



Renforcement de la capacité
de gestion des ressources en eau
dans l'agriculture moyennant
des outils de suivi-évaluation

Rapport Annuel

No 3 : Décembre 2003 - Octobre 2004

Ministère de l'Agriculture,
de l'Hydraulique et
des Ressources Halieutiques

Direction Régionale
de l'Agriculture
de l'Hydraulique et
des Ressources Halieutiques
des Hauts-Bassins

B.P. 179 – Bobo-Dioulasso
Burkina Faso



Ecole Inter-états d'Ingénieurs
de l'Équipement Rural

03 B.P. 7023
Ouagadougou 03
Burkina Faso



Katholieke Universiteit Leuven

Département
Gestion des Terres

Vital Decosterstraat 102
3000 Leuven
Belgique



Renforcement de la capacité
de gestion des ressources en eau
dans l'agriculture moyennant
des outils de suivi-évaluation

Rapport Annuel

No 3 : Décembre 2003 - Octobre 2004

(Octobre 2004)

Rédigé par J. Wellens & N.F. Compaore (GE_eau@yahoo.fr)

En concertation avec :

- H. Yacouba (Directeur des Etudes – E.I.E.R.)
- A. Ouattara (Directeur Régionale – D.R.A.H.R.H.)
- D.Raes (promoteur – K.U.L.)
- J. Van Orshoven (co-promoteur – K.U.L.)

Table des matières

Table des matières	i
Liste des cartes, figures & tableaux	v
Abréviations	viii
Liste des photos	ix

Activités annuelles

1 Activités annuelles	3
1.1 Résumé des objectifs des activités	3
1.2 Résumé des activités réalisées	3
1.2.1 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage de AVSWAT	3
1.2.2 Calibration et validation du modèle hydrologique	3
1.2.3 Caractérisation et modélisation des cultures pluviales	4
1.2.4 Apport en eau par ascension	4
1.2.5 Caractérisation et modélisation des périmètres irrigués	4
1.2.6 Intégration des différents outils développés	4
1.2.7 Bulletins techniques	5
1.3 Résumé et justification des activités non réalisés	5
1.4 Emploi du temps : décembre 2003 - octobre 2004	6
1.5 Synthèse de 3 ans de travaux de projet	7
1.6 Perspectives : GEeauPlus	8

Concurrence pour la même ressource eau

2 Concurrence pour la même ressource eau	13
2.1 Le Bassin du Kou	13
2.2 Divers prélèvements	14
2.3 Gestion au niveau de la Vallée du Kou	15
2.4 Nécessité d'une concertation entre les utilisateurs	15
3 Le périmètre irrigué & BIRIZ	17
3.1 Méthode d'évaluation des efficacités	17
3.1.1 Efficacité de transport	17
3.1.2 Efficacité d'application	18
3.1.3 Efficacité globale du réseau	19
3.2 BIRIZ	19
3.2.1 Principe de calcul avec le logiciel BIRIZ	20
3.2.2 Les paramètres d'entrée du logiciel	21

3.2.2.1 Les hypothèses de base des calculs	21
3.2.2.2 Choix par défaut	21
3.2.2.3 Description du perimeter	21
3.2.2.4 La préparation du terrain	22
3.2.2.5 Evolution de la lame d'eau	23
3.2.2.6 Paramètres de la culture	23
3.2.2.7 Coefficients culturaux	24
3.2.2.8 Synthèse sur les paramètres d'entrée du logiciel	25
3.3 Les besoins en eau	28
3.4 Les déficits en besoins en eau	28
3.5 Gestion de l'eau au niveau de la parcelle	29
3.6 Remarques	31
4 Evaluation des performances au long du canal d'amenée	33
4.1 Besoins en eau des cultures recensées	33
4.2 Volumes d'eau utilisées	34
5 Synthèse de la ressource eau	35

Validation & calibration de BUDGET

6 Simulation du bilan d'eau : sur des champs de maïs	40
6.1 Méthodologie	40
6.1.1 Calcul des teneurs en eau	40
6.1.2 Calibrage	41
6.1.3 Données d'entrée	42
6.2 Résultats	44
6.3 Discussion et conclusion	46
7 Simulation du bilan d'eau : sur un champ de bananes (première tige)	47
7.1 Méthodologie	47
7.1.1 Calibrage ou validation	47
7.1.2 Données d'entrée	48
7.2 Résultats	49
7.3 Discussion et conclusion	50
8 Simulation du bilan d'eau moyennant des tensiomètres	51
8.1 Des tensiomètres comme outil de suivi	51
8.2 Méthodologie	52
8.2.1 Courbes d'étalonnages pour les tensiomètres	52
8.2.2 Données d'entrées	53
8.3 Résultats	54
8.4 Discussion et conclusion	56
9 Simulation des rendements au niveau de la parcelle	57
9.1 Le calcul des rendements	57
9.1.1 L'approche multiplicative	58
9.1.2 Approche minimale	58

9.1.3 Approche saisonnière	59
9.2 Méthodologie	59
9.3 Résultats	59
9.4 Discussion et conclusion	60
10 Simulation des rendements régionaux du maïs pluvial	61
10.1 Méthodologie	61
10.2 Données d'entrée	61
10.3 Résultats	63
10.4 Discussion et conclusion	63
11 Fiches d'aide à la planification des irrigations	64
11.1 Données d'entrée	64
11.2 Calendriers d'irrigations	65
11.3 Fiches d'aide à la planification des irrigations	66
11.4 Conclusions	66

Cartographie & études

12 Carte & étude morpho-pédologique	71
12.1 Objectifs	71
12.2 Méthodologie	71
12.2.1 Phase préparatoire	71
12.2.2 Phase de terrain	72
12.2.3 Collecte et exploitation des données analytiques	72
12.2.4 Carte et documents élaborés	72
12.3 Géologie et hydrographie	73
12.4 Géomorphologie, sols, végétation	73
12.4.1 Reliefs résiduels	73
12.4.2 Glacis actuels	75
12.4.3 Ensembles fluvio-alluviaux	76
12.5 Unités morpho-pédologiques et leurs caractéristiques	76
12.5.1 Reliefs résiduels	77
12.5.2 Système de glacis actuel	81
12.5.3 Ensembles fluvio-alluviaux	86
12.6 Etats et risques de dégradation des ressources en sols	88
12.7 Cartes & Tableaux	90
13 Carte d'occupation des terres	93
13.1 Recherche documentaire	93
13.2 Préparation des prises vue aériennes	93
13.3 Vérification sur terrain	93
13.4 Résultat	94
14 Modèle numérique de terrain	96

Gestion

15 Etudiants encadrés & formations	101
15.1 Au niveau de GE-eau	101
15.2 Collaboration avec APPIA	102
16 Ateliers	107
- Amélioration des Performances sur les Périmètres Irrigués en Afrique	108
- “Comment faire face aux impacts environnementaux de l’eau et l’agriculture dans les trente ans à venir”	111
- “Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou : agir localement pour réfléchir globalement”	115
17 Mission de Geerts – juillet 2004	119

Référence bibliographique	121
----------------------------------	------------

Cartes, Figures & Tableaux

Carte 2.1	Bassin du Kou	14
Carte 3.1	Distribution spatiale des efficiences moyennes de transport	18
Carte 3.2	Carte du sol du périmètre irrigué de la Vallée du Kou	22
Carte 12.1	Les puits pédologiques avec les unités pédo-morphologiques	91
Carte 12.2	Carte pédo-morphologique du bassin du Kou	91
Carte 13.1	Occupation des terres du Bassin du Kou	95
Carte 14.1	Carte topographique du Bassin du Kou	96
Carte 14.2	Courbes et points de niveau du bassin du Kou	97
Carte 14.3	Modèle numérique de terrain du bassin du Kou	97
Figure 3.1	Organigramme des calculs selon BIRIZ	20
Figure 3.2	Préparation du terrain et lame d'eau maintenue	25
Figure 3.3	Organigramme des écoulements	25
Figure 3.4	Données climatiques pour la zone de la Vallée du Kou	26
Figure 3.5	Données de la culture	26
Figure 3.6	Paramètres du riz	26
Figure 3.7	Calendrier cultural (saison chaude – 1 ^{ère} campagne)	27
Figure 3.8	Calendrier cultural (saison froide – 2 ^{ème} campagne)	27
Figure 3.9	Dose totale irriguée sur des parcelles suivies par quartier, avec les besoins en eau du riz pour plusieurs efficiences de distribution	30
Figure 3.10	Productivité de l'eau d'irrigation pour les quatre quartiers suivis	31
Figure 6.1	Teneur en eau mesurée et simulée avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 1)	44
Figure 6.2	Teneur en eau mesurée et simulée avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2)	44
Figure 6.3	Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 1)	45
Figure 6.4	Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2)	45
Figure 7.1	Teneur en eau mesurée et simulé avec le logiciel BUDGET pour le champ des bananes	49
Figure 7.2	Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2)	49
Figure 8.1	Courbes d'étalonnage des tensiomètres à une profondeur de 30 et 55 cm	52
Figure 8.2	Teneur en eau mesurée par tensiomètre 3 et simulée avec le logiciel BUDGET pour un champ de maïs pluvial	55
Figure 8.3	Teneur en eau mesurée par tensiomètre 5 et simulée avec le	55

	logiciel BUDGET pour un champ de maïs pluvial	
Figure 8.4	Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour le champ du maïs pluvial avec tensiomètre 3	56
Figure 8.5	Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour le champ du maïs pluvial avec tensiomètre 5	56
Figure 9.1	Rendements relatifs du maïs observés et simulés avec BUDGET utilisant l'approche multiplicative, minimale et saisonnière	59
Figure 10.1	Rendements relatifs du maïs pluvial observés et simulés avec BUDGET pour la province de Houet utilisant l'approche multiplicative, minimale et saisonnière	63
Tableau 1.1	Emploi du temps : décembre 2003 – octobre 2004	6
Tableau 3.1	Efficiences moyennes de transport des différents types de canaux	18
Tableau 3.2	Valeurs de percolation pour différents types de sols	22
Tableau 3.3	Imbibition par type de sol	23
Tableau 3.4	Durée des différentes phases du cycle du riz (en jours) (FKR28, saison chaude, longueur de cycle 120 jours)	24
Tableau 3.5	Durée des différentes phases du cycle du riz (en jours) (FKR28, saison froide, longueur de cycle 135 jours)	24
Tableau 3.6	Calendriers agricole pour la 1 ^{ère} et 2 ^{ème} campagne	24
Tableau 3.7	Valeurs Kc pour du riz, mesuré à Mogtedo, Burkina Faso	25
Tableau 3.8	Besoin en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficiences de distribution et pour différentes conditions climatiques	28
Tableau 3.9	Déficit en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficiences de distribution et pour différentes conditions climatiques. Mesuré à partir de l'eau disponible au niveau de la porcherie.	29
Tableau 3.10	Déficit en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficiences de distribution et pour différentes conditions climatiques. Mesuré à partir de l'eau disponible au niveau de la prise d'eau.	29
Tableau 4.1	Besoins en eau des cultures recensées	33
Tableau 4.2	Récapitulatif des performances hydrauliques	34
Tableau 5.1	Bilan d'utilisation de la ressource eau pendant la campagne sèche	36
Tableau 5.2	Bilan d'utilisation de la ressource eau pendant la campagne humide	36
Tableau 6.1	Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs (champ 1)	42
Tableau 6.2	Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K _y) (champ 1)	42
Tableau 6.3	Autres caractéristiques culturales du maïs (champ 1)	42
Tableau 6.4	Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs (champ 2)	43
Tableau 6.5	Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du	43

	rendement à l'eau (K_y) (champ 2)	
Tableau 6.6	Autres caractéristiques culturales du maïs (champ 2)	43
Tableau 6.7	Caractéristiques du sol (champ 1)	43
Tableau 6.8	Caractéristiques du sol (champ 2)	43
Tableau 7.1	Phases de croissance et paramètres culturales pour un bananier	48
Tableau 7.2	Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) pour un bananier	48
Tableau 7.3	Autres caractéristiques culturales d'un bananier	48
Tableau 7.4	Caractéristiques du sol : champ des bananes	48
Tableau 8.1	Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs dans les champs avec les tensiomètres	53
Tableau 8.2	Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) du maïs	54
Tableau 8.3	Autres caractéristiques culturales du maïs dans les champs des tensiomètres	54
Tableau 8.4	Caractéristiques du sol du champ du tensiomètre 3	54
Tableau 8.5	Caractéristiques du sol du champ du tensiomètre 5	54
Tableau 10.1	Caractéristiques du sol représentatives pour le province de Houet	62
Tableau 10.2	Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs pluvial	62
Tableau 10.3	Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) du maïs	62
Tableau 10.4	Autres caractéristiques culturales du maïs pour les simulations des rendements régionaux	62
Tableau 11.1	Périodes d'activités agricoles	65
Tableau 11.2	Calendriers d'irrigation pour des cultures irriguées pour deux différentes doses d'irrigation et trois conditions climatiques	65
Tableau 11.3	Calendriers d'irrigation pour des cultures pluviales (irrigation de complément) pour deux différentes doses d'irrigation et trois conditions climatiques	65
Tableau 12.1	Corrélation des taxonomies des sols BRM/CPCS	90
Tableau 12.2	Textures de tous les types de sols présents dans le bassin du Kou	92
Tableau 13.1	Clef d'interprétation des photos pour l'élaboration de la carte d'occupation des terres des bassins versants du Kou	94

Abréviations

AEDE	Association Eau Développement et Environnement
AIEA	Agence Internationale pour l'Energie Atomique
APEFE	Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger
APPIA	Amélioration des Performances sur les Périmètres Irrigués en Afrique
ARID	Association Régionale pour l'Irrigation et Drainage
AVSWAT	ArcView Avenue – Soil and Water Assessment Tool
BIRIZ	Logiciel de bilan d'eau et de gestion des périmètres irrigués
BIRINZIP	Logiciel de bilan d'eau et de gestion des périmètres irrigués
BRM	Base Référentiel Mondial des ressources en sol
BUDGET	Logiciel de bilan d'eau pour l'agriculture
BUNASOLS	Bureau National des Sols
CPCS	Commission Pédologique de Classification des Sols
DRAHRH-HB	Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins
DRI	Division des Relations Internationales de la Région wallonne
EIER-ETSHER	Ecole inter états d'Ingénieurs de l'Equipement Rural – Ecole inter états des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural
FAO	Food and Agricultural Organisation
FNPP-IWRM-VG	FAO Netherlands Partnership Program on Integrated Water Resources Management for the Rural Poor
GEeau	Gestion en Eau
IGB	Institut Géographique du Burkina Faso
INERA	Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agricole
KULeuven	Katholieke Universiteit Leuven
ONEA	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ORSTOM	Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération – maintenant : IRD : Institut de Recherche pour le Développement
PAFDK	Projet d'Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou
SIG	Système d'Informations Géographique
SMAP	Logiciel de transformation des pluies en débits à partir des caractéristiques physiographiques du bassin
SNV	Stichting voor Nederlandse Vrijwilligers

Photos

- 1 g Tertiaire avec vannes au périmètre irrigué de Bama
- m Test d'infiltromètre aux doubles anneaux (après test)
- d Le lac du Bama avec pêcheurs en pirogue
- 11 g Irrigation formelle avec des tuyaux au long du canal d'amenée du périmètre irrigué de Bama
- m Concertation entre les différents utilisateurs d'eau à Diaradougou
- d Secondaire avec enfants jouants à Bama
- 37 g Décortiquer le riz à Bama
- m Mesures avec tensiomètre (à côté de Bama)
- d Le bas-fond de Diaradougou en hivernage
- 69 g Prendre des échantillons perturbées en aval de Bama (saison sèche)
- m Etude morpho-pédologique (vers Darsalami)
- d Ressources halieutiques à vendre (marché de Bama)
- 99 g Déjeuner en brousse à Panamasso
- m La DRAHRH-HB avec gardien, chauffeur et assistants de recherches (Bobo-Dioulasso)
- d N.F. Compaoré formé en télédétection et prêt à rejoindre l'équipe du projet au Burkina Faso (Bruxelles-Midi)



– Activités annuelles –

1

Activités annuelles

1.1 Résumé des objectifs des activités

Comme prévues dans le « Rapport de mission de 7-16 décembre 2003 » de Raes et Van Orshoven et dans « le planning : décembre 2003-octobre 2004 » du deuxième rapport annuel, les activités à entreprendre dans la troisième et dernière année du projet étaient :

- 1) établissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle AVSWAT ;
- 2) calibration et validation du modèle hydrologique ;
- 3) caractérisation et modélisation des aménagements pour cultures pluviales ;
- 4) apport en eau par ascension ;
- 5) caractérisation et modélisation des périmètres irrigués ;
- 6) intégration des différents outils développés ;
- 7) élaboration des bulletins techniques.

1.2 Résumé des activités réalisées

1.2.1 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle AVSWAT

Après la finalisation du bulletin technique d'Agro-Climatologie et du bulletin hydrologique du bassin versant du Kou, des cartes pédologiques et topographiques, ainsi qu'un modèle numérique de terrain numérique ont été élaborées et ont rendues la base de données pour AVSWAT complète.

La numérisation des cartes a pris beaucoup plus de temps que prévu et l'étude morpho-pédologique, accompagnant la carte pédologique, a nécessité plusieurs relances, mais est devenu une œuvre vaste et détaillée.

Rendre toutes ces cartes uniformes et superposables est une tâche que le projet est encore en train de faire.

1.2.2 Calibration et validation du modèle hydrologique

Pendant toute son exécution l'équipe du projet a été sans cesse confrontée à des données d'une qualité douteuse.

Le projet n'a alors pas pu venir jusqu'au stade de calibration et validation du modèle hydrologique AVSWAT. Vu l'intérêt de la DRAHRH-HB et la mise en place d'une deuxième phase du projet, l'équipe du projet s'est néanmoins encore mis à étudier le logiciel. La cellule SIG de la DRAHRH-HB tient à calibrer AVSWAT pendant la période de transition des deux phases du projet.

1.2.3 Caractérisation et modélisation des cultures pluviales

Plusieurs années de suivi des profils hydriques par le projet et ses stagiaires ont été valorisées par S. Geerts durant sa mission en juin.

La simulation de la productivité relative de maïs dérivée du stress hydrique pour plusieurs années a été comparée avec la productivité observée dans la zone.

1.2.4 Apport en eau par ascension

Néanmoins, la disponibilité de toutes les données nécessaires, l'effet de l'ascension capillaire à partir de la nappe phréatique vers la zone d'enracinement n'a pas pu être investigué.

