à la méthode d'Alexandersson.

2. Méthodologie

Pour mettre en évidence la variabilité chronologique de la température à l'échelle de la région Beni Mellal-Khénifra, nous avons, d'une part, détecté les ruptures dans les séries de température. Par la suite, une analyse des tendances (Fig. 1) à travers le test robuste de Mann Kendall. D'autre part, nous avons calculé les indices climatiques (Tab. 1) définis par le groupe ETCCDI, en se basant sur les trois paramètres journaliers : la température maximale, la température minimale et les précipitations. De plus, une projection future est réalisée à l'aide du Modèle MOSAICC. C'est un système fondé sur la technologie Web-SIG. Ce système est conçu pour mener des simulations en utilisant une variété de données géoréférencées couvrant différents domaines.

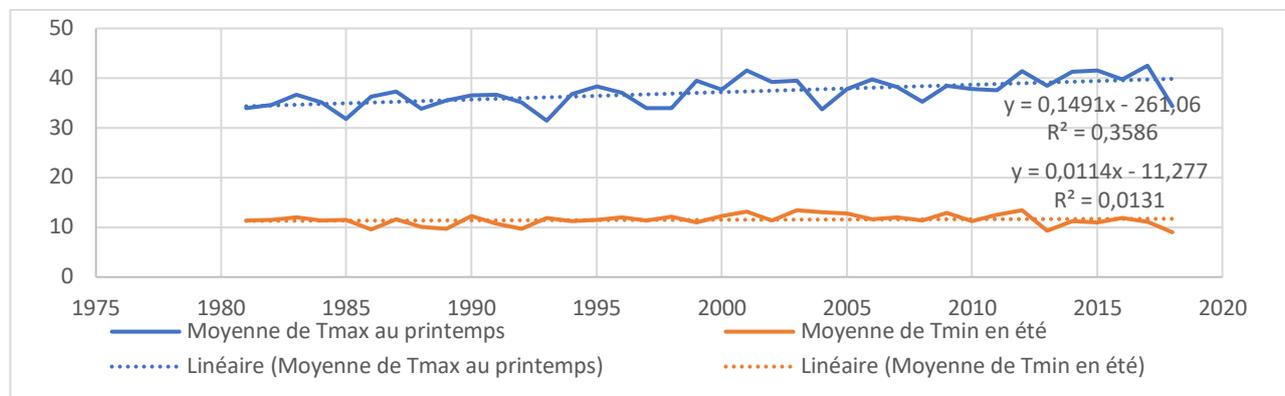


Figure 1. Tendence des températures saisonnières : Printemps (Tmax) et Été (Tmin)

Tableau 1. L'indice TXmoy et TNmoy entre 1980 et 2018 / test de Mann Kendall (S : significative, NS : non significative)

Station	Beni Mellal		Khouribga		Kasba-Tadla	
	TXmoy	TNmoy	TXmoy	TNmoy	TXmoy	TNmoy
Pente de la tendance linéaire	0.043	0.034	0.047	0.05	0.031	0.031
Erreur de pente	0.009	0.009	0.012	0.01	0.011	0.09
P-value	0	0	0	0	0.007	0.002
P-value Mann	0.002 (S)	0.38(NS)	0.02 (S)	0.37 (NS)	0.33 (NS)	0.84 (NS)

3. Résultats et discussion

Il ressort que, la majorité des ruptures détectées dans la région de Béni Mellal-Khénifra concorde avec plusieurs sécheresses qu'a connues le Maroc au cours des années 1980-1990 et 1990-2000. Cependant, l'analyse des tendances par le test de Mann-Kendall montre une hausse significative dans la majorité des stations étudiées en particulier, pendant les saisons du printemps et l'été. Ces dernières sont les saisons responsables de l'augmentation des températures dans la région.

D'après le Tableau 1, les températures moyennes maximales (TXmoy) et minimales (TNmoy) montrent une nette augmentation à la région de Béni Mellal Khénifra sur la période (1980-2018), soulignant un réchauffement climatique local. Ces résultats concordent avec les conclusions de Hammoudy *et al.* (2022), qui ont signalé une augmentation marquée des températures extrêmes au Maroc entre 1984 et 2018, en cohérence avec le 6ème rapport du GIEC sur le réchauffement climatique. Toutefois, il convient de signaler que le test de Mann Kendall a montré que les températures max présentent une tendance à la hausse significative.

Conclusion

D'après les résultats, l'analyse des tendances observées des extrêmes climatiques sur la période 1980-2018 au niveau des stations météorologiques montre une tendance significative à la hausse des températures maximales et minimales sur la région, et plus particulièrement lors de la saison végétative (printemps et été). Ces résultats confirment que la région de Beni Mellal-Khénifra est en cours d'une période de sécheresse marquée par l'augmentation des températures extrêmes, éclairant ainsi l'ampleur des changements climatiques survenus récemment.

Bibliographie

- GIEC., 2007: Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change. www.ipcc.ch
- Hammoudy W, Ilmen, R., & Sinan, M. (2022, July). Impact du changement climatique sur les extrêmes de températures au Maroc. In 35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie : Le changement climatique, les risques et l'adaptation (pp. 6-pages).
- Sebbar A., Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., 2011 : Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 – 2004). Sécheresse, **22**, 139-48.
- Stepanek P. (2005). AnClim-software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Sciences, MU, Brno.

IDENTIFICATION DES TYPES DE TEMPS SENSIBLES (TTS) FAVORABLES AUX EXTRÊMES DE CHALEUR ESTIVAUX À GRENOBLE ET ECHIROLLES, FRANCE

Sandra ROME¹, Yingting WANG¹, Sylvain BIGOT¹, Julia HIDALGO², Xavier FOISSARD¹

1 Univ. Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement (UMR 5001, Univ. Grenoble Alpes – CNRS – INRAE – IRD – Grenoble INP), IGE, CS 40700 - 38058 Grenoble Cedex 9 – France, sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr, sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr, xavier.foissard@univ-grenoble-alpes.fr

2 Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (UMR 5931, Université de Toulouse-CNRS-EHESS-ENSFEA), LISSST, 31058 Toulouse – France, julia.hidalgo@univ-tlse2.fr

Identification of Local Weather Types (LWT) propitious to summer heat extremes in Grenoble and Echirolles, France

Mots-clés : extrême de chaleur, type de temps sensible (TTS), Grenoble, projet CASSANDRE

Keywords: extreme heat, Local Weather Type (LWT), Grenoble, CASSANDRE project

Introduction

Si la tendance au réchauffement observée depuis 30 ans se poursuit, le réchauffement de la planète atteindra +1,5°C en novembre 2033 (Copernicus, 2024). Or en été, le stress thermique est exacerbé par l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU). En Europe de l'Ouest, l'été 2022 a été particulièrement chaud, avec une anomalie de température moyenne de +2,8°C pour juin-juillet-août (JJA), cumulant en France une canicule par mois (Météo-France, 2023 ; Sorel *et al.*, 2022). Ces périodes de chaleur extrême associées génèrent des impacts et des risques, notamment pour la santé et le bien-être, pouvant entraîner des pertes et des dommages (IPCC, 2022). Ainsi, face à l'augmentation des vagues de chaleur (fréquence, intensité/sévérité et durée) et des extrêmes chauds en général, les villes de Grenoble et d'Echirolles (Isère, France), collectivités partenaires du projet CASSANDRE, ont entamé des recherches sur le climat urbain pour identifier l'ICU, le réduire et s'y adapter en aménageant l'espace public. Aussi, ce travail vise à identifier les types de temps sensibles (TTS) associés aux jours de chaleur extrême (très forte chaleur, vagues de chaleur, ICU) dans l'agglomération grenobloise.

1. Matériel et méthodes

1.1. Méthode utilisée : la classification des types de temps sensibles (TTS)

Ce travail utilise la classification des TTS développée par Hidalgo & Jouglà (2018) et Jouglà *et al.* (2019) ; la méthode se réfère à la série d'états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle qui définissent son climat local ; elle permet d'identifier des situations météorologiques locales par classification de 5 paramètres atmosphériques et appliqués à 50 villes françaises. La classification nécessite 1/ de disposer de données horaires, 2/ pour une station météo située en milieu rural, référentiel de ladite ville et 3/ sur une période assez longue, idéalement 30 ans. Les paramètres atmosphériques requis sont : 1/ l'amplitude thermique (ΔT , *i.e.* $T_x - T_n$, °C), 2/ l'humidité spécifique moyenne ($g \cdot kg^{-1}$), 3/ les précipitations ($mm \cdot h^{-1}$), 4/ la vitesse du vent ($m \cdot s^{-1}$) et 5/ sa direction selon 4 quadrants (1-90° ; 91-180° ; 181-270° ; 271-360°). Par ailleurs, pour le cas étudié ici, l'ICU est défini lorsque l'écart de température minimale (ΔT_n) entre d'une part, les stations urbaines de Grenoble Office de Tourisme et Echirolles Hôtel de Ville et, d'autre part, la station rurale de Grenoble Le Versoud, dépasse 3°C et que la vitesse du vent est inférieure à 2 m/s, par nuit claire (Foissard *et al.*, 2022).

1.2. Données atmosphériques utilisées dans le modèle appliqué

Les données météorologiques quotidiennes disponibles pour la station rurale de Grenoble Le Versoud étant lacunaires, et celles de Grenoble Saint-Geoirs peu représentatives de la ville (Rome *et al.*, 2020), ce sont les réanalyses ERA-5 (ECMWF) qui sont utilisées et ce, du 1^{er} janvier 2002 au 31 décembre 2022. Le point de grille de résolution 0,25°× 0,25° le plus proche de Grenoble est quasiment centré sur la station de Grenoble Le Versoud (Fig. 1). Pour adapter le modèle au contexte topographique complexe de l'Y grenoblois, la direction du vent n'est pas conservée car n'améliore pas le modèle et les seuils de précipitations sont modifiés par rapport à la méthode initiale. L'écart thermique urbain-rural nocturne et ainsi indirectement l'intensité de l'ICU, est calculé entre les données observées dans les stations urbaines de Grenoble et d'Echirolles et la station rurale de Le Versoud lors des étés 2020-2022, période d'étude spécifique pour les TTS.

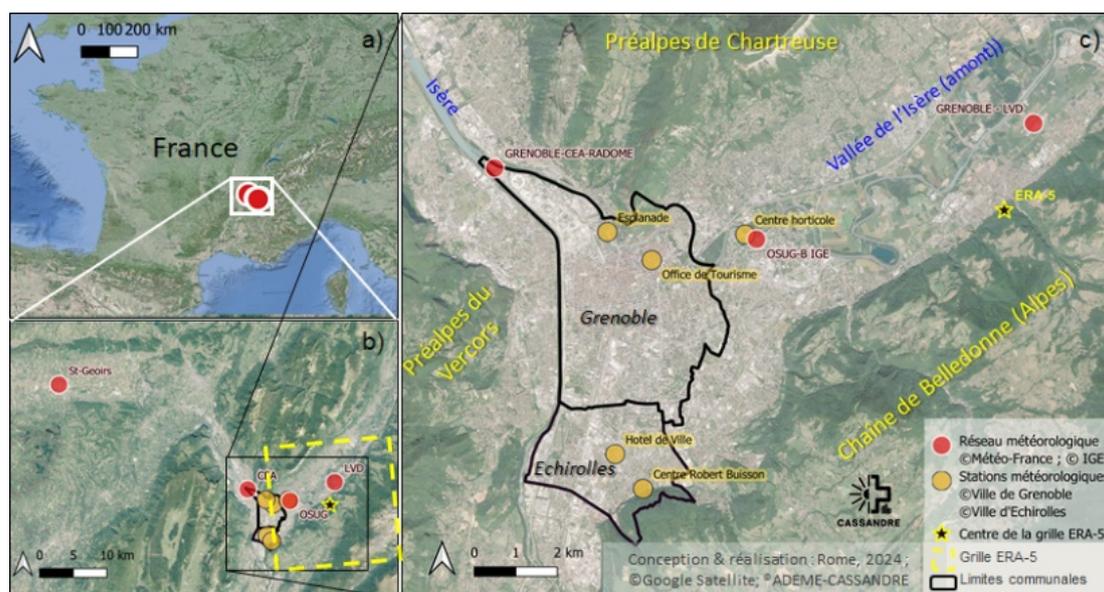


Figure 1. Localisation de la zone étudiée, du réseau de mesures atmosphériques disponible et du point de grille ERA-5 (carré pointillé jaune) dans le contexte grenoblois.

2. Résultats synthétiques

Sept types de TTS sont obtenus selon le centroïde de chaque variable et la fréquence d'occurrence (nombre de jours appartenant à un groupe). Le TTS 1, le plus fréquent (22% des jours), représente surtout les situations d'hiver à forte ΔT ($\approx 10^\circ\text{C}$) et faibles précipitations ($< 1\text{ mm}$). Le TTS 7 (13,3% des jours) concentre surtout les jours secs à forte ΔT ($> 12^\circ\text{C}$), vent faible ($< 1\text{ m.s}^{-1}$) et humidité spécifique forte ($\approx 8,9\text{ g.kg}^{-1}$), c'est-à-dire des jours de forte chaleur sèche. Ce type correspond à la situation météo la plus propice aux extrêmes chauds *i.e.* notamment aux ICU et vague de chaleur sèche. Le TTS 6, le 3^{ème} plus fréquent ($\approx 14\%$), correspond aux autres situations chaudes et sèches, présentes lors des vagues de chaleur mais pas uniquement.

Conclusion

Les fortes chaleurs dans l'aire grenobloise sur la période 2002-2022, associées aux vagues de chaleur et/ou à l'ICU, sont favorisées par une situation météorologique sans précipitation, avec une forte amplitude thermique diurne et un vent faible venant surtout de secteur ouest et sud. Ces situations sont responsables des très fortes chaleurs ($T_X > 35^\circ\text{C}$) estivales et des nuits tropicales ($T_N > 20^\circ\text{C}$) associées aux canicules. Ce travail sur les TTS adapté au contexte local permet aux municipalités d'anticiper des actions opérationnelles comme la protection des habitants face aux fortes chaleurs estivales.

Remerciements : Ce travail est réalisé dans le cadre du projet CASSANDRE financé par l'APR PACT2e (Planifier et Aménager, face au Changement climatique, la Transition des Territoires) de l'ADEME.

Bibliographie

- Copernicus, 2024 : *Global Climate Highlights 2023* [The 2023 annual climate summary]. DOI ici.
- Foissard, X., Rome, S., Bigot, S., & Fouvet, A.-C. (2022). Réseau de mesures et analyses spatio-temporelles de l'ilot de chaleur urbain grenoblois : L'été 2020. *Le changement climatique, les risques et l'adaptation*, 35, vol 2. pp 133-140.
- Hidalgo, J., & Jouglu, R., 2018 : On the use of local weather types classification to improve climate understanding : An application on the urban climate of Toulouse. *PLOS ONE*, 13(12), e0208138. DOI ici.
- IPCC, 2023 : Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability : Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1^{re} éd.). Cambridge University Press. DOI ici.
- Jouglu, R., Hidalgo, J., & Pouponneau, B., 2019 : Identification des situations météorologiques locales pour une cinquantaine de villes françaises. *La Météorologie*, 106, 59. DOI ici.
- Météo-France, 2023 : *Eté 2022 : Les épisodes de chaleur attribués au changement climatique*. Lien ici.
- Rome, S., Bigot, S., Foissard, X., Madelin, M., Duché, S., & Fouvet, A.-C., 2020 : Les deux épisodes caniculaires de l'été 2019 à Grenoble : Constat et perspective pour une gestion des extrêmes thermiques futurs. *Climatologie*, 17, 12. DOI ici.
- Sorel, M., Mittelberger, S., & Kreitz, M., 2022 : Un été 2022 extrêmement chaud. *La Météorologie*, 119, 099. DOI ici.

LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES DU JOURNAL DE PARIS (1777-1792)

Daniel ROUSSEAU

| Conseil Supérieur de la Météorologie, Toulouse, daniel.rousseau.met@orange.fr

Weather observations published in the *Journal de Paris* (1777-1792)

Mots-clés : observations anciennes, température, Paris, Romilly

Keywords: old observations, temperature, Paris, Romilly

Introduction

Pour retracer l'histoire du climat, les mesures météorologiques anciennes réalisées quotidiennement sont particulièrement utiles. Ainsi pour la région parisienne des mesures de température quotidiennes ont été réalisées par divers savants depuis 1658, avant que des organismes officiels ne s'en chargent et ne les archivent selon des normes précises (Observatoire de Paris, Service météorologique). Grâce à la conservation des manuscrits de quelques savants (Boulliau, Morin, Réaumur, Delisle...) et grâce aux publications de mesures dans des revues anciennes (*Mémoires de l'Académie Royale, Journal de Médecine, Journal de Physique...*), Paris dispose de mesures de température de façon presque continue sur une durée de 365 ans. Dans le cadre de la réalisation d'une série de température journalière couvrant toute la période, la communication porte sur les mesures publiées chaque jour dans le *Journal de Paris*, le premier quotidien français, de 1777 à 1792.

1. Le Journal de Paris

C'est en 1777 que fut publié le premier quotidien français sous le titre de *Journal de Paris*. Il était composé de 4 pages. Dès son premier numéro, le quotidien publia, en première page, des observations météorologiques indiquant en particulier la température, la pression, la direction du vent et l'état du ciel de la veille, relevés 3 fois par jour à 7h, midi et 17h.

Le *Journal de Paris* a ainsi publié en tête de chaque numéro des observations météorologiques du 31 décembre 1776 au 9 août 1792, soit durant plus de 15 ans et 7 mois. Il est à souligner l'excellente qualité de la publication qui ne comporte aucune donnée manquante durant cette période de 5701 jours. La facilité de la consultation à distance sous forme numérique de tous les numéros du Journal, grâce au site Gallica de la Bibliothèque Nationale de France doit également être soulignée (Fig. 1).

NUMÉRO I.

JOURNAL DE PARIS.

Du Mercredi 1^{er} JANVIER 1777, de la Lune le 22.

SOLEIL. LUNE.

Lever.	Concher.	Décl. Australe.	Lever.	Coucher.
heures. minutes.	heures. minutes.	degr. min. sec.	heures. minutes.	heures. minutes.
... 7 ... 52 ... 4 ... 8 ...	... 8 ...	22. 57. 47.	... 0 ... 0 ...	... 11 ... 46 ...

Hauteur de la Rivière.* Temps moyen à midi.** Reverberes.

5 pieds 30 pouces. Elle étoit le 30 à 6 pieds. heures. minutes. secondes. min. 4 21 allumés à 4 h. 45 min. du soir, éteints à 1 heure du matin.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES, d'hier.

ÉPOQUES du jour.	Thermomètre.	Baromètre.		Vent.	ÉTAT du ciel.
	degrés.	pouces.	lignes.		
A 7 h. du mat.	3 au-dessous de 0.	27	9	N. O.	Nébulx.
A midi ...	3.	27	10 1/2	N. N. O.	Clair.
A 5 h. du soir.	4.	28	0	N.	Clair.

Eaux de pluie tombées à l'Observatoire dans le courant du mois de Décembre, 1 pouce. 1 l. 2 dixièmes; favoir, 2 lig. 4 dixièmes de moins qu'en Novembre. Le 30 il est tombé 4 pouce. de neige.

Figure 1. Les observations météorologiques en première page du *Journal de Paris*. Source : Gallica.

2. Source des observations du Journal de Paris

Ni l'auteur, ni le lieu où sont réalisées les observations ne sont indiqués dans le Journal jusqu'au premier mai 1788, dans le numéro duquel *Le Journal de Paris* annonce qu'à partir de cette date, ce sont les mesures de l'Observatoire de Paris de l'avant-veille qui seront diffusées dans le Journal. Dans un numéro ultérieur du 10 janvier 1789, des précisions seront indiquées sur le thermomètre utilisé et son emplacement à l'Observatoire.

En réponse à un courrier des lecteurs, l'auteur des observations météorologiques se dévoile dans le numéro du 23 décembre 1781 : il s'agit de Jean Romilly, l'un des 4 fondateurs du Journal, qui était précédemment un horloger réputé à Genève. Confiées à un horloger, les observations diffusées par le *Journal de Paris* se révèlent d'une régularité impressionnante : 5 701 journées d'observations sans aucune interruption, les observations étant réalisées systématiquement à heures fixes : 7h, midi et 17h jusqu'en mai 1788 par Jean Romilly, ce qui ne sera plus le cas pour les mesures de l'Observatoire. Le lieu précis où les mesures sont effectuées n'est pas connu mais, compte tenu de l'heure où elles sont effectuées, il est possible qu'elles le furent où travaillait Romilly, place Dauphine puis à l'hôtel de Grenelle, rue Saint-Honoré Grenelle, siège du Journal (Brondel, 1991 et 1999).

3. Valorisation des mesures de température publiées dans le Journal de Paris

Réaumur conçut en 1730 un thermomètre qui devait permettre de comparer les mesures thermométriques entre elles en utilisant la congélation de l'eau comme repère 0 et le degré comme une proportion fixe du volume de fluide condensé (Réaumur, 1730). Malheureusement le choix qu'il fit de « l'esprit de vin » (alcool), fluide fortement dilatable à la chaleur, pour obtenir un instrument de précision, se fit au détriment de la reproductibilité du thermomètre ; en effet le point d'ébullition de l'alcool étant inférieur à celui de l'eau, la calibration selon la méthode préconisée par Réaumur s'en trouvait faussée (Camuffo, 2020). Ce n'est que vers les années 1780 que l'échelle dite de Réaumur correspondant à une ébullition de l'eau à 80 degrés Réaumur (°R) se généralisa en France, ce qui correspond à un facteur de conversion du °R en °C de 1,25. Calibrer les mesures en les convertissant en °C est dès lors nécessaire pour utiliser les relevés de température de cette époque. En comparant ces mesures à d'autres mesures de température réalisées en région parisienne (*Journal de Médecine, Chirurgie, Pharmacie etc.*) on suppose que Romilly a utilisé de 1777 à 1780 un thermomètre de type Réaumur à facteur de conversion de 1,05, puis de 1781 à 1788 un autre à facteur de conversion de 1,15.

L'invention du thermomètre à maxima et minima n'ayant été diffusée qu'après 1794, la température moyenne de la journée ne peut pas être calculée comme moyenne des extrema de la journée. En utilisant des observations récentes pour lesquelles nous disposons de données horaires, une estimation de la température journalière est obtenue par une régression linéaire multiple en fonction des températures à 7h, 12h et 17h, avec une estimation de l'erreur quadratique moyenne inférieure au demi-degré °C.

À partir des températures publiées dans le Journal de Paris, numérisées puis converties en °C, une série des températures journalières à Paris de 1777 à 1792 a ainsi été réalisée.

