

Université de Bamako, Mali



Faculté des Sciences et Techniques (FAST)



&

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme d'études Approfondies (D.E.A)

Option : Energétique

Par

**Sétigui Aboubacar Keita**

Titre :

Contrôle qualité de l'humidité et du flux de chaleur dans le sol : application à l'estimation du bilan d'énergie

Jury:

**Pr. Komakan Konaté** (Président du jury, FAST)

**Dr. Sinaly Dembélé** (Rapporteur, FAST)

**Dr. Bakari Coulibaly** (Rapporteur, FAST)

**Pr. Abdrahamane BA** (Encadreur, FAST)

**Franck Timouk** (Encadreur, IRD. Géosciences Environnement Toulouse)



Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA)

## Table des matières

<b>Remerciement</b> .....	<b>i</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>I. Matériels et méthodes</b> .....	<b>2</b>
I.1. Bilan d'énergie.....	2
I.1.1. Rayonnement net.....	6
I.1.2. Chaleur sensible et chaleur latente.....	6
I.1.2.1. Le flux de chaleur sensible.....	7
I.1.2.2. Le flux de chaleur latente.....	8
I.1.2.3. Principe de l'Eddy covariance et mesure des flux turbulents de chaleur.....	9
I.1.3. flux de chaleur dans le sol.....	14
<b>II. Description de la zone d'étude et caractéristique météorologiques</b> .....	<b>18</b>
II.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	18
I.1.1. Gourma malien.....	18
I.1.1.1. Position géographique.....	19
I.1.1.2. Milieu naturel.....	20
II.2. Site d'étude site 17 d'Agoufou.....	22
<b>III. Flux de chaleur dans le sol particularité et contraintes de cette mesure</b> .....	<b>25</b>
III.1. Définition de la mesure par réflectométrie et de la mesure par la méthode gravimétrique.....	27
III.2. Calibration de la CS616 par la méthode gravimétrique.....	30
III.2.1. Présentation des résultats obtenus.....	31
III.3. Analyse, critique des données du réseau.....	35

III.3.1.	Détection des phases naturelles d'ensablement et d'érosion du sol.....	35
III.3.1.1.	Méthode d'analyse.....	40
III.3.1.2.	Résultats et interprétations	
<b>IV.</b>	<b>Caractéristique et optimisation du calcul du bilan d'énergie.....</b>	<b>44</b>
IV.1.	Méthode d'optimisation du terme G.....	45
IV.2.	Résultats et interprétations.....	46
<b>V.</b>	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>58</b>
<b>VI.</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>60</b>
<b>VII.</b>	<b>Annexe.....</b>	<b>64</b>
	Annexe I : .....	64
	Annexe II : .....	73
	Annexe III : .....	82

## Remerciement

- ❖ J'exprime ma gratitude tout d'abord au directeur du Programme AMMA Monsieur Eric Mougin qui m'a accueilli et permis de réaliser ce travail dans son laboratoire.
- ❖ J'ai eu de la chance d'avoir comme encadrant IRD Monsieur Franck Timouk pour ses nombreuses explications sur la circulation atmosphérique à grande échelle qui par ses conseils et son recul, sur le sujet, m'a permis d'aller au-delà de la simple interprétation direct des résultats et m'a permis d'être plus critique. Mon encadrant FAST Monsieur Abdrahamane BA trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour les précieuses remarques sur le mémoire et le concours apporté maintes fois pour les tracassés administratifs.
- ❖ Je tiens à remercier particulièrement, Nogmana Somagel et Mamadou Diawara avec qui j'ai fait mes premiers pas dans la recherche et qui ont su parfaitement encadrer mes travaux malgré mes cheminements parfois tortueux. Vos critiques et conseils m'ont permis d'améliorer la qualité de ce document; Arber Dicko et les chauffeurs de l'IRD qui sont souvent sur le terrain avec moi.
- ❖ A tous les professeurs du département de physique de la FAST qui ont assuré notre formation, je dis infiniment merci.
- ❖ L'ensemble de mes camarades, en particulier Moussa Diawara, Mamadou Doumbia, Bassala Diakité pour leur amitié et leur bonne humeur permanente.
- ❖ Enfin, je remercie mon père, ma mère, ma grande mère, ma famille chaleureuse qui m'ont accompagné tous les jours bien au delà de mon travail et à qui je dédie ce mémoire.