1.2.5 Caractérisation et modélisation des périmètres irrigués

Pour le projet de recherche en collaboration avec APPIA « Evaluation des performances sur le périmètre irrigué formel et informel de la vallée du Kou », deux assistants de recherche ont caractérisé, pendant une période de plus que 6 moi, le périmètre irrigué de la vallée du Kou et ses alentours.

Dans la mémoire de fin d'étude de M.Barro de l'EIER, intitulé « Besoin en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ », une grande recherche scientifique et bibliographique vers des données authentiques pour la région et ses variétés de riz a précédé une remise en état de toutes les données nécessaires pour faire des calculs avec BIRIZ. Plusieurs scénarios de calendrier agricole ont été testés et présentés.

B.Drapeau a continué la validation de BUDGET pour le maïs irrigué et a émis l'idée d'utiliser des fiches d'aide à la planification des irrigations dans son mémoire de fin d'étude « Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aide à la planification des irrigations ».

1.2.6 Intégration des différents outils développés

Dans leur « Rapport de mission de 7-16 décembre 2003 », Raes et Van Orshoven se prononçaient déjà avec une certaine prudence sur la faisabilité de cette dernière étape. En effet, comme le modèle hydrologique n'a pas pu être calibré, cette intégration a été reportée en deuxième phase.

1.2.7 Bulletins techniques

Plusieurs bulletins techniques, basés sur les résultats de recherche du projet, ont été rédigés et actualisés ou sont en voie de l'être. Ces bulletins sont énumérés ci-dessous :

- Publication de l'analyse du climat ;
- Publication des caractéristiques physiques des horizons des différents types de sol dans la zone de l'intervention ;
- Publication de l'étude pédo-morphopédologie ;
- Publication de l'hydrologie du bassin versant du Kou (1980-2002) ;
- Publication de la synthèse hydrologique du bassin versant du Kou à l'aide de SMAP ;
- Publication de la validation du modèle du bilan d'eau BUDGET et présentation d'une fiche d'aide à la planification des irrigations;
- Publication des résultats du suivi du périmètre irrigué de la Vallée du Kou (BIRIZ) ;
- Publication des cartes élaborées ou assemblées du bassin versant du Kou.

1.3 Résumé et justification des activités non réalisés

Comme les autres années les activités du projet ont surtout été déterminée par le choix des mémoires de fin d'études des étudiants et la collaboration en recherche avec l'APPIA. Et comme les autres années toute intérêt est allé au volet « Aménagements hydroagricoles ». L'approche « aménagements hydroagricoles » a alors aussi été très bien élaboré ; toutes les études présentées dans § 1.5 et fait par le projet y font preuves.

Par conséquent, l'exécution de l'approche bassin versant (la recherche et la préparation des données en vue du paramétrage du modèle AVSWAT, l'apprentissage de AVSWAT et les tentatives de simulations) concernait uniquement l'équipe du projet. En conséquence, ces tâches n'ont pas pu être accomplies par notre équipe dans les délais prévus. Néanmoins, le projet dispose de toutes les données pour le calibrage de AVSWAT.

En revanche, cette tâche a été reprise pour la deuxième phase du projet. En attendant, l'homologue du chef de projet et responsable de la cellule SIG, a étudié AVSWAT et tient à achever la calibration.

1.4 Emploi du temps : décembre 2003 – octobre 2004

Tableau 1.1 – Emploi du temps : décembre 2003 – octobre 2004

Mois	Activités
Décembre	<ul style="list-style-type: none"> - Rapport; - Mission de D.Raes et de J.Van Orshoven; - Correction de l'analyse des photos aériennes (avant numérisation); - Formation de F. Chabi-Gonni en SIG et numérisation; - Encadrement de D. Dioro et B. Sawadogo dans le projet de recherche et de collaboration avec APPIA.
Janvier	<ul style="list-style-type: none"> - Préparation des activités de la 3^{ème} année du projet (collaborations, stages, campagnes de mesures, études); - Numérisation des cartes de sols et d'occupations des terres; - Encadrement de D. Dioro et B. Sawadogo dans le projet de recherche et de collaboration avec APPIA.
Février	<ul style="list-style-type: none"> - Numérisation des courbes de niveau; - Numérisation des cartes de sols et d'occupation des terres; - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA; - Réalisation d'un atelier sur la gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin du Kou pour la formation DESS en Eau pour l'agriculture et l'approvisionnement des communautés (EAC).
Mars	<ul style="list-style-type: none"> - Mission de J. Wellens en Belgique & élaboration du modèle de terrain numérique; - Stage de M.Barro: "Besoin en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ; - Stage de B.Drapeau (EIER): "Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aides à la planification des irrigations"; - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA.
Avril	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Barro et B. Drapeau (EIER); - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA; - Conversions et corrections des cartes numérisées.
Mai	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Barro et B. Drapeau (EIER); - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA; - Conversions et corrections des cartes numérisées.
Juin	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Barro et B. Drapeau (EIER); - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA; - Finalisations des couches de données en AVSWAT.
Juillet	<ul style="list-style-type: none"> - Mission de S.Geerts: "validation de BUDGET"; - Préparation et organisation de l'atelier sur GEeau et GEeauPlus (2^{ème} phase); - Encadrement du projet de recherche et de collaboration avec APPIA (petite prolongation).
Août	<ul style="list-style-type: none"> - Réfection de la légende de la carte des sols; - Apprentissage du logiciel AVSWAT.
Septembre	<ul style="list-style-type: none"> - Finalisation et vulgarisation de la mission de S.Geerts; - Tentatives de premiers simulations avec AVSWAT.
Octobre	<ul style="list-style-type: none"> - Rapportage et comptabilité; - Finalisation des Bulletins Techniques; - Transmission du projet à la DRAHRH-HB.

1.5 Synthèse de 3 ans de travaux de projet

Au cours des années, les accents mis sur les objectifs ont changés. Le bassin du Kou reste un des bassins le plus intéressant pour élaborer des méthodologies de gestion en eau, on évoque même un Observatoire de l'Eau. Ce dernier doit être interprété comme un laboratoire dans lequel on expérimente plutôt qu'un observatoire de suivi (comme presque tout suivi est absent). Sous l'impulsion indirecte de l'AEDE, le projet a contribué à la reconnaissance de l'importance d'un outil comme un Observatoire de l'Eau et des outils GEeau (outils qui aident à la gestion en eau).

Le projet a fait beaucoup d'efforts montrant l'importance d'un bon suivi. Beaucoup de données inexistantes ou mal distribuées ont été produites ou assemblées par le projet. Maintenant le projet accueille des intervenants qui cherchent les mêmes données.

La problématique de la concurrence pour la même ressource en eau a objectivement été analysée et mise en carte. Différentes solutions précoces ont été présentées dans plusieurs études et jusqu'à ce jour l'expertise du projet sur cette problématique est souvent demandée (par des autres stagiaires, FAO, SNV,...)

Toutes les études de recherche pratique faites sur la gestion en eau montrent que le projet a renforcé la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture :

- Gestion des ressources en eau du Sud Ouest à des fins agricoles : Analyse des caractéristiques du climat. Teyabe Pahimi, 2002.
- Renforcement de la capacité des ressources en eau dans l'agriculture : Etude du Bassin versant du Kou. Decay Marion, 2002.
- Analyse des risques, amélioration des rendements et validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso. Geerts Sam, 2003
- Calcul des besoins en eau d'irrigation au périmètre rizicole de la Vallée du Kou utilisant le logiciel BIRIZ. Deschamps Maarten, 2003.
- Participation à la caractérisation de la ressource en eau dans le Sud ouest du Burkina Faso. Dedewanou Myriam, 2003.
- Synthèse hydrologique sur la vallée du Kou. Mise en place d'un système de suivi et d'évaluation de la ressource. Chabi-Gonni Félicité, 2003.
- Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso moyennant des tensiomètres. Barro Mamadou, 2003.
- Etude morpho-pédologique du bassin versant de la vallée du Kou. Barro Samo Etienne, 2004.
- Besoin en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ. Barro Mamadou, 2004.
- Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aide à la planification des irrigations. Drapeau Bengueou, 2004.
- Evaluation des performances sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou – Rapport Intermédiaire. Dicko Dioro, 2004.
- Evaluation des performances du périmètre irrigué informel de la Vallée du Kou – Rapport Intermédiaire. Sawadogo Bréhima, 2004.

- Evaluation des performances sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou. Dicko Dioro, 2004.
- Evaluation des performances du périmètre irrigué informel de la Vallée du Kou. Sawadogo Bréhima, 2004.
- Nivellement topographique et piézométrique du bassin versant du Kou. Dedewanou Myriam, 2004.

1.6 Perspectives : GEeauPlus

Convaincu de l'importance des perspectives de GEeau, le projet s'est mis à la recherche d'un bailleur de fonds qui garantirait une deuxième phase de GEeau. La coopération internationale de la Région wallonne s'est engagée à prendre ce rôle par un financement mixte APEFE-DRI, débutant en janvier 2005.

Les objectifs globaux du projet sont :

- Contribuer à l'amélioration de la connaissance, gestion et protection des ressources en eau du Burkina Faso.
- Contribuer au développement de la production agricole dans le bassin du Kou en particulier celle irriguée.
- Contribuer à la consolidation du processus de gestion intégrée des ressources en eau engagée dans le bassin du Kou sous l'impulsion du Comité de gestion des eaux du bassin du Kou .

Les résultats atteints au cours de l'étape de mise au point du concept GEeau sont : la collecte, la synthèse et le traitement des données diverses nécessaires à la modélisation sous AVSWAT, BIRIZ et BUDGET avec intégration à un SIG. La mise en œuvre du projet va permettre de :

- Conduire à son terme la modélisation et l'intégration à un SIG
- Valoriser et approfondir l'apport des techniques isotopiques pour
 - o la quantification des eaux souterraines
 - o la caractérisation des principaux aquifères
 - o l'identification des directions d'écoulement des eaux souterraines
 - o l'estimation des vitesses de transfert vers les sources
- Développer des modèles de simulation de scénario d'exploitation des eaux
- Elaborer des tableaux de bord relatifs au suivi de la protection qualitative et quantitative des eaux et des milieux
- Elaborer des tableaux de bord relatifs à la satisfaction des besoins en eau y compris les besoins en eau des zones humides
- Appuyer la professionnalisation de la gestion de l'eau dans le secteur irrigué par :
 - o la formation, la promotion, le suivi et l'appui à l'exploitation des outils de gestion de l'eau développés
 - o l'optimisation des pratiques agricoles et l'appui à la valorisation agricole des ressources en eau
- Appuyer l'AEDE dans la mise en place d'un Observatoire de l'Eau avec pour vocation en continuité au projet, d'appuyer les pouvoirs publics dans le développement et la conduite de programmes d'études et de recherches dans le domaine de l'eau dans la région.

Le partenariat s'organise en :

- La DRAHRH-HB assure la tutelle administrative du projet et garantit l'articulation de ses résultats aux politiques nationales et met à disposition un local à usage de bureau.
- L'AEDE est le maître d'œuvre du projet; elle met à disposition 3 experts nationaux participant aux activités du projet, sa base de données, du matériel scientifique (GPS différentiel), elle assure via un partenariat avec l'AIEA, les prélèvements et analyses isotopiques des eaux
- Le groupe EIER/ETSHER assure le développement du programme de stages professionnels au profit des étudiants
- L'APEFE met à disposition un conseiller technique principal et un crédit de soutien logistique
- La DRI : assure l'appui des opérateurs scientifiques et techniques belges et la prise en charge d'une partie des frais d'opération.



- Concurrence pour l'eau -

2

Concurrence pour la même ressource en eau

2.1 Le Bassin du Kou

Le bassin versant du Kou est l'un des 17 bassins régionaux qui constituent le bassin national du Mouhoun, l'un des trois bassins nationaux du Burkina Faso. Couvrant 1 823 km², ce bassin est situé dans le Sud-ouest du Burkina Faso. Il est drainé par le Kou et s'écoule vers le Nord-est. Les industries les plus importantes du pays se trouvent dans ce sous-bassin, plus particulièrement à Bobo-Dioulasso. Ce bassin est aussi assez divers en ce qui concerne la présence d'aménagement hydro-agricoles types divers (bas-fonds, sources, puits/forages, retenues, barrages, rizières et autres périmètres irrigués, ...). Le bassin est caractérisé par le fleuve pérenne du Kou. On y trouve d'autres cours d'eau presque permanents, ainsi que des lacs, des mares et des sources ('la Guingette' et la source de Pessou).

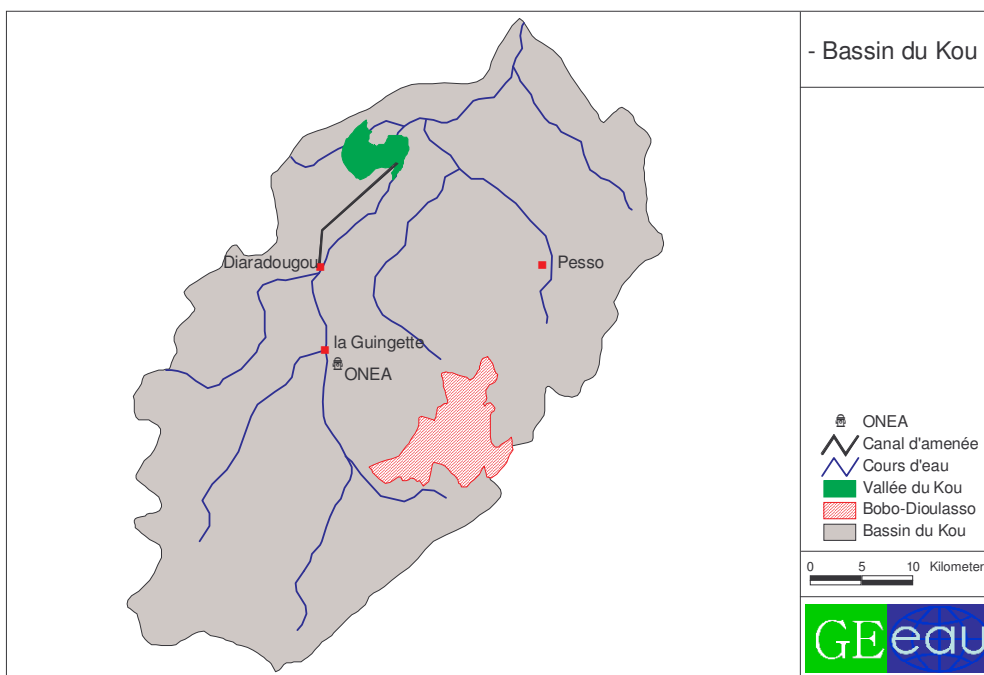
La disponibilité de l'eau du Kou pendant toute l'année permet plusieurs récoltes après l'hivernage. Les parcelles peuvent être utilisées dans un système de rotation alternativement par la pluie et par l'irrigation avec l'eau du fleuve pendant la saison sèche.

Ce bassin abrite l'aménagement hydro-agricole du périmètre irrigué de la Vallée du Kou. Il est le théâtre de différentes formes de conflits liés à toute une série de problèmes que l'on rencontre généralement sur les périmètres irrigués : exploitation anarchique des ressources en eau, exploitants prélevant frauduleusement l'eau des canaux d'amenés, dégradation du matériel, etc.

Le bassin contient aussi plusieurs périmètres informels au bord du Kou et tout au long du canal d'amenée du périmètre irrigué et des bas-fonds aménagés.

La région est marquée par l'usage conflictuel des ressources naturelles entre l'agriculture, l'agro-pastoralisme, la production cotonnière ; mais surtout entre les différents agriculteurs et villages (le droit de possession de l'eau est un 'droit collectif', chaque village a sa tranche de fleuve).

La carte suivante a été conçue à partir des données SIG présentes à la DRAHRH-HB. Elle sert à donner une idée sur la diversité du bassin du Kou.



Carte 2.1 – Bassin du Kou

2.2 Divers prélèvements

Le bassin versant du Kou fait l'objet de prélèvements par divers utilisateurs d'eau : périmètre rizicole de la vallée du Kou, périmètres informels, l'ONEA pour l'alimentation en eau de la ville de Bobo-Dioulasso, etc... Les principaux utilisateurs d'eau du bassin ont été inventoriés.

L'alimentation en eau potable de la ville de Bobo Dioulasso par l'ONEA se fait uniquement à partir d'eau souterraine. Différents forages exploités et deux sources permettent cette alimentation.

Le périmètre rizicole de la vallée du Kou est situé à 25 km au nord-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Faramana-Mali. D'une superficie totale de 1 295 ha aménagés, le périmètre rizicole irrigué de la vallée du Kou fait partie d'une vaste plaine de 9 700 ha de superficie dont 2 300 ha sont exploitables. Une prise d'eau a été aménagée, à Diaradougou pour irriguer gravitairement ce périmètre rizicole par un canal d'amenée.

Le canal d'amenée long de 11 km traverse une zone assez propice au développement des cultures. Des maraîchers s'y sont installés tout le long avec des motopompes et des siphons. La superficie des **cultures informelles** est estimée à 200 ha. Les prises d'eau se multiplient et certains jours le débit de canal ne dépasse pas 1 400 l/s. Ceci entraîne des pénuries d'eau au niveau du périmètre irrigué.

2.3 Gestion au niveau de la Vallée du Kou

Les exploitants se trouvent abandonnés, ce qui entraîne un désordre accentué sur le périmètre, mais aussi aux alentours. La coopérative, responsable pour la gestion du périmètre, est éclatée en 8 petites coopératives, une coopérative pour chaque bloc, presque indépendantes les unes des autres. Le système hydraulique du périmètre rizicole est géré par un seul aiguardier principal et les 'responsables eau' au niveau de chaque bloc.

L'irrigation se fait par des tours d'eau dont le calendrier est établi en chaque début de campagne agricole. Des prélèvements d'eau illégaux, ne respectant pas le calendrier de tour d'eau établi, ne manquent pas en période sèche.

Dans les zones du périmètre maraîcher et des utilisateurs informels une programmation d'utilisation d'eau est inexistante.

Une approche d'intégration des utilisateurs informels dans la gestion globale du système recommence à se mettre en place à l'heure actuelle, suite à la remise en place d'un comité provisoire de gestion du bassin du Kou.

2.4 Nécessité d'une concertation entre les utilisateurs

L'effet combiné de la baisse de la pluviométrie des dernières années dans tout le pays, de l'augmentation exponentielle des besoins en eau de consommation de la ville de Bobo-Dioulasso et de l'accroissement des périmètres spontanés le long de la rivière Kou, fait que le débit de cette rivière devient de moins en moins important.