Conclusion

Converties en données comparables, les observations météorologiques quotidiennes publiées dans le *Journal de Paris* permettent de retracer l'histoire du climat sous le règne de Louis XVI et ainsi de compléter le témoignage très précieux que celui-ci offre par ailleurs sur la vie des habitants de Paris à cette époque.

Bibliographie

- Brondel N., 1991. Article Journal de Paris in *Dictionnaire des Journaux 1600-1789*, dir. Jean Sgard.
- Brondel N., 1999. Article Romilly in *Dictionnaire des Journalistes (1600-1789)*, dir. Jean Sgard.
- Camuffo D., 2020. Key problems in early wine spirit thermometers and the "true Réaumur" thermometer
- Journal de Médecine, Chirurgie, Pharmacie etc.*, 1777 à 1791. Observations météorologiques.
- Journal de Paris*. 1777 à 1792. Observations météorologiques. 5701 numéros du 1er janvier 1777 au 12 août 1792.
- Réaumur, R.A.F de., 1730 : Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables, et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui puissent être rapportés à des mesures connues , *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 452-507.

INDICATEURS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE À LA PROVINCE DE SETTAT, MAROC

Abdelali SEBBAR¹, Mohamed EL BADR¹, Hassan FOUGRACH², Mohamed HSAINE²,
Kaoutar Hamdi ALAOUI², Wadi BADRI²

1. Direction de la Météorologie Nationale (DGM), BP 8106-Casa Oasis; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani, Casablanca, Maroc, sebbar202@gmail.com

2. Université Hassan II- Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sick, Laboratoire d'Écologie et d'Environnement (LEE), b1.wadi@hotmail.fr

Climate warming indicators in the province of Settat

Mots-clés : indicateurs, réchauffement, Maroc, température maximale quotidienne

Keywords: indicators, warming, Morocco, maximum daily temperature

Introduction

Ces dernières années, le Maroc a connu une multiplication des événements extrêmes à savoir ; les inondations, les sécheresses et plus particulièrement, les vagues de chaleur (Sebbar *et al.*, 2019). En outre, en 2023, des records thermiques ont été enregistrés, dépassant 50°C. Par conséquent, les systèmes humains et naturels marocains sont devenus très vulnérables à cette évolution en raison de leurs capacités d'adaptation trop limitées (GIEC, 2007). Dans ce cadre nous proposons d'étudier l'évolution à différentes échelles temporelles (annuelle et mensuelle), de la fréquence des températures maximales quotidiennes : $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$; $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{\max} \geq 40^{\circ}\text{C}$ sur la période qui s'échelonne de 2000 à 2022. Nous avons choisi les mois de mai, juin, juillet, août, septembre, et octobre puisqu'ils représentent généralement la période sèche de l'année.

1. Base de données et méthodologie

Elle se compose des températures quotidiennes de la station météorologique de Settat du réseau de la Direction Générale de la Météorologie (2000-2022). La zone d'étude, située au centre ouest du Maroc sur une altitude qui varie de 200 à 550 m. Elle est caractérisée par un climat de type continental semi-aride. Les étés sont chauds avec des températures maximales allant de 35°C à 46°C et les hivers frais de 5°C à 15°C (Sebbar *et al.*, 2018). Les précipitations sont faibles et très variables d'une année à l'autre (Knippertz *et al.*, 2003). Elles sont de l'ordre de 360 mm en moyenne. Nous avons calculé les fréquences des températures maximales quotidiennes pour les mois cités ci-dessus selon les seuils suivants : $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$; $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{\max} \geq 40^{\circ}\text{C}$, analysé les tendances à travers la tendance linéaire et appliqué le test de Mann Kendall pour déceler d'éventuelle significativité.

2. Résultats et discussion

D'après le Tableau 1, il ressort que la totalité des mois présente une tendance à la hausse de la fréquence des températures enregistrées à l'exception du mois de juin qui a signalé une tendance à la baisse de la fréquence des températures $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$. Toutefois il convient de signaler que les mois de mai, septembre et octobre présentent une hausse importante mais significative pour le mois de septembre. Ceci concorde avec les records enregistrés au cours des saisons de printemps et de l'automne. Tandis que, le mois de juillet a signalé une tendance à la hausse non significative pour les $T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{\max} > 40^{\circ}\text{C}$.

Tableau 1. Tendances des fréquences et leurs significativités selon le test de Mann Kendall

Mois	$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$		$T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$		$T_{\max} > 40^{\circ}\text{C}$	
	Pente	P Value de MK	Pente	P Value de MK	Pente	P Value de MK
Mai	+0,28	0,06	----	0,88	----	0,51
Juin	-0,34	0,16	-0,16	0,15	----	0,40
juillet	+0,11	0,41	+0,24	0,12	+0,12	0,36
Aout	+0,15	0,56	+0,18	0,56	----	0,30
Septembre	+0,20	0,03	----	0,58	----	0,91
Octobre	+0,20	0,80	+0,10	0,19	----	0,94

Cette élévation des fréquences de température maximale se traduit parfois par des vagues de chaleur intenses, ce qui augmente le pouvoir évaporant dans cette zone à vocation agricole et par conséquent, la réduction des ressources en eau et l'assèchement du milieu. Ceci concorde avec les résultats obtenus par Sebbar *et al.*, 2011. De plus, la Figure 1 montre la hausse des fréquences au milieu de la saison du printemps et au début de la saison

d'automne. Ainsi une étude plus détaillée de point de vue temporel (décadaire) sera d'une grande utilité pour émettre des hypothèses sur ce réchauffement à la province de Settat.

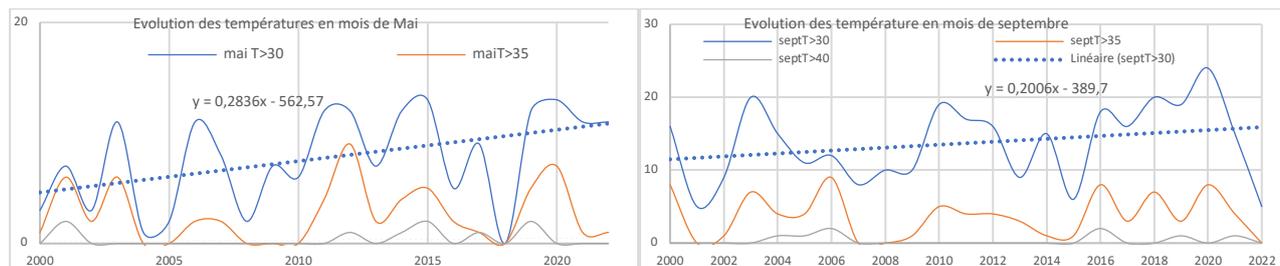


Figure 1. Évolution des températures maximales pour les mois de mai et de septembre dans la province de Settat

Conclusion

L'emploi de ces indices a permis de montrer que la région Centre Ouest du Maroc subit des changements environnementaux très sensibles, notamment, la hausse des températures. Ainsi l'élévation des fréquences des $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$; $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{\max} \geq 40^{\circ}\text{C}$, confirme un changement climatique, se manifestant par la multiplication des événements extrêmes de sécheresse très observée actuellement au Maroc.

Bibliographie

- GIEC, 2007 : Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change. www.ipcc.ch.
- Knippertz P., Christoph M., Speth P., 2003 : Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climate. *Meteorology and Atmospheric physics*, **83**, 67-88.
- Sebbar A., Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., 2011 : Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 – 2004). *Sécheresse*, **22**, 139-48.
- Sebbar A., Fougrach H., Hsaine M., Badri W., 2012 : Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. *Actes du XXV^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Grenoble, 709-714.
- Sebbar A., Ouattab M., Dahman A., Ilmen R., Saloui A., Hsaine M., 2019 : Evolution des températures observées et projections futures - Région de Casablanca-Settat (Maroc), *AIC*. 2019 Thessaloniki, 33-38.

LE CLIMAT DE LA FRANCE À +4°C

Jean-Michel SOUBEYROUX, Lola CORRE, Agathe DROUIN, Sébastien BERNUS,
Paola MARSON

Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, 42 av Coriolis 31057 Toulouse Cédex, France,
prenom.nom@meteo.fr

France's Climate at +4°C

Mots-clés : changement climatique, trajectoire d'adaptation, Explore2, DRIAS

Keywords: climate change, adaptation trajectory, Explore2, DRIAS

Introduction

Le dernier rapport du GIEC (AR6, IPCC 2021) a mis en avant une approche visant à documenter le climat de la planète pour différents niveaux de réchauffement. L'objectif est de décrire le climat dans un monde à un niveau de réchauffement donné, plutôt qu'à une échéance et pour un scénario d'émissions donné. Cette approche repose sur l'hypothèse selon laquelle, à un niveau de réchauffement planétaire donné, les changements climatiques, leurs impacts et les risques qui y sont liés sont les mêmes pour tous les scénarios d'émissions envisagés et indépendants du moment où ce niveau est atteint. Il a été montré que cette cohérence est plus élevée pour les variables liées à la température que pour celles du cycle hydrologique (IPCC 2021, Cross-Chapter Box 11.1)

La trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation de la France (TRACC) définie par le Ministère de la Transition Écologique au printemps 2023 vise à fixer un référentiel commun à tous les secteurs et territoires pour les actions d'adaptation au réchauffement climatique. Elle repose sur une approche par niveau de réchauffement planétaire. Au vu des éléments fournis par le GIEC, trois niveaux de réchauffement ont été retenus : un niveau de réchauffement planétaire de +1.5°C à l'horizon 2030, de +2°C à l'horizon 2050, de +3°C à l'horizon 2100 (référence 1850-1900). L'écart entre le réchauffement sur la France métropolitaine et le réchauffement au niveau planétaire a ensuite été estimé à partir des données de la température moyenne planétaire et de la température moyenne France (Ribes *et al.*, 2022). Ainsi, la TRACC prend en compte une trajectoire de réchauffement de +2°C (référence 1900-1930) pour la France métropolitaine à l'horizon 2030, +2,7°C à l'horizon 2050 et +4°C à l'horizon 2100.

Un jeu de simulations climatiques issues de l'ensemble défini pour le projet Explore2¹ a ensuite été utilisé et mis à disposition sur le portail DRIAS² pour décrire l'évolution des différents indicateurs climatiques pour décrire le climat de la France aux différents niveaux de réchauffement attendus.

Ce résumé présente dans un premier temps les données et les indicateurs utilisés pour la TRACC puis la description du climat de la France à +4°C (moyennes et extrêmes) ainsi que différentes incertitudes.

1. Les données climatiques Explore2 pour la TRACC

Le jeu de données Explore2-ADAMONT, utilisé pour la TRACC, correspond à une extension du jeu DRIAS-2020 (Soubeyroux *et al.*, 2021), reposant sur un sous ensemble de simulations EURO-CORDEX-CMIP5, disponibles pour trois scénarios climatiques (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5), corrigées et projetées sur une grille de 8 km de résolution de résolution sur la France métropolitaine à partir de la méthode ADAMONT (Verfaillie *et al.*, 2017). Dans le cadre du projet Explore2, sept couples supplémentaires ont été ajoutés, notamment pour permettre de mieux analyser les incertitudes et prendre en compte des simulations régionales plus récentes. Deux couples ont, au contraire, été écartés, car leurs projections de température et précipitations (pour la période estivale) étaient en dehors des intervalles de confiance des projections CMIP6. Pour que l'ensemble soit constitué des mêmes simulations quel que soit le niveau de réchauffement ciblé, seules les projections pour le scénario de fortes émissions (RCP8.5) sont utilisées dans le cadre de la TRACC. Ce scénario a été choisi car c'est celui pour lequel le plus grand nombre de simulations sont disponibles (17 couples GCM/RCM), et le seul qui permet de traiter des niveaux de réchauffement planétaire élevés (+3°C notamment).

Pour décrire le climat de la France à +4°C, une douzaine d'indicateurs climatiques ont été calculés pour caractériser la température moyenne et les cumuls de précipitation aux pas de temps annuel et saisonnier ainsi que

1. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

2. <https://www.drias-climat.fr/>

différents indicateurs d'extrêmes ou d'impacts. L'ensemble des données et indicateurs ont été publiés et décrits sur le portail DRIAS dans les trois espaces Accompagnement, Découverte et Données et Produits.

2. Les données climatiques Explore2 pour la TRACC

Pour chaque indicateur, la médiane et l'enveloppe basse et haute de la distribution (5^e et 95^e quantile) sont documentées. En matière de température, il apparaît un contraste géographique (plus chaud dans le sud-est, moins chaud dans le nord-ouest) et saisonnier (hausse plus importante en été qu'en hiver). En matière de précipitation (Fig. 1), le cumul annuel présente une évolution faible alors que les contrastes saisonniers augmentent (hausse en hiver, baisse en été). On note cependant une dispersion importante entre l'enveloppe haute et basse de la distribution, tout en conservant un gradient nord-est/sud-ouest (plus de pluie au nord, moins de pluie au sud). Le nombre de jours de vagues de chaleur, comme les autres extrêmes thermiques, présente une augmentation forte, d'un facteur 10 en 2100 par rapport à 1976-2005. Le nombre de jours de sol sec, indicateur de la sécheresse du sol, est également en hausse sensible de 30 à 45 jours selon les territoires. L'intensification des extrêmes concerne aussi les fortes précipitations avec une augmentation du maximum annuel de précipitation quotidienne entre +7% et +19%.

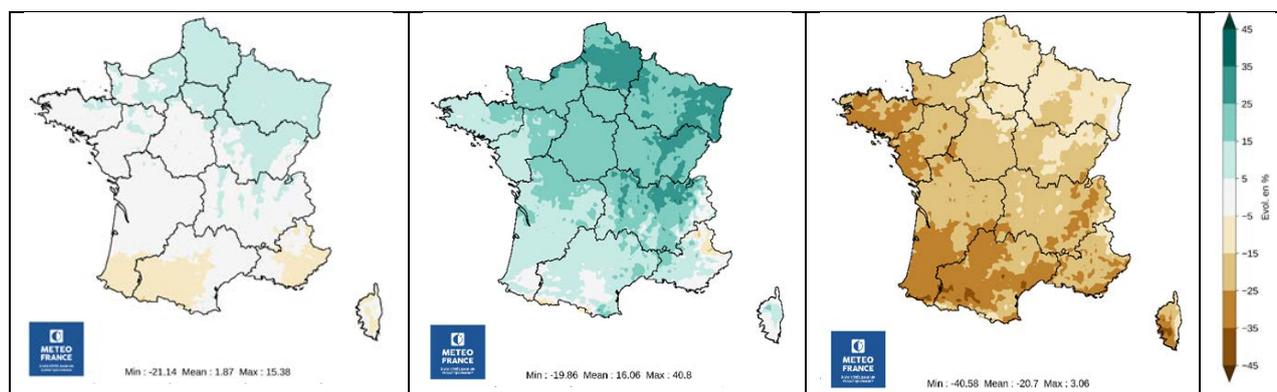


Figure 1. Évolution du cumul de précipitation aux pas de temps annuel à gauche, hiver au centre, été à droite pour la médiane de l'ensemble TRACC à l'horizon 2100 par rapport à la référence 1976-2005. Les valeurs moyennes, minimales et maximales pour l'ensemble des mailles sont indiquées pour chaque carte.

Ces résultats sont commentés sur le portail DRIAS¹ et feront l'objet d'un rapport public prévu à l'automne 2024.

Bibliographie

GIEC, 2021 : Résumé à l'intention des décideurs. In: Changement climatique 2021: les bases scientifiques physiques : contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>

Ribes, A., Boé, J., Qasmi, S., Dubuisson, B., Douville, H., and Terray, L. (2022). An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 1397–1415, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>.

Soubeyroux, J.-M., Bernus, S., Core, L., Drouin, A., Dubuisson, B., Etchevers, P., Gouget, V., Josse, P., Kerdoncuff, M., Samacoits, R et Tocquer, F, 2021, Les nouvelles projections climatiques de référence Drias 2020 pour la métropole. <http://www.drias-climat.fr/document/rapport-DRIAS-2020-red3-2.pdf>

1. <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/402>

COASTAL CLIMATES AS AGENTS AGAINST CLIMATE CHANGE IN SOUTHERN URUGUAYAN VITICULTURAL REGIONS

Ramiro TACHINI^{1,2}, Valerie BONNARDOT², Hervé QUENOL², Mercedes FOURMENT¹

1. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Av. Garzón 780, CP 12900 Montevideo, Uruguay

2. Université Rennes 2, LETG-UMR 6554 CNRS, 2 Place Recteur Le Moal, 35 043 Rennes Cedex, France
rtachini@fagro.edu.uy

Le climat côtier comme agent d'atténuation du changement climatique dans les régions viticoles du sud de l'Uruguay

Mots-clés : viticulture, changement climatique, brise de mer, composition des baies, Uruguay

Keywords: viticulture, climate change, sea breeze, berry composition, Uruguay

Introduction

Climate is one of the main elements of the terroir that conditions the quality and quantity of wine production (Van Leeuwen & Seguin, 2006). Hot summers, mainly with numerous hours above 30°C, cause rapid grape ripening, resulting in wines with high alcohol content, low acidity and poor aromatic performance (Blancquaert *et al.*, 2018). Due to global warming, hot summers and spring frost risk are becoming increasingly recurrent in different parts of the world, directly affecting wine production worldwide. This has led the global wine industries to search for new sites offering better conditions for grapevine growing (Santos *et al.*, 2020). This work aimed to assess the response of two vineyards in climate contrasting sites on the Uruguayan coast during 2023 vintage, a hot summer.

1. Material and methods

Two vineyards were selected: the first one in Southern Uruguay, Canelones (C) (a traditional wine-growing region, 25 km from the estuary of the Rio de la Plata) and the second one in Eastern Uruguay, 200 km to the east and 20 km from the Atlantic Ocean near Pueblo Garzón (O). At each site, meteorological stations recorded agroclimatic parameters over a 32-year period during growing seasons (GS). To study the 2023 GS, a Tiny Tag Data Logger temperature sensor were installed in 14 plots of Tannat and Albariño cultivars (7 in each cultivar). Twelve of the sensors were located in the O region, including 6 located at high elevation (H) exposed to oceanic winds and 6 located at lower altitude and more sheltered from sea wind circulation (L). The remaining 2 sensors were installed in C, on flat terrain. Based on data from weather stations and temperature sensors, bioclimatic indices adapted to grapevine cultivation were calculated, as Growing Degree Days, Temperature average during the growing season (from 1st sept. to 15th March), Huglin Index, and Number of hours above 30°C, 35°C and 40°C as a threshold for grapevine physiology activity. We also quantified sea breeze events. For that, we measured the temperature decrease at the time of daily maximum temperature (between 12 pm and 16 pm local time) and classified it into three categories of intensity (0.5°C, 1°C and 1.5°C of decrease). In order to study the Tannat and Albariño responses to local and seasonal climate conditions, weekly measurements of grape composition during the ripening period were made until harvest.

2. Results

Based on climatic data from the weather stations of the past 32 GS, there were no significant differences between regions C and O in terms of the GS mean temperature and thus cumulated degree days; two parameters that are commonly used to assess climate potential of region for viticulture and/or to select the best suited varieties for planting (Jones, 2006). However, significant statistical differences were observed in the minimum and maximum GS temperature, the thermal amplitude of the ripening period, the Cool Night Index, the Huglin Index and the maximum summer temperature. On average, the summer in the Atlantic coast (O) is 2°C cooler than in the traditional region of the Rio de la Plata estuary (C). At both sites, the 2023 GS was the warmest growing and grape ripening seasons of the past 32 years. The average GS temperature was between 1.3°C and 1.5°C above average, while the summer maximum temperature was between 1.7°C and 1.5°C above average, for O and C respectively. At the vineyard level (meso-climate temperature sensors), the 2023 summer maximum temperature was 3.2°C higher in C than in O. In C, more than 343 hours above 30°C (of which 119 hours above 35°C) were recorded compared to O. Temperature reached 40°C and beyond 10 times at C, while this severe and stressful thermal threshold for vineyard was not reached at O. Within the O region, plots at high elevation showed a maximum

difference of 90 hours less with temperature above 30°C and 10 hours less above 35°C compared to lower sites. A greater frequency of sea breeze circulation was recorded in O than in C (42 more events with a 0.5°C decrease, 20 more events with a 1°C decrease and 26 more events with a 1.5°C decrease. Within the O region, the high elevation sites had an average of 13 more events with a 0.5°C decrease, 9 with a 1°C decrease and 4 with a 1.5°C decrease compared to sites at lower locations. Specifically for a heat wave period (9- Feb to 12-2 Feb), Figure 1 shows the evolution of the temperature on mean sensors in C, H and L during the grape ripening period. These climate conditions impacted grape ripening resulting in Tannat (Albariño) being harvested 15 days (10) earlier in C compared to O. Regarding grape composition, in C, Albariño presented 0.9° more probable alcohol, and Tannat 1.3° more on average compared to O. Within O, plots at lower elevations presented a greater alcohol potential of 0.1° more in Albariño and 0.7° more in Tannat compared to cooler plots at high altitude facing the Ocean influence. As for total acidity, Albariño was 3.2 g/L and Tannat 1.4 g/L more acidic in O than in C. Within O, Tannat and Albariño's grapes from the cooler plots were more acidic by 0.7 g/L.

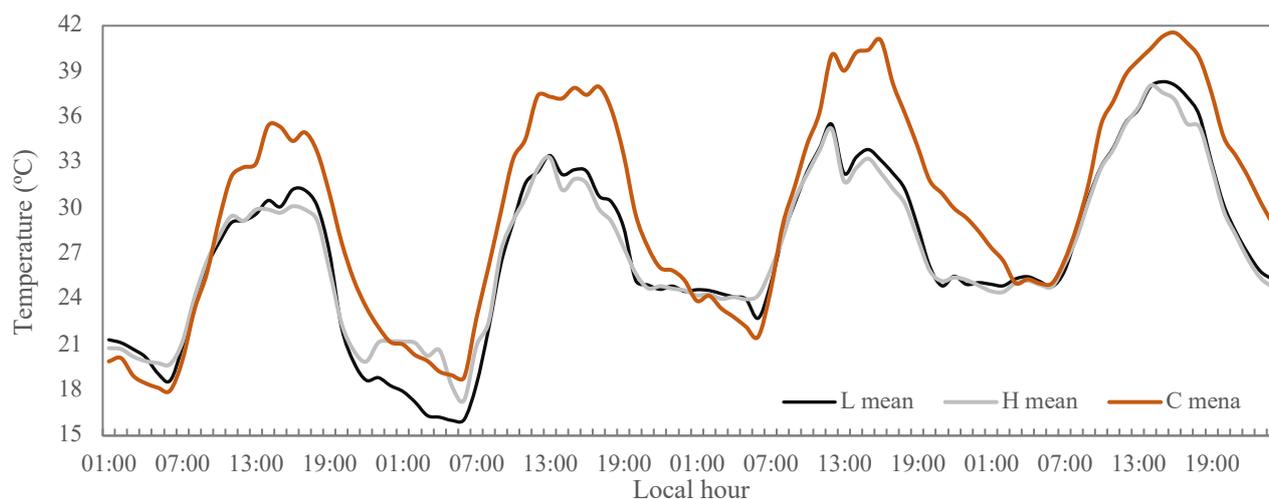


Figure 1. Temperature evolution during a heat wave during the grape ripening period (9-Feb to 12-Feb) for the mean of the sensors in L, H and C.

