

LMI REZOC - année 2020

Rapport annuel d'activité et d'exécution financière

Objectif du LMI REZOC

L'objectif du Laboratoire Mixte International "Centre d'étude des Ressources en Eau et de la Zone Critique" (LMI REZOC) est de mieux comprendre les interactions entre modifications du cycle de l'eau et changements environnementaux sur une planète en transition rapide. Ses recherches ambitionnent de contribuer à une gestion soutenable de l'eau au Bénin et plus largement en Afrique de l'Ouest. Il s'appuie sur les données de l'observatoire AMMA-CATCH pour mener ses recherches.

Membres du LMI REZOC

Le LMI REZOC est co-porté par l'Institut National de l'Eau du Bénin (INE) et l'Institut des Géosciences de l'Environnement de Grenoble (IGE). Dans sa première phase (2019-2021) il concentre ses activités sur le Bénin et associe 2 partenaires : la Direction Générale de l'Eau du Bénin (DG-Eau) et l'UMR Hydrosiences Montpellier. Dans la deuxième phase il élargira ses analyses au climat sahélien et s'associera 3 autres partenaires.

Les co-directeurs du LMI REZOC sont Emmanuel A. Lawin (INE) et Sylvie Galle (IGE).

En 2020 le LMI REZOC comprend 44 membres¹ (dont 4 doctorants) et 34 associés qui représentent 30 ETP.

Signature de la convention du LMI REZOC

La convention de création du LMI REZOC a été signée le 4 mai 2020 par la présidente Directrice Générale de l'IRD et le Directeur de l'Institut National de l'eau du Bénin. La convention est conclue pour une durée de 5 (cinq) ans à compter du 1er janvier 2019.

De nouveaux partenaires scientifiques peuvent à tout moment demander à adhérer au LMI. Après approbation, toute nouvelle adhésion fera l'objet d'un avenant.

La convention fixe la composition du comité de Direction (CoDir) et du Comité de Suivi Scientifique du LMI REZOC. Voir la composition de ces listes en 2020 en Annexe 1.

¹ Membres du LMI : personnels justifiant d'au moins 25 % d'ETP dans le projet

Animation du LMI et impact du Covid

En 2020 le CoDir du LMI REZOC s'est réuni 7 fois pour animer les activités du LMI, organiser son appel d'offre annuel, ainsi que pour proposer des solutions pour s'adapter aux conséquences de la crise sanitaire du Covid-19.

Appel d'offre

En plus des dépenses programmées pour l'atteinte des objectifs des axes, l'appel d'offre annuel finance quatre types de demandes (1) la participation à un colloque international pour présenter une communication, (2) la gratification de stage de M2 (6 mois), (3) l'environnement d'étudiants en thèse ou en master (ordinateur, mission, petit matériel, analyses, etc...), (4) des demandes d'équipement (maximum 3000 €).

Les réponses sont arbitrées par le CoDir avec les critères suivants

- Pertinence du sujet par rapport aux livrables du LMI
- Pertinence scientifique de la proposition, adéquation des moyens et faisabilité
- Redondance avec des actions déjà démarrées
- Colloque : adéquation du colloque pour valoriser les résultats présentés (visibilité)

En 2020 nous avons reçu 18 projets (23000 €), 15 ont été retenus pour un total de 16200 €.

Impact du coronavirus

La crise sanitaire mondiale a fortement affecté l'animation du LMI, en empêchant de nombreuses MLD et mobilités Sud et en annulant tous les colloques prévus. Les échanges (encadrement de thèses, animations scientifiques) se sont faits essentiellement par visio-conférence. Les membres du LMI sont maintenant très efficaces avec les outils de visio-conférence. Malheureusement le débit de connexion étant souvent très faible, cela rend le dialogue difficile.

Le LMI a contribué à équiper² une salle de visio-conférence à l'INE (Cotonou) en autonomie électrique (panneaux solaires) qui sera inaugurée en 2021 et qui, à terme, assurera un meilleur débit de connexion pour les chercheurs béninois grâce à la fibre.

Webinaires

Pour continuer une animation scientifique durant le covid, le LMI a décidé de lancer des webinaires. Après plusieurs reports, les séminaires suivants sont programmés :

- « Evolution de la climatologie des pluies et des températures au Bénin : que sait-on aujourd'hui ? : Master de Kiki Roland » mercredi 16 décembre
- « Enregistrer son cours et le déposer sur une plateforme Moodle. Intérêt de cet outil pour la pédagogie en classe inversée » par J-P. Vandervaere et E. Alamou, mercredi 13 janvier 2021

² Appareil de visio-conférence et mobilier financés par le LMI REZOC, réfection de la salle, réseau et alimentation électrique financés par l'INE (voir rapport budgétaire)

Activité scientifique des axes

Les activités scientifiques des 4 axes thématiques du LMI REZOC ont été développées dans le cadre de la feuille de route élaborée en octobre 2019 au cours de l'atelier de travail REZOC réalisé à Cotonou (cf. rapport d'activité 2019 du LMI) : à partir d'applications pour le développement proposées par l'ensemble des parties présentes, nous avons identifiés les domaines dans lesquels de nouvelles connaissances devaient être produites et élaboré un plan d'action décliné en livrables.