Les différents utilisateurs qui ont été cités plus haut ne bénéficient pas de la ressource eau dans les mêmes conditions. Pendant que sur le périmètre rizicole les exploitants payent pour avoir la ressource, le long du canal d'amenée d'autres en font un usage gratuit et abusif.

Les études réalisées sur la ressource en eau disponible au niveau du bassin versant montrent que l'eau n'y manque pas et qu'au contraire le bassin regorge de potentialités en eau.

Pourtant les observations faites ces dernières années sur le périmètre irrigué de la vallée du Kou indiquent une baisse considérable des quantités d'eau surtout pendant la campagne sèche.

La principale raison à cette baisse est le manque de concertation pour un partage équilibré de la ressource entre les différents bénéficiaires. Il y a donc une mauvaise répartition de l'eau entre les utilisateurs informels et le périmètre formel. Les périmètres spontanés informels le long du canal d'amenée par exemple utilisent des motopompes et des siphons raccordés directement sur le canal et fonctionnent souvent même la nuit.

Un autre grand problème autour de l'utilisation de la ressource eau dans la vallée du Kou pourrait être le gaspillage d'eau que provoquent ces utilisations informelles. Les

quantités prélevées sont nettement au delà des besoins en eau des cultures pratiquées et la conséquence est le manque d'eau enregistré en aval immédiat.

Une concertation s'impose donc entre les différents utilisateurs pour pouvoir prendre des directives à suivre pour l'utilisation au niveau d'ensemble de la ressource.

Afin de mieux comprendre la situation de la concurrence pour la même ressource eau dans le bassin du Kou, une vaste analyse de tous les utilisateurs d'eau est faite et présenté ci-dessous. On conclut avec une synthèse comparative de tous les besoins et déficits, cette synthèse peut aider à trouver des solutions pour la présente problématique.

3

Le périmètre irrigué & BIRIZ

Cette étude porte sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou qui est confronté à des problèmes récurrents d'eau depuis sa rétrocession aux coopératives paysannes locales. L'objectif est de mieux comprendre et de modéliser le fonctionnement des aménagements hydro-agricoles afin de permettre un meilleur suivi de l'utilisation de l'eau, une meilleure évaluation de l'efficacité de cette utilisation et la formulation de propositions. Quelle que soit leur taille, les aménagements hydro-agricoles constituent de gros consommateurs d'eau, prélevée des rivières ou des retenues artificielles. La présence des aménagements influe sur la disponibilité et la qualité des ressources en eau. L'étude vise à l'élaboration d'outils conviviaux de suivi-évaluation basés sur des modèles (éventuellement simplifiés).

Des calculs d'efficacités ont été effectués sur le périmètre. Il en ressort qu'une réduction du volume d'eau consommé est possible à travers la réhabilitation des canaux d'irrigation. Cependant le faible niveau actuel de gestion ne permet pas de garantir la pérennité des ouvrages. Des propositions d'améliorations simples et efficaces ont donc été formulées pour corriger les dysfonctionnements et accroître l'efficacité de transport de l'eau.

Le logiciel de calcul des besoins en eau BIRIZ (Raes, 1995) a été utilisé pour évaluer le calendrier d'irrigation à travers des simulations.

3.1 Méthode d'évaluation des efficacités

L'efficacité désigne la fraction de la quantité d'eau totale qui sera bénéfique pour la plante. Les pertes d'eau se produisent à différents niveaux :

- au niveau des canaux, durant le transport de l'eau entre la prise et les champs
- au niveau de la parcelle, après l'application d'eau
- au niveau de la plante lors de l'application d'eau au sol

3.1.1 Efficacité de transport

Les efficacités de transport des différents canaux du périmètre ont été mesurées par la détermination des débits d'entrée et de sortie.

Connaissant le débit à l'entrée (Q_e), le débit à la sortie (Q_s) et le débit prélevé par les canaux dérivés ($Q_{prél}$) on détermine l'efficacité du canal par la formule :

$$E = \left(1 - \frac{Q_e - Q_s - Q_{\text{prél}}}{Q_e} \right) \times 100$$

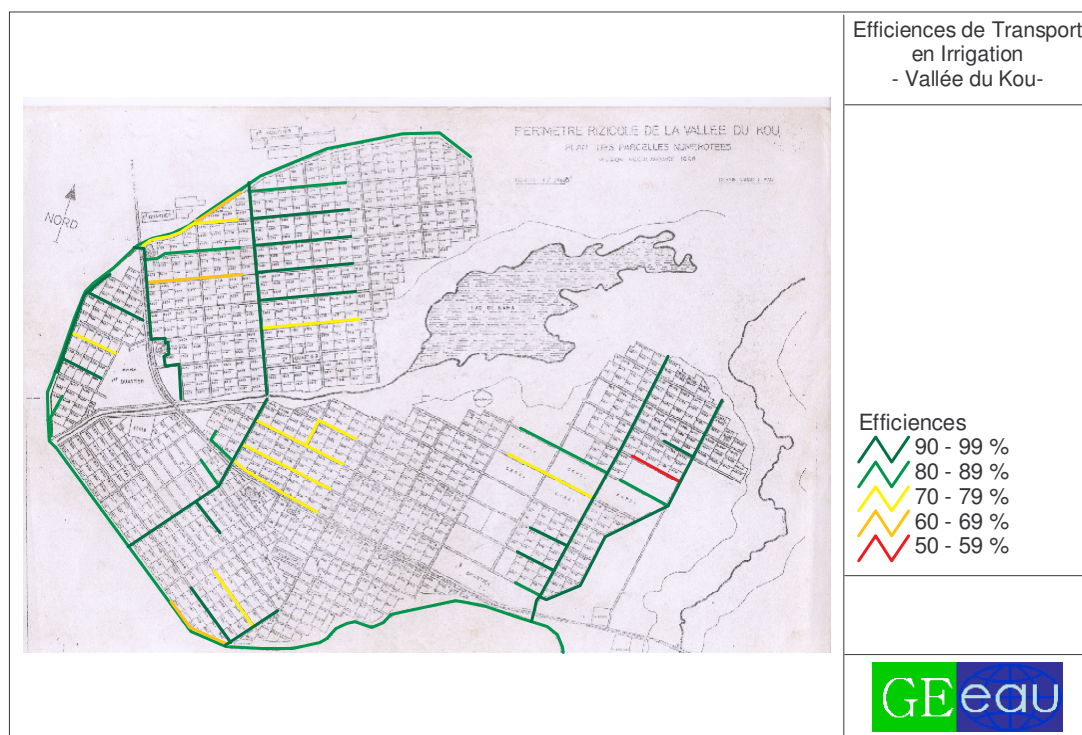
Avec : E : efficacité de transport du canal [%]

Les efficacités moyennes de transport mesurées dans les différents canaux sont présentées dans le Tableau 3.1. Une distribution spatiale des efficacités de transports figure sur la Carte 3.1.

Tableau 3.1 - Efficacités moyennes de transport des différents types de canaux

Canal	Efficacité moyenne [%]	Nombre de canaux analysés
tertiaires	82	29
secondaires	94	7
principal	87	1
amenée	75	1

Efficacité de transport : 50%



Carte 3.1 - Distribution spatiale des efficacités moyennes de transport

3.1.2 Efficacité d'application

Les rigoles de distribution n'ayant pas une section bien définie, il est difficile d'effectuer des mesures de débit à ce niveau. Une méthode regroupant les pertes de transport des canaux quaternaires et les pertes d'application à la parcelle a été utilisée. Il faut 2 h d'irrigation avec un débit de 20 l/s pour établir une lame d'eau de 5 cm sur

un ensemble de 5 casiers (20m x 25m) déjà saturés, situés à l'aval de la parcelle en dérivant tout le débit de la rigole.

L'efficience d'application au niveau de la parcelle est alors donnée par :

$$E = \frac{D_n}{D_b} \times 100$$

Avec : E : efficience de l'application [%]
 D_n : dose nette [mm]
 D_b : dose brute [mm]

La dose nette est 5 cm ou 50 mm. La dose brute se calcule de la manière suivante:

- la surface arrosée : $S = 20 \times 25 \times 5 = 2500\text{m}^2$

- le volume apporté : $V = 20(1/\text{s}) \times 3,6 \times 2 = 144\text{m}^3$

- ce qui résulte en : $D_b = \frac{V}{S} \times 1.000 = \frac{144}{2500} \times 1000 = 57,6\text{mm}$

L'efficience d'application donne le résultat suivant :

$$E = \frac{50}{57,6} = 87\%$$

3.1.3 Efficience globale du réseau

L'efficience globale du réseau s'obtient en faisant le produit des différentes efficiences. Ce qui donne une efficience globale du réseau de 44 %.

L'efficience globale d'un réseau d'irrigation gravitaire à canaux revêtu est de l'ordre de 50 à 60 % (Compaoré, 1999). En plus des pertes inévitables prises en compte dans la conception, il y a un manque à gagner de 6 à 16%. A Pont-Gendarme, Sénégal, par contre, l'efficience de distribution atteint 81 % (SAED, 1993).

La faible valeur d'efficience de transport du canal d'amenée en dépit de son bon état, dénonce un fait important dans la zone : il s'agit de la concurrence d'utilisation de l'eau entre les exploitants du périmètre et les usagers installés en amont du périmètre. En effet, les agriculteurs installés en amont du périmètre, effectuent des prélèvements sur le canal d'amenée par des siphons et à travers des pertuis réalisés sur la paroi du canal.

3.2 BIRIZ

Pour le calcul des besoins en eau du périmètre rizicole de la Vallée du Kou, le logiciel BIRIZ tient compte des différents besoins évoqués ci-dessus qu'il adapte au calendrier agricole utilisé.

Le logiciel est composé de deux programmes: BIRIZ et BIRIZINP. BIRIZ est un logiciel informatique développé pour l'estimation des besoins en eau d'irrigation d'une rizière ou d'une série de rizières. Il permet aussi de calculer les besoins en drainage ainsi que la quantité d'eau perdue par percolation profonde pendant une saison de culture. Le modèle peut aussi être utilisé pour estimer les futures demandes ou évaluer les quantités d'eau utilisées lors des saisons précédentes. BIRIZINP est un programme qui permet d'effectuer des modifications dans la base de données du logiciel. Les données utilisées par défaut pour le calcul des besoins en eau et des pertes en eau vers la nappe sous-jacente peuvent être mises à jour ou modifiées par l'utilisateur. Les valeurs mises à jour ou modifiées sont stockées dans des fichiers par BIRIZ. Les paramètres climatiques et culturaux de la région ainsi que les données climatiques d'une période déterminée ou d'une année particulière sont aussi spécifiées et mises à jour par le biais de BIRIZ.

3.2.1 Principe de calcul avec le logiciel BIRIZ

BIRIZ calcule pour chaque jour de la saison culturale les besoins en eau d'irrigation (Irr) en tenant compte des besoins en eau pour la préparation du terrain (imbibition (SAT) + couche d'eau initiale + quantité supplémentaire pour compenser les pertes d'eau dans les fissures au début de la saison) pour l'établissement d'une lame d'eau (LAME) , pour la compensation des pertes par évapotranspiration (ETriz) et par percolation profonde (Perc) et en tenant compte de la contribution des précipitations (Peff) et des pertes de distribution (LOSS). Le besoin en eau d'irrigation brut est obtenu en divisant le besoin net par l'efficacité de distribution (E).

$$Irr = \frac{SAT + LAME + ETriz + PERC - Peff}{E}$$

Les besoins en drainage sont donnés par la quantité d'eau évacuée hors des champs pendant la saison de culture et avant la récolte. Une partie de la pluie inefficace et les pertes de répartition sont aussi évacuées par le système de drainage. Les pertes par percolation des champs inondés et du réseau de canaux de drainage plus une partie des pluies inefficaces rechargeant la nappe d'eau sous-jacente.

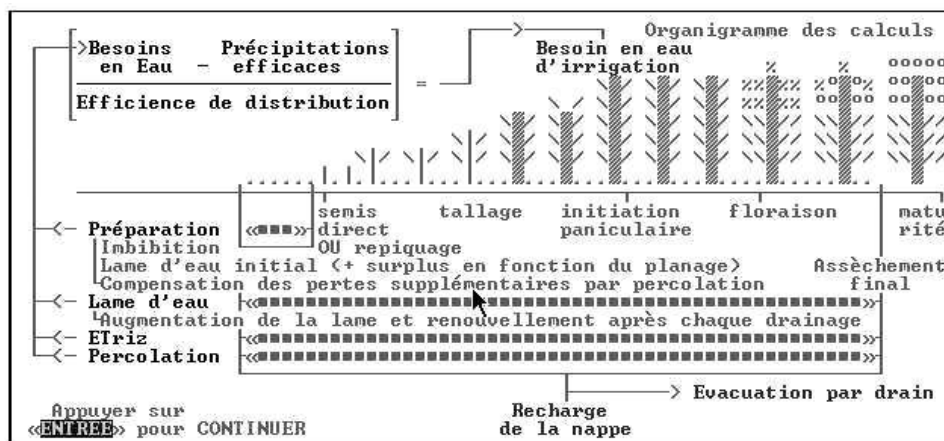


Figure 3.1 - Organigramme des calculs selon BIRIZ

3.2.2 Les paramètres d'entrée du logiciel

Les différents besoins en eau pris en compte dans le calcul du besoin net d'irrigation (SAT, LAME, ETriz, Peff, PERC) sont des données complexes dont l'estimation se fait par BIRIZ à l'aide de données relativement plus simples utilisées comme paramètres d'entrée pour le logiciel.

3.2.2.1 Les hypothèses de base des calculs

Un certain nombre d'hypothèses simplificatrices ont été indispensables pour le calcul des besoins en eau avec le logiciel BIRIZ:

- Les travaux de préparation du terrain démarrent le même jour sur tout le périmètre (situation impossible dans la réalité).
- Les semis ainsi que les repiquages se font dans le respect strict des calendriers.
- Les sols sont considérés à l'état sec au démarrage de chaque campagne : cet état correspond à la situation la plus défavorable et va donc dans le sens de la sécurité.
- La profondeur d'enracinement maximum est fixée à 30 cm (quoique inférieure dans la plupart des profils observés (Barro, 2004)) : cela tient compte des zones sableuses où les racines pourraient être plus profondes.
- La superficie à irriguer est la superficie totale équipée (1 295 ha).

3.2.2.2 Choix par défaut

- efficacité des pluies : valeur globale 80%
- technique culturale choisie : repiquage
- système de drainage présent

3.2.2.3 Description du périmètre

La zone climatique est celle de la Vallée du Kou. Les valeurs ET_0 et les pluies décennales sont celles du Rapport Annuel N° 2 (Wellens et al., 2003).

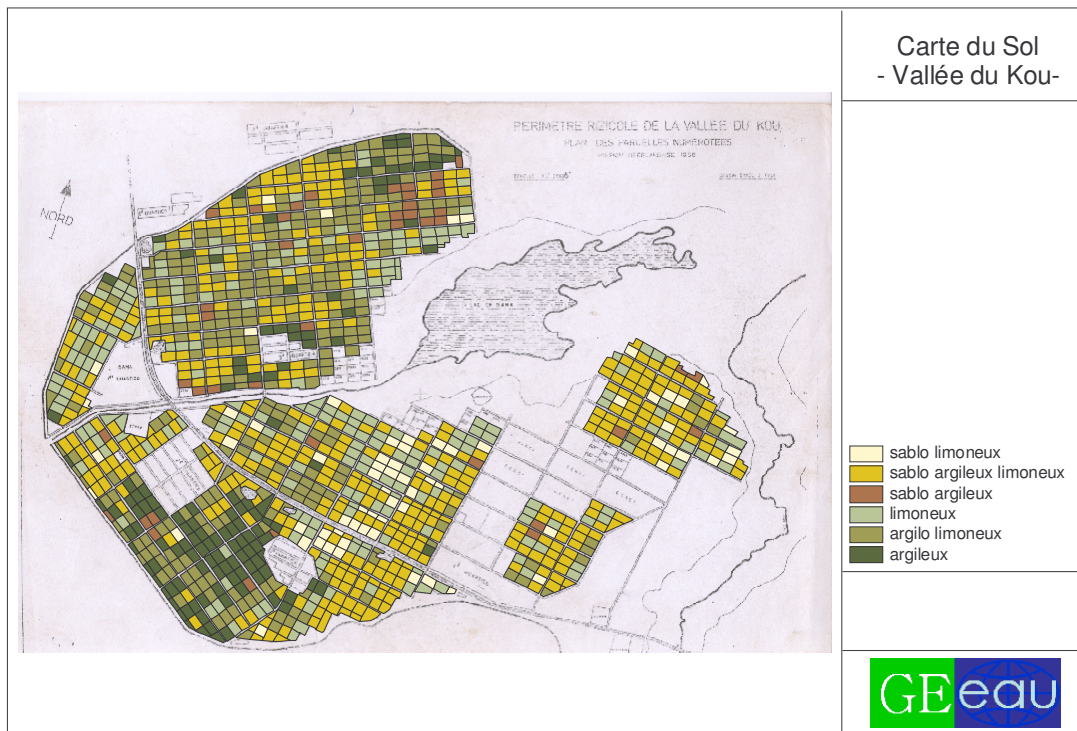
Les superficies irriguées par les différents tertiaires ont été mesurées dans le cadre du projet « Vallée du Kou » en 1998. Le périmètre équipé a une superficie totale estimée à 1 295 ha..

La qualité du planage nécessite un apport d'eau supplémentaire de 10 mm. L'efficacité de distribution est de 44 %.

La valeur de percolation utilisée comme paramètre d'entrée pour le logiciel est la moyenne des différentes valeurs de percolation des tableaux ci-dessous (Projet Vallée du Kou, 1988), pondérées des surfaces des unités de sols (Lahcen, 2000 ; GEeau, 2004), résultant en 4,3 mm/j.

Tableau 3.2 - Valeurs de percolation pour différents types de sol
(Projet Vallée du Kou, 1988 ; GEeau, 2004)

Type de sol	Percolation [mm/j]	Occupation [%]
sablo-argilo-limoneux	5	38
argilo-limoneux	4	24
limoneux	3	18
argileux	2	10
sablo-limoneux	7,6	6
sablo-argileux	6,3	4



Carte 3.2 - Carte du sol du périmètre irrigué de la Vallée du Kou (GEeau, 2004)

3.2.2.4 La préparation du terrain

L'imbibition est la quantité d'eau nécessaire pour porter le sol à saturation. Cette valeur s'obtient par la valeur suivante :

$$I_m = (H_{\text{sat}} - H_{\text{pfp}}) \times \rho \times z$$

Avec :

I_m : imbibition [mm]

H_{sat} : humidité à la saturation [vol%]

H_{pfp} : humidité au point de flétrissement permanent [vol%]

ρ : densité apparente [g/cm^3]

z : épaisseur de la couche à saturer [mm]

La valeur d'imbibition est la moyenne des différentes valeurs d'imbibition calculées dans le tableau ci-dessous, pondérées des surfaces des unités de sols (Lahcen, 2000 ; Raes, 2001 et GEeau, 2004), résultant en 126 mm.