Conclusion

In the context of increasing frequency of hot summers (IPCC, 2021), the search for new cooler terroirs becomes a concern for obtaining balanced quality products. In this way, the Atlantic Ocean and its influence, particularly the development of sea breeze air circulations during hot summer days, becomes relevant to face the increasing frequency and intensity of extreme events caused by climate change. Within the global climate change context and regional impacts, this study resulted in the identification of an area with a high oenological potential, which is relevant for the country's medium- and long-term production.

Acknowledgements: Thanks are due to the Comisión Secotiral de Investigación de la Universidad de la República de Uruguay, the Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay and Garzón winery.

Bibliography

- Blancquaert, E. H., Oberholster, A., Ricardo-da-Silva, J. M., & Deloire, A. J., 2018: Effects of Abiotic Factors on Phenolic Compounds in the Grape Berry – A Review. *South African Journal of Enology & Viticulture*, **40** (1).
- IPCC, 2021: Report IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jones, G. V., 2006: Climate and terroir: impacts of climate variability and change on wine. *Geoscience Canada Reprint Series*, **9**, 203-217.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R., 2020: A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Applied Sciences*, **10**(9), 3092.
- Van Leeuwen, C., & Seguin, G., 2006: The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, **17**(1), 1–10.

IMPACT SANITAIRE DES INONDATIONS DANS LA VILLE D'ABOISSO AU SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE

Sophie Pulchérie TAPÉ, Kalitia Fatoumata SEKONGO

| Université Peleforo GON COULIBALY (Korhogo - Côte d'Ivoire), pultap78@yahoo.fr, kalitiasekongo@gmail.com

Health impact of floods in the town of Aboisso in the south-east of Côte d'Ivoire

Mots-clés : Aboisso, Côte d'Ivoire, impact sanitaire, inondation

Keywords: Ivory Coast, health impact, flooding

Introduction

L'un des effets climatiques les plus répandus en Afrique sont les inondations. Causées généralement par la forte pluviométrie, le débordement des cours d'eau, un site relativement plat et une proximité de la nappe phréatique (Tapé *et al.*, 2023), celles-ci sont amplifiées par de nombreux facteurs anthropiques (Tapé, 2023). C'est le cas de la ville d'Aboisso qui depuis 2018 fait face à cette catastrophe naturelle. Toutefois, la récurrence de ce phénomène d'origine hydrique avec ses corollaires de mise à disposition et de prolifération d'agents pathogènes constitue une préoccupation pour les populations. En effet les débordements d'eaux usées causées par les inondations augmentent le risque de maladies infectieuses (AEE, 2020). La présente étude a donc pour objectif d'évaluer l'impact sanitaire des inondations émanant des déterminants climatiques et anthropiques dans la localité d'Aboisso. Pour se faire, des enquêtes environnementales et sanitaires ont été menées.

1. Données et méthode

La démarche méthodologique de notre étude s'est basée sur les méthodes de collecte de données quantitatives et qualitatives. En effet, cette collecte de données a d'abord débuté par la constitution d'une base documentaire. Il s'est agi concrètement de consulter et d'analyser des ouvrages, thématiques et techniques (les données de la SODEXAM de 2018 à 2022, les rapports médicaux des principaux centres de santé et les données épidémiologiques de 2020 à 2023). Les informations recueillies nous ont permis d'analyser l'évolution pluviométrique, et de connaître les pathologies auxquelles sont exposées les populations. Les enquêtes de terrain exécutées aux mois de novembre et décembre 2023 se sont réalisées à travers des entretiens avec les autorités administratives et municipales de la localité ; et à l'aide de questionnaires administrés à un échantillon de 150 chefs de ménage en utilisant les méthodes de quota et de choix raisonné. La ville compte 19 sous-quartiers regroupés en 7 grands quartiers. Les critères de sélection ont pris en compte la taille des ménages par quartier (Rive gauche (50), Eboikro (30), Sokoura (25)), les quartiers les plus exposés aux inondations (Koliahiwa (15), Rive gauche, Travaux publics (20), Commerce (10) et les quartiers les plus insalubres (Eboikro, Koliahiwa, Commerce, Rive gauche). Le questionnaire a porté sur la gestion des déchets, l'évolution annuelle des quantités d'eau de pluie, les inondations des sites à risque et les maladies inhérentes. Pour le traitement des données collectées, nous avons eu recours au logiciel Excel 2013 pour la réalisation des tableaux statistiques, au logiciel sphinx 4.5 pour la conception des questionnaires et au logiciel Q GIS version 3.12 pour la confection des cartes. La méthode d'analyse des résultats est l'approche empirico-inductive.

2. Les facteurs des risques sanitaires

2.1. Les facteurs environnementaux

Située au sud-est de la Côte d'Ivoire, l'aire urbaine d'Aboisso est divisée en deux rives par le fleuve côtier Bia. Elle est, par ailleurs, dominée par un relief accidenté ; alternant de hautes collines et des vallées. La ville se situe également en aval des barrages hydroélectriques d'Ayamé 1 et 2 qui retiennent des volumes d'eau de près d'un milliard de m³. Son site accidenté et la présence des nombreux plans d'eau rendent l'air d'étude vulnérable aux inondations. De plus, la localité connaît une forte pluviométrie, car elle enregistre en moyenne 1 265,8 mm de pluie par an. Aboisso subit donc les impacts de crue du fleuve en saison pluvieuse ou de déversement des eaux des barrages hydro-électriques situés en amont de la ville. En effet, lorsque les barrages atteignent le seuil limite de stock d'eau ou la côte-seuil d'eau à emmagasiner, ils sont ouverts pour évacuer le trop-plein d'eau. Les populations les plus touchées de l'espace d'étude sont celles localisées sur les rives du fleuve. Ainsi, 65% des enquêtés ont révélé avoir été touchés par ces inondations.

2.2. Les facteurs anthropiques

À ces facteurs environnementaux, s'ajoutent les nombreux facteurs comportementaux des populations à savoir la mauvaise gestion des ordures ménagères et les problèmes d'ordre urbanistique qui sont entre autres l'insuffisance des voies de canalisation dans la ville. En effet, la population d'Aboisso, par le rejet des ordures ménagères dans les canaux d'évacuation déjà en nombre déficitaire, empêche le ruissellement normal des eaux pluviales causant ainsi leur débordement ; d'où l'observation des cas d'inondations dans des entités spatiales de l'aire d'étude notamment les quartiers Rive gauche, Travaux publics (TP) et Commerce. En somme, la mauvaise gestion d'une grande production de déchets ménagers et l'insuffisance des voies de canalisation des eaux pluviales combinées à une pluviosité importante et une crue des eaux fluviales de la Bia, transforment le paysage urbain d'Aboisso en un lieu insalubre ; l'exposant à diverses maladies.

3. Les pathologies en présence

Les inondations que connaît la ville d'Aboisso, ajoutées à la dégradation et l'insalubrité de son cadre de vie, ont des incidences sur la santé des populations. Les pathologies en présence sont le paludisme (59%) qui est la première cause de consultation, les maladies respiratoires ou les IRA (21%) et diarrhéiques (5%) ainsi que l'anémie (15%). Les quartiers Eboikro, Commerce et Rive gauche sont les plus touchés par le paludisme. En effet, selon les rapports annuels d'activités du Centre Hospitalier Régional (CHR) d'Aboisso en 2023, 78% des consultations pour le paludisme proviendraient de ces 3 quartiers. Quant aux maladies diarrhéiques, les quartiers qui en pâtissent le plus sont Koliahiwa et Sokoura. La population vulnérable est surtout les enfants de moins de 10 ans.

Conclusion

Les déterminants des inondations à Aboisso sont d'abord d'ordre hydroclimatique, mais aussi anthropique. Et l'impact sanitaire de ces inondations est très palpable et non négligeable dans la localité. Pour notre part, les autorités compétentes devraient améliorer les modes de gestion de ces déchets, réaliser encore plus de voies de canalisation linéaire pour l'évacuation des eaux pluviales, sensibiliser les populations sur les dangers liés à l'insalubrité et les former aux stratégies d'adaptation et d'atténuation du risque hydrique permanent que constituent les inondations. Tout ce processus devrait parvenir à une résilience durable des habitants d'Aboisso face aux menaces hydriques et sanitaires émanant des inondations.

Bibliographie

AEE (2020), Adaptation urbaine en Europe : comment les villes réagissent au changement climatique.

TAPE Sophie Pulchérie, 2023, facteurs environnementaux et problèmes sanitaires à Ayamé (sud-est de la Cote d'Ivoire), Edition ARME, vol 7 n°1, pp 250-266

TAPE Sophie Pulchérie, SEKONGO Kalitia Fatoumata, Kouassi Christ Hervé C., 2023, *L'impact des catastrophes naturelles hydriques sur la ville de grand-Bassam (Cote d'Ivoire)*, Edition ACAREF vol.5, pp. 149-164.

LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES : ÉVOLUTION DU PHÉNOMÈNE ET DE SA PRISE EN COMPTE PAR LES ACTEURS

Léa THOREL¹, Freddy VINET²

1. MRN / UR Lagam Université Paul Valéry Montpellier 3, route de Mende 34199 MONTPELLIER cedex 5, lea.thorel@mrn.asso.fr

2. UR Lagam Université Paul Valéry Montpellier 3, route de Mende 34199 MONTPELLIER cedex 5, freddy.vinet@univ-montp3.fr

Is clay swelling still a major « natural » hazard?

Mots-clés : sécheresse, dommages, changement climatique, France

Keywords: drought, damage, climate change, France

Introduction

Le Retrait-Gonflement des Argiles (RGA) occupe une part de plus en plus importante de la sinistralité liée aux événements climatiques. Il se caractérise par des mouvements du sol engendrés par une variation de sa teneur en eau. En climat tempéré, la teneur en eau du sol est souvent élevée ce qui entraîne une saturation fréquente des argiles. Les mouvements entraînant les dommages sont donc causés par la rétraction en période de sécheresse. Cela lui confère une sensibilité forte aux effets du changement climatique (Gourdier et Plat, 2018). Selon le 6^{ème} rapport du GIEC, les canicules, les précipitations intenses et les périodes de sécheresse sont davantage extrêmes. On le remarque notamment en France par la succession d'épisodes de sécheresse particulièrement intenses sur la décennie. Sur les 8 années de sécheresse les plus coûteuses en France, 6 sont postérieures à 2016. Pourtant bien que le cadre législatif soit en forte progression sur le sujet, il tend à associer le RGA à la seule contrainte constructive et non plus à la gestion d'un risque « naturel ». Cette communication présente une caractérisation de l'aléa et de la sinistralité RGA en France métropolitaine et envisage son évolution réglementaire depuis une « catastrophe naturelle » vers un risque de la construction. Cette évolution marque une certaine banalisation du phénomène au grand dam des sinistrés mal accompagnés.

1. Caractérisation de l'aléa et de la sinistralité

Les mouvements de rétraction et de gonflement des sols argileux sont lents, ils peuvent durer plusieurs semaines voire mois. Cette cinétique engendre une particularité qui complexifie l'indemnisation de ce risque. D'autres pays comme l'Espagne ou le Royaume-Uni ne le prennent pas en compte puisqu'ils estiment que le phénomène est prévisible car il est progressif et cartographié.

Pourtant, on remarque une extension de la spatialisation de la sinistralité RGA sur des territoires où le risque n'est historiquement pas attendu. Sur la dernière décennie, le phénomène marquant est l'extension des communes reconnues de l'état de catastrophes naturelles¹ à la quasi-totalité du territoire national. La sinistralité va donc au-delà des bassins aquitain ou parisien traditionnellement impactés (Fig. 1).

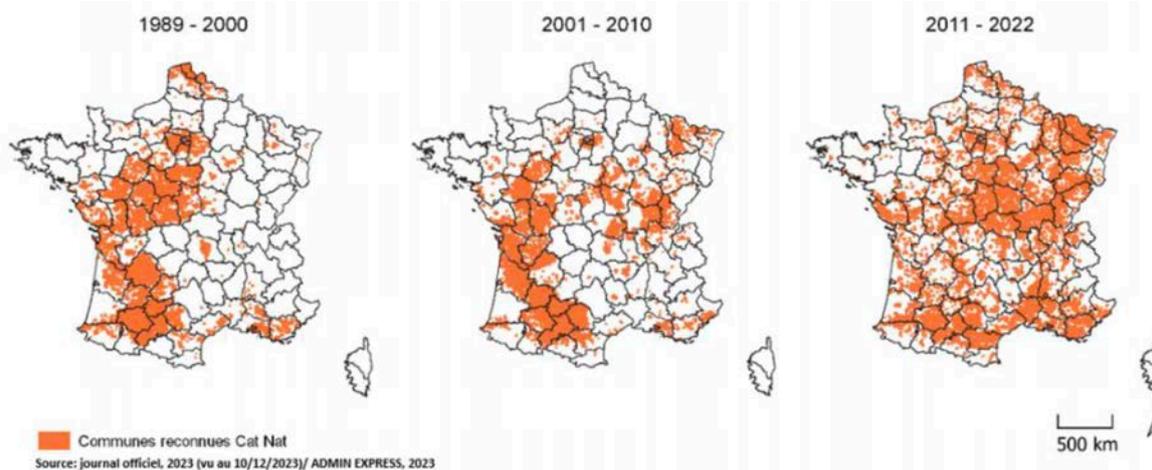


Figure 1. Répartition des arrêtés catastrophes naturelles RGA selon les décennies.

1. Au titre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles

2. Du risque « naturel » à la contrainte constructive

Un risque majeur se définit par deux notions : sa gravité, qui peut être mesurée par un coût ou par le nombre de victimes, et son imminence. Bien que le RGA impacte chaque année un nombre important d'habitations, il ne met pas directement en danger la vie des personnes. Le caractère imminent du risque RGA est également discuté du fait de sa cinétique lente. En ce sens, le législateur ne considère pas le RGA comme une « catastrophe » éligible au Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (dit Fonds Barnier).

La réglementation tend également à cantonner la gestion du risque RGA au domaine de la construction. Ainsi, la loi ELAN de 2018 rend obligatoire la réalisation d'une étude géotechnique préalable en cas de vente ou d'achat d'un terrain constructible. Si l'étude géotechnique fournit des recommandations, le constructeur est dans l'obligation de respecter « des techniques particulières de construction fixées par voie réglementaire ». Depuis la promulgation de cette loi, les pouvoirs publics considèrent davantage le RGA comme une contrainte à prendre en compte lors de la construction.

Conclusion

L'évolution réglementaire consacre en quelque sorte une singularisation de ce risque au regard des autres risques « naturels » à cinétique plus rapide. D'un risque « naturel » le RGA devient une contrainte constructive. Toutefois, les règles constructives qui permettent de prévenir le RGA sont imparfaites et non rétroactives. Elles ne concernent que l'habitat futur et ne règlent en rien le risque susceptible d'affecter des millions d'habitations exposées en France (MRN, 2023). Une stratégie nationale de prévention est donc nécessaire pour pallier la recrudescence de ce risque et éviter des drames individuels liés à la perte de son habitation.

Bibliographie

- Gourdière S., Plat E., 2018 : Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles. *Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur (JNGG)*, 5-7.
- IPCC., 2023 : *Synthesis report of the IPCC sixth assessment report*, International Panel on Climate Change, 12-13.
- MRN., 2023 : Diagnostic pour l'adaptation des habitations au retrait-gonflement des argiles avant dommages – Rapport méthodologique, 42 pages.

IMPACTS DE LA VARIABILITÉ DE LA PRÉCIPITATION SUR LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DE *UAPACA BOJERI*, AMBATOFINANDRAHANA, MADAGASCAR

Onjamalala Dimby TOJOALINJANAHARY¹, Myria RASOAVOLOLONJANAHARY¹, Mananjanahary ANDRIAMIFIDY¹, Rindra RANDRIAMIFIDISON², Lily RENE DE ROLAND³

1. Université de Toliara, Madagascar/ l'Ecole Doctorale de Biodiversité et Environnement, maonja@gmail.com, myriaflore@yahoo.fr, amanajanahar@yahoo.fr

2. Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra Madagascar, rindrandriamifidison@yahoo.fr

3. ONG Environnementale The Peregrine Fund

Impacts of precipitation variability on seedling growth in *Uapaca bojeri* forest, Ambatofinandrahana, Madagascar

Mots-clés : précipitation, régénération, *U bojeri*, Madagascar

Keywords: precipitation, seedling growth, *U bojeri*, Madagascar

Introduction

À Madagascar, les formations forestières sont caractérisées par une grande diversité des écosystèmes. La forêt de *Tapia*, dominée par l'espèce *Uapaca bojeri* (Euphorbiaceae), est une formation sclérophylle de moyenne altitude, limitée aux hautes-terres malgaches au nord et jusqu'à Isalo au sud (Razafimanantsoa, 2013). Cependant, une diminution de la couverture forestière malgache due au défrichement et des feux sauvages est constatée et le dérèglement climatique ne fait qu'aggraver la situation. La forêt de *Tapia* fait partie des écosystèmes les plus touchés par ces perturbations d'origine anthropique et naturelle (Kull *et al.*, 2005).

L'objectif de ce travail est d'évaluer la régénération naturelle de la forêt de *Tapia* par rapport aux variabilités de la précipitation dans la zone.

1. Méthodologie

La régénération naturelle est l'ensemble des processus par lesquels les plantes se reproduisent naturellement sans intervention sylvicole (Rollet, 1983). Au total, 1ha a été inventoriée pour l'ensemble de la zone d'étude, dans le District d'Ambatofinandrahana, dont 2 000m² pour chaque site (20 quadrats de 10m x 10 m). Le taux de régénération (TR) se définit en termes de pourcentage du nombre des individus régénérés (Nr) avec un diamètre inférieur ou égal à 2,5 cm par rapport au nombre des individus semenciers (Ns). Ainsi, l'échelle d'évaluation, selon Rothe en 1964 est la suivante :

Si T.R. > 1000% la régénération est qualifiée très bonne

Si 100% ≤ T.R. ≤ 1000% la régénération est bonne

Si 10% ≤ T.R. ≤ 100% la régénération est faible

Quant aux données climatiques, les paramètres considérés sont la température (T) moyenne et la précipitation (P) annuelle pour la zone d'étude, ils sont issus du portail du Groupe de la Banque Mondiale (le site « Climate Change Knowledge Portal - CCKP for Development Practitioners and Policy Makers ». Pour démontrer quantitativement le lien entre les variables P et T avec le TR, le coefficient de corrélation (Coef C) a été calculé. Si la valeur de Coef C est proche de -1, il a une forte corrélation négative entre deux variables, si elle est proche de 1, une corrélation positive ; une valeur proche de 0 signifie aucune corrélation.

Pour vérifier l'impact de la précipitation sur la régénération naturelle, un test de germination a été effectué avec 300 graines collectées au niveau du site. 50% des graines sont trempées dans de l'eau pendant 5 jours et 50% pendant 10 jours.

2. Résultats et discussions

La figure ci-dessous montre qu'il y a une interdépendance entre le taux de régénération naturelle de *Tapia* et la fluctuation de la précipitation durant les cinq dernières années. Le taux de régénération varie d'une année à l'autre (Fig. 1), avec une valeur maximum de 75% en 2021. D'après l'échelle d'évaluation de Rothe, ce taux est largement inférieur à 100%, donc la régénération naturelle de *Tapia* est faible.

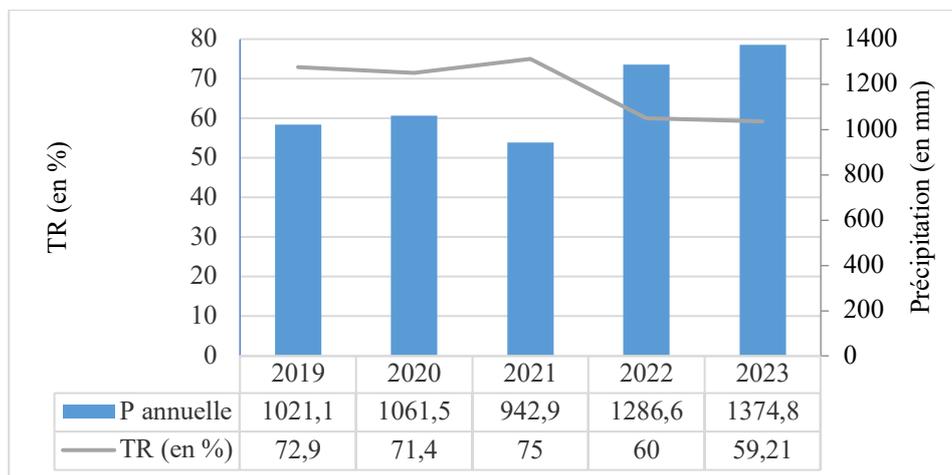


Figure 1. Courbe de relation entre le Taux de Régénération (TR) et la précipitation annuelle (P) de la zone d'étude.
Source des données : Auteur/Climate Change Knowledge Portal/World Bank Group, 2024

Cette courbe montre que la précipitation aurait influencé le TR dans le sens négatif, ce qui est justifié par un coefficient de corrélation de $-0,988$. En effet, cette valeur signifie une forte corrélation négative entre P et TR, autrement dit, une précipitation abondante a tendance à diminuer le TR. La température n'ayant presque aucune corrélation avec le TR avec une Coef C de $0,474$.

D'après le test de germination effectué avec les 300 graines collectées, la durée de trempage a conditionné le taux de réussite de la germination. Celle de 5 jours a donné un taux de germination de 82% et celle de 10 jours a donné 25% seulement. Les graines qui n'ont pas germé ont été endommagées suite à une décomposition par une humidité trop élevée. Ce qui signifie qu'une humidité trop importante réduit relativement le taux de germination. Ce test permet par la suite de justifier qu'une précipitation élevée impliquerait une baisse du taux de régénération naturelle dans la forêt d'Ambatofinandrahana entre 2019 et 2023. L'abondance de pluie affecterait donc la viabilité des graines au niveau de la zone d'étude et réduit la régénération naturelle. Le taux le plus élevé (75%) a été constaté en 2021 qui a reçu la précipitation annuelle la plus basse parmi les 5 années d'études (942,9 mm), le plus bas pour 2023 avec un TR de 59,21% sous une P annuelle de 1 374,8 mm.