En 2020, les 4 axes thématiques et l'axe transversal « formation et valorisation » ont travaillé sur les points suivants :

Axe 1 : « Analyse de la variabilité des pluies et des variables climatiques depuis les années 1950 »

Animateurs : Sounmaila Moumouni (INE) Théo Vischel (IGE)

Dans l'axe 1 les recherches développées en 2020 ont contribué aux objectifs suivants :

Nom du livrable	Actions	Valorisation
A1L1 : Analyse des tendances des variables climatiques historiques	M2 Roland KIKI, encadrant : S. Moumouni	Mémoire de Master Webinaire (16/12/2020) à destination des membres du LMI
A1L2 : Modélisation des intensités de pluie événementielle et spatialisation des variables climatiques	MLD Hilaire Kougbéagbé (EC INE) accueilli 2 mois à l'IGE (2019). Il a été formé au calcul des courbes IDF en climat changeant	Pas de résultats nouveaux en 2020 à cause de la difficulté d'échanges à distance avec le Covid. Demande report MLD en 2021

Résultats du master de Kiki Roland :

Les études existantes ne permettent pas de fournir de consensus clair sur l'évolution de la climatologie des précipitations au Bénin avec parfois des divergences sur les tendances qui semblent émerger de :

- La différence de périodes étudiées
- La différence de région étudiée (soit régionale incluant le Bénin, soit sous-région du Bénin)
- La différence de méthodologie adoptée

Les données de pluie et température ont été analysées à l'échelle nationale sur la période 1955-2016 à partir de l'utilisation des indices ETCCDI qui sont usuels au sein de la communauté du climat et qui permettent un premier décryptage sur de nombreux indicateurs de la climatologie moyenne et des extrêmes. Les résultats abordés sur la base de 8 zones climatologiques déduite de l'analyse des indices de concentration des précipitations mensuelles, montrent :

- un réchauffement statistiquement significatif du Bénin sur la base de quasi tous les indicateurs d'évolution de température analysés.

- la difficulté d'identifier des tendances monotoniques significatives sur l'ensemble de la période d'étude sur les précipitations moyennes et extrêmes.

Perspectives du travail :

Le travail permet de poser de nouvelles questions sur la démarche à adopter pour analyser les tendances pluviométriques et posent des questions sur la méthodologie :

- D'échantillonnage spatial : comment définir des sous-régions climatologiques tout en conservant un nombre suffisant de stations pour une analyse robuste des tendances ?
- D'échantillonnage temporel : comment définir des sous-périodes d'étude pour analyser des tendances au regard de la forte variabilité décennale ?
- Problème des lacunes : avec quelles méthodes et quelles sources de données opérer la correction des lacunes dans la base de données des précipitations ?

D'autres questions se posent sur l'élargissement des questions des tendances sur le cycle de l'eau en général et les autres variables (débits, eau souterraine...) qui appelleraient à **un travail inter-axe**.

Roland KIKI souhaite poursuivre ces travaux en thèse ce qui peut permettre d'avancer sur ces questions dans le cadre du LMI et en collaboration avec les services béninois concernés, notamment Météo-Bénin. Nous recherchons une bourse de thèse.

Autres points notables : acquisition de données

- **Acquisition et installation d'un disdromètre et d'un pluviomètre télétransmis**

L'installation du disdromètre et du pluviomètre acquis en 2020 a été retardée à cause de la pandémie de COVID-19. Elle s'est finalement faite sur le campus de l'Université d'Abomey-Calavi au début du mois de novembre 2020 (voir Photo 1), pratiquement à la fin de la saison des pluies. A ce jour, les instruments n'ont enregistré aucun événement majeur.

Cette installation contribuera au livrable A1L3 (2022) sur l'analyse granulométrique de la pluie.



Photo 1:

Disdromètre installé sur le campus de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin). Le disdromètre mesure le diamètre des gouttes de pluie et permet de quantifier l'intensité des pluies. En 2020, c'est le seul disdromètre en service au Bénin.

▪ **Actualisation de la base de données climatologiques :**

Les données disponibles sur le Bénin pour réaliser les recherches de l'axe 1 proviennent de deux sources :

- Le SNO AMMA-CATCH : période [1999-présent]
- Les données du réseau national de Météo Bénin disponibles sur la période [1950-2016]

Une demande d'actualisation des données pour les années les plus récentes a été initiée au sein du LMI auprès de Météo Bénin pour (i) actualiser les données sur 5 stations synoptiques du pays sur la période 1970-2019 et (ii) acquérir les données d'autres stations pour densifier le réseau et atteindre les objectifs de l'axe 1.

Un accord avec Météo Bénin devrait permettre au LMI REZOC de bénéficier des données de Météo Bénin à un tarif recherche. Les données acquises par le LMI sont disponibles pour l'ensemble de ses membres qui en acceptent les conditions d'utilisation (voir formulaire en annexe 1).

Remarque sur le fonctionnement

Difficulté générale ressentie pour créer une dynamique collective au sein de l'axe 1 qui résulte de la difficulté à réaliser des actions en présentiel (notamment l'atelier initialement prévu en janvier).

Axe 2 : « Impact du changement anthropique sur les processus de transferts et la qualité de l'eau »

Animateurs : Professeur Daouda Mama (INE) et Dr Ossénatou Mamadou (INE/IMSP)

Dans l'axe 2 les recherches développées en 2020 ont contribué aux objectifs suivants :

Nom du livrable	Actions	Valorisation
A2L1 : Cartographie de l'évolution des grandes tendances d'occupation des sols par télédétection	Achat de matériel (GPS, tablette et ordinateur)	Travail en cours (Dr Djaouga Mama)
A2L2 : Caractérisation de la variabilité de l'évapotranspiration sur forêt et sur culture	MLD Miriam Hounsinou (doctorante IMSP) accueillie 2 mois à l'IGE Grenoble (2020)	Participation à l'école d'hiver internationale « <i>European Research Course on Atmospheres</i> » (ERCA), janvier 2020
	M2 Arthon NOUMON, encadrants : O. Mamadou et J-M Cohard	Mémoire de Master
A2L3 : Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité de l'eau de surface et souterraine sur plusieurs points au Bénin	Acquisition d'une sonde multi-paramètres pour le suivi de la qualité de l'eau	Sonde commandée, pas encore livrée.