Tableau 3.3 - Imbibition par type de sol

Type de sol	H _{sat} [vol%]	H _{ppf} [vol%]	ρ [g/cm ³]	z [mm]	Imbibition [mm]	Occupation [%]
SAL	0,5	0,19	1,45	300	134,85	38
AL	0,51	0,22	1,35		117,45	24
L	0,51	0,16	1,45		152,25,	18
A	0,58	0,45	1,2		46,8	10
SL	0,51	0,13	1,2		171	6
SA	0,53	0,3	1,35		93,15	4

La percolation totale pour cette phase est estimée à 60 mm.

La lame d'eau initiale, la quantité d'eau prévue pour le trempage des semences (ou l'humectation du sol avant les labours), est fixée à 15mm.

Le surplus pour mauvais planage (pendant les travaux de planage la parcelle doit être maintenue à l'état boueux) un apport supplémentaire de 10 mm est prévu.

3.2.2.5 Evolution de la lame d'eau

Conformément aux pratiques dans la rizière de la Vallée du Kou :

- une lame d'eau initiale de 15mm pendant toute la phase de pépinière ;
- 20 mm d'eau pendant la phase de récupération (10 jours) ;
- une augmentation progressive de 20mm à 100mm entre le début de la phase de croissance et sa fin (40 jours) ;
- un entretien de la lame d'eau à 100 mm jusqu'à la formation du produit (25 jours) ;
- une fermeture des canaux depuis le début de la phase de mûrissement jusqu'aux récoltes (15 jours) ;
- deux renouvellements sont prévus respectivement 15 et 30 jours après le repiquage.

3.2.2.6 Paramètres de la culture

Sur le périmètre rizicole de la Vallée du Kou la variété reconnue officiellement est le FKR28 dont les caractéristiques ont été étudiées par l'INERA, mais plusieurs variétés sont rencontrées. Compte tenu des habitudes sans cesse changeantes des producteurs en matière de semence et surtout dans le souci d'éviter de calculer les besoins en eau avec les caractéristiques d'une variété éphémère (on ne peut pas être sûr de retrouver la même variété la campagne suivante), les caractéristiques du FKR28 ont été utilisées pour cette étude. Le tableau ci-dessous indique quelques informations utiles pour la simulation.

Tableau 3.4 - Durée des différentes phases du cycle du riz (en jours)
(FKR28, saison chaude, longueur de cycle 120 jours)

levée & plantule		tallage & développement		épiaison	maturation	
installation		végétation		floraison	formation du produit	mûrissement
pépinière	rizière					
25	10	40		10	25	10

Pour une même variété la longueur du cycle peut varier en fonction des conditions climatiques, surtout de température (Barro, 2004 ; Mémento de l'Agronome). Pour tenir compte de ce facteur dans le calcul des besoins en eau avec le logiciel BIRIZ, nous allons utiliser deux longueurs de cycle différentes pour la même variété (FKR28). La longueur de cycle indiquée dans le catalogue du CERC/CILSS est de 135 jours pour la saison froide.

Tableau 3.5 - Durée des différentes phases du cycle du riz (en jours)
(FKR28, saison froide, longueur de cycle 135 jours)

levée & plantule		tallage & développement		épiaison	maturation	
installation		végétation		floraison	formation du produit	mûrissement
pépinière	rizière					
35	15	40		10	25	10

Ci-dessous (Tableau 3.6) on voit les calendriers agricoles pour la première (Barro, 2004) et deuxième campagne (Wellens et al., 2004). Ces calendriers sont des notions explicatives, ils ne sont pas rigoureux.

Tableau 3.6 - Calendriers agricole pour la 1^{ère} et 2^{ème} campagne
(Barro, 2004 ; Wellens et al., 2004)

1 ^{ère} campagne	2 ^{ème} campagne	tâche/stade
20 décembre	26 juin	ouverture du canal
27 décembre	30 juin	semis de la pépinière
23 janvier au 12 février	20 juillet au 10 août	repiquage
20 mai	10 novembre	fermeture du canal
25 mai au 10 juin	-	récolte

Basés sur ces données, les paramètres du riz et les calendriers culturaux ont pu être introduits dans BIRIZ (voir aussi § 3.2.2.8 – « synthèse sur les paramètres d'entrée »)

3.2.2.7 Coefficients culturaux

Des valeurs Kc ont été obtenues à Mogtedo par la méthode lysimétrique (Dembéle, 1991). Les valeurs de kc obtenues pour Mogtedo reflètent mieux le contexte climatique du Burkina que celles proposées dans les bulletins de la FAO (Allen et al., 1998) et ont donc été retenues pour les calculs.

Tableau 3.7 - Valeurs Kc pour du riz, mesuré à Mogtedo, Burkina Faso

phase de croissance	valeur Kc
levée	1,04
floraison	1,20
maturation	1,03

3.2.2.8 Synthèse sur les paramètres d'entrée du logiciel

Ci-dessous, toutes les captures d'écran importantes du BIRIZ sont présentées. Elles peuvent faciliter l'entrée des données un jour si d'autres simulations seront souhaitables.

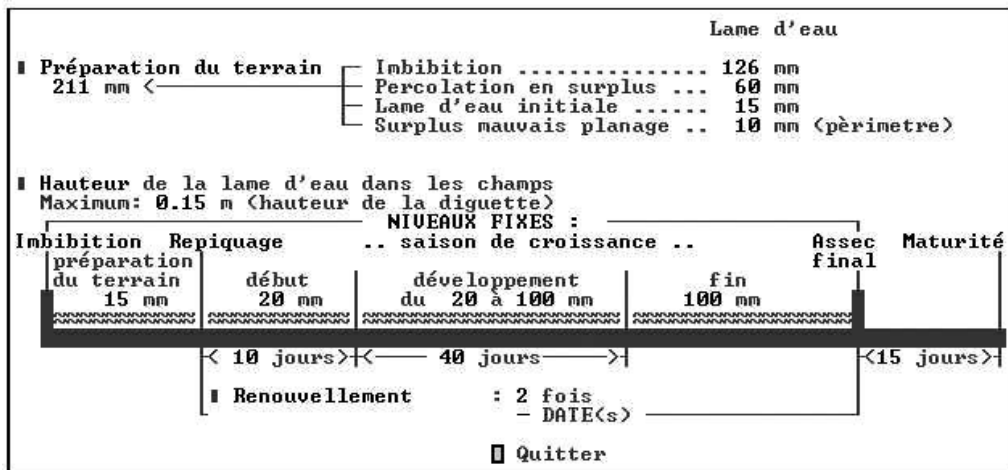


Figure 3.2 - Préparation du terrain et lame d'eau maintenue

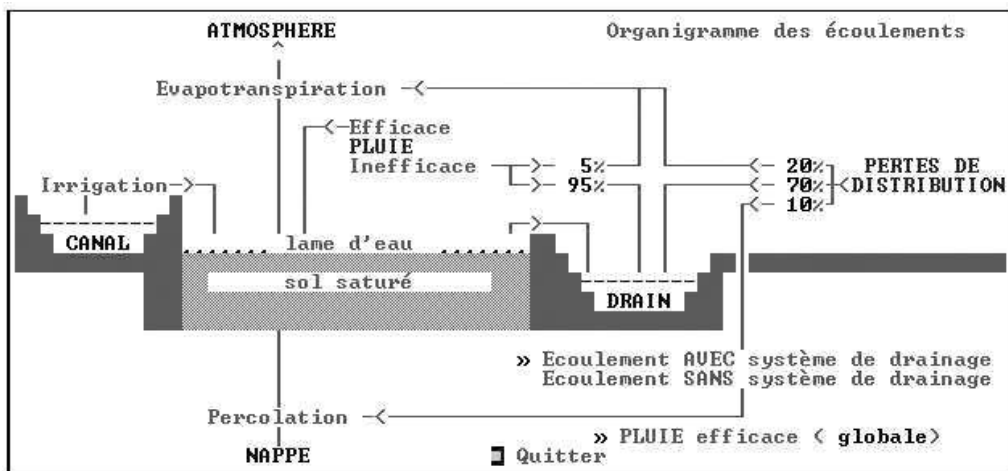


Figure 3.3 - Organigramme des écoulements

Station 4 - BOBOUDK				Données climatiques								
Décade Mois	Evapotranspiration de référence ETo			Pluie fiable (mm/décade)								
	1	2	3	Sèche (80%°)			Normale (50%°)			Humide (20%°)		
	mm/jour			1	2	3	1	2	3	1	2	3
			-mm/décade-			-mm/décade-			-mm/décade-			
Janvier	4.9	5.0	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Février	5.4	5.6	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mars	5.9	6.0	6.0	0	0	0	0	1	2	2	5	9
Avril	6.0	5.9	5.8	0	1	5	2	6	11	13	18	24
Mai	5.7	5.5	5.3	14	19	24	20	27	34	31	38	46
Juin	5.1	4.9	4.7	25	30	34	40	46	52	55	63	70
Juillet	4.6	4.5	4.4	41	46	51	59	65	69	77	83	88
Août	4.3	4.3	4.3	60	61	58	78	78	74	99	98	92
Septembre	4.3	4.4	4.5	47	39	29	62	52	40	76	64	50
Octobre	5.0	5.1	5.2	12	4	0	19	9	2	30	18	9
Novembre	5.2	5.2	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Decembre	4.8	4.8	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

° Probabilité de dépassement
= Quitter

Figure 3.4 - Données climatiques pour la zone de la Vallée du Kou

Station 4 - BOBOUDK				Données de la culture Culture 1 - medium			
Semis Mois	période	Matu- rité (jours)	Flo- raison (jours)	Semis Mois	période	Matu- rité (jours)	Flo- raison (jours)
	16-30	135	85		16-30	135	100
Février	1-15	135	85	Août	1-15	135	100
	16-30	135	85		16-30	135	100
Mars	1-15	135	85	Septembre	1-15	135	100
	16-30	135	85		16-30	135	100
Avril	1-15	135	85	Octobre	1-15	135	100
	16-30	135	85		16-30	135	100
Mai	1-15	135	85	Novembre	1-15	135	100
	16-30	135	85		16-30	135	100
Juin	1-15	135	100	Decembre	1-15	135	85
	16-30	135	100		16-30	135	85

- Quitter

Figure 3.5 - Données de la culture

SURFACE cultivée	Paramètres du riz		
	Culture 1 1295 ha	Culture 2 1295 ha	Culture 3 ha
RIZ » variété	» short	» medium	» medium
» mode de cultivation	» Repiquage	» Repiquage	» Semis direct
Premier jour d'imbibition	22/12	26/6	—/—
-Durée:0 → 100% Surface	42 jours	42 jours	— jours
↳ » Q fixé (l/s.ha)	» Q= 2.97	» Q= 2.84	» Q=—
↳ » Surface spécifiée	Surface	Surface	Surface
Début Semis/Repiquage	↳ + 32 (23/ 1)	↳ + 24 (20/ 7)	↳ +— (—/—)
-Jours après Imbibition	21 jours	22 jours	— jours
Période de Croissance			
Imbibition période	22/12 - 1/ 2	26/ 6 - 6/ 8	—/— - —/—
SEMIS/REPIQUAGE période	23/ 1 - 12/ 2	20/ 7 - 10/ 8	—/— - —/—
LONGUEUR du cycle de riz	120 jours	135 jours	— jours
FLORAISON période	24/ 3 - 13/ 4	23/ 9 - 14/ 10	—/— - —/—
MATURITE période	28/ 4 - 18/ 5	28/ 10 - 18/ 11	—/— - —/—
- Lane d'eau	—	—	—
- Calendrier cultural	—	—	—
- Ecoulements	—	—	—

- Retourner à la Fiche Technique

Figure 3.6 - Paramètres du riz

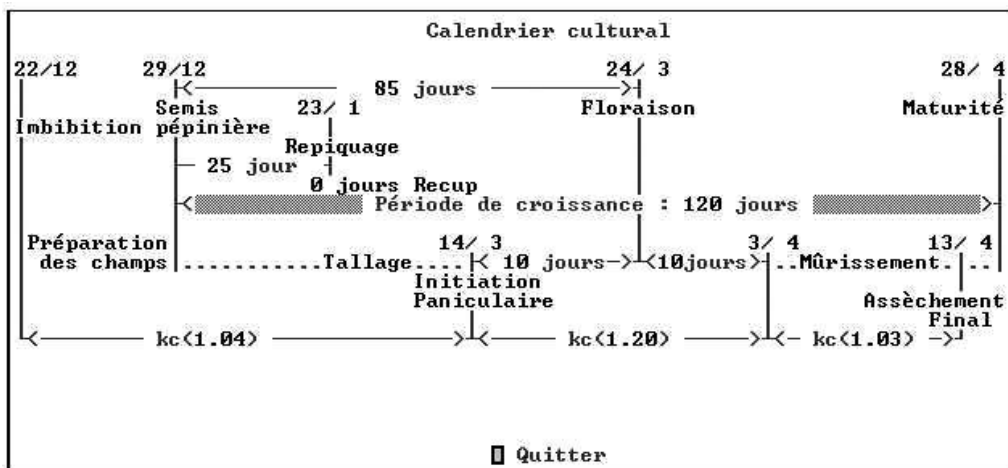


Figure 3.7 - Calendrier cultural (saison chaude – 1^{ère} campagne)

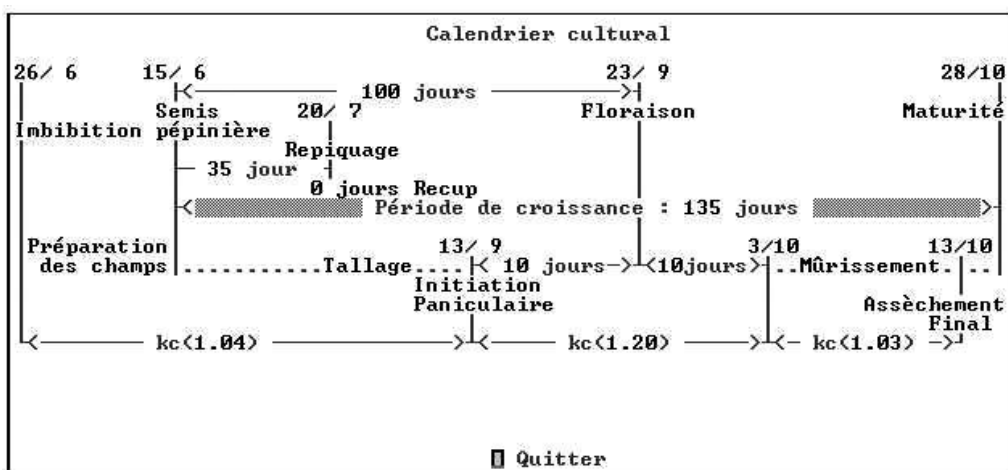


Figure 3.8 - Calendrier cultural (saison froide – 2^{ème} campagne)

3.3 Les besoins en eau

A l'aide de BIRIZ les volumes d'eau consommés sur l'ensemble du périmètre ont été calculés pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficacités de distribution : 44%, 60% et 81%, et pour les différentes conditions climatiques (année sèche, année normale et année humide).

Tableau 3.8 - Besoin en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficacités de distribution et pour différentes conditions climatiques

Mois	efficacité de 44%			efficacité de 60%			efficacité de 81%		
	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide
décembre	3,93	3,93	3,93	3,21	3,21	3,21	2,38	2,38	2,38
janvier	3,87	3,87	3,87	2,94	2,94	2,94	2,18	2,18	2,18
février	4,38	4,38	4,38	3,20	3,20	3,20	2,37	2,37	2,37
mars	4,62	4,59	4,48	3,39	3,37	3,28	2,51	2,50	2,43
avril	2,70	2,62	2,39	1,98	1,92	1,75	1,46	1,42	1,30
mai	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
total	3,43	3,41	3,34	2,55	2,54	2,49	1,89	1,88	1,84
juin	3,28	3,22	3,16	3,23	3,17	3,11	2,31	2,27	2,22
juillet	2,90	2,59	2,28	2,35	2,06	1,77	1,74	1,53	1,32
août	2,81	2,36	1,85	1,95	1,62	1,24	1,45	1,20	0,92
septembre	2,74	2,38	2,05	2,01	1,75	1,51	1,49	1,29	1,12
octobre	2,32	2,21	2,03	1,70	1,62	1,49	1,26	1,20	1,10
novembre	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
total	2,38	2,12	1,84	1,80	1,60	1,37	1,33	1,18	1,02

3.4 Les déficits en besoins en eau

A partir des débits mesurés par l'aiguadier à l'entrée du périmètre irrigué (GEeau, 2004) il est possible de calculer les déficits en besoins en eau sur le périmètre. Le tableau suivant (Tableau 3.9) montre les déficits (valeurs négatives) pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficacités de distribution : 44%, 60% et 81%, et pour les différentes conditions climatiques.

Le tableau montre que, même si on réussit à augmenter les efficacités, il y aura toujours des déficits dans les besoins en eau pendant la saison sèche.

Tableau 3.10 présente les déficits en besoins en eau si toute l'eau disponible à la prise d'eau de Diaradougou était transmise intégralement au périmètre, c'est-à-dire sans prélèvements pour les cultures informelles. On constate que, même si tous les prélèvements le long du canal d'amenée étaient supprimés, les besoins en eau ne seraient pas couverts. Il resterait toujours un manque sur le périmètre.

Tableau 3.9 - Déficit en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficacités de distribution et pour différentes conditions climatiques. Mesuré à partir de l'eau disponible au niveau de la porcherie.