Conclusion

Cette présente étude nous a permis de constater que les microclimats de chaque site présentent des impacts sur le développement des jeunes *Tapia*. Une forte précipitation affecterait négativement le taux de régénération. Car une forte quantité d'eau pourrait décomposer les graines et empêcher la germination. Pour augmenter le TR tenant compte des variabilités climatiques, l'infiltration de la pluie devrait être favorisée par l'augmentation de la couverture végétale du site par une préservation des espèces associées, concrètement protéger le site contre la propagation du feu qui élimine chaque année une grande partie des espèces associées et la couverture végétale, *Uapaca bojeri* étant une espèce pyrophile et peut résister au stade adulte, mais les régénérations naturelles sont vulnérables face à ce type de pression.

Bibliographie

- Kull C. A., Ratsirarson J. et Randriamboavonjy G., 2005 : Les forêts de *Tapia* des hautes terres malgaches. *Terre Malgache*, **24**, 22-58.
- Rakotondrasoana O., 2013 : Identification des indicateurs de dégradation de la forêt de *Tapia* (*Uapaca bojeri*) par une analyse sylvicole, *Tropicicultura* **31**, 10-19
- Razafimanantsoa T.M., 2013: Silk of moths inventory in there natural *tapia* forest habitat (Madagascar): diversity, population dynamics and host plants. 137-150.
- Rollet B., 1969 : La régénération naturelle en forêt dense humide sempervirente de plaine de la Guyane vénézuélienne. *Bois et Forêt des Tropiques*, **124**, 19-38.
- Rothe P. L., 1964 : Régénération naturelle en forêt tropicale : Le *Dipterocarpusdyeri* (Dau) sur le versant cambodgien du golfe du Siam. *Bois et Forêt des Tropiques*, **8**, 386-397.
- <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>, consulté le 20 janvier 2024

CLIMATE CHANGE AND COFFEE PRODUCTION IN THE AMAZON

Guilherme Almussa Leite TORRES¹, Roberto GRECO¹, Vincent DUBREUIL², Priscila Pereira COLTRI¹

1. Campinas State University (UNICAMP). Rua Carlos Gomes, 250 - 13083-855 – Brazil, guialmussa@gmail.com, robertogreco01@yahoo.it, pcoltri@cpa.unicamp.br

2. Rennes 2 University (LETG, UMR 6554 CNRS). Place du recteur Henri Le Moal - 35043 France, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

Changement climatique et production de café en Amazonie

Mots-clés : changement climatique, culture du café, Amérique du Sud

Keywords: Climate Change, Coffee Crop, South America

Introduction

The temperatures and precipitation that are characteristic of the Amazon region create a climate that is favorable for the development of high-quality coffee beans. The forest also creates an environment conducive for coffee production in agroforestry systems (AFS). This combination of climatic factors provides Amazonian coffee producers with the opportunity to explore unique sensory and aromatic nuances in the coffees produced in the region. As a result, regional coffee production has the potential to contribute to the conservation of the biome.

The region, which is so fragile and vital to the environmental balance of South America, is facing major challenges due to climate change. The increase in average temperatures, the changes in rainfall patterns, and the greater frequency of extreme weather events are factors that can have a negative impact on the Amazonian ecosystem and have a direct impact on the quality and sustainability of coffee production in the Amazon. The aim of this study is to use statistical techniques to examine the changes in temperature and precipitation patterns that occurred between 1961 and 2019 in four speciality coffee producing regions of the Brazilian Amazon (Acre, Matas de Rondônia, Mato Grosso, and Rondônia) (Fig. 1).

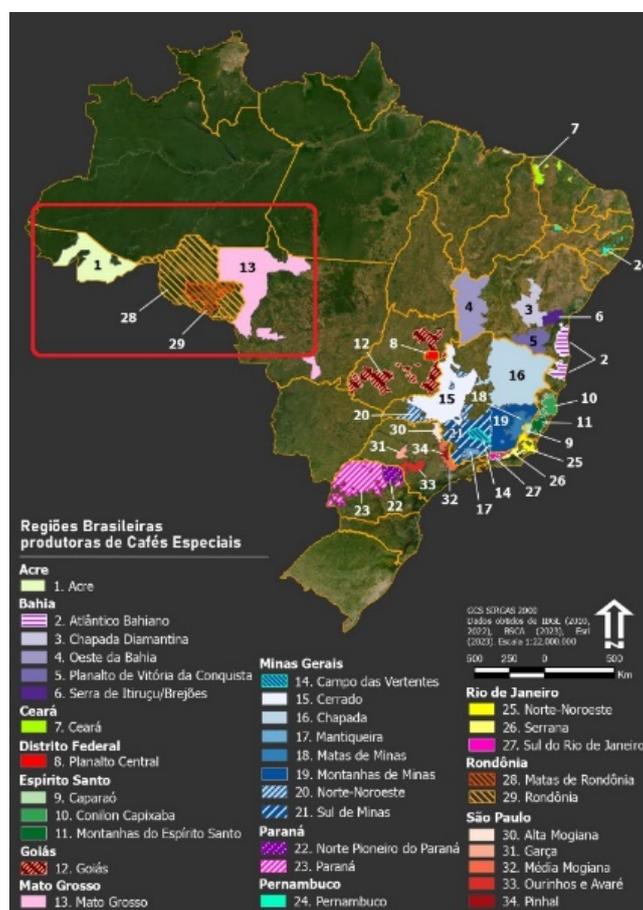


Figure 1. Location of speciality coffee producing regions in the Brazilian Amazon region (red square).

1. Materials and methods

To this end, climate data from the database of Xavier *et al.* (2022) of the regions for the period from 1961 to 2019 were used. Climate indices were generated using the RCLimDex package in the RStudio software. The three indices generated were: monthly temperature amplitude (DTR) (based on the difference between minimum and maximum temperatures); number of tropical nights (TR) (annual count of days with minimum daily temperature > 20°C) and number of summer days (SU) (days with temperature above >30°C).

2. Results and discussion

The monthly temperature amplitude index (DTR) showed an increasing trend for all regions studied, with the months of July, August and September (winter) registering the highest thermal amplitudes (average of 13.88°C) and the months of December, January and February (summer) registering minimum thermal variation (average of 9.79°C).

The index of the number of tropical nights (TR) showed an increasing trend from 1961-1989 (n=226) as well as from 1990-2019 (n=277) in all regions studied. Hotter nights in the Amazon can affect biodiversity by affecting the life cycle of plants and animals that are most sensitive to high temperatures. In coffee production, high nighttime temperatures can disrupt the growth cycle, increase the risk of disease, and affect the quality of the beans, posing a challenge for coffee growers (Torres *et al.*, 2022).

The number of summer days index (SU) increased for days with temperatures above 30°C. With the exception of Acre, which showed a decrease in the number of days with temperatures below 30°C, all other regions showed an increasing trend in the number of summer days. It is worth noting that temperatures close to 30°C during the flowering period can induce the abortion of flower buds, leading to losses in the quantity produced (Torres *et al.*, 2022). In addition, the most sensitive biodiversity of the forest may be affected. Examples include small amphibians and plants that are sensitive to large thermal variations (SILVA *et al.*, 2023).

The identified changes require on coffee producers in the Amazon the need to adopt resilient agricultural practices. The challenge is to find a balance between the preservation of Amazonian biodiversity with the production of specialty coffees. The expansion of AFS aid in increasing resilience and preserving the forest.

Conclusion

These changes can negatively affect the balance of the forest ecosystem and the quality of coffee produced in the Brazilian Amazon regions. To enhance resilience and preservation, agroforestry systems can be employed.

Acknowledgements: National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) - Finance Code: 403858/2021-6 (Coffee Change Project). BIOS - Brazilian Institute of Data Science, grant #2020/09838-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance Code 001.

Bibliography

- TORRES, G.A.L., *et al.*, 2022. Exposure to Climate Risk: A case study for coffee farming in the region of Alta Mogiana, São Paulo. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, v. 94, p. e20211379.
- XAVIER, A. C., *et al.*, 2022. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, 42, p. 8390-8404.
- SILVA, R. F. B., *et al.*, 2023. Balancing food production with climate change mitigation and biodiversity conservation in the Brazilian Amazon. *Science of The Total Environment*, 904, 166681.

VARIATION CLIMATIQUE ET RISQUES DE SÉCHERESSE DANS LE BASSIN COTONNIER À BANIKOARA (BÉNIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

Henri S. TOTIN VODOUNON, Nadiath ALI YAROU, Ernest AMOUSSOU,
Constant HOUNDENOU

Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin ;
totinsourouhv@gmail.com, alinadiath6903@gmail.com, ajernest@yahoo.fr, alinadiath6903@gmail.com

Climate variation and drought risks on the cotton basin of Banikoara (Bénin, West Africa)

Mots-clés : réchauffement climatique, indices normalisés, sécheresse, Banikoara

Keywords: global warming, standardized indices, drought, Banikoara

Introduction

La complexité de la sécheresse, un phénomène climatique, est liée à la fois à un déficit de pluie et une forte évaporation. Pour caractériser la sécheresse, l'Organisation Météorologique Mondiale - OMM (2012) réfère la diminution pluviométrique par rapport à des niveaux « normaux ». Divers indicateurs et indices sont utilisés pour mesurer les paramètres climatiques pris en compte et ce en fonction de la région et du type de sécheresse.

Dans le contexte climatique difficile, actuel, le Bénin, connaîtra des périodes de sécheresse plus longues (Boko *et al.*, 2012) comme celles des années 1940, 1970, 1980 aux énormes impacts environnementaux et socioéconomiques négatifs. Les régions fragilisées par la déforestation sont les plus vulnérables. En effet, au Nord-Bénin, la commune de Banikoara (11°02' et 11°34' Nord et 2°05' et 2°46' Est) dans le domaine du climat soudanien, apparaît très exposée aux aléas de sécheresse, étant donné son état de désertification avancée (Adigbégnon, 2023) dû à la culture du coton. Le risque de sécheresse est aussi caractérisé par sa fréquence et ses implications écologiques, humaines et économiques. Ainsi, il importe de comprendre l'évolution des paramètres climatiques en aléas de sécheresse et les manifestations à Banikoara marquée par une pluviométrie annuelle $1002,8 \pm 161,5$ mm et une température de $27,7 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

1. Données et méthodes

Les relevés journaliers de pluies du poste pluviométrique de Banikoara et les températures de la station synoptique de Kandi (à 69,7 km de Banikoara) sur la période 1961-2020 ont permis de déterminer les taux d'évolution climatique et les aléas de risque de sécheresse. De plus, les données d'enquêtes, collectées auprès de 180 personnes (agriculteurs, éleveurs, autorités locales, chefs religieux) par la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) ont aidé à apprécier le degré de vulnérabilité des unités exposées.

Le taux de variation est calculé à partir de la rupture de stationnarité des séries de pluie et de la tendance linéaire de la température. L'indice de précipitations normalisé (SPI – Standardized Precipitation Index) est retenu comme critère de sécheresse en météorologie (OMM, 2012) suivant la grille : 0 à -99, légère sécheresse, -1,00 à -1,49, sécheresse modérée, -1,5 à -1,99, grande sécheresse et $< -2,0$, sécheresse extrême. La probabilité d'occurrence du risque de sécheresse estimée par calcul de la fréquence de scores et le niveau des impacts (apprécié à l'aide d'une matrice de sensibilité aux aléas) sont déterminés.

2. Résultats et discussion

2.1. Évolution du climat

À Banikoara, la pluviométrie légèrement à la baisse de 8,7% de 1961 à 2020 et la température moyenne à la hausse de $0,023^\circ\text{C}/\text{an}$ à l'échelle annuelle, $0,018^\circ\text{C}/\text{an}$ à l'échelle de la saison pluvieuse et de $0,029^\circ\text{C}/\text{an}$ à l'échelle de la saison sèche témoignent des conditions d'aridité.

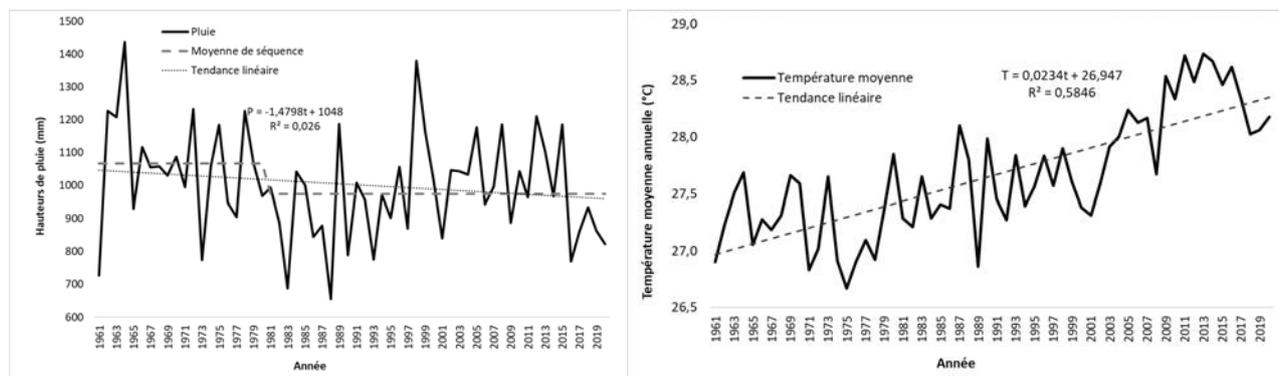


Figure 1. Tendance évolutive de la pluviométrie et de la température moyennes annuelles (1961-2020) à Banikoara.

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique à l'échelle planétaire (IPCC, 2022) et locale (Totin Vodounon, 2020), le préjudice écologique porté au paysage de Banikoara par la culture du coton (terres dégradées) constitue un facteur d'accroissement du risque de sécheresse et de la désertification.

2.2. Phénomène de risques de sécheresse

Étant donné que sa spécificité est liée à l'absence de pluie, le phénomène de sécheresse est plus apprécié en période pluvieuse (saison des pluies, mai à octobre). Banikoara connaît de fréquentes légères sécheresses, de sécheresse modérée tous les un an et demi, de grande sécheresse tous les 5 ans et de sécheresse extrême tous les 60 ans (fréquences faibles mais catastrophiques en termes de dommages). Les manifestations de la sécheresse identifiées de concert avec la population sont : les fortes chaleurs (83%), le démarrage tardif et le raccourcissement de la saison pluvieuse (63%) puis les séquences sèches intra-saisonnières (56%).

Le prolongement du phénomène entraîne l'absence quasi totale des ressources hydriques pour satisfaire les exigences de l'environnement et des activités humaines.

Conclusion

L'action combinée de la baisse pluviométrique et de hausse de température est porteuse de risques de légère sécheresse et modérée puis de grande sécheresse et extrême à Banikoara, fragilisée par la culture du coton dévastatrice des formations végétales et de la dégradation des sols. Les stratégies de réduction des risques de sécheresse consisteraient au reboisement, à l'aménagement des points d'eau, la restauration des terres...

Bibliographie

- Adigbégnon M., 2023 : *Évolution climatique et dégradation des terres dans le domaine soudanien au Bénin*. Mémoire de Master en Climatologie. Université d'Abomey-Calavi, 75 pages.
- Boko M., Kosmowski F., Vissin E. W., 2012 : *Les enjeux des changements climatiques au Bénin*. Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest, Cotonou, Bénin, 65 pages.
- IPCC, 2022, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pages.
- Organisation météorologique mondiale (OMM), 2012 : *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé*. CH-1211 Genève 2, Suisse, 25 pages.
- Totin Vodounon S. H., 2020 : Réchauffement climatique actuel : Indicateurs et facteurs et facteurs contributeurs dans le domaine du climat tropical soudanien au Bénin. *Revue ECD Université d'Abomey-Calavi*, Bénin, **1(2)**, 185-205.

TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE À DIFFÉRENTES ALTITUDES ET LEURS RELATIONS AVEC LES PRÉCIPITATIONS AU SUD DE LA ROUMANIE

Myriam TRABOULSI^{1,2}, Konstantia TOLIKA³, Christina ANAGNOSTOPOULOU³, Ioannis TEGOULIAS^{3,4}, Liliana ZAHARIA⁵, Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN⁵, Panagiotis MAHERAS³

1. Université Libanaise, Faculté des Lettres, Corniche Mazraa, Beyrouth, Liban

2. Archéorient– UMR 5133, Maison de l’Orient et de la Méditerranée, CNRS – Université Lyon 2, 7, rue Raulin, 69007 Lyon, France, traboulsim@yahoo.fr

3. Aristote Université de Thessaloniki, Département de Météorologie et Climatologie, 54124, Grèce, diatol@geo.auth.gr, chanag@geo.auth.gr, maheras@geo.auth.gr

4. ELGA - Meteorological Applications Center, International Airport Macedonia, 55103 Thessaloniki, Greece. tegoulia@geo.auth.gr

5. Université de Bucarest, Faculté de Géographie, 1 N. Bălcescu Boulevard, 010041, Bucarest, Roumanie, zaharialili@hotmail.com, oprea.constantin@geo.unibuc.ro

Types of atmospheric circulation at different altitudes and relationships with precipitation in the South of Romania

Mots-clés : types de circulation atmosphérique, hauteurs géopotentielle, précipitations, Roumanie

Keywords: types of atmospheric circulation, geopotential height, precipitation, Romania

Introduction

L’objectif de ce travail est l’étude des relations entre les types de circulation atmosphérique et les précipitations à différentes altitudes, au-dessus de la Roumanie méridionale, afin de mieux connaître et comprendre les mécanismes atmosphériques contrôlant les précipitations. La région d’étude englobe des plaines et des plateaux, avec des précipitations moyennes annuelles qui varient spatialement de moins de 400 mm à environ 700 mm. C’est une région avec des forts enjeux socio-économiques où les dernières décennies des tendances à l’aridité ont été signalées (Prăvălie *et al.*, 2019, Chelu *et al.*, 2022), d’où l’intérêt des études portant sur la variabilité des précipitations et le contexte atmosphérique de leur formation.

1. Données et méthodes

Les données utilisées dans ce travail sont, d’une part, les précipitations quotidiennes de cinq stations météorologiques roumaines (Craiova, Râmnicu Vâlcea, București – Băneasa, Buzău et Constanța) qui font partie du réseau synoptique européen de base (Fig. 1) pour la période 1961-2020, extraites de la base de données ECA&D (European Climate Assessment & Dataset) librement accessible au lien <https://www.ecad.eu/>. D’autre part, nous avons utilisé les hauteurs géopotentielle quotidiennes à 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa et 500 hPa de réanalyses NCEP/NCAR, qui sont sélectionnées sur une fenêtre large s’étendant de 20°N à 75°N en latitude et de 20°W à 50°E en longitude, pour la même période, avec un point central principal de la grille dont les coordonnées sont : $\varphi=45^\circ\text{N}$, $\lambda =25^\circ\text{E}$.

L’étude des types de circulation atmosphérique ainsi que leur lien avec les précipitations est basée sur le système automatisé de classification des types de la circulation (Anagnostopoulou *et al.*, 2009, Tolika *et al.*, 2023). Le schéma de classification est réalisé sur les anomalies des hauteurs géopotentielle à 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa et 500 hPa sur des points de grille de 2,5° dans la zone citée ci-dessus.

Les tendances linéaires des types de circulation et des précipitations (cumuls en mm et nombre de jours) par types de circulation, ainsi que leurs significativités statistiques ont été explorées et testées, aux échelles temporelles annuelle et saisonnière, à l’aide du test de Mann-Kendall. Les corrélations linéaires entre les précipitations et les fréquences des types de circulation ont été également explorées sur la base des coefficients de corrélation, qui sont testées par le Ro de Spearman.

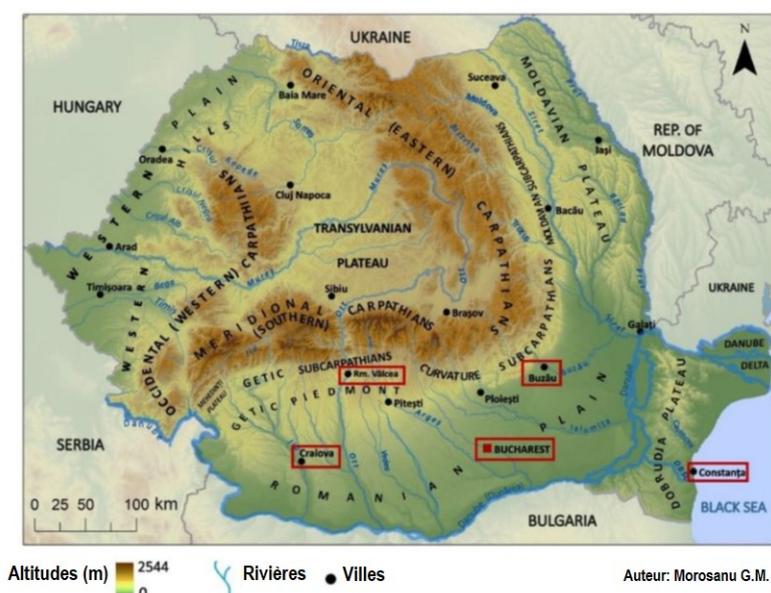


Figure 1. Localisation des stations météorologiques analysées (en carrés rouges)

2. Résultats

L'analyse des résultats indique qu'il y a une tendance croissante de la circulation anticyclonique, alors que la fréquence des types de circulation cyclonique est en baisse à tous les niveaux des géopotentiels. Ces tendances sont valables pour les différentes échelles temporelles (annuelles et saisonnières). La comparaison des tendances de précipitations (cumuls, en mm et nombre de jours) et des fréquences des types de circulation suggère des liens possibles. Le pourcentage de précipitations, ainsi que le nombre de jours pluvieux lors des types de circulation cyclonique dépendent des niveaux des hauteurs géopotentielle, qui semblent être moins élevés aux niveaux inférieurs (Tab. 1).

Tableau 1. Pourcentages de précipitations et du nombre de jours de pluie selon les différents niveaux géopotentiels.

	1000 hPa		850 hPa		700 hPa		500 hPa	
	Precip	Jours	Precip	Jours	Precip	Jours	Precip	Jours
Année	63,7	61,4	70,4	66,3	75,2	70,9	75,9	71,6
Hiver	87,1	77,0	90,7	81,2	92,8	84,5	92,9	84,2
Printemps	69,3	66,4	77,5	72,3	83,0	77,2	83,3	78,0
Été	44,2	39,1	51,6	43,9	56,2	47,7	57,0	49,6
Automne	66,1	60,7	72,6	65,6	79,3	72,1	80,7	73,0

Conclusion

L'analyse de la relation entre les fréquences des types de circulation des quatre niveaux a montré que les corrélations les plus fortes apparaissent entre les fréquences des types de circulation des surfaces les plus voisines (1000 hPa et 850 hPa ou 700 hPa et 500 hPa) et particulièrement en hiver.