Deux communications (Mamadou et al. et Hounsinou et al.) ont été soumises au symposium « [24th Symposium on Boundary Layers and Turbulence](#) » qui devrait se tenir du 12-17 Juillet 2020 en Croatie ; reporté en 2021 à cause du COVID-19.

Animation scientifique de l'axe

Validation des activités retenues dans la production des connaissances et élaboration de la feuille de route de l'axe.

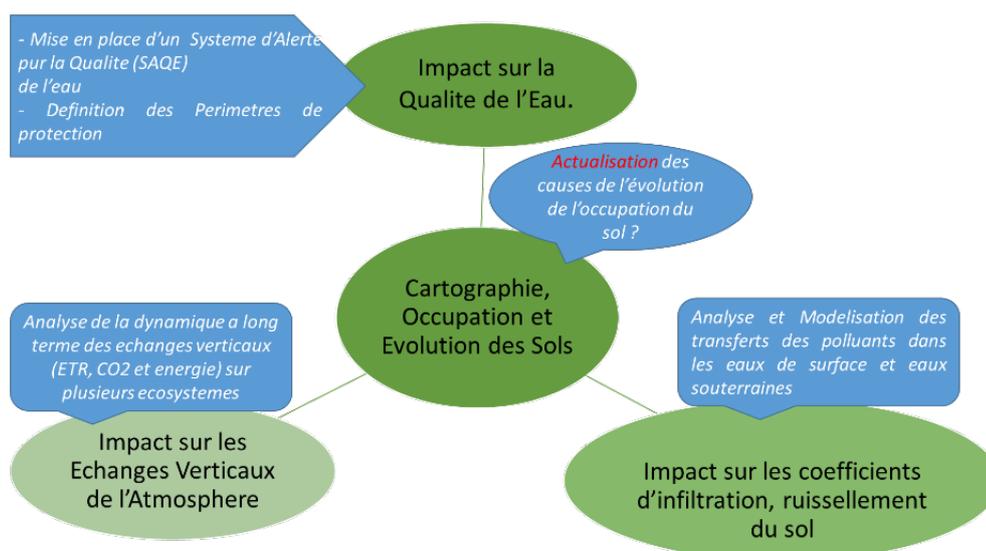


Figure 1 : structuration des questions de recherche de l'axe 2

Axe 3 : « Quantification des ressources en eau souterraine : stocks, renouvellement, évolution temporelle et exploitation durable »

Animateurs : Professeur Nicaise Yalo (INE) et Dr Jean-Michel Vouillamoz (IGE)

Dans l'axe 3 les recherches développées en 2020 ont contribué aux objectifs suivants :

Nom du livrable	Actions	Valorisation
A3L1 : Proposer une nouvelle méthode d'implantation des forages dans les zones de socle	L3 Samuel TOTIN, encadrants : N. Yalo, C. Allé et J-M Vouillamoz.	Mémoire de L3

Nom du livrable (suite)	Actions	Valorisation
A3L2 : Analyser l'évolution des stocks d'eau souterraine au cours des deux dernières décennies : aquifère du plateau d'Allada (Sud Bénin) et aquifères des régions de socle.	M2 James LAWSON, encadrants : N. Yalo, F. Lawson et J-M. Vouillamoz.	Mémoire de Master
	M2 Raoul DOSSOU, encadrants A. Alassane, V. Kotchoni et J-M. Vouillamoz	
	L3 ASSIGBE Carolle Aurore, encadrants V. Kotchoni et J-M. Vouillamoz	Mémoire de L3
	L3 SINGBO Conceptia, encadrants V. Kotchoni et J-M. Vouillamoz	Mémoire de L3

Résultats sur les aquifères de socle

Environ de 70% de la surface du Bénin est une région de socle. Dans ce contexte géologique, près de 40% des forages réalisés pour alimenter les populations sont des échecs car ils sont secs ou ils délivrent trop peu d'eau pour être exploités. L'observatoire AMMA-CATCH au Bénin est situé en zone de socle.

- Recherche des facteurs de contrôle de la recharge : 9 chroniques piézométriques ont été comparées en amplitude et en phase (stage L3) pour rechercher des classes de comportement. Les comportements piézométriques semblent influencés au premier ordre par la profondeur du niveau statique, ce qui pourrait traduire **un gradient de recharge ou de porosité avec la profondeur**.
- **Le rôle respectif des fractures et de l'altération** dans les propriétés des aquifères de socle. Cette question a été abordée au travers (1) d'une pré-étude sur l'artésianisme dans le socle: l'analyse de 3 forages artésiens semble indiquer que des écoulements latéraux sur de grandes distances (plusieurs km) n'ont pas besoins d'être évoqués pour expliquer l'artésianisme observé; (2) l'analyse de la production des AEV (forages à "gros débit" qui alimentent des réseaux de distribution d'eau): une dizaine de relevés de production d'eau a été analysée (stage M2) et indique que la production moyenne d'un forage AEV à "gros débit" ne semble pas excéder la production de 3 pompes à motricité humaine.

Résultats sur l'aquifère du plateau d'Allada

L'aquifère sédimentaire du plateau d'Allada est utilisé pour alimenter le grand Cotonou (15% de la population du Bénin).

- Géométrie de l'aquifère (Mio-Pliocène) du plateau d'Allada : des mesures géophysiques nouvelles (22 sondages électriques, stage M2) ont été réalisées pour préciser l'épaisseur de l'aquifère saturé qui varie de quelques mètres au Nord du plateau pour plus de 120m au Sud.
- La compréhension des processus et la quantification de la recharge :
 - 13 chroniques piézométriques ont été utilisées pour tenter de calculer la recharge et sa relation avec la pluie (stage L3). Cette étude a notamment montré que (1) la recharge ne peut pas être calculée à l'échelle annuelle par la méthode de fluctuation du niveau de nappe lorsque la profondeur du niveau statique excède les 20m, et (2) la recharge évaluée dans le Sud du plateau par les études précédentes par une méthode indirecte **semble surévaluée d'un facteur 2**.