Mois	efficacité de 44%			efficacité de 60%			efficacité de 81%		
	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide
décembre	-2,93	-2,93	-2,93	-2,21	-2,21	-2,21	-1,38	-1,38	-1,38
janvier	-2,22	-2,22	-2,22	-1,29	-1,29	-1,29	-0,53	-0,53	-0,53
février	-2,63	-2,63	-2,63	-1,45	-1,45	-1,45	-0,62	-0,62	-0,62
mars	-2,87	-2,84	-2,73	-1,64	-1,62	-1,53	-0,76	-0,75	-0,68
avril	-0,80	-0,72	-0,49	-0,08	-0,02	0,15	0,44	0,48	0,60
mai	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,64	1,64	1,64
total	-1,73	-1,71	-1,64	-0,86	-0,84	-0,79	-0,19	-0,18	-0,14
juin	-1,28	-1,22	-1,16	-1,23	-1,17	-1,11	-0,31	-0,27	-0,22
juillet	-0,90	-0,59	-0,28	-0,35	-0,06	0,23	0,26	0,47	0,68
août	-0,81	-0,36	0,15	0,05	0,38	0,76	0,55	0,80	1,08
septembre	-0,84	-0,48	-0,15	-0,11	0,15	0,39	0,41	0,61	0,78
octobre	-0,52	-0,41	-0,23	0,10	0,18	0,31	0,54	0,60	0,70
novembre	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
total	-0,57	-0,31	-0,02	0,02	0,22	0,44	0,48	0,63	0,80

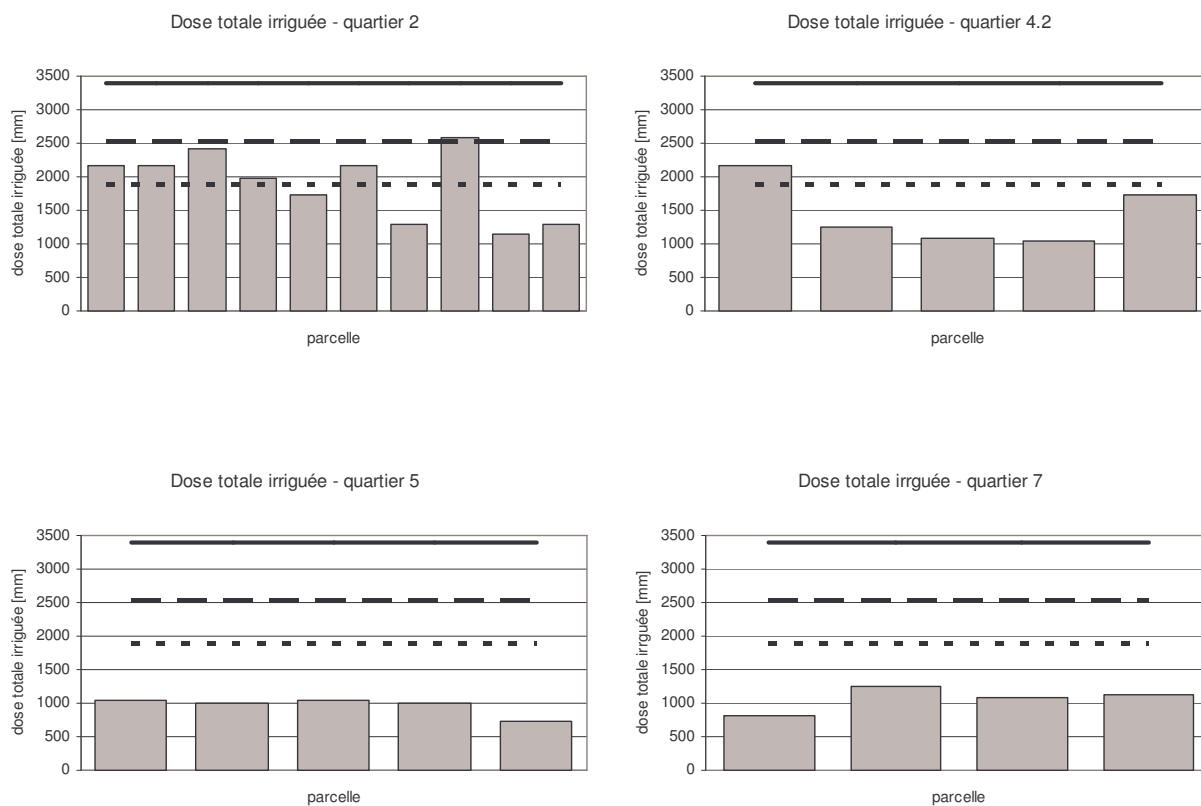
Tableau 3.10 - Déficit en eau sur l'ensemble du périmètre pour les deux campagnes, pour 3 différentes efficacités de distribution et pour différentes conditions climatiques. Mesuré à partir de l'eau disponible au niveau de la prise d'eau.

Mois	efficacité de 44%			efficacité de 60%			efficacité de 81%		
	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide	année sèche	année normale [m³/s]	année humide
décembre	-0,74	-0,74	-0,74	-0,02	-0,02	-0,02	0,81	0,81	0,81
janvier	-0,70	-0,70	-0,70	0,23	0,23	0,23	0,99	0,99	0,99
février	-1,98	-1,98	-1,98	-0,80	-0,80	-0,80	0,03	0,03	0,03
mars	-2,62	-2,59	-2,48	-1,39	-1,37	-1,28	-0,51	-0,50	-0,43
avril	-0,65	-0,57	-0,34	0,07	0,13	0,30	0,59	0,63	0,75
mai	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,18	3,18	3,18
total	-0,87	-0,85	-0,78	0,64	0,65	0,70	0,66	0,67	0,71
juin	-0,09	-0,03	0,03	-0,04	0,02	0,08	0,88	0,92	0,97
juillet	0,29	0,60	0,91	0,84	1,13	1,42	1,45	1,66	1,87
août	0,38	0,83	1,34	1,24	1,57	1,95	1,74	1,99	2,27
septembre	0,45	0,81	1,14	1,18	1,44	1,68	1,70	1,90	2,07
octobre	0,87	0,98	1,16	1,49	1,57	1,70	1,93	1,99	2,09
novembre	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,18	3,18	3,18
total	0,81	1,07	1,35	1,39	1,59	1,82	1,86	2,01	2,17

3.5 Gestion de l'eau au niveau de la parcelle

Afin d'avoir une meilleure compréhension des déficits en besoins en eau, une étude a été faite sur les besoins en eau au niveau de la parcelle. Pour plusieurs parcelles, distribuées sur le périmètre irrigué, leurs doses d'irrigation ont été mesurées pendant la saison sèche. Les volumes d'eau appliqués vont de 720 mm à 2 592 mm (variation de 38%), la dose moyenne fait 1 471 mm (Dicko, 2004). Dans les figures ci-dessous ces doses mesurées sont présentées et comparées avec les besoins en eau du riz. Les

besoins en eau du riz en année normale avec une efficacité de distribution de 44% sont 3,41 m³/s soit 3 387 mm, avec une efficacité de 60% 2,54 m³/s soit 2 523 mm et avec une efficacité de 81 % 1,88 m³/s soit 1 869 mm.



Figures 3.9 - Dose totale irriguée sur des parcelles suivies par quartier, avec les besoins en eau du riz pour plusieurs efficacités de distribution (ligne en haut : 44% ; ligne au milieu : 60% et ligne en bas : 81%)

Si l'on s'intéresse individuellement aux exploitants suivis, on peut remarquer que pour une efficacité de distribution de 44% aucun exploitant n'est capable de faire face aux besoins en eau du riz. Pour une efficacité de distribution de 60%, seulement 4% des exploitants suivis réussissent à obtenir la dose nécessaire, pour une efficacité de distribution de 81%; 29 % des exploitants se trouvent au dessus de la dose de référence.

Si on regarde la productivité des doses d'irrigation (rendement divisé par la dose totale irriguée), on peut remarquer que les quartiers les plus mal servis font une meilleure utilisation de la ressource en eau (Figure 3.10).

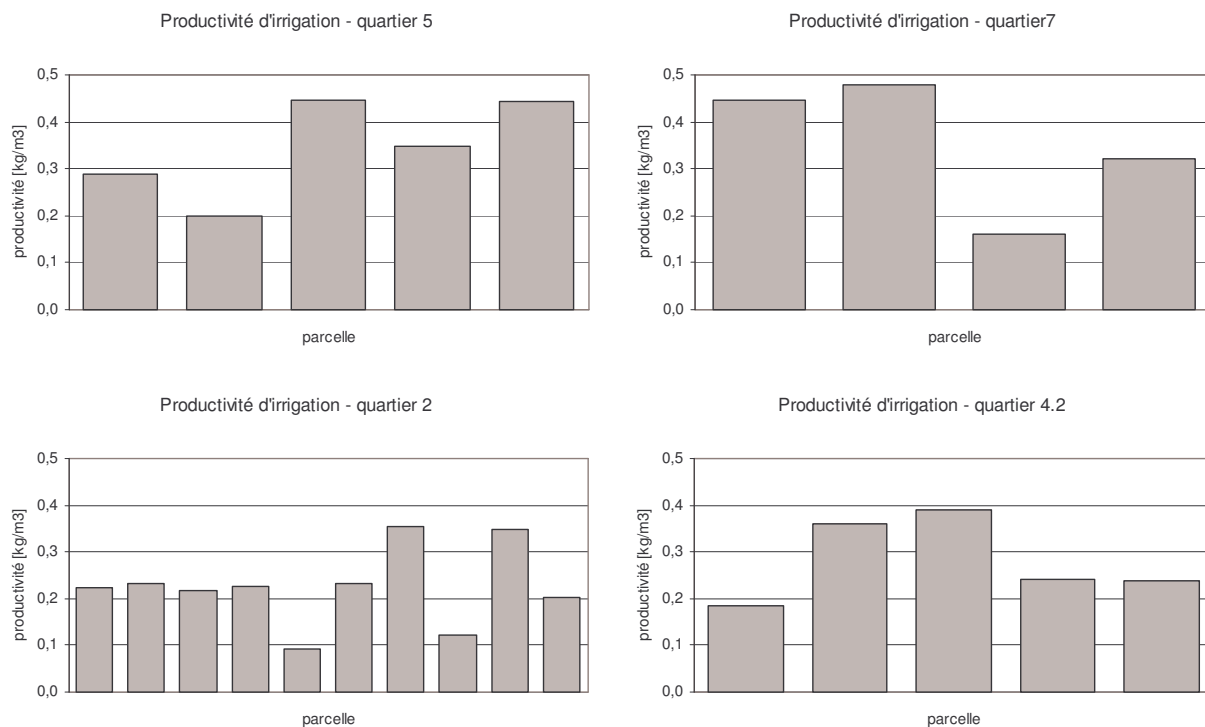


Figure 3.10 - Productivité de l'eau d'irrigation pour les quatre quartiers suivis.

3.6 Remarques

La première action en faveur d'une sortie de crise est de chercher à professionnaliser la gestion de l'eau pour qu'elle soit mieux efficace. Il serait très utile de revoir l'entretien des ouvrages hydrauliques tant sur le plan du petit entretien (pour ce qui est du curage et désherbage des bordures), que sur le plan de la réparation des ouvrages défectueux. Une amélioration à ce niveau permettrait certainement des gains de volume au niveau des parcelles.

Un point également important est la gestion des tours d'eau dans les différents quartiers, la répartition de l'eau n'est pas du tout équitable. Les premiers quartiers à l'entrée du périmètre prélèvent souvent trois fois plus d'eau que ceux situés en fin de périmètre.

Barro (2004) a aussi montré que, concernant le calendrier d'irrigation, les volumes prélevés peuvent être réduits en démarrant les activités le 1^{er} décembre pour la première campagne et le 10 juin pour la campagne humide.

Ensuite, l'intégration des utilisateurs informels de l'eau dans le système global suivra. Sans cela, les superficies informelles continueront à s'accroître avec toutes les conséquences que cela pourrait avoir.

Lorsque les deux premières mesures seront effectives, il faudra envisager des actions qui permettront de faire des gains de volume d'eau en amont de la prise. Cela peut se faire en formalisant toutes les autres prises d'eau informelles effectuées jusqu'à la

source et en réfléchissant aux mesures alternatives qui avaient été proposées par d'autres études (IWACO, 1988) :

- barrage de 15m de hauteur avec une capacité de 9 millions m³ dans la zone de Kokoroué ;
- barrage de 5m de hauteur avec une capacité de 2 millions m³ dans la zone de Sonsogona ;
- 15 forages pour 0,3m³/s.

Une autre solution peut être trouvée dans la culture du maïs sur le périmètre. Le maïs est une culture qui a des besoins en eau beaucoup plus bas que le riz (presque la moitié). C'est une tendance qui commence à apparaître, car pour la saison sèche de 2004 seulement 60 ha sur le 1295 ha étaient occupés par du maïs.

4

Evaluation des performances au long du canal d'amenée

Depuis quelques années, le périmètre rizicole connaît des difficultés croissantes d'approvisionnement en eau pendant la saison sèche. Cette raréfaction de la ressource est liée à divers facteurs :

- externes : facteurs hydro-climatiques et multiplication des usagers en amont du périmètre, sur le Kou ou sur le canal d'amenée (« pirates »)
- internes : manque de gestion de l'eau et de respect du règlement interne

La présente étude tentera de voir l'effet des usagers formels et informels le long du canal dans la crise de l'eau sur le périmètre rizicole.

4.1 Besoins en eau des cultures recensées

En avril-mai 2004 un recensement exhaustif des cultures le long du canal a été effectué (Sawadogo, 2004). Pour chaque culture les besoins en eau ont été calculés selon les normes de la FAO (Allen et al., 1998). L'ensemble permet d'avoir une idée des besoins en eau globaux pour les cultures le long du canal d'amenée (Tableau 4.1). Une superficie totale emblavée de 86,05 ha. A été trouvée. Ce résultat est nettement inférieur aux 200 ha fournis par l'inventaire des parcelles en irrigation effectué par le Ministère de la Question Paysanne en 1987. La dite superficie semble avoir confondu les cultures irriguées par l'eau du marigot et les cultures liées à l'eau du canal d'amenée.

Tableau 4.1 - Besoins en eau des cultures recensées

Culture	Superficie [ha]	Besoins en eau		
		[mm]	[m3]	[m3/ha]
maïs	34,29	716	245 516	7 160
banane	16,86	846	142 636	8 460
riz	16,70	1 869	312 123	18 690
papaye	10,64	652	69 373	6 520
mangue	3,00	652	19 560	6 520
manioc	2,12	500	10 600	5 000
arachide	0,92	621	5 713	6 210
courgette	0,49	585	2 867	5 850
aubergine	0,46	585	2 691	5 850
gombo	0,21	566	1 189	5 660
piment	0,19	566	1 075	5 660
oignon	0,11	712	783	7 120
concombre	0,00	8 000	320	80 000
Total	85,99	16 870	814 446	

4.2 Volumes d'eau utilisées

En même temps quelques parcelles ont été suivies plus en détail. Cela a permis d'avoir une idée des volumes d'eau actuellement utilisés et de les mettre en rapport avec les besoins en eau des cultures (Tableau 4.2).

Les apports relatifs en eau d'irrigation utilisés montrent qu'il n'y a pas de sur-irrigation sur les parcelles recensées. L'apport relatif en eau d'irrigation pour tous les exploitants suivis est de 116%. On constate que 30 % des exploitants abusent de la ressource, on remarque aussi que beaucoup d'autres restent bien en dessous des besoins en eau.

Tableau 4.2 - Récapitulatif des performances hydrauliques

Culture	Superficie [ha]	Volume utilisé		Besoin en eau [m3/ha]	Apport relatif en eau d'irrigation [%]
		[m3]	[m3/ha]		
maïs	0,25	1 221	4 882	7 160	68
	0,25	1 127	4 507	7 160	63
	0,12	387	3 228	7 160	45
	0,05	775	15 500	7 160	216
	0,12	387	3 225	7 160	45
	0,10	563	5 633	7 160	79
	0,04	94	2 350	7 160	33
	0,12	739	6 161	7 160	86
	0,12	387	3 225	7 160	45
	0,05	375	7 500	7 160	105
	0,25	892	3 568	7 160	50
	0,25	610	2 440	7 160	34
	0,12	1 311	10 925	7 160	153
	0,29	4 191	14 452	7 160	202
		Moyenne	6 257	7 160	87
aubergine	0,25	1 127	4 507	5 850	77
	0,06	739	12 317	5 850	211
		Moyenne	8 412	5 850	144
oignon	0,03	59	1 957	7 120	27
	0,05	493	9 860	7 120	138
		Moyenne	5 908	7 120	83
riz	0,05	610	12 200	18 690	65
	0,25	880	3 520	18 690	19
		Moyenne	7 860	18 690	42

5

Synthèse de la ressource eau

En complément de l'exposé ci-dessus, quelques statistiques sont données afin de mieux comprendre la problématique de la gestion en eau dans le bassin du Kou (Sogreah, 1993 ; Traore et al., 1997 ; Lahcen, 2000).

Alimentation en eau potable :

- ONEA I	0,25 m ³ /s
- ONEA II	0,15 m ³ /s

Sources:

- la Guingette	1,90 m ³ /s
- Pesso	0,13 m ³ /s

Le Kou à Diaradougou :

- en saison pluvieuse	14,3 m ³ /s
- en saison sèche	2 – 3 m ³ /s

Canal d'amenée :

- capacité	3,5 m ³ /s
- en saison pluvieuse	2 m ³ /s
- en saison sèche	1,6 m ³ /s

Vallée du Kou

- besoin réel pour le périmètre	2,4 m ³ /s
- débit minimum pour alimenter le périmètre	1,2 m ³ /s

Le tableau suivant résume l'utilisation de la ressource eau pendant la campagne sèche.

Il y a plusieurs constats à faire :

- dans les conditions actuelles du périmètre (efficience de distribution de 44%), même si tous les prélèvements et pertes le long du canal étaient supprimés, les besoins en eau ne seraient pas couverts, il resterait toujours un manque d'eau sur le périmètre. Seulement à partir d'une efficience de 81% le périmètre devient autosuffisant, sans pertes et prélèvements ;
- les besoins en eau des cultures informelles ne constituent pas immédiatement un danger pour faire face aux besoins du périmètre irrigué, les pertes le long du canal par contre sont extravagantes et demandent une étude plus approfondie ;

- une bonne gestion, un respect des règles et une intégration des différents utilisateurs d'eau dans un système global peuvent résoudre les problèmes de déficit en eau pour tous les exploitants formels et informels.