Bibliographie

- Anagnostopoulou C., Tolika K., & Maheras P., 2009 : Classification of circulation types: a new flexible automated approach applicable to NCEP and GCM datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, **96**, 3-15.
- Chelu A., Zaharia L., Dubreuil V., 2022: Estimation of climatic and anthropogenic contributions to streamflow change in southern Romania. *Hydrological Sciences Journal*, **67**:10, 1598-1608, DOI: 10.1080/02626667.2022.2098025.
- Prăvălie R., Piticar A., Roşca B., Sfică L., Bandoc G., Tiscovschi A. & Patriche C., 2019: Spatio-temporal changes of the climatic water balance in Romania as a response to precipitation and reference evapotranspiration trends during 1961–2013. *Catena*, **172**, 295–312, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.028>.
- Tolika, K., Traboulsi, M., Anagnostopoulou, C. Zaharia, L. Tegoulis, I., Constantin, D.M., Maheras, P., 2023, On the Examination of the Relationship between Mean and Extreme Precipitation and Circulation Types over Southern Romania. *Atmosphere*, **14** (9), 1345, <https://doi.org/10.3390/atmos14091345>.

LA PRÉVISION DES DOMMAGES GRÊLE : ESTIMATION DU NOMBRE DE SINISTRES GRÊLE POST ÉVÉNEMENT À J+1

Maxime TREVISANI¹, Freddy VINET², Laurent BOISSIER³

1. LAGAM, Generali France, maxime.trevisani@etu.univ-montp3.fr, maxime.trevisani@gmail.com

2. LAGAM, freddy.vinet@univ-montp3.fr

3. Generali France, laurent.boissier@generali.com

The hail damage forecast: Estimation of the number of hail claims post-event at D+1

Mots-clefs : Grêle, sinistralité, assurance

Keywords: Hail, claim, insurance

Introduction

En 2022 les dommages estimés des chutes de grêle en France se sont élevés à plus de 6.5 Md€ selon France Assureurs, soit deux fois la sinistralité climatique moyenne de la période 2011-2021. L'année 2023 a également connu une sinistralité élevée et suit l'exemple de 2022 en impactant cette fois-ci sévèrement l'Italie du Nord, avec des chutes de grêle records battant le record européen du plus grand diamètre de grêlon à deux reprises et à quelques jours d'intervalle : 16 cm le 19 juin 2023 et 19 cm le 24 juin selon l'European Sever Storms Laboratory (ESSL)¹ (précédent record : 15 cm en 2016 en Roumanie). Face à cette recrudescence déjà constatée, les assureurs ont un triple défi : accompagner au mieux leurs assurés en faisant œuvre de prévention, réduire les coûts associés à la gestion des sinistres grêle et anticiper des chutes de grêle massives. Cette communication présente les résultats d'indicateurs prédictifs pour les dommages aux biens (DAB), associant fréquence de la grêle et diamètre des grêlons à l'échelle communale en France.

1. La grêle, un aléa « orphelin »

L'aléa grêle est très peu étudié en France hexagonale. Sa complexité intrinsèque, sa forte variabilité spatio-temporelle (Changnon, 1992) et la piètre qualité des données climatologiques (Prein and Holland, 2018 ; Púčik *et al.*, 2019) expliquent en partie ce désintérêt scientifique. En France les observations de chutes de grêle à l'échelle nationale sont uniquement disponibles auprès de Keraunos (bureau d'études français spécialisé dans la prévision et la gestion des risques liés aux phénomènes orageux), de l'ESSL (European Sever Weather Database, ESWD), et régionalement auprès de l'Association Nationale d'Étude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques (ANELFA) qui collecte des données de grélimétrie dans le sud-ouest de la France.

2. Méthode

Pour réaliser ce modèle, nous avons constitué une base de données grêle à partir des données assurantielles de Generali France, des données d'observations de l'ESWD et de la base de données grêle de Keraunos (observations et modélisation). Dans un premier temps nous avons étudié la relation entre la taille maximale du grêlon et le taux de sinistres DAB observé chez Generali France à la maille de la commune (code INSEE) en 2022. Ensuite nous avons constitué un premier jeu de rétro-calibration de l'estimation initiale à partir de 19 journées grêles en 2021 : les 10 journées les plus sinistrées, 5 journées autour de la moyenne annuelle, et 4 avec un nombre faible de sinistres (> 1). Cet échantillon de date permet d'affiner le comportement du modèle dans différentes configurations (sévère, médian, faible) en ajustant l'estimation initiale avec des journées grêle présentant des caractéristiques similaires à celle étudiée. Le modèle est apprentissage continu : les dates étudiées sont ajoutées au jeu de rétrocalibrage dès que le nombre de sinistres enregistrés est connu. Les différentes étapes sont présentées sur la Figure 1.

3. Résultats

Plusieurs journées de la période 2018-2023 ont été analysées à partir du diamètre maximal renseigné par Keraunos, hors dates d'entraînement et de calibrage, avec une estimation proche de la réalité sur l'ensemble du territoire à l'échelle nationale et départementale. À titre d'illustration, les 5 dates les plus sinistrogènes de Generali France en 2023 ont une erreur de l'ordre de 10%. On peut voir un exemple de sortie du modèle sur la journée du 12 juillet 2023, 3^{ème} journée la plus sinistrée de Generali France en 2023, sur la Figure 2.

1. Hail record broken again – 19cm hailstone confirmed in Italy, ESSL, juillet 2023

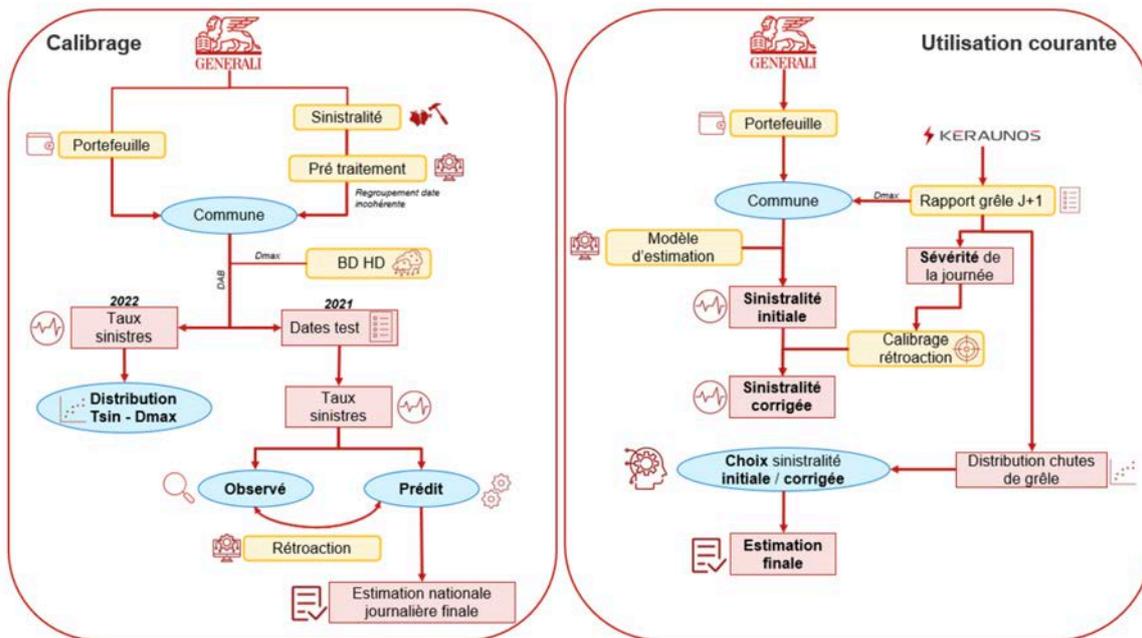


Figure 1. Calibration du modèle (gauche) et utilisation courante du modèle (droite) dans l'étude d'une journée grêligène.

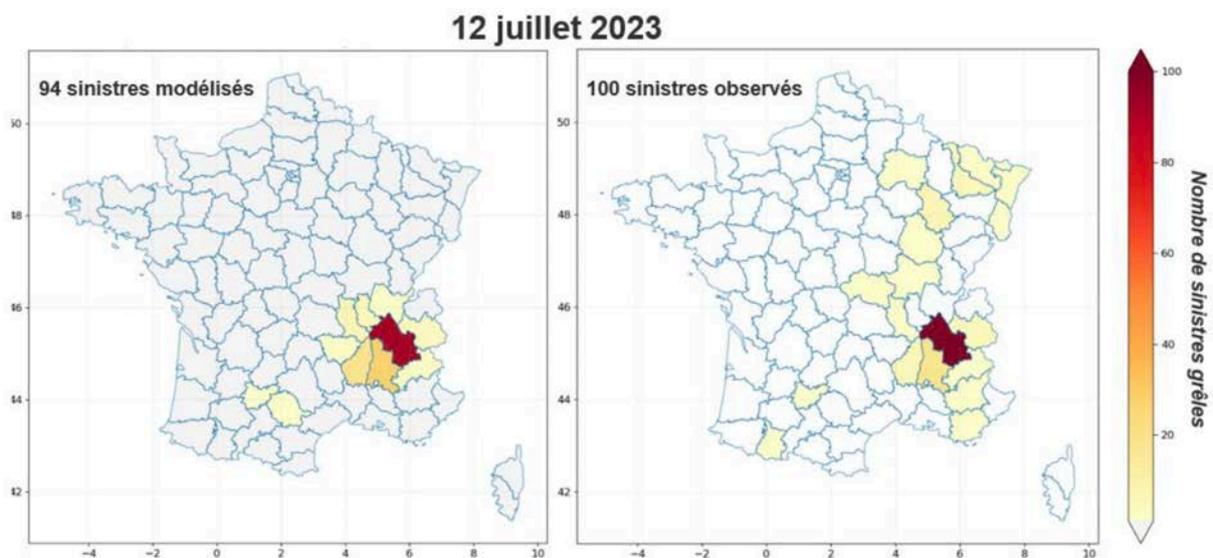


Figure 2. Nombre de sinistres DAB modélisés (gauche) et observés (droite) chez Generali France sur la journée du 12 juillet 2023. Le nombre de sinistres modélisé a été exprimé en fonction du nombre de sinistres enregistrés chez Generali France (arbitrairement fixé à 100).

Conclusion

Pour répondre au besoin du monde assurantiel, nous avons réalisé un modèle d'estimation post-événement rapide à horizon J+1 sur le nombre de sinistres grêles DAB à l'échelle nationale. Les résultats modélisés sont proches de la réalité à l'échelle nationale (erreur moyenne inférieure à 10%) et départementale. Le modèle est également apprentissage continu, lui permettant ainsi de tenir compte de potentielles évolutions des chutes de grêles dans le futur

Bibliographie

- Changnon, S.A., 1992. Temporal and Spatial Relations between Hail and Lightning. *Journal of Applied Meteorology* (1988-2005) **31**, 587–604.
- Prein, A.F., Holland, G.J., 2018. Global estimates of damaging hail hazard. *Weather and Climate Extremes* **22**, 10–23.
- Pučík, T., Castellano, C., Groenemeijer, P., Kühne, T., Rädler, A.T., Antonescu, B., Faust, E., 2019. Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe. *Monthly Weather Review* **147**, 3901–3916.

APERÇU DES IMPACTS LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ ET LA SURVIE HUMAINE DANS LES ZONES CÔTIÈRES DE L'OUEST DE MADAGASCAR

Tsaralaza Jorlin TSI(A)VAHANANAHARY¹, Rindramampionona RANDRIAMIFIDISON²,
Vololomboahangy RANDRIANJAFY³

1. Faculté des Sciences de Technologie et Environnement / École Doctorale sur les Écosystèmes naturels, Université de Mahajanga, Madagascar, ttjorlin@yahoo.fr

2. Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra, Madagascar, rindrandriamifidison@yahoo.fr

3. Faculté des Sciences de Technologie et Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar, zarasoa@orange.org

Overview of the impacts of climate change on biodiversity and human survival in the coastal areas of western Madagascar

Mots-clés : Madagascar, changement climatique, biodiversité, survie humaine

Keywords: Madagascar, Climate change, Biodiversity, Human survival

Introduction

Le changement climatique à Madagascar est l'une des causes les plus concrètes de la dégradation de l'environnement y compris dans les zones côtières et constitue une menace tant pour la conservation de la biodiversité que pour le développement économique de la population. Les aires protégées des côtes ouest de l'île abritent une diversité faunistique et floristique spécifique. Cependant, la fluctuation climatique, accompagnée par les activités anthropiques, ne cesse de s'accroître et a des impacts majeurs sur la réussite de la gestion de ces zones. L'objectif de cette étude est de montrer l'impact du changement climatique sur les actions de conservation des ressources naturelles dans deux aires protégées côtières de l'ouest de Madagascar dénommées Complexe Mahavavy-Kinkony au nord et Mangoky-Ihotry au sud, la vulnérabilité bioécologique de la faune, la perception et l'adaptation des villageois face au changement des habitats.

1. Données et méthodes

Les paramètres physico-chimiques du sol pour les deux saisons (humide et sèche) ont été relevés sur le terrain notamment la salinité, le pH ainsi que la température. Les données climatiques, pour les sites cibles, ont été obtenues à partir du site World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal (2023) en considérant l'historique de 1950 à 2020 qui servira de référence pour une projection de 2020 à 2100 selon le scénario RCP4.5. Ensuite, les données bioécologiques proviennent des études sur le terrain, du dynamisme des habitats naturels face aux déséquilibres saisonniers liés à l'inondation et à la sécheresse. Enfin, la situation de la population est tirée de l'observation directe qui est appuyée par des enquêtes socio-économiques portant sur la perception des changements ainsi que leurs effets sur les activités quotidiennes.

2. Résultats

Le tableau 1 donne les informations sur les valeurs moyennes des paramètres qui influencent les conditions environnementales des habitats côtiers et qui sont relevés sur le terrain en 2020 et 2021, en octobre (saison sèche) et en février (saison humide). Le pH du sol varie selon la zonation de la forêt de palétuviers. Les côtes ouest ont une moyenne de pH fortement acide de 5 à 5,8 tandis que la zone interne a un pH relativement neutre. Les températures du sol et de l'eau de surface ainsi que la salinité sont, par ailleurs, fonction des saisons. Les températures augmentent en saison pluvieuse alors que la salinité diminue. De plus, l'influence du changement climatique se fait remarquer par la variation de la température et de la salinité.

La température du sol des côtes du Delta Mangoky varie entre 27°C et 34,2°C tandis que celle de l'eau de surface a une valeur maximale de 33,9°C. Pendant la saison des pluies, la salinité de l'eau de mer se retrouve entre 13,22 ppt (part per thousand) et 27,50 ppt selon la distance des affluents. En saison sèche, le taux moyen de salinité est de 35,40 ppt. Bref, la salinité de l'eau est inversement proportionnelle aux précipitations.

L'analyse climatique a montré que dans la région Boeny, incluant la Baie de Boeny, Marambitsy et le Delta Mahavavy, les températures et les précipitations moyennes varient selon les saisons et se retrouvent en saison sèche et fraîche avec 23,3°C en juin et 0,90 mm en mai. Leurs valeurs moyennes augmentent jusqu'à 28,9°C et 418,4 mm en février, correspondant à la saison chaude et humide. Les résultats de la simulation (scénario RCP4.5) sur les précipitations de 2020 à 2100 prévoient que, les mois de novembre et décembre verront une baisse des

précipitations, respectivement de 7 et 11 mm dans la région Boeny et de 5 et 10 mm dans la région sud-ouest incluant le delta Mangoky, tandis qu'une augmentation de 6 et 7 mm est prévue vers la fin de la saison des pluies en avril. Les résultats de la simulation sur les 80 ans à venir et sur la température moyenne montrent une tendance à la hausse de l'ordre de + 1,3°C à 1,5°C pour la région du delta Mahavavy au nord et de 1,8°C à 2,01°C au sein du delta Mangoky au sud.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau de surface des zones côtières de l'ouest de Madagascar (SS : saison sèche, SH : saison humide ou pluvieuse, ppt : part per thousand).

Sites des zones côtières	Surface du sol des côtes				Eau de surface			
	Température (°C)		pH		Température (°C)		Salinité (ppt)	
	SS	SH	Min	Max	SS	SH	SS	SH
Mahavavy-Kinkony	28,8 ± 3,4	30,2 ± 5,6	< 5,4	≥ 7,2	28,1 ± 8,6	29,3 ± 4,8	26,9 ± 9,1	11,2 ± 4,4
Mangoky-Ihotry	29,5 ± 4,2	30,9 ± 4,8	< 5,1	≥ 7,1	28,8 ± 4,5	29,7 ± 3,2	27,2 ± 3,1	08,8 ± 4,8

Pour le stress écologique, les zones côtières sont aussi vulnérables aux activités anthropiques, accentuées par le changement climatique. La période de nidification de la majorité des espèces coïncide bien avec la période cyclonique qui se traduit par un faible taux de réussite de la reproduction. Les espèces d'oiseaux menacées entre autres *Anas bernieri*, *Threskiornis bernieri*, *Ardeola idae* et *Ardea humbloti*, sont les plus vulnérables (Tsiavahanahary, 2018). L'espace de nourrissage ainsi que les sites de reproduction des oiseaux, des crabes et des tortues marines sont sensibles à la longue sécheresse et aux fortes inondations de la saison pluvieuse. Pour le Delta de Mangoky, une trentaine d'hectares de la forêt de palétuviers est complètement détruite à cause de l'ensablement des côtes et les fortes inondations successives qui diminuent la salinité de l'eau et conduisent à l'augmentation du pH du sol de Mangrove. Cette perte est irréversible et les espèces de palétuviers, *Rhizophora micronata*, *Brugeria gymnorhiza* et *Avicennia marina*, en sont la cible.

Quant à la survie humaine, 40% des terres cultivables s'assèchent et cela nuit aux activités quotidiennes de la population locale. L'ensablement des côtes et le blanchissement progressif des récifs coralliens affectent le stock des ressources halieutiques et les produits de mangroves (crabes : *Scylla serrata*), d'où la chute des activités socio-économiques. Selon notre enquête, une moyenne de 75% des villageois est consciente du changement et commence à orienter ses activités vers l'adoption de la culture alternative rapide et saisonnière (oignons, céréales, maïs) et vers la pisciculture en tant qu'activités génératrices des revenus pour subvenir à leurs besoins et aux exigences quotidiennes. La longue sécheresse affecte aussi l'élevage de bovins et incite les villageois à réaliser des feux de pâturage non contrôlables, qui renforcent encore plus le dérèglement climatique dans la partie ouest de l'île.

3. Discussion et conclusion

Dans l'ensemble, les zones côtières de l'ouest de Madagascar sont composées d'habitats de mangrove. La coupe illicite des palétuviers, renforcée par les activités humaines durant la collecte de crabes, la pêche et la déforestation des bassins versants de chaque fleuve, entre autres Mahavavy et Mangoky, y sont plus fréquentes. Ces actions conduisent à l'effondrement des lits des fleuves qui se traduisent par la sédimentation au niveau des embouchures et par l'ensablement des zones côtières (Tsiavahanahary *et al.*, 2023). La fluctuation des paramètres physico-chimiques, après les fortes pluies ou les cyclones qui entraînent des inondations, conduit à une forte dégradation de la mangrove et affecte la reproduction des espèces. Les écosystèmes côtiers connaissent un stress qui affecte le statut et la survie de la faune et de la flore et qui détériore les activités génératrices des revenus de la population. À cet effet, une résilience sur la continuité de la restauration écologique, des mangroves, des forêts et des récifs coralliens, est fortement recommandée.

Bibliographie

Tsiavahanahary T.J, Randrianjafy V, Randriamifidison R, Raveloson B, Randrianjatovo S, Razafindralambo, Vonjinahary YL et Raminoarisoa V. (2023) : Évaluation de l'état de la population et les habitats de *Anas bernieri* (Hartlaub,1860) dans la partie ouest de Madagascar, Actes du Forum « Une seule santé » à Fianarantsoa, p 385-391.

Tsiavahanahary T.J (2018) : Biologie de la conservation des oiseaux aquatiques de l'Aire Protégée Complexe Mahavavy-Kinkony, Thèse de Doctorat, Écologie, Conservation et Ornithologie, Ecole Doctorale sur les Écosystèmes Naturels (EDEN), Université de Mahajanga, 236 pages.

<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal>.(consulté le 10 décembre 2023).

MODELING THE URBAN THERMAL FIELD IN SOUTHEAST BRAZIL: A CASE STUDY IN INDAIATUBA

Larissa VIEIRA ZEZZO¹, Vincent DUBREUIL², Priscila PEREIRA COLTRI³

1. Campinas State University, Rua Carlos Gomes, 250, 13083855, Campinas - Brazil, l229914@dac.unicamp.br

2. Rennes 2 University (LETG, UMR 6554 CNRS), Place du recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes cedex, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

3. Campinas State University, Rua Carlos Gomes, 250, 13083855, Campinas - Brazil, pcoltri@cpa.unicamp.br

Modélisation du champ thermique urbain au sud-est du Brésil : Une étude de cas à Indaiatuba

Mots-clés : climat urbain, température de l'air, îlot de chaleur urbain, utilisation des terres

Keywords: Urban Climate, Air Temperature, Urban Heat Island, Land Use and Cover

Introduction

Human interference in the functioning of natural systems can be observed through a series of processes, and among the most significant is the removal of vegetation cover for the construction of urban infrastructures (Oke, 1987). In this context, it is expected that the suppression of vegetation will lead to a change in the radiation balance, due to the new geometry and albedo of the built surface, characterized by different thermal and aerodynamic properties (Cardoso and Amorim, 2017). Such urban processes culminate in climatic phenomena that affect the health and well-being of the population, particularly urban heat islands (UHI).

The 2022 census carried out in Brazil indicated 203 million inhabitants in the country, with the Southeast region concentrating 84.8 million of them, which represents 41.8% of the total population. Furthermore, more than half of the population (124.1 million people - 61%) lives in urban centers in Brazil (IBGE, 2022). These data show the importance of studies on the urban climate to guarantee a pleasant and healthy environment for the country's population. Therefore, the present study aimed to evaluate the thermal field of the city of Indaiatuba (southeast region of Brazil), based on spatial modeling and considering land use and coverage. In this sense, it was also possible to verify the spatial occurrence of UHI in the municipality.

1. Methodology

The study area corresponds to the municipality of Indaiatuba, which is located in the State of São Paulo (Brazil) and has a population of 255.788 inhabitants (IBGE, 2022). According to the Köppen classification, the region's climate is characterized as Cwa, tropical with dry winters (IAC, 2013). To achieve the objectives of this work, air temperature measurements were made using mobile transects during 2021. The transects were realized at different times of the year to understand thermal differences depending on atmospheric changes.