- 20 analyses hydrochimiques d'eau souterraine (majeurs et isotopes stables de l'eau) ont été étudiées, et deux nouvelles campagnes de prélèvement ont été réalisées en avril et octobre 2020 (37 échantillons, stage M2). La première analyse des résultats indique que (1) la recharge est directe (infiltration de l'eau de pluie non évaporée), (2) l'aquifère du Mio-Pliocène alimente la rivière So, mais que les eaux de surface ne semblent pas alimenter l'aquifère, et (3) l'eau souterraine du Mio-Pliocène semble être un mélange entre un pôle eau profonde (plus de 150m) et eau de pluie.

Les volets "développement d'applications pour le développement" et "diffusion des connaissances" n'ont pas été abordés en 2020 car ils devront s'appuyer sur la production de connaissance en cours.

Axe 4 : « Analyse et modélisation du cycle de l'eau dans la Zone Critique »

Animateurs : Professeur Luc Sintondji (INE) et Dr Basile Hector (IGE)

Dans l'axe 4 les recherches développées en 2020 ont contribué aux objectifs suivants :

Nom du livrable	Actions	Production/Valorisation
A4L1 : Mise en œuvre d'un modèle de zone critique couplé pour le bassin versant de l'Ouémé	Séjour René Bodjrenou (doctorant INE) accueilli 4 mois à l'IGE Grenoble (2020-2021) Pour la prise en main du logiciel Parflow-CLM	R. Bodjrenou : Rapport bibliographique sur l'évolution du couvert sur le bassin de l'Ouémé
	Annulation de 2 MLDS : F. Badou (EC INE) Y. M'po N'tcha (CDD INE)	Demande report des 2 MLDS en 2021
	Atelier de formation au logiciel Parflow-CLM (28-29/10/2020) animé par J-M Cohard (20 participants)	Rapport sur l'atelier de formation Reportage de « Guérite TV Monde »
A4L2 : Identifier le meilleur modèle pour l'alerte précoce aux inondations	Séjour Luc Sossou (doctorant INE/HSM) 6 mois à HSM, repoussé 2 fois cause Covid	Encadrement non optimal cause covid
A4L3 : Modélisation du fonctionnement et de la valorisation des bas-fonds en zone soudanienne	M2 SINABARIGUI Idroissou., à l'UAC. Encadrants : L. Sintondji (INE) et J-P Vandervaere	Mémoire de Master

Modélisation intégrée de l'Ouémé

- René Bodjrenou a obtenu une bourse de thèse ARTS OMI-DELTA fin 2019, qui concerne la modélisation intégrée de l'Ouémé sous changements globaux. Un premier séjour de 2 mois à l'IGE prévu en Juillet – Aout a été repoussé pour cause de crise sanitaire. René est à l'IGE depuis le 30/11/2020 pour prendre en main le modèle ParFlow-CLM, et pour une période de 4 mois grâce à l'effort consenti par le projet OMI-DELTA pour financer sa mission.

- Les docteurs Félicien Badou et M'po N'tcha devaient passer les mois de Juillet et Aout à l'IGE pour prendre en main le modèle ParFlow et pouvoir co-encadrer R. Bodjrenou au plus près de son sujet de thèse et assister à l'école d'été sur la Zone Critique ; Ces mobilités Sud ont été annulées pour cause de crise sanitaire et devraient être reportées à l'été 2021

Alerte précoce des crues

Luc Sossou a obtenu une bourse de thèse ARTS à compter du 1/4/2021. Son séjour de 6 mois à HSM Montpellier (mai - octobre) a été repoussé pour cause de crise sanitaire. Le premier comité de thèse s'est tenu le 29 juillet 2020 (Pr S. Moumouni, ENS/USTIM, président, Pr E. Lawin, INE/UAC, Pr M. Vinches - HSM/Ecole des Mines d'Ales, Dr C. Peugeot, HSM/IRD). Un nouveau séjour de 2 mois (nov-déc) a été écourté pour cause de confinement en France (conditions de travail non optimales). L'encadrement du travail se fait essentiellement à distance. Les travaux actuels portent sur l'amélioration du modèle développé jusque-là, et la correction d'incohérences mises en évidence récemment. L'obtention d'une version satisfaisante est proche.

Modélisation des bas-fonds

- Un stage M2 (I. Sinabarigui) a été financé qui vise à la modélisation du fonctionnement et de la valorisation des bas-fonds de la zone soudanienne. Résultats en cours d'étude.
- Cartographie automatique des bas-fonds : un travail de défrichage avec des données Sentinel a été initié par M.-O. Soulayrol, VI AMMA-CATCH, en collaboration avec L. Sintondji (INE), I. Sinabarigui (INE), C. Peugeot (HSM), B. Hector (IGE) et M. Grippa (GET).

Axe transversal : « Formation et valorisation »

Animateurs : Professeur Eric Alamou (INE) et Dr Jean-Pierre Vandervaere (IGE)

Formation au modèle hydrologique Parflow-CLM

Jean-Martial Cohard (IGE) a animé un atelier de deux jours (28-29/10/2020) à l'IMSP (Dangbo) qui visait à initier la communauté académique à l'utilisation du modèle hydrologique Parflow/CLM. Il s'agissait de la première activité pour le **centre de calcul Asuka** de l'Institut de Mathématique et de Science Physique (IMSP) de l'UAC.

L'atelier a été inauguré en présence de Joel TOSSA, coordinateur du projet CEA-SMIA³, de Carlos OGOUYANDJOU, Directeur-adjoint de l'IMSP et d'Emmanuel LAWIN, Directeur de Cabinet du Ministre en Charge de l'Eau.