Tableau 5.1 - Bilan d'utilisation de la ressource eau pendant la campagne sèche

	efficience: 44%			efficience: 60%			efficience: 81%		
	année sèche	année normale	année humide	année sèche	année normale	année humide	année sèche	année normale	année humide
	[m³/s]			[m³/s]			[m³/s]		
Quantité enregistré à la prise d'eau	2,55			2,55			2,55		
Quantité enregistré à la porcherie	1,70			1,70			1,70		
Doses totales d'irrigation sur le périmètre	1,48			1,48			1,48		
Besoins en eau pour les cultures informelles	0,06			0,06			0,06		
Besoins en eau sur le périmètre	3,43	3,41	3,34	2,55	2,54	2,49	1,89	1,88	1,84
Pertes d'eau entre la prise d'eau et la porcherie	0,86			0,86			0,86		
Pertes d'eau entre la porcherie et les parcelles	0,22			0,22			0,22		
Déficit sur le périmètre	1,95	1,93	1,86	1,07	1,06	1,01	0,41	0,40	0,36

Le même tableau est fait pour la situation hivernale ; quelques valeurs manquent à cause de l'indisponibilité des mesures. On constate de nouveau que les pertes le long du canal menacent gravement l'eau disponible pour le périmètre (dans son état actuel, efficience de distribution de 44%).

Tableau 5.2 - Bilan d'utilisation de la ressource eau pendant la campagne humide

	efficience: 44%			efficience: 60%			efficience: 81%		
	année sèche	année normale	année humide	année sèche	année normale	année humide	année sèche	année normale	année humide
	[m³/s]			[m³/s]			[m³/s]		
Quantité enregistré à la prise d'eau	3,19			3,13			3,13		
Quantité enregistré à la porcherie	1,81			1,78			1,78		
Besoins en eau pour les cultures informelles	0,06			0,06			0,06		
Besoins en eau sur le périmètre	2,38	2,12	1,84	1,80	1,60	1,37	1,33	1,18	1,02
Pertes d'eau entre la prise d'eau et la porcherie	1,38			1,38			1,38		
Déficit sur le périmètre	0,57	0,31	0,02	-0,02	-0,22	-0,44	-0,48	-0,63	-0,80

L'installation d'une structure de mesures de débits au début du canal d'amenée, une remise en état des structures de mesures à l'entrée du périmètre (la porcherie) et au niveau des secondaires sont indispensables afin de mieux comprendre et gérer la ressource eau.



– BUDGET calibration/validation –

Validation et Calibration de BUDGET

Pendant plusieurs années, les teneurs en eau dans la zone d'enracinement des différents champs de maïs et de bananes ont été suivies afin de valider le modèle du bilan d'eau BUDGET.

Le logiciel BUDGET est un modèle de bilan d'eau développé à l'Institut pour la Gestion des Eaux et des Terres, de la Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven, Belgique) (Raes, 1982 ; 2002). Une présentation de ce logiciel a été donnée dans le Rapport Annuel N° 2 de GEeau (Wellens et al., 2004), le manuel et le logiciel peut être consulté sur le site www.iupware.be.

Les données d'entrée nécessaires utilisées pour cette étude ont largement été discutées dans des études précédentes :

- Rapport Annuel N° 1 (Wellens et al., 2003) ;
- Analyse des risques, amélioration des rendements et validation du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso (Geerts, 2003) ;
- Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso moyennant des tensiomètres (Barro, 2003) ;
- Rapport Annuel N°2 (Wellens et al., 2004) ;
- Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aide à la planification des irrigations (Drapeau, 2004) ;
- Bulletin Technique : BUDGET (GEeau, 2004).

Pendant la mission de M. Geerts (5-30 juillet 2004), ces données lui ont été présentées et l'ont aidé à vérifier les calibrations présentées ci-dessous. La base de ce chapitre est tiré du rapport de mission de M. Geerts, rédigé et complété par l'équipe du projet.

6

Simulation du bilan d'eau : sur des champs de maïs

Le but de ces tests est de calibrer le logiciel BUDGET pour la simulation de la teneur en eau dans trois champs de maïs sous des conditions d'irrigation supplémentaire. Des teneurs en eau pondérales sont mesurées dans les champs sur différentes dates et comparées avec la teneur en eau journalière, simulée avec le logiciel BUDGET. Cette approche est largement présentée dans le Rapport Annuel N°2 (Wellens, 2004).

6.1 Méthodologie

6.1.1 Calcul des teneurs en eau

La teneur en eau pondérale est déterminée à partir d'un échantillon de sol perturbé prélevé à l'aide d'une tarière. L'échantillon est pesé, mis à l'étuve pendant 24 heures et puis pesé à nouveau. La différence entre les deux masses donne la masse d'eau contenue dans le sol au moment du prélèvement (voire équation ci-dessous).

Pendant la saison sèche de 2004 des sondages ont été fait à trois profondeurs (20, 40 et 60 cm), avec trois reprises par profondeur sur trois différents endroits pour chaque champ suivi.

$$\theta_p = 100 \frac{M_e}{M_s} = 100 \frac{M_t - M_s}{M_s}$$

Avec : θ_p : la teneur gravimétrique en eau en [g(eau)/100g(sol sec)] ;
 M_e : la masse d'eau en [g] ;
 M_t : la masse de l'échantillon humide (sol + eau) en [g] ;
 M_s : la masse de l'échantillon sec en [g]

(Le poids du conteneur doit être enlevé du poids sec pour calculer la teneur en eau gravimétrique.)

En raison de son importance pratique, la teneur en eau gravimétrique est convertie en teneur volumique en eau (θ_v) en la multipliant avec la densité apparente. Elle permet de faire le calcul du bilan hydrique, la dose d'irrigation ou le flux de drainage.

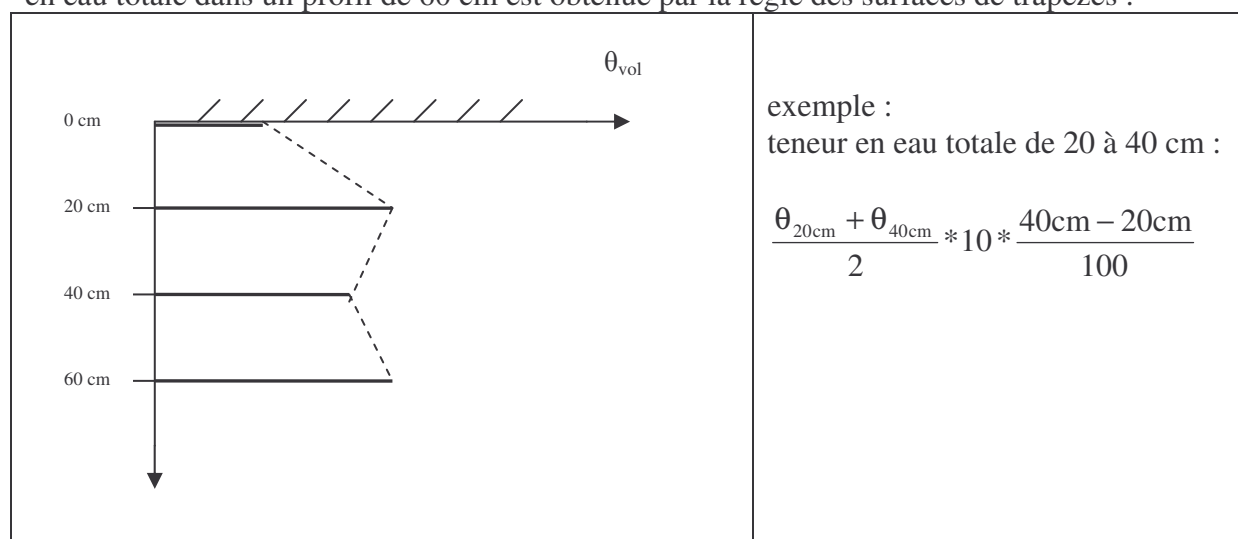
$$\theta_v = \theta_p \rho_a$$

Avec : θ_v : la teneur en eau volumique [m^3 (eau)/ m^3 (sol)]

θ_p : la teneur en eau pondérale [g(eau)/100g(sol sec)]
 ρ_a : la densité apparente [g/cm³]

Des sondages avec une teneur volumique en eau plus élevée que 55% ont été supprimés (55% est la teneur en eau maximum rapportée : argile lourde). La moyenne des sondages restants a été calculée par profondeur. Si il ne reste plus de sondages valables pour une certaine profondeur, la moyenne des autres profondeurs de ce jour est retenue.

Estimation de la teneur en eau à 0 cm de profondeur est calculée par $\theta_{20\text{cm}}/2$ [%]. La teneur en eau totale dans un profil de 60 cm est obtenue par la règle des surfaces de trapèzes :



6.1.2 Calibrage

Des calendriers d'irrigation sont rapportés par les agriculteurs. Les calendriers des cultures ont en même temps donné l'information sur les dates de semis, de récolte et sur le déroulement de la saison de croissance par champ.

Des mesures de débit à la sortie des tubes et la connaissance des durées d'irrigation donne le dosage suivant : environ 5 mm/heure.

La précipitation est mesurée localement sur les champs avec des pluviomètres. L'évapotranspiration de référence est calculée par décade pour la région à l'aide de la formule Penman-Monteith et des données d'entrée provenant de la station météorologique de Bama, située dans la région des tests.

Comme les teneurs en eau initiales ont une grande influence sur les simulations (Geerts, 2003), le premier sondage indique la date de début de simulation et la teneur en eau initiale.

Le processus de calibrage est surtout fait au niveau du dossier du sol. Malgré une étude précédente du sol, les informations recueillies étaient insuffisantes pour déterminer correctement les caractéristiques du sol.

Les champs de test de maïs sont situés dans la plaine alluviale du Kou. Le profil est composé d'une couche argilo-limoneuse suivie d'une couche argileuse lourde à partir d'environ 60 cm de profondeur (Lixisols). Cette deuxième couche provoque une lente infiltration d'eau ainsi que des conditions très humides dans la première couche.

Les caractéristiques modifiées dans le processus de calibrage concernent surtout la conductivité saturée de la couche argileuse (K_{sat}), sa caractéristique de drainage (τ), et les teneurs en eau à saturation (θ_{PS}), à capacité au champ (θ_{CC}) et au point de flétrissement (θ_{PF}) de la couche argileuse.

6.1.3 Données d'entrée

Ci-dessous suit une récapitulation des variables d'entrée des cultures de maïs et des variables du sol pour les deux champs suivis.

Tableau 6.1 - Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs (champ 1)

Période de croissance	Longueur (journées)	K_c (-)	Z_r (m)	p (-)
Initiale	20	0.17 ↔ 1.10	0.3	0.55
Développement	25	... → 1.12	0.3 → 0.90	0.55
Mi saison	25	1.12	0.90	0.55
Saison tardive	35	1.00 → 0.32	0.90	0.55

K_c : coefficient de culture

Z_r : profondeur d'enracinement

p : facteur de déplétion

Tableau 6.2 - Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) (champ 1)

Période de sensibilité	Longueur (journées)	Coefficient de réponse du rendement (K_y) (-)
Installation	15	0.70
Végétative (tôt)	10	0.40
Végétative (tard)	15	0.50
Floraison	20	1.50
Formation du produit	35	0.50
Mûrissement	10	0.20
Total – valeur saisonnière	105	1.25

Tableau 6.3 - Autres caractéristiques culturales du maïs (champ 1)

Profil d'extraction de l'eau en zone d'enracinement	40-30-20-10%
Conditions déficientes en aération	Si $\theta_{PS} > \theta_{PS} - 5\%$
Fraction d'eau disponible (p)	0.55 avec FAO adaption
Occupation de sol au moment de couverture maximale	Couverture complète
Date de semis	16 février 2004
Période de simulation	23 février – 30 mai 2004

Tableau 6.4 - Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs (champ 2)

Période de croissance	Longueur (jours)	K_c (-)	Z_r (m)	p (-)
Initiale	20	0.17 ↔ 1.10	0.3	0.55
Développement	30	... → 1.12	0.3 → 0.95	0.55
Mi saison	30	1.12	0.95	0.55
Saison tardive	13	1.00 → 0.32	0.95	0.55

K_c : coefficient de culture

Z_r : profondeur d'enracinement

p : facteur de déplétion

Tableau 6.5 - Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) (champ 2)

Période de sensibilité	Longueur (jours)	Coefficient de réponse du rendement (K_y) (-)
Installation	16	0.70
Végétative (tôt)	11	0.40
Végétative (tard)	11	0.50
Floraison	16	1.50
Formation du produit	32	0.50
Mûrissement	7	0.20
Total – valeur saisonnière	93	1.25

Tableau 6.6 - Autres caractéristiques culturales du maïs (champ 2)

Profil d'extraction de l'eau en zone d'enracinement	40-30-20-10%
Conditions déficientes en aération	Si $\theta_{PS} > \theta_{PS} - 5\%$
Fraction d'eau disponible (p)	0.55 avec FAO adaption
Occupation de sol au moment de couverture maximale	Couverture complète
Date de semis	21 mars 2004
Période de simulation	22 mars – 11 juin 2004

Tableau 6.7 - Caractéristiques du sol (champ 1)

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Sablo argilo limoneux	0.60	47	32	20	0.45	125
Argile	1.40	55	54	39	0.05	0.5

Dens.app. : 1.3 g/cm³ (pour le calcul des teneurs en eau pondérales)

Tableau 6.8 - Caractéristiques du sol (champ 2)

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Sablo argilo limoneux	0.60	47	32	20	0.45	125
Argile	1.40	55	54	39	0.20	10

[remarque : une sorte d'argile plus sableux dans le champ 2 cause une densité apparente plus élevée, ainsi que K_{sat} et τ . (comparé avec l'argile du champ 1)
 Dens. app. 1.52 g/cm^3 (pour le calcul des teneurs en eau pondérales)

6.2 Résultats

Les Figures 6.1 & 6.2 montrent les teneurs en eau journalières totales simulées et les teneurs en eau totales observées pour les deux champs suivis pour la période sèche de 2004.

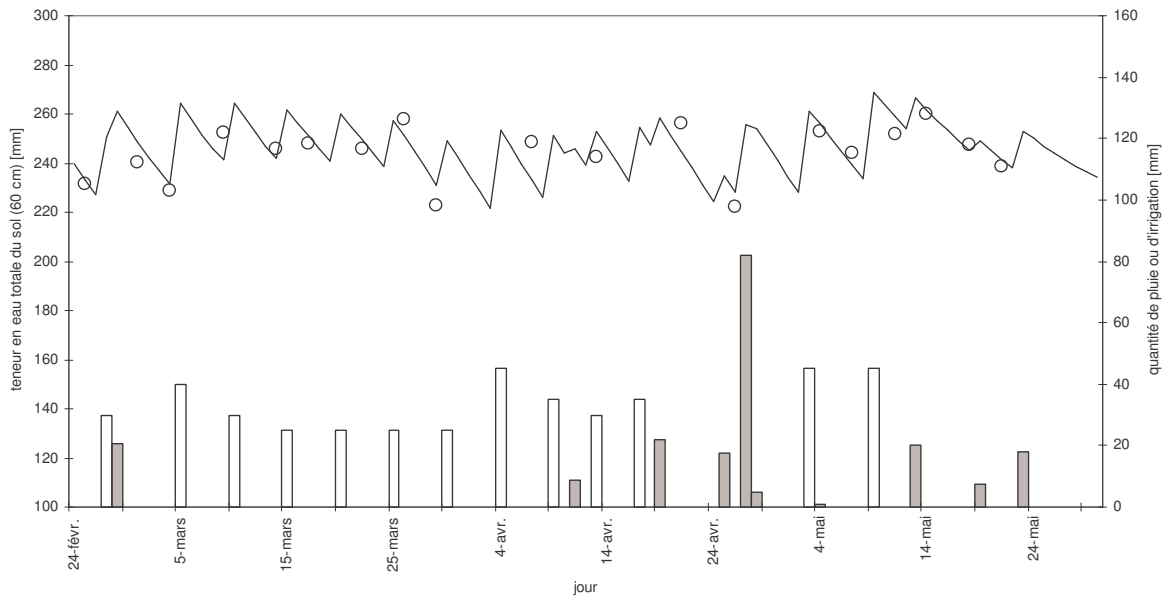


Figure 6.1 - Teneur en eau mesurée (-) et simulée (o) avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 1) (précipitations – bandes vides ; irrigations – bandes remplies)

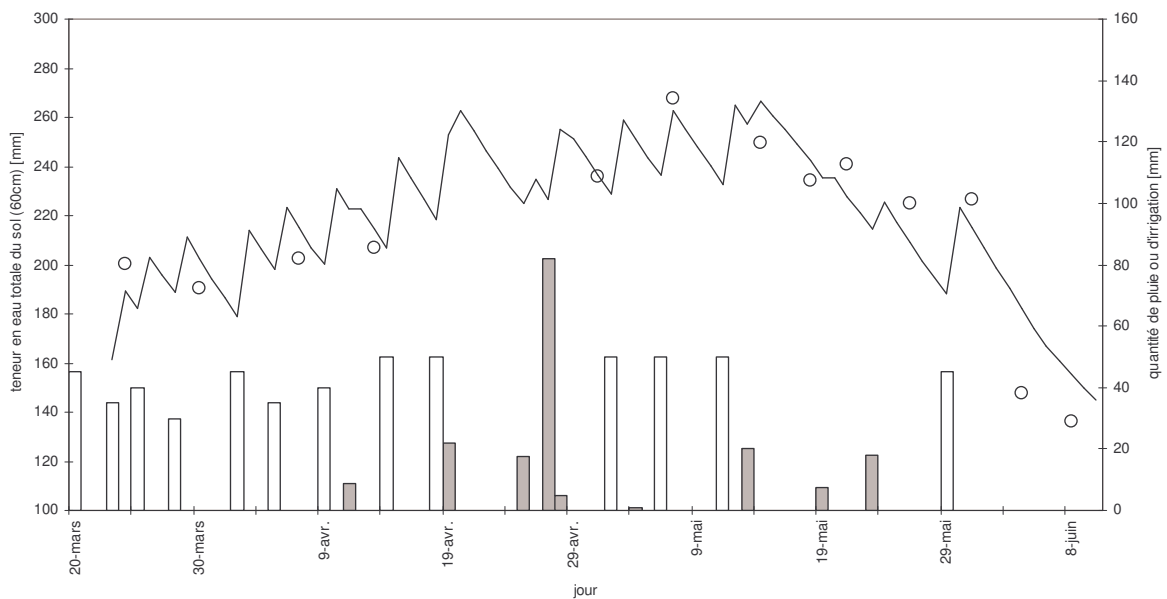


Figure 6.2 - Teneur en eau mesurée (-) et simulée (o) avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2) (précipitations – bandes vides ; irrigations – bandes remplies)

Les figures 6.3 & 6.4 sont des captures d'écran de BUDGET, qui montrent la déplétion dans la zone d'enracinement et la variation de la teneur en eau simulée (ligne crêtée). Néanmoins, au cours de la saison sèche, on constate clairement une sur-irrigation dans la zone alluviale en aval du pont du Bama. La teneur en eau demeure quasiment constamment entre le point de saturation et le point de capacité au champ.