Field work took place at night, between 9pm and 10pm, as this is the time when UHI are best characterized (Amorim *et al.*, 2021). The route chosen for the transects comprised the North-South and East-West directions, with the purpose of covering different portions of the city (Fig. 1). Data from mobile transects were modeled in conjunction with Landsat 8 images for thermal assessment of the area. In this sense, maps of land use and cover were created, as well as simple linear regressions were carried out to verify the correlation of air temperature with the type of land cover – built area, low vegetation and dense vegetation (Amorim *et al.*, 2015). Subsequently, multiple regression calculations were performed, in which chosen variables were used simultaneously to simulate the thermal gradient of the area.

2. Results and Discussions

From the maps generated, it was found that the highest temperatures are in the center of the municipality towards its north and northwest portion (towards Campinas), in other words, the highest temperatures are concentrated in the most densely built area and in areas that are expanding. On the other hand, areas further away from the urban center, as the southern portion, had lower temperatures when compared to central areas, highlighting the occurrence of UHI (Amorim *et al.*, 2021).

In the southern portion of the municipality there is little urban density, with areas characterized by agricultural production and pastures, as well as a greater number of vegetated areas. The observed pattern of UHI in this study has already been verified previously in another location in the state of São Paulo (Cardoso and Amorim, 2017), indicating that there is also a relationship with the types of construction (materials used), waterproofing and paved areas.

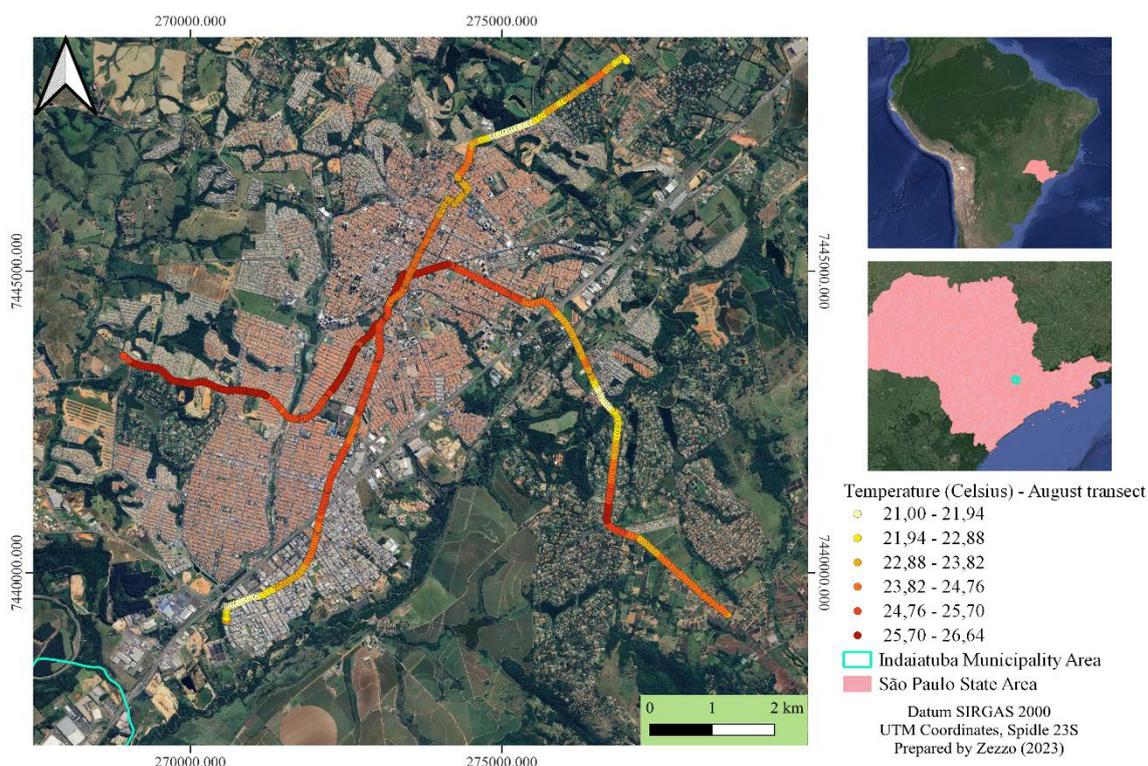


Figure 1. Map of the municipality of Indaiatuba with an indication of the routes taken by the transect at night on August 21, 2021 (dry season). The same figure also shows the temperatures obtained in the sections covered.

Conclusion

The spatial reproduction of field data such as the spatial delimitation of UHI can be interesting to decision makers, facilitating local interventions to minimize high temperatures. Thus, it is understood that the cartographic products produced can have different purposes, complementing the materials used as subsidies in urban planning, for example.

Acknowledgements: I would like to thank Campus France for granting a doctoral scholarship at Rennes 2 University during the period 2022-2023 that allowed me to develop this study.

Bibliography

- Amorim, M.C.C.T., Dubreuil, V., Amorim, A.T. 2021. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. *Urban Climate*, **38**, 100918.
- Amorim, M. C. C. T., Dubreuil, V., Cardoso, R. S. 2015. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, **16**, 29–45.
- IAC. Instituto Agrônomo de Campinas. 2013. *Polo turístico do circuito das frutas do Estado de São Paulo: fisiografia e clima*. 51p, (Série Tecnologia Apta. Boletim Técnico IAC). Available at: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt213.pdf> (November 20th, 2023).
- Cardoso, R. S., Amorim, M. C. C. T. 2017. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. *Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território*, **12**, 75-99.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. *Censo 2022*. Available at: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. (Dezember 10th, 2023).
- OKE, T. R. 1987. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co. 2nd edn, 435p.

RÉPARTITION SPATIALE ET TEMPORELLE DES DÉCÈS LIÉS AUX INONDATIONS EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE FRANÇAISE

Freddy VINET, Jean-Philippe CHEREL

UR Lagam Université Paul Valéry Montpellier 3, route de Mende 34199 MONTPELLIER cedex 5,
 freddy.vinet@univ-montp3.fr, Jean-philippe.cherel@univ-montp3.fr

Spatial and temporal distribution of flash flood-related deaths in the French Mediterranean region

Mots-clés : inondations, vulnérabilité humaine, risques naturels, prévention

Keywords: flooding, human vulnerability, natural hazards, prevention

Introduction

Les inondations liées aux crues éclair en Méditerranée sont connues pour les dommages et les décès qu'elles entraînent fréquemment. Le dernier événement majeur en date, les inondations en Cyrénaïque en septembre 2023, a entraîné la mort de plusieurs milliers de personnes, le bilan humain n'étant d'ailleurs pas établi avec exactitude. La sécurité des personnes face aux catastrophes naturelles est dans les priorités des prescripteurs internationaux en matière de prévention (cadre de Sendai, 2015). Pour faire progresser la sécurité des personnes et plus généralement la prévention du risque inondation, il faut un recensement précis des facteurs qui entraînent le décès des personnes. S'il existe des bases de données internationales sur ce point (EM-DAT¹), les chiffres s'arrêtent aux bilans généraux. C'est pourquoi depuis une dizaine d'années, des initiatives locales et nationales ont entrepris la recension des décès liés aux inondations avec pour objectif la détermination des circonstances et des facteurs de décès dans une perspective préventive (Petrucci, 2022). Cette communication présente quelques résultats issus de la base de données Vict-In qui recense les décès liés aux inondations en France méditerranéenne. Il serait trop long de s'attarder sur toutes les caractéristiques de ces décès. On se focalisera sur la répartition spatiale des décès, leur répartition saisonnière et l'évolution tendancielle de la mortalité sur la période d'étude.

1. La base de données Vict-In

La base de données Vict-In regroupe 328 décès recensés sur le pourtour méditerranéen français entre 1980 et 2020. Chaque décès est géoréférencé et une vingtaine de variables sont renseignées à propos du profil de la victime (âge, sexe, profession...) et des circonstances de décès (date, heure, lieu, occupation au moment du décès...). Le protocole de collecte de ces données a été homogénéisé avec ceux des autres initiatives européennes du même type et les données ont été versées sur la base FFEM² (Papagiannaki *et al.*, 2022). Tous les décès liés à une inondation c'est-à-dire à la *submersion, rapide ou lente, d'un espace habituellement hors d'eau*³ sont pris en compte qu'ils soient liés à des débordements de cours d'eau, au ruissellement superficiel ou à la submersion marine (sauf tsunami).

2. Répartition spatiale des décès : l'exposition des piémonts des arrière-pays méditerranéens

Afin de s'abstraire de l'effet de la densité de population, un taux de mortalité est calculé et exprimé en nombre de décès par million d'habitants et par an. Ce taux varie de 0,11 dans la Drôme à 3,46 dans l'Aude. La cartographie détaillée (à maille de 350 km²) montre une forte exposition des piémonts, zones de l'arrière-pays méditerranéen en situation intermédiaire entre les collines aux vallées encaissées et les plaines où les lits majeurs s'élargissent. Ces piémonts accueillent en particulier des villes de taille intermédiaire où la croissance récente (Vaison-la-Romaine, Draguignan...) s'est faite en partie dans les lits majeurs.

3. Analyse de la répartition saisonnière et évolution tendancielle des décès

3.1. Répartition saisonnière de la mortalité

Sans surprise la répartition mensuelle de la mortalité suit celle des précipitations intenses méditerranéennes. Elle fait apparaître un pic automnal marqué. 76% des décès ont eu lieu de septembre à novembre. Si l'on excepte l'événement du 15 juin 2010 dans le département du Var (26 décès), aucune inondation majeure en termes de

1. <https://www.emdat.be/>

2. FFEM Flood Fatalities from the Euro Mediterranean region DB. Les données sont téléchargeables sur https://data.4tu.nl/articles/_/14754999/2

3. <https://www.georisques.gouv.fr/consulter-les-dossiers-thematiques/inondations>

victime n'a eu lieu en dehors de ces trois mois. Si l'on compare le nombre mensuel d'épisodes, la surreprésentation du nombre de décès par rapport à l'occurrence des épisodes pluvieux intenses est la plus importante en septembre, mois qui cumule fin de la saison touristique et début des pluies d'automne (Fig. 1).

3.2. L'évolution de la mortalité liée aux inondations

La mortalité liée aux inondations montre une très forte variabilité interannuelle. Après une décennie 1980-1990 peu meurtrière, le nombre de décès a oscillé depuis autour de 10 par an sans montrer de tendance nette (Fig. 2). Si le nombre moyen de décès par événement « inondation » semble décroître, le nombre d'événements avec décès tend à augmenter.

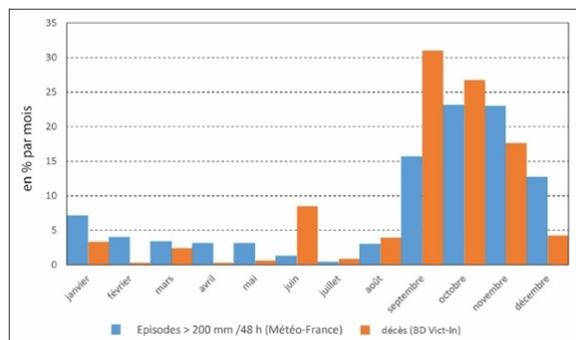


Figure 1. Répartition mensuelle des décès et des épisodes de précipitations intenses (total annuel = 100% pour chaque variable)

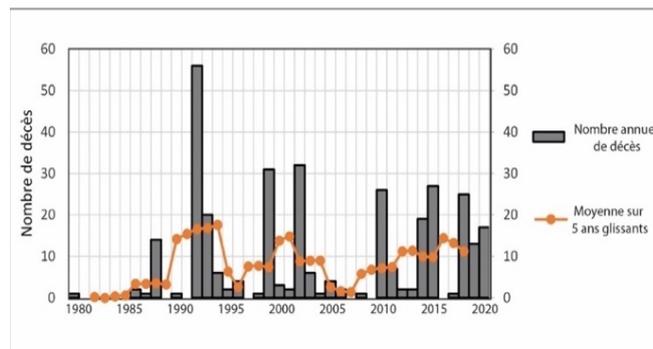


Figure 2. Évolution interannuelle des décès liés aux inondations en France méditerranéenne

Conclusion

Même si elle peut apparaître marginale (10 morts/an en moyenne), la mortalité liée aux inondations est révélatrice à plus d'un titre. Tout d'abord elle suscite de fortes émotions dans la population dont le niveau d'acceptabilité pour ce type de décès est bien moindre que pour d'autres risques (comme la foudre qui tue 40 à 50 personnes par an). C'est par ailleurs un indicateur intégré de la vulnérabilité humaine et elle permet à ce titre d'évaluer les effets de la prévention. Si les bilans ont tendance à diminuer lors des événements majeurs d'inondation, le nombre de « petits » événements a tendance à s'accroître, preuve que la réduction du bilan humain des inondations n'est jamais définitivement acquise.

Bibliographie

- Papagiannaki, K., Petrucci, O., Diakakis, M., Kotroni, V., Aceto, L., Bianchi, C., Brázdil, R., Gelabert, M. G., Inbar, M., Kahraman, A., Kılıç, Ö., Krahn, A., Kreibich, H., Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Macdonald, N., de Brito, M. M., Mercuri, M., Pereira, S., . . . Zêzere, J. L., 2022 : Developing a large-scale dataset of flood fatalities for territories in the Euro-Mediterranean region, FFEM-DB. *Scientific Data*, **9** (1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01273-x>
- Petrucci, O., 2022 : Factors leading to the occurrence of flood fatalities: A systematic review of research papers published between 2010 and 2020. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **22**(1), 71–83. doi:10.5194/nhess22-71-2022
- Vinet, F., Bigot, V., Petrucci, O., Papagiannaki, K., Llasat, M. C., Kotroni, V., . . . Tramblay, Y., 2019 : Mapping flood-related mortality in the Mediterranean basin. Results from the MEFF v2.0 DB. *Water*, **11**(10), 2196. <https://doi.org/10.3390/w11102196>
- United Nations, 2015 : cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030. 40 p. https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasteris.pdf

CARACTÉRISATION DU RISQUE D'INONDATION DANS LA COMMUNE DE DANGBO AU BÉNIN

Expédit W. VISSIN, B.D. Laurenda Carmen GNELE, Hervé KOUDJEGA

Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin, exlaure@gmail.com, laurendagnele@gmail.com, koudjegaherve@gmail.com,

Characterization of the flood risk in the municipality of Dangbo in Bénin

Mots-clés : commune de Dangbo, risques hydroclimatiques, inondations, impacts

Keywords: commune of Dangbo, hydroclimatic risks, flooding, impacts

Introduction

La Commune de Dangbo, faisant partie intégrante de la basse vallée de l'Ouémé, elle subit des inondations dues aux effets conjugués des événements pluviométriques et hydrométriques extrêmes, qui se traduisent par une baisse des rendements agricoles, des dégâts importants au niveau des infrastructures, des habitations, des services de santé et parfois des pertes en vies humaines. Elle est située dans le département de l'Ouémé au sud-est du Bénin. Comprise entre $06^{\circ} 25'$ et $06^{\circ} 39'$ de latitude nord et $02^{\circ} 21'$ et $02^{\circ} 30'$ de longitude est (Fig. 1), elle s'étend sur une superficie de 149 km^2 avec une densité de 647 hab./km^2 .

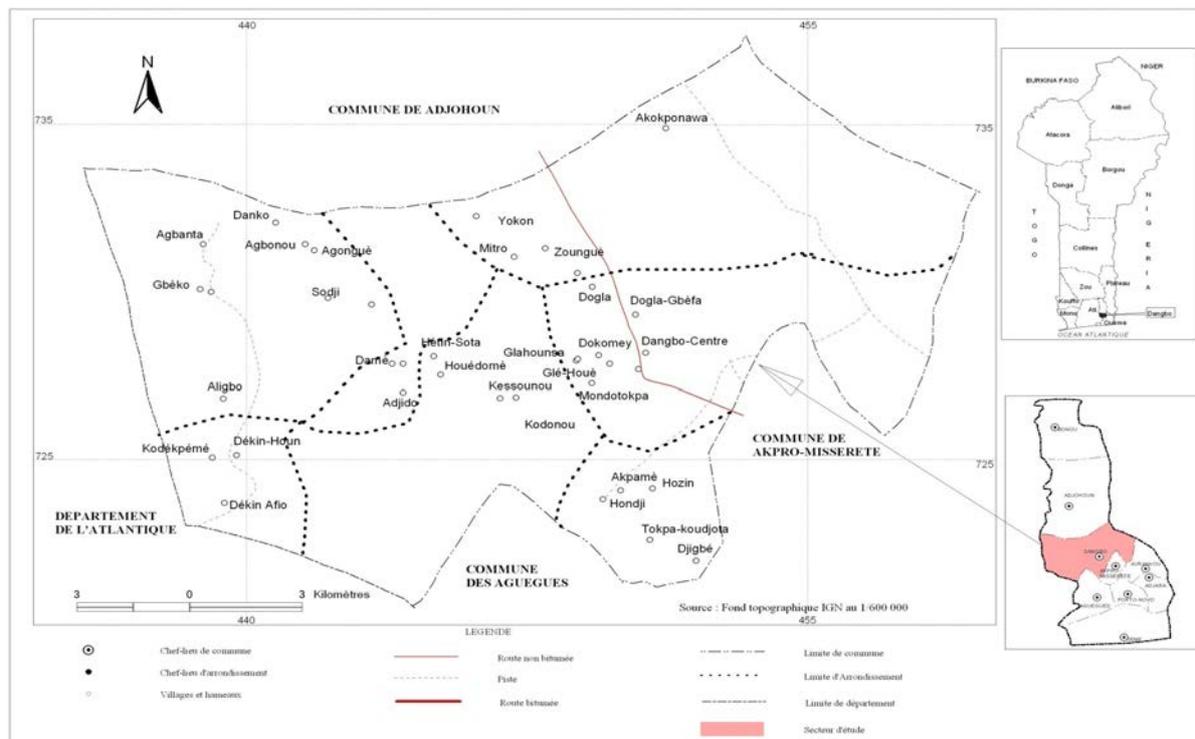


Figure 1. Situation géographique de Commune de Dangbo.

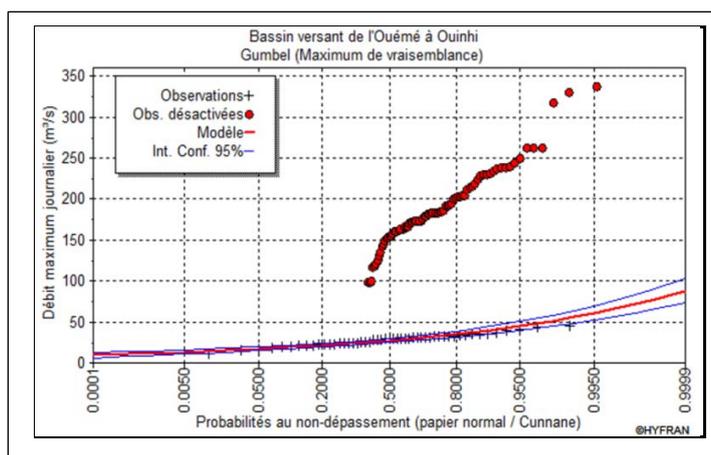
1. Données et méthodes

Les données météorologiques ont permis d'établir des indices de vulnérabilité à l'inondation du secteur d'étude, les débits mensuels et annuels et les débits caractéristiques permettent l'analyse de la variabilité de l'écoulement, la disponibilité saisonnière de l'eau et leurs implications dans le fonctionnement du système économique, et enfin les données socio-spatiales mettent en évidence les perceptions des changements hydro-climatiques et de leurs causes, des changements de l'occupation du sol et des eaux. Les questionnaires ont été dépouillés, l'analyse fréquentielle a permis de caractériser l'ampleur des événements extrêmes enregistrés afin d'en définir les probabilités d'occurrence (Meylan et Musy, 1999). Ces différentes étapes de l'analyse fréquentielle ont permis d'établir un modèle de l'évolution des valeurs pluviométriques et hydrologiques maximales dans le bassin de l'Ouémé à Dangbo.

2. Résultats

Après l'application des lois sur les séries pluviométriques maximales, la loi de Gumbel est celle qui s'ajuste le mieux. La figure 2 illustre un ajustement des séries pluviométriques par la loi Gumbel sur la période 1960-2021. De l'analyse de la figure 2, il ressort que toutes les séries pluviométriques s'ajustent bien aux lois de Gumbel avec une marge d'erreur de 1 à 5%. À partir de l'équation de la droite de Gumbel, les quantités sont estimées pour différentes périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50,100 et 200 ans).

Figure 2. Ajustement des pluies maximales par la loi de Gumbel



Les observations désactivées montrent que la valeur des débits maximaux varie de manière exponentielle suivant une probabilité allant de 0,0001 à 0,9. Les intervalles de confiance qui permettent d'évaluer l'incertitude associée aux estimations sont aussi fournis (Tab. 1).

Tableau 1. Période de retour des pluies maximales estimée à Dangbo.
Source : traitement des données, 2023.

Stations	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	200 ans
Gumbel	27,3 [25 -30]	35,1 [32 - 39]	40,2 [36 - 45]	45,1 [40-51]	51,5 [45 -59]	56,3 [49 -64]	61,1 [53 -70]

De l'analyse du Tableau 1, il ressort que les pluies maximales journalières annuelles responsables des inondations pluviales récurrentes c'est-à-dire celles dont les périodes de retour sont inférieures ou égales à 10 ans varient entre à 25 et 40 mm dans la commune de Dangbo qui se traduit par la modification du régime pluviométrique annuelle par la hausse des hauteurs de pluies de 1960-2021. Ces inondations impactent l'environnement de la commune de Dangbo (LACEEDE, 2010).



Photo 1. À gauche, habitations détruites à Hétin sota ; au centre, infrastructure scolaire affectée ; à droite, voie inondée et dégradée à Tovè. Prises de vue : VISSIN, septembre 2023.

Conclusion

Il ressort des différentes investigations de façon générale que les communautés sont unanimes sur le fait que les risques d'inondations sont devenus très visibles et très récurrents et perturbent les vies humaines et les activités agricoles. Les producteurs subissent des dommages liés aux risques d'inondation.