Les organisateurs de l'atelier étaient Dr Félicien Badou, Dr Jean Hounkpè (INE), Dr Ulrich Gaba (IMSP), Dr Mpo N'tcha (INE), sous la présidence de Dr Ossénatou Mamadou (IMSP).

La formation a accueilli une vingtaine de participants doctorants, enseignants-chercheurs et membres du Ministère de l'Eau, dont plusieurs membres du Laboratoire Mixte International REZOC.

³ CEA SMIA : Centre d'Excellence Africain en Sciences Mathématiques, Informatique et Applications, <https://www.ceasma-benin.org/htdocs/cea-smia/>



Figure 2 : Atelier d'initiation à l'utilisation du modèle hydrologique Parflow/CLM.

Production Scientifique du LMI REZOC

Les noms des membres du LMI sont indiqués en *gras*.

Articles dans des revues internationales à comité de lecture

2020

- Attogouinon A., **A. E. Lawin**, & J-F Deliège. « Evaluation of General Circulation Models over the Upper Ouémé River Basin in the Republic of Benin ». *Hydrology* 7, n° 1 (14 février 2020): 11. <https://doi.org/10.3390/hydrology7010011>.
- Braud I., **V. Chaffard**, C. Coussot, **S. Galle**, P. Juen, et al. (2020) « Building the Information System of the French Critical Zone Observatories Network: Theia/OZCAR-IS ». *Hydrological Sciences Journal* Special Issue: Hydrological data: opportunities and barriers (4 mai 2020): 02626667.2020.1764568. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1764568>.
- Chagnaud G.**, H. Gallée, T. Lebel, G. Panthou, et **T. Vischel**. « A Boundary Forcing Sensitivity Analysis of the West African Monsoon Simulated by the Modèle Atmosphérique Régional ». *Atmosphere* 11, n° 2 (11 février 2020): 191. <https://doi.org/10.3390/atmos11020191>.
- Houéménou H., S. Tweed, G. Dobigny, **D. Mama**, **A. Alassane**, R. Silmer, M. Babic, S. Ruy, A. Chaigneau, P. Gauthier, **A. Socohou**, H-J. Dossou, S. Badou, M. Leblanc (2020). « Degradation of Groundwater Quality in Expanding Cities in West Africa. A Case Study of the Unregulated Shallow Aquifer in Cotonou ». *Journal of Hydrology* 582 : 124438. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124438>

- Legchenko A., B. Texier, J-F. Girard, **J-M. Vouillamoz, F.M.A. Lawson, I.C. Alle**, J-M. Baltassat, G. Pierrat, et **M. Boucher**. « Feasibility Study of a Surface-Borehole NMR Method ». *Journal of Applied Geophysics* 177 (juin 2020): 104039. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104039>.
- Yalo N, Akokponhoué BH**, Akokponhoué NY, Marc YT, Alassane A, Hounton C and Suanon F (2020). Geophysical Geometry of Fracture Zones in the Basement Rocks of the Donga Department Northwest of Benin. *Journal of Geology & Geophysics*, Vol. 9 Iss. 1 No: 475, (2020), pp. 1-12. ISSN 2381-8719, <https://www.longdom.org/abstract/>
- Yalo E.N.**, R. H. Chodaton, E. Kounika, **M. Boucher** et **C. Allé** (2020): Délimitation géophysique de l'interface eau douce - eau salée dans les sables bruns de la plaine côtière de la commune de Sèmè-kpodji. *Afrique SCIENCE* 12(6) 206 – 216. ISSN1813-548 X, <http://afriquescience.net/PDF/16/2/19.pdf>

2019

- Cuthbert M. O., Taylor R. G., Favreau G., Todd M. C., Shamsudduha M., Villholt, K. G., MacDonald A. M., Scanlon B. R., **Kotchoni D. O. V., Vouillamoz J-M., Lawson F. M. A., Adjomayi P.A.**, Kashaigili, J., Seddon, D., Sorensen, J. P. R., Ebrahim, G.Y., Owor, M., Nyenje, P. M., Nazoumou, Y., Goni, I., Ousmane, B.I., Sibanda, T., Ascott, M. J., Macdonald, D. M. J., Agyekum, W., Koussoubé, Y., Wanke, H., Kim, H., Wada, Y., Lo, M-H., Oki, T. & Kukuric, N., (2019). Observed controls on resilience of groundwater to climate variability in sub-Saharan Africa. *Nature*, 572 (7768), 230--234.
- Karim A.Y.A, M.K. Saizonou, M.A.N. Gbaguidi, E. Azokpota, **L.F. Dovonon, D. Mama**, et H.H. Soclo (2019). « Factors influencing the partitioning of metal residues (lead) in Nokoué Lake (Benin) ». *Elixir Aquaculture*, no 126 : 2438-52444. https://www.elixirpublishers.com/index.php?route=articles/category&path=346_297
- Kotchoni D. O. V., Vouillamoz J-M., Lawson F. M. A., Adjomayi P.**, Boukari M. & Taylor R. G., 2019. Relationships between rainfall and groundwater recharge in seasonally humid Benin: a comparative analysis of long-term hydrographs in sedimentary and crystalline aquifers. *Hydrogeology Journal*, 27 (2), 447-457.
- Lamboni B., **Lawin A.E.**, Manirakiza C., Moussa Djibib Z. (2019). Variability of Future Rainfall over the Mono River Basin of West-Africa. *American journal of climate change*. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2019.81008>
- Larbi I., G. Forkuor, F. C. C. Hountondji, W.A. Agyare, **D. Mama** (2019). « Predictive Land Use Change under Business-As-Usual and Afforestation Scenarios in the Veia Catchment, West Africa ». *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS* 8, no 1: 3011-29. <https://cloudpublications.org/journals/index.php/RemoteSensing/article/view/453>.
- Lawin A. E.; Houngouè R.; N'Tcha M'Po Y.**; Houngouè N. R.; Attogouinon A.; Afouda A. A. Mid-Century Climate Change Impacts on Ouémé River Discharge at Bonou Outlet (Benin). *Hydrology* (2019), 6, 20. Doi : [10.3390/hydrology6030072](https://doi.org/10.3390/hydrology6030072).
- Lawin A. E.**, N.Houngouè, **C. Biaou, et D. Badou**. « Statistical Analysis of Recent and Future Rainfall and Temperature Variability in the Mono River Watershed (Benin, Togo) ». *Climate* 7, n° 1 (6 janvier 2019): 8. DOI : [10.3390/cli7010008](https://doi.org/10.3390/cli7010008).
- Ouermi K.S., **J-M. Paturel, J. Adounpke, A.E. Lawin**, B.T.A. Goula, et **E. Amoussou** (2019). « Comparison of Hydrological Models for Use in Climate Change Studies: A Test on 241 Catchments in West and Central Africa ». *Comptes Rendus Geoscience* 351, n° 7 (octobre 2019) : 477-86. DOI : [10.1016/j.crte.2019.08.001](https://doi.org/10.1016/j.crte.2019.08.001).
- Rashid M., Chie, R-Y., Ducharne A., Kim H., Ye, P. J.-F., **Peugeot C.**, Boone A., He X., Séguis L., Yabu Y., Boukari M. & Lo M-H., 2019. Evaluation of Groundwater Simulations in Benin from the ALMIP2 Project. *Journal of Hydrometeorology*, 20 (2), 339-354.
- Raso L., Kwakkel J., Timmermans J. & **Panthou G.**, 2019. How to evaluate a monitoring system for adaptive policies: criteria for signposts selection and their model-based evaluation. *Climatic Change*, 153 (1-2), 267-283.