Avec :
 SAT : point de saturation
 FC : point de capacité au champ
 RAW : réserve facilement utilisable
 TAW : réserve en eau utile

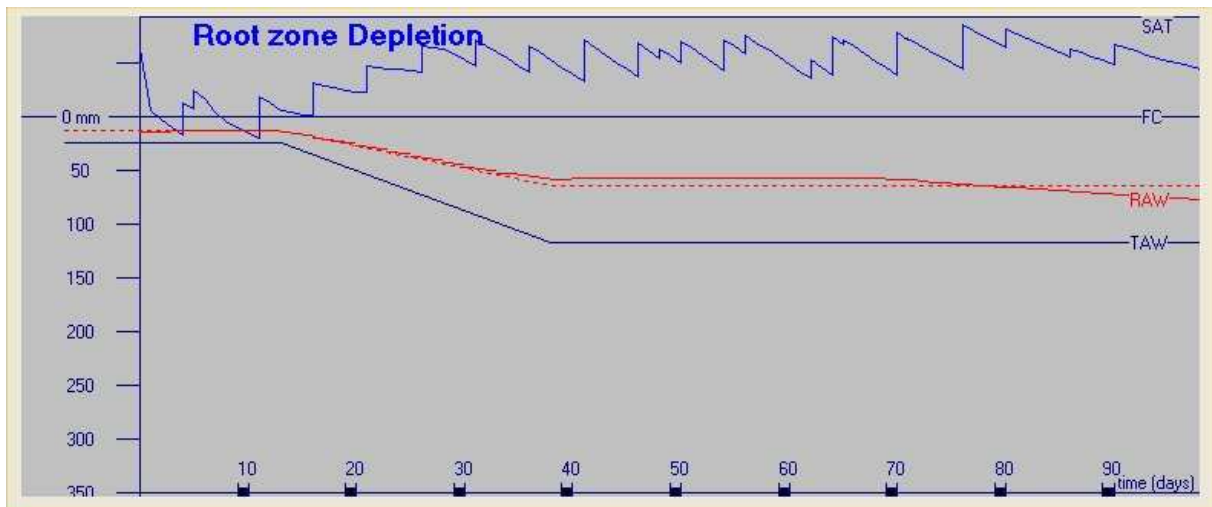


Figure 6.3 - Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 1)

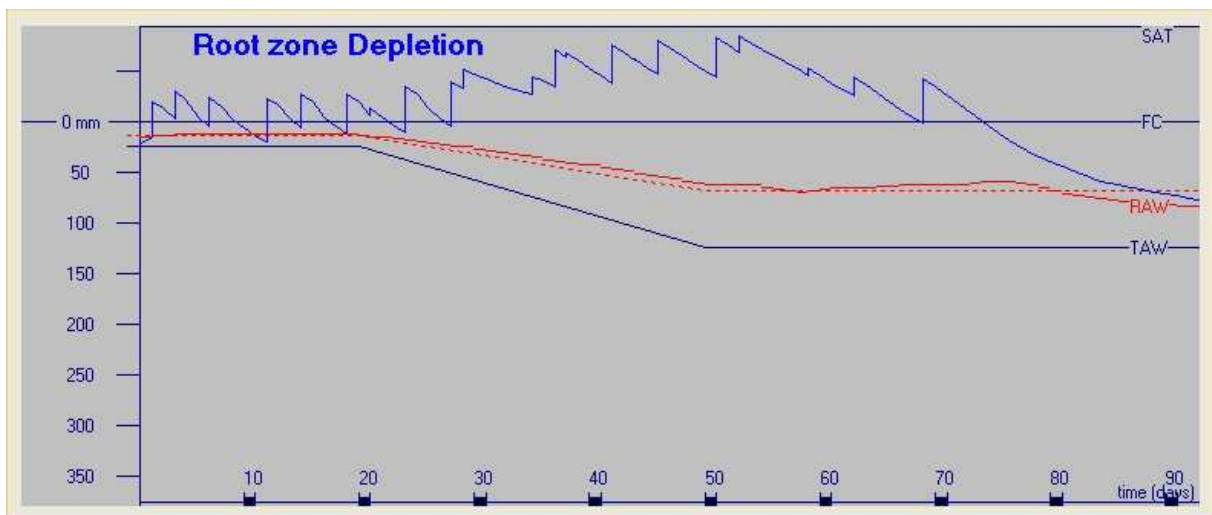


Figure 6.4 - Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2)

6.3 Discussion et conclusion

Les résultats des simulations présentent une très bonne concordance avec les valeurs mesurées sur le terrain.

Comme les tests ont été suivis sur des champs en conditions agricoles réelles ('on-farm'), les résultats sont suffisants. De tels calibrages et validations sont surtout faits pour des champs de tests contrôlés, mais pas en conditions réelles. De plus, la précision relative de l'échantillonnage et de la méthode de détermination de la teneur en eau gravimétrique, les résultats sont très bons (voir Rapport Annuel N°2).

La perméabilité de la couche argileuse lourde et ses caractéristiques de rétention d'eau étaient les facteurs les plus influents sur les simulations.

Dans les plaines alluviales (où se situaient les champs de suivis) le stress de la plante est assez important, en raison des conditions non-airées est importantes. Des conditions non-airées ne sont pas rares à cause des conductivités basses et des dosages d'irrigations excessifs.

Le modèle du bilan d'eau BUDGET simule la plante comme non-active et cause une utilisation d'eau négligeable par la plante. Le modèle rentre dans un 'bug' et sort difficilement des conditions saturées.

Finalement, l'évolution pendant la saison du bilan d'eau montre une sur-irrigation significative.

Vu la réserve en eau facilement utilisable limitée dans les sols argileux des plaines alluviales, l'équilibre des dosages d'irrigation n'est pas facilement trouvé. En cas de mauvais dosage des intervalles d'irrigation, on peut aisément sur-irriguer mais en même temps entrer facilement dans des conditions de stress.

7

Simulation du bilan d'eau : sur un champ de bananes (première tige)

Pendant la saison humide de 2002 les teneurs en eau pondérales ont été mesurées sur un champ de bananes. A cause d'un manque de sondages (seulement 9), d'une absence de répétition spatiale (voir Geerts, 2003) et de difficultés rencontrées en simulant des cultures pérennes, cette étude a été supprimée.

On a maintenant décidé d'inclure cette étude pour valider les données mesurées à l'époque et montrer que BUDGET sert aussi à simuler des besoins en eau des autres cultures. Le bilan d'eau de chaque culture peut être simulé avec BUDGET après une phase de mesures de terrain et de calibration.

7.1 Méthodologie

Il s'agit d'un champ de bananes, premières tiges, avec une couverture complète. Les paramètres culturaux ont été trouvés dans la littérature (Doorenbos et Kassam, 1986). Le calendrier d'irrigation et les doses irriguées sont connus.

Des tests de sol ont été élaborés au laboratoire de physique du sol de la Katholieke Universiteit de Leuven (K.U.Leuven, Belgique). Trois différentes textures ont été distinguées de la famille limoneux – sablo-limoneux. A cause de ces tests de sol quasi complets, l'étude exécutée ici n'est pas un vrai calibrage mais plutôt une validation.

7.1.1 Calibrage ou validation

Les caractéristiques du sol étant suffisamment connus, il ne s'agissait pas d'un vrai calibrage dans ce cas. Seulement les influences de la teneur en eau initiale sont vérifiées telle que l'influence de la variation des épaisseurs des différentes couches de sol. Finalement, la teneur en eau initiale est à la capacité au champ.

7.1.2 Données d'entrée

Ci-dessous suit une récapitulation des variables d'entrée pour les bananes et des variables d'entrée de sol.

Tableau 7.1 - Phases de croissance et paramètres culturales pour un bananier

Période de croissance	Longueur (journées)	K_c (-)	Z_r (m)	p (-)
Initiale	55	0.17 ↔ 1.10	0.50	0.55
Développement	90	... → 1.10	0.50 → 0.75	0.55
Mi saison	145	1.10	0.75	0.55
Saison tardive	75	1.10 → 0.70	0.75	0.55

K_c : coefficient de culture
 Z_r : profondeur d'enracinement
 p : facteur de déplétion

Tableau 7.2 - Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) pour un bananier

Période de sensibilité	Longueur (journées)	Coefficient de réponse du rendement (K_y) (-)
Installation	20	1.20
Végétative (tôt)	70	1.20
Végétative (tard)	100	1.20
Floraison	50	1.35
Formation du produit	75	1.35
Mûrissement	50	1.35

Tableau 7.3 - Autres caractéristiques culturales d'un bananier

Profil d'extraction de l'eau en zone d'enracinement	40-30-20-10%
Conditions déficientes en aération	Si $\theta_{PS} > \theta_{PS} - 5\%$
Fraction d'eau disponible (p)	0.55 avec FAO adaption
Occupation de sol au moment de couverture maximale	Couverture complète
Date de semis	mars 2002
Période de simulation	1 septembre – 31 octobre 2002

Tableau 7.4 - Caractéristiques du sol : champ des bananes

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Texture 1	0.20	36	27	20	0.6	331
Texture 2	0.40	39	29	19	0.6	300
Texture 3	0.80	43	30	19	0.5	200

Densité apparente pour le calcul des teneurs en eau volumique : 1.50 g/cm^3

7.2 Résultats

La Figure 7.1 montre les teneurs en eau journalières totales simulées et les teneurs en eau totales observées pour un champ des bananiers, suivi pendant la période humide de 2002.

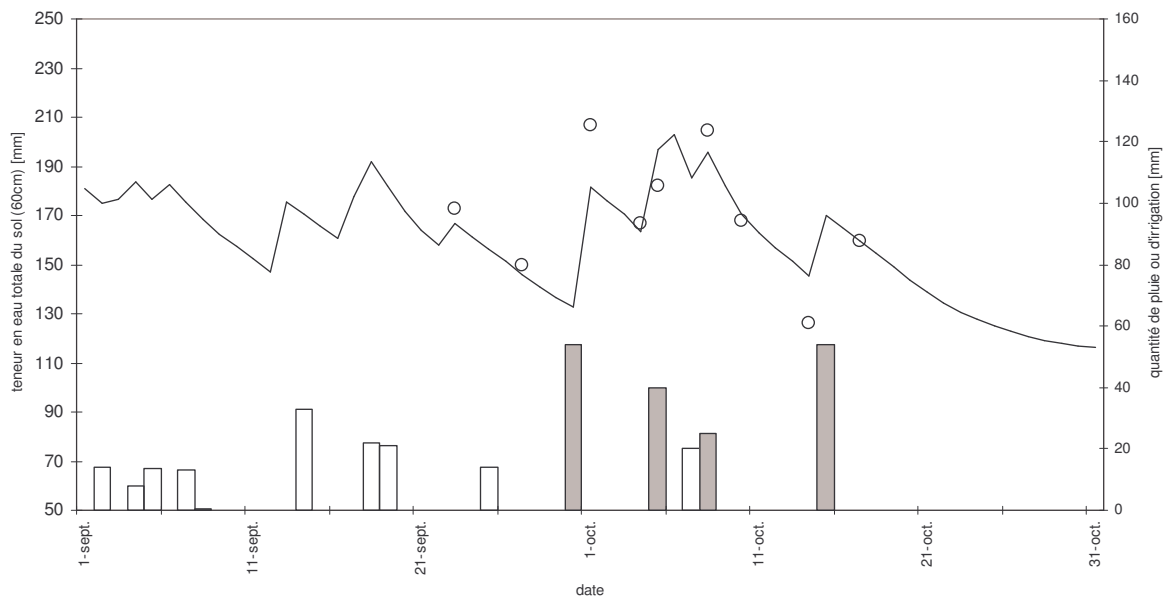


Figure 7.1 - Teneur en eau mesurée (-) et simulé (o) avec le logiciel BUDGET pour le champ des bananes (précipitations – bandes vides ; irrigations – bandes remplies)

La Figure 7.2 est une capture d'écran de BUDGET, qui montre la déplétion dans la zone d'enracinement et la variation de la teneur en eau simulée (ligne en dent de scie). Le bilan d'eau ne rentre presque jamais au-dessous du niveau d'eau RAW, ce qui est très important vu la sensibilité élevée au stress hydrique des bananes.

Avec :
 SAT : point de saturation
 FC : point de capacité au champ
 RAW : réserve facilement utilisable
 TAW : réserve en eau utile

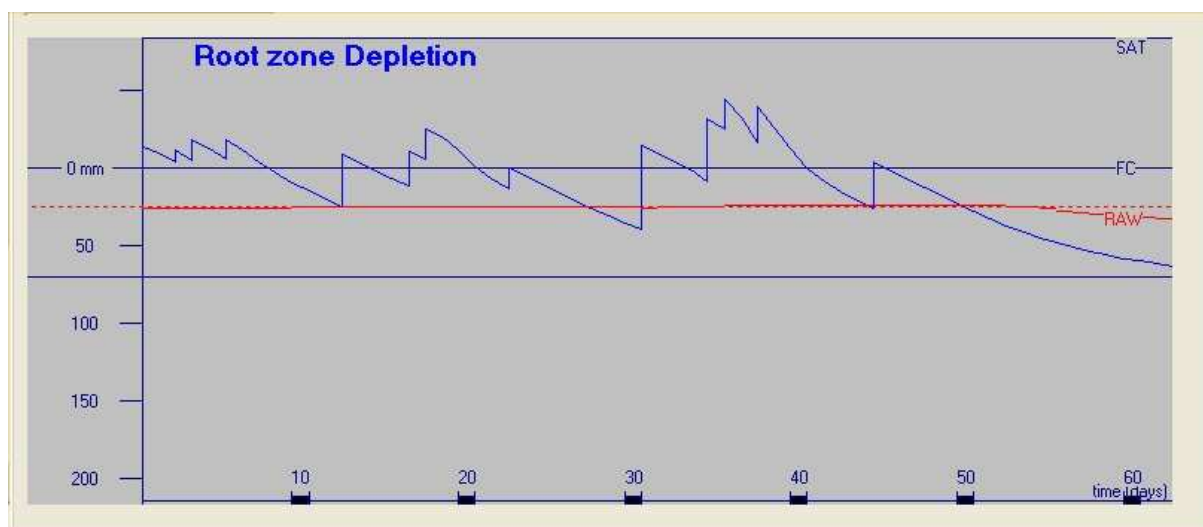


Figure 7.2 - Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour du maïs (champ 2)

Le rendement relatif simulé par BUDGET est de 89%.

Le rendement observé sur le terrain est 45 tonnes/ha. Pour le calcul du rendement relatif réel, la quantité réelle est divisée par 50 tonnes/ha, ce qui est considéré comme maximum pour la région.

L'ensemble donne un rendement relatif observé de $45/50 = 90\%$. Comparé ce 90% de rendement relatif réel avec le 89% de rendement relatif simulé, on peut en déduire que la simulation est correcte.

7.3 Discussion et conclusion

Vu le type de sol (sablo-limoneux), la teneur en eau initiale ne montrait pas une réelle influence sur les simulations que pour les plaines alluviales.

En considérant les sondages sans répétition spatiale, les résultats de simulation sont fort suffisants. Malgré une simulation pendant la période de couverture maximale, nous pensons que les simulations devraient être valables pour le reste de l'année en raison d'un calendrier cultural connu et respecté.

8

Simulation du bilan d'eau moyennant des tensiomètres

Afin d'obtenir une meilleure calibration du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau, un essai a été élaboré en utilisant des tensiomètres pour suivre la teneur en eau dans la zone d'enracinement sur une base journalière. Un tensiomètre permet de mesurer facilement le potentiel hydrique dans le sol. Après étalonnage, ces valeurs de potentiel matriciel peuvent être converties en valeur de teneur en eau.

Pour quelques champs dans la plaine alluviale de la rivière Kou (Bama), la croissance du maïs pendant la saison est simulée par le logiciel BUDGET. La comparaison entre les teneurs en eau simulées et observées, à l'aide des tensiomètres dans un profil de 60 cm, permet de calibrer le logiciel BUDGET pour cette région.

8.1 Des tensiomètres comme outil de suivi

Un tensiomètre mesure la tension superficielle créée par l'humidité du sol. Il est constitué d'une céramique poreuse collée à l'extrémité d'un tube PVC (traité à l'ultra violet). Le tube est rempli d'eau dégazée, et est fermé par un bouchon auto-cicatrisant permettant à l'appareil de mesure de le transpercer. Il existe toute une gamme de longueurs ; le choix dépend de la profondeur de sol que l'on veut explorer.

Le principe est le suivant : une fois le tube introduit dans le sol, il consiste en la mesure d'une dépression créée dans un système étanche à l'air grâce au 'transfert' de l'eau au travers de la céramique poreuse. Deux cas peuvent se présenter :

- a) Le sol est saturé d'eau, il n'y a donc aucun échange entre l'intérieur de la céramique poreuse et le sol. Il n'existe aucune dépression à l'intérieur du système ; le tensimètre électronique ne mesure donc aucune dépression dans le tube PVC.
- b) Le sol est en état de stress hydrique, il va donc tenter d'extraire l'eau contenue dans la céramique et générer (par déplacement des ménisques d'eau dans la céramique) une dépression à l'intérieur de la canne PVC. Cette dépression (directement fonction de l'état de sécheresse du sol) va entraîner une montée franche de la valeur affichée sur le tensimètre électronique. En cas de baisse du niveau d'eau dans le tube, on le remplit d'eau déminéralisée jusqu'à 1 cm du bord.

Utilisé en agriculture, le tensiomètre permet de connaître les conditions d'irrigation, la quantité d'eau à apporter et, enfin, le meilleur moment pour cet apport d'eau.

8.2 Méthodologie

Six couples de tensiomètres ont été implantés dans les champs. Chaque couple comprend un tensiomètre de 30 cm et un de 55 cm. Cette disposition tient compte de la progression des racines au cours de la période de végétation : pendant la phase de levée, les racines n'étant pas encore assez profondes, seules les valeurs du tensiomètre de 30 cm sont considérées tandis que pendant la phase de maturation où les racines ont atteint leur taille maximale, les données exploitées sont celles du tensiomètre de 55 cm.

8.2.1 Courbes d'étalonnages pour les tensiomètres

Pour adapter des tensiomètres à l'objectif assigné à cette étude, un étalonnage des tensiomètres à partir d'une série de mesures de la teneur en eau par la méthode gravimétrique s'impose. Des prélèvements ont été effectués sur des dates différentes. La courbe d'étalonnage, ainsi obtenue, permet de convertir les valeurs du tensiomètre (en potentiel matriciel, Hpa) en valeurs d'humidité volumétrique.