Bibliographie

- MEYLAN P., et MUSY A., 1999 : Hydrologie générale : Analyse fréquentielle. Édition HGA Bucarest, 215 pages.
LACEEDE, 2010 : Changements Climatiques et Inondations dans le Grand Cotonou : Situations de Base et Analyse Prospective, rapport final, Cotonou, septembre 2010, 105 pages

BRISES THERMIQUES À ZAHLE (LIBAN ORIENTAL)

Rabih ZEIN AL DINE, Salem DAHECH

| Université Paris Cité, laboratoire PRODIG, UMR 8586, rabihzeineddin@hotmail.com, salem.dahech@gmail.com

Thermal breezes at Zahle (Eastern Lebanon)

Mots-clés : brises thermiques, inversion thermique, Zahlé

Keywords: thermal breezes, thermal inversion, Zahlé

Introduction

Diverses études ont été menées sur les brises orographiques, notamment les travaux de Fallot (1991), Whiteman (2000), Beltrando *et al.* (2008), Carrega (2013) et Zeinaldine & Dahech (2023). Ces recherches ont examiné les flux catabatiques et anabatiques dans des régions topographiquement complexes. Par ailleurs, des investigations ont été menées sur la pollution de l'air dans le contexte des brises thermiques en régions méditerranéennes, telles que l'étude de Dahech *et al.* (2006). Ces travaux ont mis en évidence l'importance des brises thermiques dans la répartition spatiale des polluants.

1. Méthodes et données

Les caractéristiques des brises orographiques sont étudiées à partir des données tri-horaires mesurées entre 1994 et 2023 par la station Houch El Oumaraa à Zahlé, ville située dans la vallée de la Bekaa au Liban à 920 m d'altitude. En complément, pendant la saison estivale de l'année 2022, trois stations météorologiques de type Davis, avec une résolution temporelle de 30 minutes, ont été installées dans la région de Zahlé. Une quatrième station a été ajoutée en 2023. L'objectif de ces stations est d'approfondir l'analyse des phénomènes atmosphériques locaux et de compléter les informations recueillies par la station Houch El Oumaraa. Ces stations ont été implantées dans des environnements variés et à des altitudes différentes, afin d'étudier les phénomènes dans des contextes urbains, périurbains, ainsi que sur les pentes et dans le fond de la vallée. Parallèlement, des campagnes de mesure itinérantes ont été menées en 2022 pour enregistrer les paramètres météorologiques et mesurer les niveaux de pollution atmosphérique en particules (PM_{2.5} et PM₁₀) à deux moments spécifiques : pendant les périodes d'inversion thermique et d'activité de la brise de vallée. De plus, des relevés verticaux de la température atmosphérique ont été effectués jusqu'à une altitude de 500 mètres à l'aide d'un drone équipé de capteurs de température de type « Tynitag », permettant ainsi d'analyser les variations de température dans la couche limite.

2. Caractéristiques des brises orographiques à Zahlé

Les brises thermiques à Zahlé jouent un rôle crucial dans le régime des vents et le climat local. Ces phénomènes météorologiques, résultant des contrastes thermiques dans une région à topographie complexe, sont bien marqués et influencent significativement les conditions atmosphériques tout au long de l'année. Zahlé, nichée au cœur de la vallée de la Bekaa, bénéficie d'un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs. Pendant la saison estivale, les brises thermiques sont particulièrement fréquentes, contribuant à la dynamique atmosphérique quotidienne. Au cours des mois estivaux, les observations météorologiques révèlent la prédominance des brises de montagne et de vallée. À Houch El Oumaraa, leur fréquence atteint 94%. Les journées de brise se succèdent et forment des séquences de deux jours ou plus dans 98% des cas durant la saison estivale.

Au lever du jour, une renverse matinale indique la transition vers une brise de vallée soufflant du SSE-S-SSO. La vitesse de cette brise diurne varie entre 1 et 5 m/s et peut atteindre parfois 6 m/s ; elle persiste jusqu'à la fin de la journée (Fig. 1A).

Durant la nuit, une brise de pente catabatique se forme, soufflant généralement de l'O avec une vitesse faible et une atmosphère calme. Dans le même temps, les stations Davis installées en 2022 révèlent la présence d'une brise de montagne soufflant du NO-N au fond de la vallée. L'advection de l'air frais et humide pendant les nuits dégagées vers la vallée entraîne une baisse de la température atmosphérique jusqu'à atteindre le point de rosée. Cela a pour effet de saturer l'air en vapeur d'eau, conduisant à une augmentation de l'humidité relative qui atteint 100% pendant la nuit et le matin. Ceci se traduit par la formation de gouttelettes de rosée sur les plantes et par l'apparition de brouillard. En ce qui concerne la température, une inversion thermique se produit pendant la nuit et persiste jusqu'au matin (entre 8 et 10h heure locale) (Fig. 1B), moment où elle prend fin, dissipant le brouillard grâce à l'effet de la radiation solaire. L'analyse des données de température moyenne estivale de l'année 2022, enregistrées à deux stations Davis – l'une en fond de vallée à 873 m/mer et l'autre sur un versant à 1010 m/mer – révèle que

le fond de la vallée est plus froid la nuit, avec un écart moyen de 5,3°C à 6h. Cependant, pendant la journée, le fond de la vallée affiche une chaleur supérieure aux versants, avec un écart moyen de 3°C mesuré à 16h entre ces deux stations. Cette occurrence des brises et des inversions thermiques est favorable à la détérioration de la qualité de l'air en présence des activités polluantes au fond de la vallée telles que l'incinération des déchets.

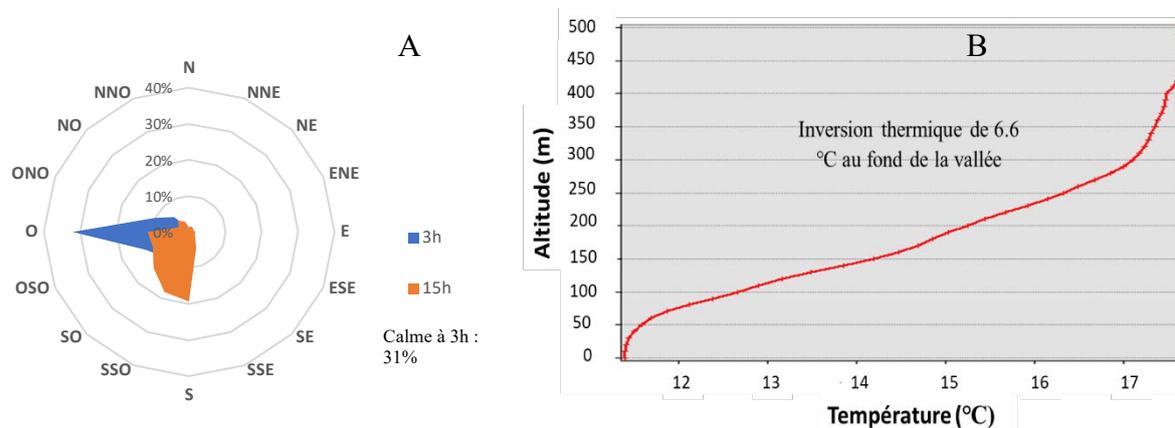


Figure 1. Rose des directions par pourcentages à Houch El Oumaraa durant la saison estivale pour la période 1994-2023 à 3h durant la brise de pente catabatique et à 15h durant la brise de vallée (A) ; inversion thermique au fond de la vallée mesurée par drone le 4-6-2022 à 5h30 (B)

Conclusion

Les observations montrent une augmentation significative du taux des polluants pendant les périodes d'inversion thermique, où les contaminants restent piégés dans la couche d'inversion proche du sol, entraînant une concentration accrue de substances nocives. En revanche, la brise de vallée favorise la dispersion des polluants, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air dans la région.

Bibliographie

- Beltrando, G., Dahech, S., & Madelin, M. (2008). L'intérêt de l'étude des brises thermiques : Exemples des brises littorales et orographiques. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, **51**, 49–61.
- Carrega, P. (2013). Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté : Synthèse par approche inductive. *Climatologie*, **10**, 9–34. <https://doi.org/10.4267/climatologie.75>.
- Dahech, S., Beltrando, G., & Quénot, H. (2006). Brise de mer et pollution atmosphérique à Sfax (Tunisie). *Pollution Atmosphérique*, **190**, 211-222. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.1527>.
- Fallot, J.-M. (1991). Etude de la ventilation de la vallée de la Sarine en Gruyère. *Geographica Helvetica*, **46(1)**, 32–41. <https://doi.org/10.5194/gh-46-32-1991>.
- Whiteman, C. D. (2000). Diurnal Mountain Wind. In C. D. Whiteman (Ed.), *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195132717.003.0019>.
- Zeinaldine, R., & Dahech, S. (2023). Topoclimatic characteristics of Zahlé (Eastern Lebanon): Thermal breezes and urban heat island phenomenon – Preliminary results. *Theoretical and Applied Climatology*. Volume **154**, pages 1075–1098, <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04619-6>.

THE EVOLUTION OF THE CLIMATIC WATER BALANCE IN POLAND IN THE LIGHT OF PROGRESSING CLIMATE CHANGE

Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK

University of Agriculture in Kraków, Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, Department of Ecology, Climatology and Air Protection, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Poland, agnieszka.ziernicka-wojtaszek@urk.edu.pl

L'évolution du bilan hydrique climatique en Pologne à la lumière de l'évolution du changement climatique

Mots-clés : température, précipitations, bilan hydrique climatique, Pologne

Keywords: temperature, precipitation, climatic water balance, Poland

Introduction

Prior to the pronounced warming of the climate observed globally and in Poland since the 1980s (Jarraud, 2013), the water needs of crop plants were usually defined by the concept of optimal rainfall and the associated values of rainfall excesses and deficits. Currently, due to the marked increase in air temperature, resulting in an increase in evapotranspiration, the concept of climatic water balance (CWB) is commonly used. In contrast to the increase in air temperature, the level of precipitation in Poland has not shown significant changes since 1980 (Wibig, 2009). However, variation in precipitation in Poland is increasing; the value of the coefficient of variation increased from 10% to 16% in the period from 1861 to 1990, and to 19% in the years 2001–2018 (Kozuchowski, 1996, Ziernicka-Wojtaszek and Kopcińska, 2020). This causes an increase in the frequency of extreme precipitation phenomena – heavy rainfall as well as droughts.

The aim of the present study is to present the evolution of changes in the values and spatial differentiation of the climatic water balance (CWB) in Poland in the successive periods of 1951–1980, 1971–2000, 1981–2010 and 1991–2020.

Data and methods

The data used for the analysis were average monthly air temperature values and monthly precipitation totals for all periods compared in the study, obtained from the National Research Institute of Meteorology and Water Management. The data were from 21 weather stations evenly distributed around Poland. Mountain areas were not included due to the insufficient number of weather stations. The climatic water balance was calculated as the difference between the precipitation total and the total potential evapotranspiration, determined according to Thornthwaite (1948). Water resources were calculated for the time interval from June to August, i.e. for the part of the growing season with the most intensive plant growth, when water requirements for most crop plants are highest. Four climatic water balance regions were distinguished: wet > -60 mm, optimum water balance -60 to -90 mm, moderately dry -90 to -120 mm, and dry < -120 mm (Fig. 1).

Results

In general, wet areas and areas with optimal water balance decreased systematically over time in the successive 30-year periods, from 70% to 60% to 47% to 31% of the area of Poland, while moderately dry and dry areas increased during the 30-year periods, from 28% to 38% to 51% and finally to 67%, and thus two-thirds of the territory of Poland. Dry areas with a CWB value < -90 mm are always observed in the strip of central Poland running from west to east, which over time, i.e. as the air temperature increases, is gradually broadening northwards and southwards. The driest area, with CWB values < -120 mm, increased from a few percent of the total area of Poland in the previous periods to 22% in the final period of 1991–2020.

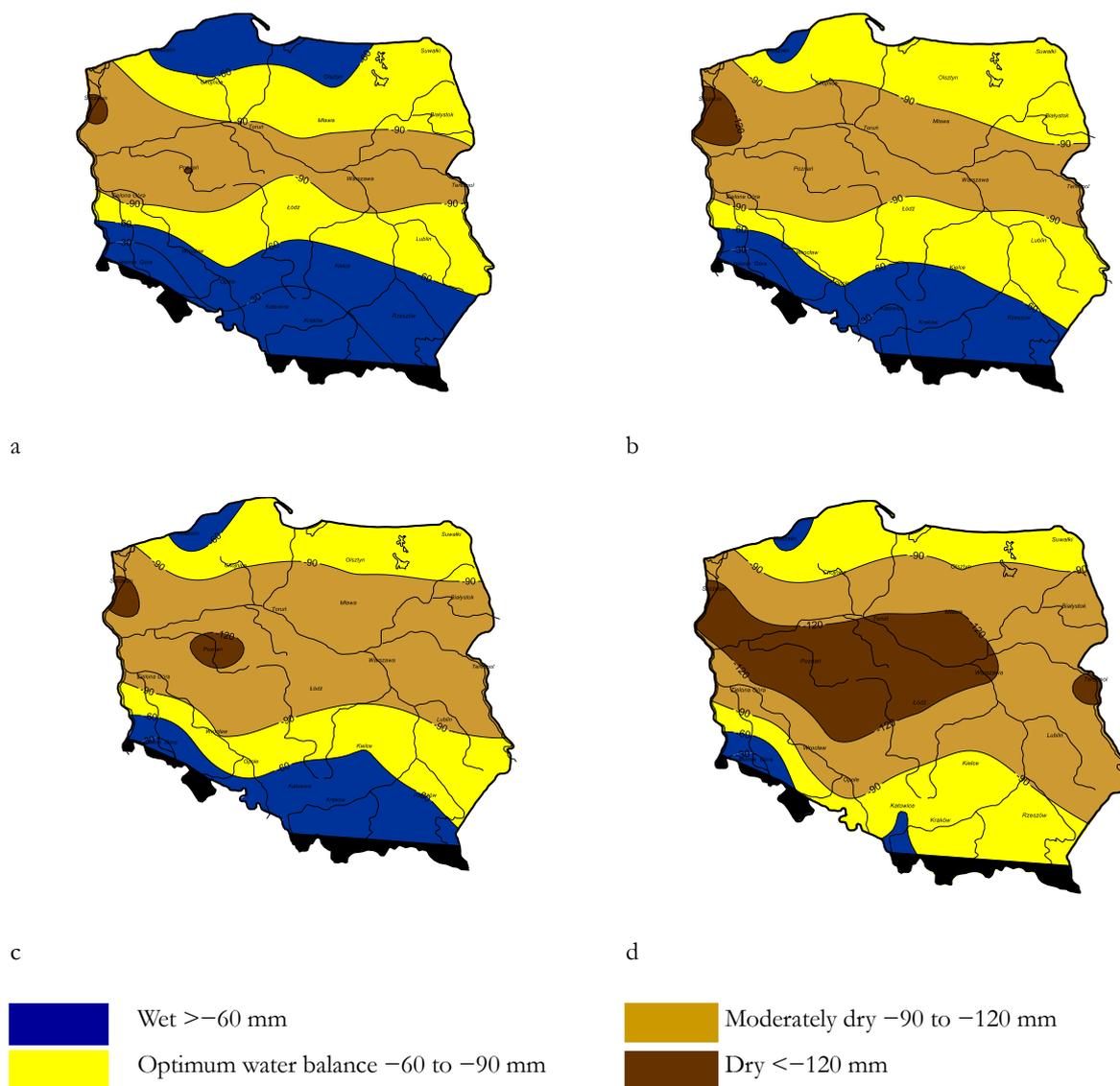


Figure 1. Climatic water balance regions in Poland during the years
 a) 1951–1980, b) 1971–2000, c) 1981–2010 and d) 1991–2020.

Conclusion

This study is a continuation of research on the effect of global warming on the decrease in water resources due to the increase in evapotranspiration, in the situation of progressive warming and the absence of clear tendencies in precipitation in Poland. These conditions cause the area of the water balance regions designated as dry to increase systematically in successive periods.

Bibliography

- Jarraud M., 2013: WMO Report: The global climate 2001-2010: A decade of climate extremes. July 6, WMO, 1119.
- Kożuchowski K., 1996: Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych. *Przegląd Geograficzny*, **68**, 79-98.
- Thorntwaite C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, **38**, 55-94.
- Wibig J., 2009: The variability of daily precipitation totals in Poland (1951-2000). *Geographia Polonica*, **82**, 21-32.
- Ziarnicka-Wojtaszek A., Kopcińska J., 2020: Variation in atmospheric precipitation in Poland in the years 2001-2018. *Atmosphere*, **11**, 794.

APPORT DE LA RÉDUCTION D'ÉCHELLE DANS LA SIMULATION DES PRÉCIPITATIONS ACTUELLES ET FUTURES DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LE CAS DU BASSIN VERSANT DU RHERIS – MAROC

Abdelmoumen BENCHATTOU¹, Mohamed EL GHACHI¹, Atika KASMI²

1. Laboratoire DPRP, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Beni-Mellal, Maroc), benchattouabdelmomen@gmail.com

2. Direction Régionale de la Météorologie Centre Est - Beni-Mellal / MAROC-Météo

Downscaling contribution for modelling of current and future precipitation in the context of climate change: the case of the Rheris watershed - Morocco

Mots-clés : changement climatique, downscaling, modélisation climatique, impacts

Keywords: climate change, downscaling, climate modelling, impacts

Introduction

Le changement climatique constitue un défi mondial pressant aux implications étendues, en particulier pour les systèmes hydrologiques. Notre étude se concentre sur le bassin du Rheris, au sud-est du Maroc, une région montagneuse vulnérable de 12,702 km². L'objectif est d'évaluer l'impact du changement climatique sur le système fluvial. En intégrant divers types de données météorologiques et en appliquant des techniques statistiques de réduction d'échelle, notre méthodologie vise à fournir des projections précises des changements à venir dans le régime des précipitations. Cette exploration souligne l'urgence d'intégrer ces projections dans la gestion des ressources en eau pour élaborer des stratégies adaptatives efficaces.

1. Méthodes et Données

Cette étude repose sur une méthodologie intégrant des techniques avancées de modélisation et des données de précipitations collectées auprès de stations pluviométriques. Les données journalières de précipitations de trois stations différentes, situées à des altitudes variées, ont été utilisées sur la période de 1982 à 2022 (Johnson *et al.*, 2020). Après une analyse minutieuse des données mesurées et des prédicteurs de l'outil de réduction d'échelle, les prédicteurs « ncpp500gl.dat » et « nceptempql.dat » ont été identifiés comme les plus conformes aux observations, justifiant leur sélection pour représenter les scénarios futurs (Yin *et al.*, 2011). Dans le cadre de cette étude, une méthodologie exhaustive a été élaborée pour mener à bien l'exercice de réduction d'échelle climatique. Initialement, des données climatiques brutes ont été recueillies auprès de diverses sources, notamment des modèles climatiques mondiaux et des enregistrements de stations météorologiques (Smith *et al.*, 2020). Ensuite, une sélection rigoureuse des stations pluviométriques a été effectuée, privilégiant des sites à différentes altitudes dans la région d'intérêt (Lee *et al.*, 2022). Un soin particulier a été apporté au prétraitement des données, incluant la détection et la suppression des valeurs aberrantes, ainsi que la normalisation des données pour garantir la cohérence des comparaisons (Mullan *et al.*, 2012). L'outil de réduction d'échelle a été au cœur de la méthodologie pour anticiper les précipitations futures à partir des modèles climatiques mondiaux. Les prédicteurs « ncpp500gl.dat » et « nceptempql.dat » ont été retenus pour leur meilleure adéquation avec les données observées dans les stations pluviométriques sélectionnées (Johnson *et al.*, 2020). Par la suite, différentes techniques de réduction d'échelle ont été appliquées, allant des approches statistiques aux approches dynamiques, afin d'améliorer la résolution spatiale et la précision des projections de précipitations futures (Garcia, 2021). Une étape d'adaptation spécifique a été entreprise pour ajuster les projections en fonction des particularités topographiques et des nuances climatiques régionales, garantissant ainsi leur pertinence locale (Johnson *et al.*, 2020). Enfin, une validation croisée a été réalisée pour évaluer la capacité des modèles de réduction d'échelle à généraliser leurs résultats, assurant la robustesse des projections de précipitations futures (Lee *et al.*, 2022). Cette méthodologie rigoureuse a permis de produire des projections informatives et fiables, cruciales pour la planification et la gestion des ressources en eau dans le bassin versant du Rheris.

2. Projections des précipitations mensuelles dans le bassin versant de Rheris

Dans le bassin versant du Rheris, des modèles de régression innovants ont été développés en utilisant les résultats de CanESM2 pour les périodes futures. Ces modèles montrent des coefficients d'ajustement étroitement comparables à ceux observés pendant la période de référence 1980-2000. Cette approche innovante nous a permis d'identifier de nouvelles équations de régression, répondant efficacement aux préoccupations concernant la stationnarité du processus. Contrairement à d'autres méthodes de réduction statistique, cette technique offre un avantage significatif en fusionnant les relations entre les variables climatiques observées, y compris les précipitations journalières (Pj), et les variables simulées. En intégrant les dynamiques évolutives entre l'environnement et les précipitations journalières, ces modèles récents, basés sur les données de pixels de précipitations Pj de CanESM2 pour les périodes 2022-2060 et 2080-2100, fournissent une solution fiable et contextuelle pour le bassin versant du Rheris. Cette approche réduit considérablement les préoccupations concernant la stationnarité du processus, la distinguant des méthodes basées sur des équations inchangées pour les projections futures. (Fig. 1)

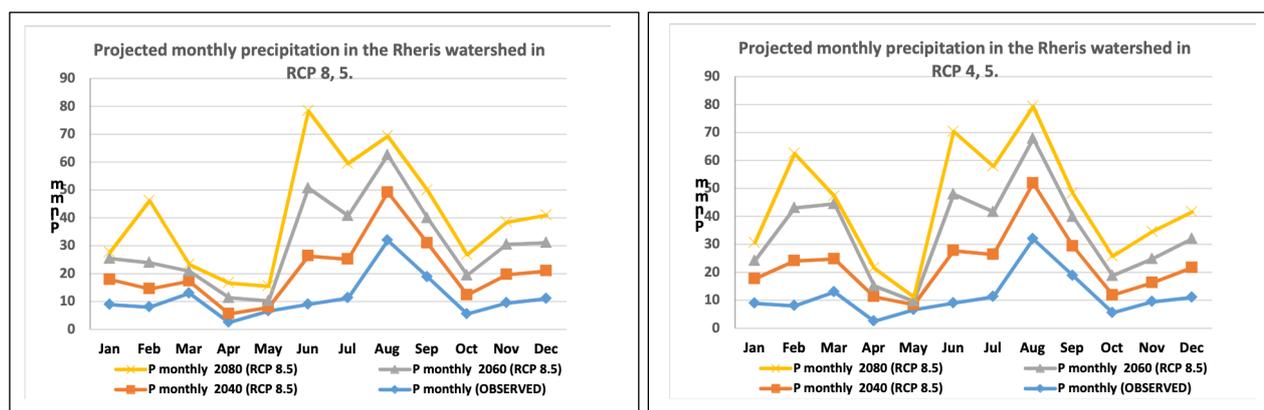


Figure 1. Précipitations mensuelles projetées dans le bassin du Rheris selon les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5.