Tchouta K. D., **Boucher M.**, Mvondo V. Y. E., Favreau G., Ngounou Ngatcha B., **Yalo N.**, Goni I.B., et Legchenko A. (2019). « Contribution of Time Domain Electromagnetic and Magnetic Resonance Soundings to Groundwater Assessment at the Margin of Lake Chad Basin, Cameroon ». *Journal of Applied Geophysics* 170 (1 novembre 2019): 103840. Doi : [10.1016/j.jappgeo.2019.103840](https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103840).

Wendling V., **Peugeot C.**, Mayor A. G., Hiernaux P., Mougin E., Grippa M., Kergoat L., Walcker R., **Galle S.** & Lebel T., 2019. Drought induced regime shift and resilience of a Sahelian eco-hydrosystem. *Environmental Research Letters*, 14(10), 105005. Doi : [10.1088/1748-9326/ab3dde](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3dde).

2018

Alle I.C., M. Descloitres, J-M. **Vouillamoz**, N. **Yalo**, F. M. A. **Lawson**, et A. C. Adihou, 2018. « Why 1D Electrical Resistivity Techniques Can Result in Inaccurate Siting of Boreholes in Hard Rock Aquifers and Why Electrical Resistivity Tomography Must Be Preferred: The Example of Benin, West Africa ». *Journal of African Earth Sciences* 139: 341-53. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.007>.

Dickson, N. E. M., J-C. Comte, Y. Koussoube, U. S. Ofterdinger, et J-M. **Vouillamoz**, 2018. « Analysis and Numerical Modelling of Large-Scale Controls on Aquifer Structure and Hydrogeological Properties in the African Basement (Benin, West Africa) ». *Geological Society, London, Special Publications*, SP479.2. <https://doi.org/10.1144/SP479.2>.

Hounguè R.; **Lawin E.**; **Moumouni S.**; Afouda, A. A., 2018. Change in Climate Extremes and Pan Evaporation Influencing Factors over Ouémé Delta in Bénin. *Climate* 2019, 7, 22, doi:10.3390/cli7010002. <https://www.mdpi.com/2225-1154/7/1/2>

Galle S., M. Grippa, **C. Peugeot**, I. Bouzou Moussa, B. Cappelaere, J. Demarty, E. Mougin, & 80 co-authors including **Adjomayi**, **Agbossou**, **Boucher**, **Cohard**, **Dossou**, **Hector**, **Lawin**, **Mamadou**, **Pellarin**, **Vandervaere**, **Vischel**, **Vouillamoz**, **Zannou**) « AMMA-CATCH, a Critical Zone Observatory in West Africa Monitoring a Region in Transition ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180062. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.03.0062>.

Communications dans des colloques et conférences internationales

On ne recense ici que les communications financées par le LMI REZOC (déplacement ou mission ou inscription).

2020

Les colloques initialement prévus ont tous été annulés pour cause de covid. Ils sont généralement reportés en 2021 :

- 24th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, Šibenik, Croatie (2 participantes)
- 4ème Conférence internationale des grands fleuves d'Afrique, Cotonou, Bénin (3 participants)
- Colloque international francophone GEOFCAN, Grenoble, France (1 participant invité)
- Journées Scientifiques Internationales de Lomé XIXème édition, Lomé, Togo (1 participant)

2019

- Y. M'Po N'Tcha** et al., 2019. Mid-Century Daily discharge scenarios based on climate and land use change in Ouémé river basin at Bétérou. [African Climate Risks Conference](#), 7-9 oct 2019, Adis Abeba (Ethiopie).
- V. Kotchoni** et al., 2019. Understanding recharge processes in weathered and fissured zones of basement aquifer in Benin. [International Symposium on Isotope Hydrology \(IAEA, 2019\)](#), 20-24 Mai 2019, Vienne (Autriche).
- S. Galle et N. Yalo**, 2019. Enjeux et défis partagés autour de l'Eau : le LMI REZOC. Séminaire de lancement du PSIP Geodhe, 16-17 sept. 2019, Rabat, Maroc.
- A. E. Lawin**, 2019. Faut-il définir de nouvelles normes hydrologiques au Bénin ? Séminaire UNESCO, nov. 2019 Abidjan, Cote d'Ivoire.