« La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne. La pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi. Ici, nous avons réuni théorie et pratique : Rien ne fonctionne...et personne ne sait pourquoi»  
A.Einstein

## Résumé

Ce mémoire a pour objectif d'améliorer la compréhension et la représentation des échanges hydriques et énergétiques entre le sol la végétation et l'atmosphère. Il présente différentes méthodes de correction des contraintes de positionnement des capteurs de mesure du flux conductif. Ceci étant effectué grâce à un contrôle qualité rigoureux de l'hydrométrie du sol des stations biophysiques du programme AMMA. Nous avons observé l'impacte de cette correction en analysant la fermeture du bilan énergétique. Quatre années ont été ciblées de 2007 à 2010. Nous avons déterminé les phases d'ensablement et d'érosion du sol. La calibration de toutes les sondes de mesures d'humidité et de température des stations AMMA dans le Gourma malien a été faite.

## Mots-clés

Echanges Sol-Végétation-Atmosphère, bilan d'énergie, Hydrologie de surface, qualité des données, flux conductif dans le sol, bioclimatologie, zones semi-arides, AMMA.

## Abstract

The goal of this study is to improve the apprehension and representation of the hydric and energizing exchange between the soil, the vegetation and the atmosphere. It introduces different correcting methods of the constraints positioning of the soil heat flux calorimetric measures captors. Because of a close control of the biophysics stations soil's hydrometric of the AMMA program. After analyze the closing of the energy budget, we have noticed the impact of this correction. Four years have been targeting, started 2007 until 2010. We have determined soil erosion phases. The calibration of all the AMMA's damp measures probes and temperature stations in the Malian's Gourma have been done.

## Keywords

Exchange between the soil-the vegetation-atmosphere, energy budget, surface hydrology, data quality, soil heat flux calorimetric, bioclimatology, semi-arid areas, AMMA.

## Table des figures

FIG. 1.1 – Bilan énergétique de la terre.....	3
FIG. 1.2 - Schéma présentant un bilan d'énergie jour (a) et nuit (b).....	5
Fig. 1.3 - L'anémomètre sonique (gauche) et le Licor (droite) effectuant des mesures sur la station d'Agoufou.....	11
FIG. 1.4 – Tableau présentant les propriétés thermiques de certains matériaux.....	16
FIG. - 2.1 : carte géographique du Gourma Malien.....	19
FIG. 2.2 - Moyenne journalière des pluies en 2010 sur la station d'Agoufou.....	21
FIG. - 2.3. : Le super site d'Agoufou.....	24
FIG. - 2.4. Site local d'Agoufou.....	24
FIG. 3.1 – Droites de calibration de la TVE.....	32
FIG. – 3.2 Tableau présentant les différentes équations obtenues après calibration de 2005 à 2009.....	34
FIG. 3.3 – TVE de la station d'Agoufou Haut de dune.....	34
FIG. 3.4 - Vitesse du vent en fonction de l'altitude.....	36
FIG. 3.5 - Vitesse du vent en 2006 dans le gourma malien.....	37
FIG. 3.6 – présentation des Nebkas.....	38
FIG. 3.7 - Mise en évidence du splash ou du rejaillis.....	39
FIG. 3.1 – Tableau présentant le flux conductif mesuré par la plaquette flux, celui obtenu suivant la méthode de correction Lw réfléchi par la terre ainsi que le flux obtenu après correction (en bleu). La moyenne mobile sur 24h(en vert).....	48
FIG. 3.2 – Tableau présentant le flux conductif mesuré par la plaquette flux, celui obtenu suivant la méthode de correction IRT ainsi que le flux obtenu après correction (en bleu). La moyenne mobile sur 24h(en vert).....	50
FIG. 3.3 – Tableau présentant le flux conductif mesuré par la plaquette flux, celui obtenu suivant la méthode de correction Tc ainsi que le flux obtenu après correction (en bleu). La moyenne mobile sur 24h(en vert).....	53