Conclusion

En conclusion, cette étude souligne les préoccupations majeures liées au changement climatique et à ses conséquences sur les extrêmes hydrologiques dans le bassin du Rheris. Elle appelle à une action immédiate, mettant l'accent sur la nécessité d'intégrer les projections climatiques dans les processus décisionnels en matière de gestion de l'eau, tout en adoptant des mesures adaptatives pour renforcer la résilience des régions affectées.

Remerciements : Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers le Professeur Mohamed EL GHACHI et la Professeure Atika KASMI pour leurs précieux conseils, leur orientation éclairée.

Bibliographie

- Garcia, M. (2021). "Unraveling the Hydrological Challenges in Semi-Arid Regions." *Water Resources Research*, **55**(1), 15-32.
- Johnson, A. *et al.* (2020). "Climate Change and Hydrological Extremes: Recent Findings." *Environmental Science and Technology*, **35**(4), 287-305.
- Lee, S. *et al.* (2022). "Hydrological Modeling in Mountainous Regions: Recent Developments." *Journal of Geophysical Research*, **40**(3), 225-240.
- Mullan D., Fealy R., et Favis-Mortlock D. (2012). "Developing site-specific future temperature scenarios for Northern Ireland: addressing key issues employing a statistical downscaling approach." *International Journal of Climatology*, **32**, 2007-2019.
- Smith, J. *et al.* (2020). "Advancements in Hydrological Research: A Comprehensive Review." *Journal of Hydrology*, **45**(2), 123-140.
- Yin C., Li Y., Ye W., Bornman J-F., et Yan X. (2011). "Statistical downscaling of regional daily precipitation over southeast Australia based on self-organizing maps." *Theoretical and Applied Climatology*, **105**, 11-26.

Table des résumés

Mise en place d'une forêt urbaine pour l'adaptation de Paris aux canicules	11
Charbel ABBOUD, Sophie PARISON, Martin HENDEL, Laurent ROYON	
Cartographie de la pollution de l'air au PM10 par temps stable dans le 13^e arrondissement de Paris	13
Mohamed Ali ABDMOULEH, Salem DAHECH	
Réchauffement climatique et habitats bioclimatiques dans la commune de Natitingou (au nord Bénin)	15
Marcel ADIGBEGNON, Rafiatou BAMISSO, Henri Sourou TOTIN VODOUNON, Jéchonias TETE	
Détermination et prévision des sites propices à la riziculture pluviale dans un contexte de changement climatique au centre-ouest de la Côte d'Ivoire	17
Fabrice B. ALLECHY, Vami H. N'GUESSAN BI, Assa F. YAPI, Marc YOUAN TA, Arona DIEDHIOU	
Le maraîchage biologique en Pays de la Loire (Ouest de la France) face au risque de fortes chaleurs	19
Louis AMIOT, Vincent DUBREUIL, Valérie BONNARDOT, Cécile MORVAN	
Calage et validation des données de pluviogrammes de la station synoptique de Bohicon, Bénin : évaluation de la performance de l'outil Nunieau	21
Ernest AMOUSSOU, Félix T. AMOUSSOU, Jean-Emmanuel PATUREL, Basile AKPOVO, Japhet D. KODJA, Henri S. TOTIN VODOUNON, Constant HOUNDENOU	
Effets de la variabilité climatique sur la structure et la phénologie de la population de <i>Uapaca bojeri</i> b. à Madagascar	23
Mananjanahary Aimée ANDRIAMIFIDY, Rindra RANDRIAMIFIDISON, Onjamalala TOJOALINJANAHARY, Myria Flore Horthancya RASOAVOLOLONJANAHARY, Lily Arison RENE De ROLAND	
Tendances du changement climatique dans les villes de la région sud-ouest du Mato Grosso, Brésil	25
Adilson Ribeiro de ARAÚJO, Diego Tarley Ferreira NASCIMENTO	
Les paroxysmes thermiques en Tunisie : une nouvelle alerte pour le réchauffement climatique accéléré autour de la méditerranée	27
Habib BEN BOUBAKER, Sabrine CHEHAIEB, Latifa HENIA, Ahmed HMAM	
Apport de la simulation atmosphérique haute résolution pour comprendre la température de l'air et l'ICU pendant les vagues de chaleur de l'été 2022 à Dijon	29
Alexandre BERGER, Mélissa POUPELIN, Julien CRÉTAT, Julien PERGAUD, Benjamin POHL, Mario REGA, Yves RICHARD	
Mise en place d'un réseau de mesures hydrologiques en montagne cévenole : enjeux, contraintes et concepts de réalisations	31
Jean Claude BERGÈS, Julie TROTTIER, Chiraz BELHADJ-KADER	
CoolParksTool : un plug-in QGIS pour estimer le potentiel de rafraîchissement d'un parc urbain et son impact sur la thermique du bâtiment	33
Jérémy BERNARD, Adrien GROS, Adnane M'SAOURI EL BAT, Benjamin MORILLE, Auline RODLER, Sihem GUERNOUTI, Marjorie MUSY	
Températures moyennes radiantes pour les Zones Climatiques Locales de Grenoble et Echiroles, France	35
Dominique J. BICOUT, Jade DI FRUSCIA, Xavier FOISSARD, Sandra ROME	

Évaluation de l'état hydrique des arbres en zone urbaine par imagerie à très haute résolution spatiale et mesures micro-dendrométriques in situ : le cas d'<i>Acer platanoides</i> et <i>Tilia euchlora</i> à Dijon	37
Lola CANOVAS, Nadège MARTINY, Thomas BUR, Nicolas MARILLEAU, Christian HARTMANN	
Campagne expérimentale nationale de surveillance de l'équivalent en eau de la neige (SWE) : premiers résultats	38
Antonio CARDILLO, Umberto BIAGIOLA, Gabriele STAMEGNA, Massimiliano FAZZINI	
Modélisation de la température de l'air dans l'agglomération de Kairouan (Tunisie centrale)	40
Sami CHARFI, Salem DAHECH, Mohamed CHEBLI	
Analysis of drought events in the area of Cuneo and the impacts on the territory	42
Agnese Maria COLIZZI, Alice BARONETTI, Manuela LASAGNA, Domenico DE LUCA, Fiorella ACQUAOTTA	
Dynamique atmosphérique multiscalaire sur le secteur euro-atlantique et conditions thermiques régionales : variabilité contemporaine (1950-2022)	44
Erika COLLET, Albin ULLMANN	
Observed changes in the precipitation regime along the Romanian lower Danube river	46
Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN, Elena GRIGORE, Liliana ZAHARIA, Adrian Amadeus TIȘCOVȘCHI, Gabriela IOANA-TOROIMAC, Giorgiana Daiana LÜFTNER, Raul Gabriel ILEA	
Spatial analysis of heat index in the urban heat island of the municipality of Jabotão dos Guararapes, PE	48
Sara C. CORDEIRO, Cristiana C. DUARTE, Ayobami B. MOREIRA, Maria E. A. PITOMBEIRA	
L'approche narrative pour décrire les futurs du climat	50
Lola CORRE, Agathe DROUIN, Paola MARSON, Jean-Michel SOUBEYROUX, Éric SAUQUET	
Étude des épisodes pluviométriques entre 2021 et 2023 et les dommages des inondations urbaines résultants en Afrique subsaharienne : cas de la commune de Cocody (CI)	52
Françoise D'AVILA GOUADOU, Malan Ketcha Armand KABLAN, Kouassi DONGO	
Comparaison des modèles de spatialisation des îlots de chaleur : exemple de Florianópolis, Brésil	54
Geisa Silveira DA ROCHA, Gabriela GOUDARD	
Étude comparative de logiciels de simulation du microclimat à usage gratuit pour le confort thermique en milieu urbain	56
Chaimaa DELASSE, Rafika HAJJI, Tania LANDES, Hélène MACHER, Pierre KASTENDEUCH, Georges NAJJAR, Vincent LECOMTE	
Calcul des matrices d'attitudes avec des forçages liés aux données météorologiques et climatiques : applications de l'intelligence artificielle dans l'actualisation des données	58
Claudio DI FLORIO, Antonio CARDILLO, Valerio ESPOSITO, Fazzini MASSIMILIANO	
Spatial analysis of land surface temperature (LST) and its relationship with the urban morphology of the city of Olinda, Pernambuco, Brazil	60
Cristiana C. DUARTE, Ariadne F. F. VIEIRA, Tamires G. L. MENDES, Taynã M. P. LINS, Ayobami B. MOREIRA	
Quelles fréquences et intensités des îlots de chaleur dans une petite ville ? le cas de Vitry, France, en 2022	62
Vincent DUBREUIL, Marion DELIDAI, Florian CHASSAGNE, Annabelle LAMY, Charlotte BRABANT	
Détermination des circulations atmosphériques propices aux fortes chaleurs estivales sur la Côte d'Azur	64
Lolita DUGUÉ	

Mesures et données satellitaires pour l'étude de la neige dans le haut bassin de l'Oum er Rbia - Maroc	66
Tarik EL ORFI, Mohamed EL GHACHI, Sébastien LEBAUT, Ionel HAIDU	
Impact des changements climatiques sur la variabilité des précipitations dans le bassin versant de l'oued Derna (Atlas de Béni Mellal / Maroc)	68
Islah EL YAGOUBI, Mohamed EL GHACHI, Hasan OUAKHIR	
Services écosystémiques et changement climatique : cas de la forêt tourbeuse de Lokolama dans le bassin du Congo (R.D.C.)	70
Dieu Merci ELUO, Hervé PARMENTIER, Louis REY, Hervé CUBIZOLLE	
The surface urban heat island in Casablanca, Morocco	72
Bouchaïb ESSALEK, Hind FATTAH, El Houcine LAKHOUAJA, Aissam BOUAICHE, Abdeladim BOUBEKRI, Abdelmottalib NAHLI	
La circulation automobile dans la ville de Sfax (Tunisie) et ses impacts sur la qualité de l'air d'après une campagne de mesure de PM_{2,5}	74
Hamdi EUCHI, Mohamed Ali ABDMOULEH, Salem DAHECH	
Variations spatio-temporelles des bioclimats annuels en Tunisie dans un contexte de changement climatique	76
Mohamed FEKI	
Urban climate and small cities in tropical region: the spatial variation of air temperature in Itajubá, Brazil	78
Rafael Rodrigues FERREIRA, Aline PASCOALINO	
Variabilité des sécheresses passées et futures à l'échelle du Nouveau-Brunswick, Canada	80
Guillaume FORTIN, Ali FAGHFOURI, Hayfa MAALI, Florian RAYMOND, Albin ULLMANN, Daniel GERMAIN	
El Niño 2023-2024 et impacts climatiques au Brésil : une analyse du printemps	82
Gabriela GOUDARD, Geisa Silveira DA ROCHA	
Modélisation paramétrique du transport de la fraîcheur produite par un parc pour différentes configurations urbaines	84
Adrien GROS, Benjamin MORILLE, Jérémy BERNARD, Auline RODLER, Sihem GUERNOUTI, Marjorie MUSY	
Évolution du régime pluviométrique (1980-2018) dans la région Casablanca-Settat	86
Kaoutar HAMDI ALAOUI, Mohammed HSAINI, Hassan FOUGRACHE, Wadi BADRI, Abdelali SEBBAR	
L'influence de l'oscillation Nord Atlantique sur l'occurrence des sécheresses hivernales dans le bassin d'Oum er Bia (Maroc)	88
Meriem HAMID, Khouldia NAFIA, Jalal Aguerd, Souad OURABIT, Mohamed EL GHACHI	
Stress thermique et comportement des habitants de Casablanca (Maroc) en période de forte chaleur : un retour d'enquête	90
Nassima HASSANI, Mathias BOQUET, Gilles DROGUE, Saïd SGHIR	
Climate shelter networks: learning from international study cases for a better reflection in the French context	92
Julia HIDALGO, Brais VILARINO, Marion BONHOMME	
Utilisation du krigeage avec régression pour cartographier l'îlot de chaleur à Cluj-Napoca, Roumanie	94
Iulian-Horia HOLOBĂCĂ, Mircea ALEXE, Kinga TEMERDEK-IVAN, Cosmina URUSU	
Le front de brise de mer à Djibouti	96
Moumina IDRIS DAOUUD, Salem DAHECH, Jean-Claude BERGES	

Specific synoptic context producing extreme minimum air-temperatures in Romania. Case study: 13-14 January 1985	98
Raul-Gabriel ILEA, Nicoleta IONAC, Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN, Elena GRIGORE	
Prospective et adaptation au changement climatique	100
Régis JUVANON DU VACHAT	
Mesure mobile participative du stress thermique	102
James KAMARA, Frédéric FILAINE, Arnaud GRADOS, Nassim FILLAOUI, Basile CHAIX, Julien BIGORGNE, Martin HENDEL, Laurent ROYON	
Résilience et vulnérabilité socio-économique aux risques d'inondations dans la commune de Dangbo	104
Césaire KODJO SONOU, Japhet Domiho KODJA, Asai Akinni Gervais ATCHADE, Expédit W. VISSIN	
Le stress thermique diurne dans l'aire urbaine grenobloise : réflexion sur les définitions, les échelles spatio-temporelles et les méthodes de quantification-spatialisation	106
Thomas LAGELOUZE, Sandra ROME, Julia HIDALGO, Sylvain BIGOT, Xavier FOISSARD	
Modeling of street trees for urban micro-climatology in Strasbourg - The TIR4STREET project	108
Tania LANDES, Hélène MACHER, Pierre KASTENDEUCH, Georges NAJJAR, Françoise NERRY, Jacques GANGLOFF, Loïc CUVILLON, Sylvain DURAND, Alex LALLEMENT, Damien BONAL, Nathalie BREDA, Marc SAUDREAU, Thierry AMEGLIO, Christophe SERRE, Carole BASTIANELLI, Philippe SLISSE, Vincent LECOMTE, Pierre COLOT, Pauline LAILLE	
Impact de la sécheresse sur la sinistralité des contrats d'assurance climatique sur récolte en France en contexte de réchauffement climatique récent	110
Léa LAURENT, Albin ULLMANN, Thierry CASTEL	
Evidences of increasing aridity in the São Francisco watershed, Northeast Brazil	112
Larissa LINHARES, Fábio LIMA, Iara SILVA, Albert MARTINS, Pedro MUTTI	
Influence du niveau de modélisation urbaine sur une simulation microclimatique LASER/F	114
Vincent LECOMTE, Hélène MACHER, Pierre KASTENDEUCH, Tania LANDES, George NAJJAR	
Drought characterization in the Itaparica reservoir, São Francisco basin, Brazil, using precipitation and TWS-GRACE based indices	116
Fábio LIMA, Pedro MUTTI, Rodrigo GONÇALVES, Larissa LINHARES, Jonathan SILVA, Tácito da SILVA	
Climatic and hydrological changes at the north coast of Rio de Janeiro (Brazil) as perceived by the family fishermen	118
Mauro MACEDO CAMPOS, Martin SEIDL, Victor F.G.V. CUNHA	
Intensité de l'îlot de chaleur urbain parisien et variabilité spatiale des températures à partir de données crowdsourcées : cas de l'été 2022	120
Malika MADELIN, Louis LEGRAND, Vincent DUPUIS	
Influence du parc Montsouris sur les conditions atmosphériques par temps radiatif estival à Paris	122
Samuel MARCHANTE-GIL, Malika MADELIN, Vincent DUPUIS, Salem DAHECH	
La variabilité spatio-temporelle de la pollution particulaire par la modélisation : nouvelles perspectives à partir d'un réseau dense de micro-capteurs en milieu urbain	124
Sarah MARION, Nadège MARTINY, Julita DUDEK, Mathieu BOILLEAUT, Marie RISTORI, Anaïs DETOURNAY	
Les impacts des inondations à Curitiba/PR (Brésil) : l'été 2022-2023	126
Francisco MENDONÇA, Braien GONÇALVES	
Changements récents et projection future de l'évaporation en Roumanie	128
Florentina MINCU, Gianina NECULAU, Nicu CIOBOTARU, Viorel CHENDEȘ, Cristina FLOREA	

Contribution of evapotranspiration to climate benefits of a recently unsealed and rehabilitated site	130
Antoine MOREL, Sophie HERPIN, Lydia BRIALIX, Dominique LEMESLE, David RAMIER, Adeline BULOT, Laure VIDAL-BEAUDET	
Rainfall variability in the subtropical climate of Brazil	132
Pedro MURARA, Fiorella ACQUAOTTA, Guillaume FORTIN	
Unraveling the role of Brazilian seasonally dry tropical forest (caatinga) on CO₂ energy and water exchanges	134
Pedro MUTTI, Bergson BEZERRA, Cláudio SANTOS E SILVA, Pablo DE OLIVEIRA, Keila MENDES	
Intense rainfall events and flooding in the Iguaçú-Sarapuí river basin, RJ, Brazil	136
Mariana OLIVEIRA DA COSTA, Antonio Carlos da Silva OSCAR JÚNIOR, Vincent DUBREUIL	
Impact du changement climatique sur les eaux souterraines et les eaux de surface dans la région du Centre-Maroc	138
Meriem OUATTAB, OUCHKIR I, CHARIFI H, MOUSTABCHIR R, Pascal ROUCOU, Albin ULLMAN, Abdelali SEBBAR, KASMI A, ARIOUA A, FILALI A	
The impact of recent climate change on land suitability for agriculture in Romania	140
Cristian Valeriu PATRICHE, Liviu Mihai IRIMIA, Bogdan ROȘCA, Radu Gabriel PÎRNĂU, Ionuț VASILINIUC	
Impact des couverts hivernaux sur les gelées de printemps en Champagne viticole	142
Basile PAUTHIER, Alexane PERRET, Élisabeth COUSIN, Géraldine URIEL, Sébastien DEBUISSON	
Évaluation spatio-temporelle des épisodes de fortes chaleurs en régions Bretagne et Pays de la Loire pour l'adaptation de la viticulture au changement climatique	144
Théo PETITJEAN, Valérie BONNARDOU, Cyril TISSOT, Hervé QUENOL	
Évaluation de l'impact de scénarios d'aménagement sur le confort thermique urbain : cas de la ville de Strasbourg	146
Nathalia PHILIPPS, Adine HECTOR, Marine GORET, Pierre KASTENDEUCH, Georges NAJJAR	
Trajectories of the Mediterranean cyclones influencing the precipitation in Bulgaria during the months of September-April	148
Hristo POPOV, Anna-Maria GEORGIEVA	
Évaluation de la robustesse du plan d'aménagement et de gestion (PAG) des aires protégées communautaire du sud-ouest de Madagascar face au changement climatique	150
Hajaniaina RASOLOARISON, Rindra RAMANANJATOVO, Nirhy-Harinelina C. RABIBISOA	
Évolution des températures observées (1980-2018) dans la région de Beni Mellal-Khenifra et projections futures	152
Kawtar REZKALLAH, Abdelali SEBBAR, Mohammed HSAINE, Kaoutar HAMDI ALAOUI, Hassan FOUGRACHE, Wadi BADRI	
Identification des types de temps sensibles (TTS) favorables aux extrêmes de chaleur estivaux à Grenoble et Echirrolles, France	154
Sandra ROME, Yingting WANG, Sylvain BIGOT, Julia HIDALGO, Xavier FOISSARD	
Les observations météorologiques du Journal de Paris (1777-1792)	156
Daniel ROUSSEAU	
Indicateurs du réchauffement climatique à la province de Settat, Maroc	158
Abdelali SEBBAR, Mohamed EL BADR, Hassan FOUGRACH, Mohamed HSAINE, Kaoutar Hamdi ALAOUI, Wadi BADRI	
Le climat de la France à +4°C	160
Jean-Michel SOUBEYROUX, Lola CORRE, Agathe DROUIN, Sébastien BERNUS, Paola MARSON	

Coastal climates as agents against climate change in southern Uruguayan viticultural regions	162
Ramiro TACHINI, Valerie BONNARDOT, Hervé QUENOL, Mercedes FOURMENT	
Impact sanitaire des inondations dans la ville d'Aboisso au sud-est de la Côte d'Ivoire	164
Sophie Pulchérie TAPÉ, Kalitia Fatoumata SEKONGO	
Le retrait-gonflement des argiles : évolution du phénomène et de sa prise en compte par les acteurs	166
Léa THOREL, Freddy VINET	
Impacts de la variabilité de la précipitation sur la régénération naturelle de <i>Uapaca Bojeri</i>, Ambatofinandrahana, Madagascar	168
Onjamalala Dimby TOJOALINJANAHARY, Myria RASOAVOLOLONJANAHARY, Mananjanahary ANDRIAMIFIDY, Rindra RANDRIAMIFIDISON, Lily RENE DE ROLAND	
Climate change and coffee production in the Amazon	170
Guilherme Almussa Leite TORRES, Roberto GRECO, Vincent DUBREUIL, Priscila Pereira COLTRI	
Variation climatique et risques de sécheresse dans le bassin cotonnier à Banikoara (Bénin, Afrique de l'Ouest)	172
Henri S. TOTIN VODOUNON, Nadiath ALI YAROU, Ernest AMOUSSOU, Constant HOUNDENOU	
Types de circulation atmosphérique à différentes altitudes et leurs relations avec les précipitations au sud de la Roumanie	174
Myriam TRABOULSI, Konstantia TOLIKA, Christina ANAGNOSTOPOULOU, Ioannis TEGOULIAS, Liliana ZAHARIA, Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN, Panagiotis MAHERAS	
La prévision des dommages grêle : estimation du nombre de sinistres grêle post événement à J+1	176
Maxime TREVISANI, Freddy VINET, Laurent BOISSIER	
Aperçu des impacts liés au changement climatique sur la biodiversité et la survie humaine dans les zones côtières de l'ouest de Madagascar	178
Tsaralaza Jorlin TSLAVAHANANAHARY, Rindramampionona RANDRIAMIFIDISON, Vololomboahangy RANDRIANJAFY	
Modeling the urban thermal field in southeast Brazil: a case study in Indaiatuba	180
Larissa VIEIRA ZEZZO, Vincent DUBREUIL, Priscila PEREIRA COLTRI	
Répartition spatiale et temporelle des décès liés aux inondations en région méditerranéenne française	182
Freddy VINET, Jean-Philippe CHEREL	
Caractérisation du risque d'inondation dans la commune de Dangbo au Bénin	184
Expédit W. VISSIN, B.D. Laurenda Carmen GNELE, Hervé KOUDJEGA	
Brises thermiques à Zahle (Liban oriental)	186
Rabih ZEIN AL DINE, Salem DAHECH	
The evolution of the climatic water balance in Poland in the light of progressing climate change	188
Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK	
Apport de la réduction d'échelle dans la simulation des précipitations actuelles et futures dans le contexte du changement climatique : le cas du bassin versant du Rheris – Maroc	190
Abdelmoumen BENCHATTOU, Mohamed EL GHACHI, Atika KASMI	