Thèses

En cours ⁴

- Bodjrénou, René** (démarrage 2020). « Impacts des changements climatiques et d'utilisation des terres sur les ressources en eau du delta de l'Ouémé ». Thèse de Doctorat, Univ. Abomey-Calavi, ED Sciences Agronomiques et de l'Eau. Bourse OMI-Delta. Co-direction : **E. Lawin, J-M Cohard**.
- Hounsinou Miriam** (démarrage 2019). « Gap filling of turbulent fluxes and estimation of their uncertainties ». Thèse de Doctorat, Univ. Abomey-Calavi, ED Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques. Bourse DE. Co-direction : **B. Kounouhewa, O. Mamadou**.
- Koukpohounsi, Bénito (2020-2022)**. « Evaluation de la recharge et des stocks d'eau souterraine dans le delta de l'Ouémé : implication pour l'AEP ». Thèse de Doctorat, Univ. Abomey-Calavi. Bourse OMI-Delta. Co-direction : **N. Yalo, J-M. Vouillamoz**.
- Sossou, Luc** (démarrage 2020). « Prévion du risque d'inondation dans la basse vallée de l'Ouémé à l'aide de modèles à réseaux de neurones ». Thèse de Doctorat, Univ. Abomey-Calavi, ED : Sciences Exacte et Applications, en cours. Bourse IRD-ARTS. Co-direction : **E. Lawin, C. Peugeot**.

Soutenues 2020

- Hounguè, Rita** (2020). « Climate change impacts on hydrodynamic functioning of Oueme delta (Benin) ». Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, WASCAL. Direction : **E. Lawin**.

Soutenues 2019

- Allé, I. Christian** (2019). « Evaluation de l'implantation géophysique des forages d'eau en zone de socle en milieu tropical (Bénin, Afrique de l'Ouest) : apport de la tomographie de résistivité électrique pour la caractérisation de la cible hydrogéologique ». Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin. Direction : **M. Desclotres, N. Yalo**.
- Kotchoni, D. O. Valérie** (2019). « Recharge des aquifères de socle du Bénin : identification des processus, quantification et analyse de l'évolution temporelle ». Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi. Direction : **J-M. Vouillamoz, M. Boukari**.

⁴ Doctorant dont le travail s'inscrit à plus de 25% dans le LMI REZOC (en moyenne 75%)

Lawson, M. A. Fabrice (2019). « Estimation des ressources en eau souterraine en zone de socle africain : développement d'une approche hydrogéophysique basée sur la résonance magnétique protonique ». Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin. Direction : **J-M. Vouillamoz, N. Yalo**.

Master

On ne recense ici que les masters financés par le LMI REZOC (gratification de stage ou missions ou matériel). Au Bénin les Masters peuvent se dérouler sur 2 années.

En cours

SINABARIGUI, Idrissou, 2020-2021. « Modélisation du fonctionnement et de la valorisation des bas-fonds en zone soudaniens ». Mémoire de Master MAREMA, Univ. Abomey-Calavi, Encadrants **L. Sintondji et J-P Vandervaere**

LAWSON, James, 2020-2021. « Contribution à la définition de la géométrie de l'aquifère du Mio-Pliocène du plateau d'Allada : comparaison des sondages électrique et EM en domaine temporelle ». Mémoire de Master, Univ. Abomey-Calavi, 2020. Encadrants **N. Yalo, F. Lawson et J-M. Vouillamoz**.

AGON Orel, 2020-2021. « Evaluation du rôle de la fracturation dans l'alimentation des forages d'eau en zone de socle ». Mémoire de Master « Hydrologie et Gestion des Ressources en Eaux », à l'UAC. Encadrants : **N. Yalo, C. Allé et J-M Vouillamoz**.

DOSSOU, Raoul, 2020-2021. « Contribution de l'hydrogéochimie à la définition des conditions aux limites du plateau d'Allada en vue de l'élaboration d'un modèle hydrodynamique ». Mémoire de Master, Univ. Abomey-Calavi, 2020. Encadrants **A. Alassane, V. Kotchoni et J-M. Vouillamoz**.

Soutenus 2020

KIKI Gino Roland, 2019-2020. Analyse des tendances des variables climatiques historiques. Stage de Master « Hydrologie quantitative ». Encadrants **M. Soumaila et T. Vischel**

NOUMON Arthon, 2019-2020. Analyse de la variabilité interannuelle du bilan énergétique et de l'évapotranspiration réelle sur un site de culture au Nord Bénin. Stage de Master « Physique Théorique et Applications ». Encadrants **O. Mamadou et J-M. Cohard**.

Formation et communication

Mamadou O., Cohard J-M., Badou F., Hounkpè J., Gaba U., Mpo Ntcha Y. & J-M. Cohard, 2020. Rapport sur l'atelier de formation à l'utilisation du centre de calcul avec le modèle hydrologique ParFlow. 28-29 oct. 2020. IMSP, Dangbo, Bénin, 8 pages.

Reportage télévisé de Guérite TV (2020) : « atelier de formation à l'utilisation du centre de calcul avec le modèle hydrologique ParFlow ». Reportage en 2 * 5 minutes à retrouver ici : <http://www.amma-catch.org/spip.php?article310>

Oliver-Soulayrol M., Afouda S. Ouani T., Wubda M. (2020). Vidéo « Présentation des travaux de terrain de l'observatoire AMMA-CATCH au Bénin ». Durée 2 min.

Rapport budgétaire 2020

En 2020 le budget total du LMI REZOC s'élève à 66 000 €, dont 30 000 € proviennent de la dotation IRD pour le LMI (enveloppe : 252LRE) et 36 000 € d'autres financements (voir ci-dessous) obtenus par les membres du LMI.

En 2020 plusieurs missions ont été annulées et le LMI REZOC a demandé la reprogrammation de 10 000 € sur 2021.

1) ressources du LMI REZOC en 2020

Tutelles du LMI	
IRD (dotation LMI)	30 000 €
IRD (autres crédits)	16 000 €
INE - Bénin	10 000 €
UMR IGE - France	*
UMR HSM - France	*
DG-Eau - Bénin	0 €
<i>UAM - Niger</i>	<i>pas en activité pendant les 3 premières années</i>
<i>USTTB - Mali</i>	
<i>UMR GET - France</i>	
TOTAL	56 000 €

* : crédits intégrés dans "IRD (autres crédits)"

Financements extérieurs	
projets (OMI-Delta, AGIRES, EC2CO Transctropic)	2 500 €
observatoire AMMA-CATCH	7 500 €
bourses de colloques	0 €
TOTAL	10 000 €

TOTAL Tutelles + extérieurs	66 000 €
------------------------------------	-----------------

2) Détail des dépenses 2020 du LMI REZOC

Rubrique	Description	2020	Dont LMI
Gouvernance et animation			
	Préparation d'une réunion avec les décideurs	5 000 €	5000 €
	Atelier de travail – annulé cause covid	0 €	
	Total €	5 000 €	5000 €
Fonctionnement et petits équipements			
	Equipement hydrologique (limnimètres, pluviomètres, piézomètres)	28 000 €	13 000 €
	Bureautique (ordinateurs, imprimantes)	3 000 €	3 000 €
	Logiciel	1 400 €	0 €
	Données Météo-Bénin	200 €	200 €
	Frais infrastructure (locaux et internet)	12 500 €	2500 €
	Papeterie et divers	700 €	700 €
	Total €	45 800 €	19 400 €
Encadrements étudiants / doctorants			
	Stages de master (1)	700 €	700 €
	Formation télédétection	300 €*	300 €*
	Total €	1 000 €	1 000 €
Missions			
	Conférences scientifiques (2)	1 100 €**	1 100 €**
	Mission Bénin -> France	5 300 €	1 300 €
	Mission France -> Bénin	4 000 €	0 €
	Mission Bénin-Bénin (terrain)	2 000 €	0 €
	Total €	12 400 €	2 400 €
Autres activités			
	CDD Secrétariat Gestion	2 200 €	2 200 €
	Total €	2 200 €	2 200 €
TOTAL		66 000 €	30 000 €

*Formation annulée mais dont les frais d'inscription restent acquis pour 2021

**Conférence annulée mais dont les frais d'inscription restent acquis pour 2021

ANNEXE 1

En 2020 les instances du LMI sont composées des personnes suivantes :

Les co-directeurs du LMI sont :

- Agnidé Emmanuel LAWIN, Professeur à l'INE
- Sylvie GALLE, Chargée de Recherche Hors Classe à l'IRD

Le Comité de Direction du LMI (CoDir) est constitué des responsables d'axes :

- Théo VISCHEL, Maître de Conférences à l'Université Grenoble Alpes
- Moumouni SOUNMAILA, Maître de Conférences à l'UNSTIM
- Daouda MAMA, Professeur à l'UAC
- Ossénatou MAMADOU, Maître Assistant à l'UAC
- Jean-Michel VOUILLAMOZ, Chargé de Recherche à l'IRD
- Nicaise YALO, Maître de Conférences à l'UAC
- Basile HECTOR, Chargé de Recherche à l'IRD
- Luc O. SINTONDJI, Professeur à l'UAC
- Eric ALAMOU, Maître de Conférences à l'UNSTIM
- Jean-Pierre VANDERVAERE, Maître de Conférences à l'Université Grenoble Alpes

Le Comité de suivi scientifique est constitué des personnes suivantes :

- Les Co-directeurs du LMI
- Le représentant de l'IRD au Bénin
- Le représentant de l'Institut National de l'Eau (INE), Bénin
- Afouda Abel, hydrologue, professeur émérite de l'UAC, Bénin
- Ali Abdou, Directeur du Département Recherche et Information à Agrhymet, Niger
- Aubinet Marc, Université de Liège, Belgique
- Boukari Moussa, hydrogéologue, professeur émérite de l'UAC, Bénin
- Braud Isabelle, Directrice de Recherche INRAE - Lyon, France
- Guilhe-Batiot Christelle, Maître de conférences à l'Université de Montpellier, France
- Koita Mahamadou, Maître de Conférences au 2iE de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Laggoun Fatima, Directrice de Recherche CNRS - Orléans, France.
- Tweed Sarah, Chargé de Recherche IRD, UMR G-Eau - Montpellier, France

ANNEXE 2

LMI REZOC : formulaire de demande d'utilisation des données de pluie acquises auprès de Météo Bénin⁵

Je soussigné, membre du LMI REZOC, demande à utiliser les données de pluie de Météo Bénin détaillées ci-dessous dans le cadre du LMI REZOC « Centre d'étude des ressources en eaux et de la zone critique ».

Je m'engage à utiliser ces données à un usage exclusif de recherche. Si Météo-Bénin découvre que ces données ont été utilisées pour une consultation, l'Agence Météo-Bénin est en droit de me traduire en justice et l'utilisateur illégal fera face à la rigueur de la loi.

Je m'engage à remercier le LMI REZOC et Météo-Bénin dans toute publication utilisant ces données.

Je m'engage à ne pas transmettre ces données, y compris aux membres du LMI. Chaque utilisateur doit signer ce formulaire.

NOM :

Prénom :

Axe :

Usage des données :

Données demandées :

Années :

Stations :

Fait à :

Le :

Signature du demandeur

⁵ Formulaire à envoyer au secrétariat du LMI REZOC : Rolande Lawin <rolande.lawin@ird.fr>