Pour la plus grande partie des potentiels matriciels, la relation entre le potentiel matriciel et la teneur en eau volumique est de forme exponentielle. Pour des potentiels matriciels de moins de 20 Hpa (sols humides), la courbe est de forme polynomiale.

A cause d'un manque d'échantillons humides, la courbe d'étalonnage a été manuellement complétée selon l'équation de Van Genuchten. Comme on se situe sur du sol sablo-limoneux, le point de saturation est pris à 35 % volumique d'eau soit un potentiel de 0 (Figure 8.1).

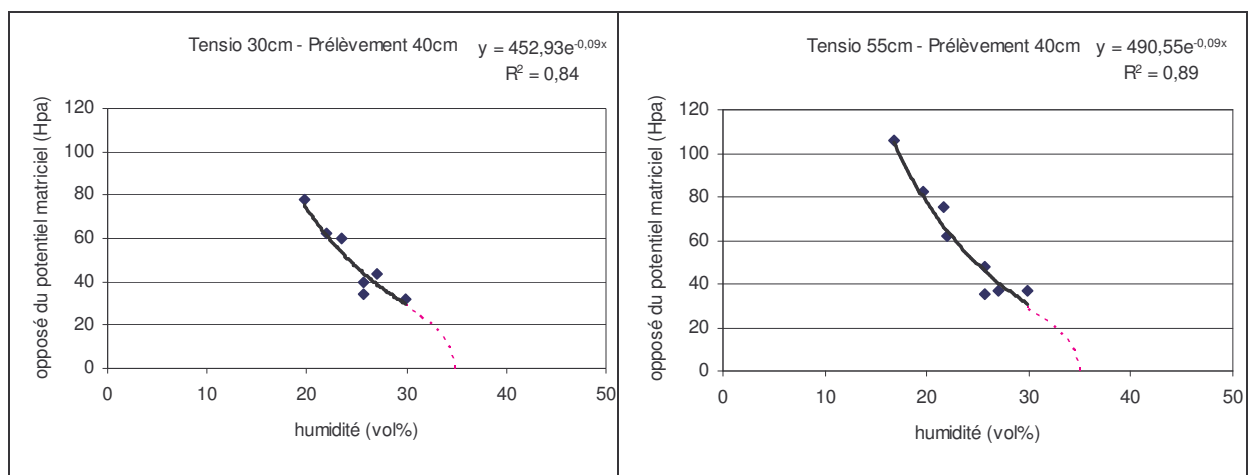


Figure 8.1 - Courbes d'étalonnage des tensiomètres à une profondeur de 30 et 55 cm. (Correction manuelle pour les valeurs humides selon l'équation de Van Genuchten)

L'équation obtenue pour le tensiomètre de 30 cm de profondeur, utilisé pour les conversions pendant la période de croissance initiale, est :

$$\theta_{\text{vol}} = -11.00 * \ln(\psi_{\text{mat}}) + 67.28$$

Avec : θ_{Vol} : l'humidité volumique [vol%]
 Ψ_{mat} : l'opposé du potentiel matriciel [Hpa]

L'équation obtenue pour le tensiomètre de 55 cm de profondeur, pour les conversions à partir de la phase de maturation, est :

$$\theta_{Vol} = -10.82 * \ln(\Psi_{mat}) + 67.05$$

Avec : θ_{Vol} : l'humidité volumique [vol%]
 Ψ_{mat} : l'opposé du potentiel matriciel [Hpa]

Ces équations d'étalonnage sont seulement valables jusqu'au potentiel de 20 Hpa. Pour toutes les valeurs au dessous de ce 20 Hpa, on suppose le sol doit être saturé et on prend 35% comme valeur d'humidité volumique.

8.2.2 Données d'entrées

Le calibrage du logiciel BUDGET est surtout fait au niveau du dossier de sol.

La pluviométrie locale est déduite d'une station assez proche, de la Vallée du Kou. L'évapotranspiration de référence est calculée avec la formule de Penman-Monteith avec des données météorologiques provenant de la station de la Vallée du Kou.

Le dossier de culture est présenté dans les Tableaux 8.1, 8.2 & 8.3. Les dossiers du sol se trouvent dans les Tableaux 8.4 & 8.5.

A cause d'une grande ressemblance entre les potentiels matriciels de plusieurs tensiomètres, le calibrage du modèle est seulement exécuté pour 2 tensiomètres (N° 3 & 5). Les autres tensiomètres donnent des résultats identiques.

Pour la période de croissance initiale, le tensiomètre de 30 cm de profondeur est utilisé. Ensuite le tensiomètre de 55 cm est employé (période de maturation).

Tableau 8.1 - Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs dans les champs avec les tensiomètres.

Période de croissance	Longueur (jours)	K_c (-)	Z_r (m)	p (-)
Initiale	25	0.17 ↔ 1.10	0.20	0.55
Développement	25	... → 1.15	0.20 → 0.60	0.55
Mi saison	30	1.15	0.60	0.55
Saison tardive	25	1.15 → 0.35	0.60	0.55

K_c : coefficient de culture
 Z_r : profondeur d'enracinement
 p : facteur de déplétion

Tableau 8.2 - Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) du maïs

Période de sensibilité	Longueur (journées)	Coefficient de réponse du rendement (K_y) (-)
Installation	15	0.70
Végétative (tôt)	10	0.40
Végétative (tard)	15	0.50
Floraison	20	1.50
Formation du produit	35	0.50
Mûrissement	10	0.20
Total – valeur saisonnière	105	1.25

Table 8.3 - Autres caractéristiques culturales du maïs dans les champs des tensiomètres

Profil d'extraction de l'eau en zone d'enracinement	40-30-20-10%
Conditions déficientes en aération	Si $\theta_{PS} > \theta_{PS} - 5\%$
Fraction d'eau disponible (p)	0.55 avec FAO adaption
Occupation de sol au moment de couverture maximale	Couverture complète
Date de semis	1 juillet 2003
Période de simulation	1 juillet – 13 octobre 2003

Tableau 8.4 - Caractéristiques du sol du champ du tensiomètre 3

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Sablo limoneux	0.60	38	16	8	0.95	800
Argile	0.20	54	52	37	0.15	8

Dens.app. : 1.3 g/cm³ (pour le calcul des teneurs en eau pondérales)

Tableau 8.5 - Caractéristiques du sol du champ du tensiomètre 5

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Limoneux sableux	0.60	41	22	10	0.75	500
Argile	0.20	54	51	34	0.17	10

Dens.app. : 1.3 g/cm³ (pour le calcul des teneurs en eau pondérales)

8.3 Résultats

Les figures 8.2 & 8.3 montrent les teneurs en eau journalières totales simulées et les teneurs en eau totales observées pour les deux champs avec du maïs pluvial suivis pendant la période humide de 2003.

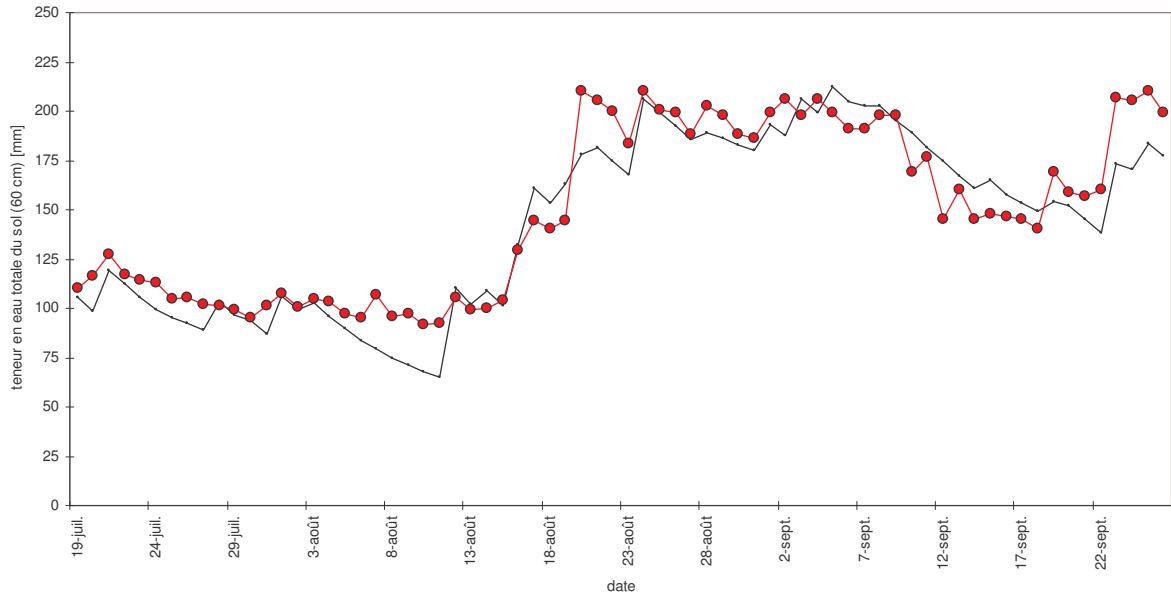


Figure 8.2 - Teneur en eau mesurée par tensiomètre 3 (o) et simulée (-) avec le logiciel BUDGET pour un champ de maïs pluvial

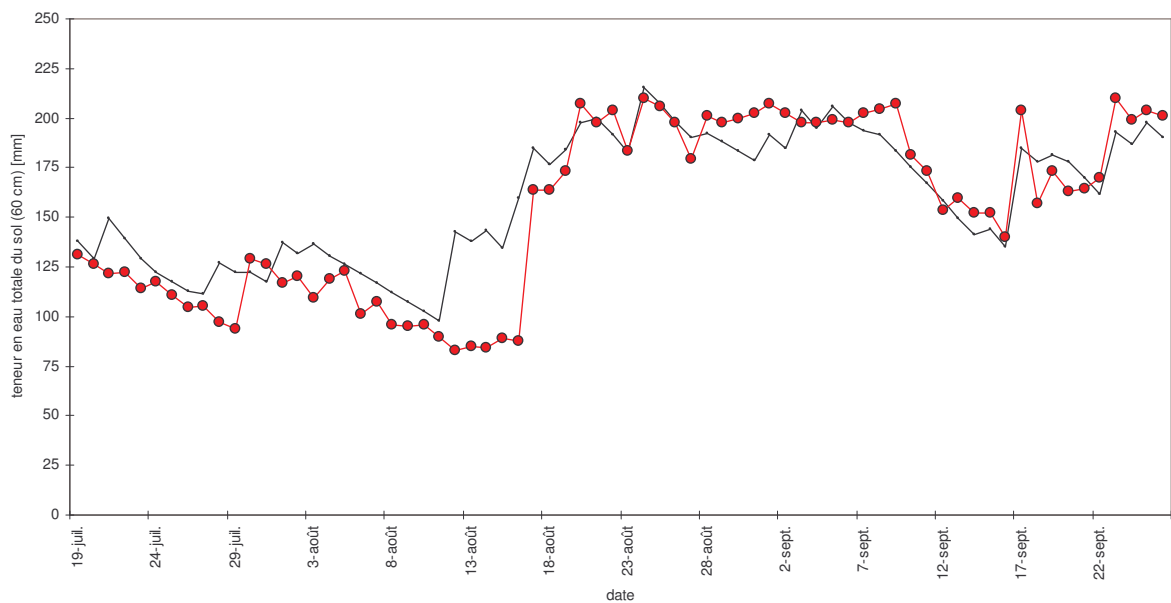


Figure 8.3 - Teneur en eau mesurée par tensiomètre 5 (o) et simulée (-) avec le logiciel BUDGET pour un champ de maïs pluvial

Figures 8.4 & 8.5 sont des captures d'écran de BUDGET, montrant la déplétion dans la zone d'enracinement et la variation de la teneur en eau simulée (ligne en dent de scie). On constate que malgré une teneur en eau presque saturée, des échantillons n'ont pas été pris à ce moment. L'étalonnage sur le champ reste possible grâce à des variations de teneur en eau relativement grande

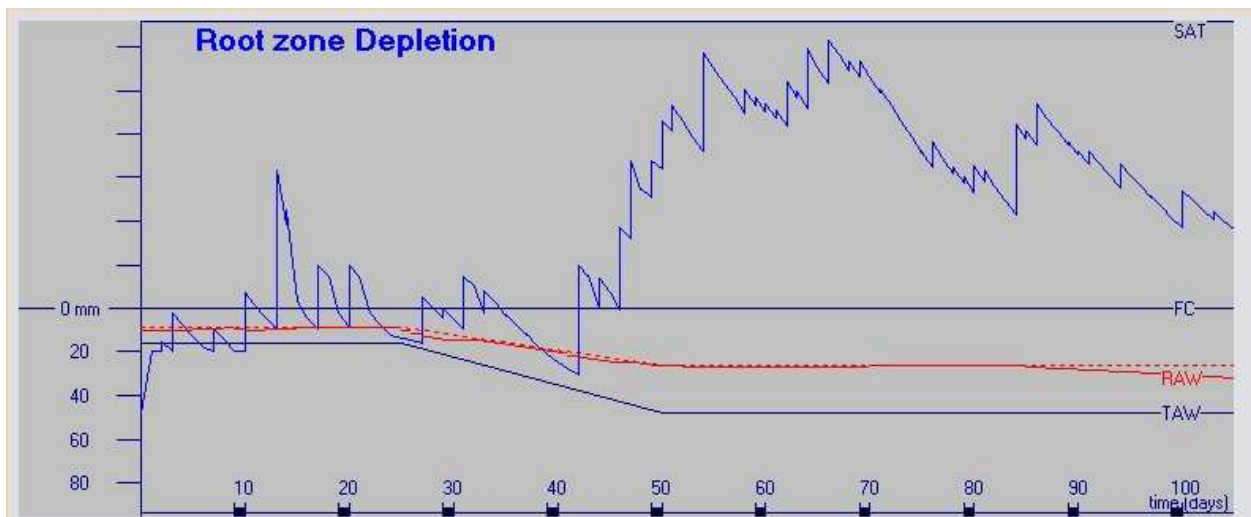


Figure 8.4 - Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour le champ du maïs pluvial avec tensiomètre 3



Figure 8.5 - Bilan d'eau simulé avec le logiciel BUDGET pour le champ du maïs pluvial avec tensiomètre 5

8.4 Discussion et conclusion

Globalement, le calibrage du logiciel BUDGET dans des conditions agricoles réelles était satisfaisant pour les deux couples de tensiomètres 3 et 5. Les autres tensiomètres donnaient des résultats fort ressemblants. Quelques variations au niveau micro peuvent être causées par le manque de pluviomètres dans les champs mêmes.

Remarquons que les caractéristiques de la couche impénétrable sont très importantes pour les simulations avec BUDGET. Une faible variation des conditions hydriques de cette couche peuvent avoir une grande influence.

9

Simulation des rendements au niveau de la parcelle

Le but de cette étude est de comparer les rendements relatifs réels aux rendements relatifs simulés par le logiciel BUDGET. Comme le modèle BUDGET emploie le bilan d'eau comme base de calcul du rendement relatif, une validation au niveau des rendements est en même temps une validation du modèle au niveau du bilan d'eau.

9.1 Le calcul des rendements

Globalement, le logiciel BUDGET emploie la formule de Doorenbos et Kassam (1979) pour calculer le rendement relatif sur la base de l'évapotranspiration relative:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_b} = K_y \left(1 - \frac{ET_{act}}{ET_{crop}} \right)$$

Avec	Y_a/Y_m	rendement relatif
	$1 - Y_a/Y_m$	réduction de rendement relatif
	K_y	coefficient de réponse du rendement saisonnier
	ET_{act}/ET_{crop}	évapotranspiration relative
	$1 - ET_{act}/ET_{crop}$	stress hydrique ou déficit d'évapotranspiration relative

Cette relation emploie un coefficient de réponse du rendement saisonnier. Par exemple pour le Kenya, Kipkorir *et al.* (2002) ont trouvé une valeur K_y saisonnière de 1.21 pour le maïs, ce qui correspond bien à la valeur proposée par Doorenbos et Kassam (1979).

Afin de considérer les différentes réponses en rendement sur des stress hydriques pendant les différentes phases de sensibilité, l'équation ci-dessus doit être calculée individuellement pour chaque phase de sensibilité et être combinée d'une manière réaliste pour donner le rendement saisonnier.

Plusieurs procédures de calcul peuvent être utilisées afin d'évaluer l'effet cumulatif de stress hydrique sur le rendement d'une culture :

- l'approche multiplicative
- l'approche minimale
- l'approche saisonnière

9.1.1 L'approche multiplicative

L'approche multiplicative a été formulée par Jensen (1968) et Hanks (1974). L'argumentation pour une telle approche est dès qu'une culture flétrisse dans n'importe quelle phase, le rendement final sera aussi zéro, qu'importe la croissance dans les autres phases.

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^N \left[1 - K_{y,i} \left(1 - \frac{ET_{a,i}}{ET_{c,i}} \right) \right]$$

Avec :

- Y_a : la récolte actuelle
- Y_m : la récolte maximale
- Π : le produit des différents phases de sensibilité
- N : le nombre de phases de sensibilité
- $K_{y,i}$: coefficient de réponse du rendement pour la $i^{\text{ème}}$ phase de sensibilité
- $ET_{a,i}/ET_{c,i}$: évapotranspiration relative pour la $i^{\text{ème}}$ phase de sensibilité

Le logiciel BUDGET donne la possibilité d'entrer des coefficients différents selon la période de croissance.

Afin d'exprimer l'effet combiné de stress hydrique sur le rendement pour des pas de temps inférieurs aux phases de sensibilité (e.g. un intervalle d'irrigation), une nouvelle procédure de calcul a été introduite dans BUDGET (Kipkorir & Raes, 2002). Toutes les N fonctions d'en haut sont remplacées par le produit de ces M fonctions :

$$1 - K_{y,i} \left(1 - \frac{ET_{a,i}}{ET_{c,i}} \right) = \prod_{j=1}^M \left[1 - K_{y,i} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{c,j}} \right) \right]^{\Delta t_j / L_i}$$

Avec :

- M : le nombre de pas de temps de longueur Δt_i pendant la $i^{\text{ème}}$ phase de sensibilité
- L_i : la longueur de la $i^{\text{ème}}$ phase de sensibilité

9.1.2 Approche minimale

D'autres auteurs (eg. Allen, 1994) proposent que le minimum des rendements relatifs des différentes phases de sensibilité et du rendement relatif saisonnier peut se substituer au rendement relatif :

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \text{Min} \left[\text{Min} \left(\frac{Y_{a,1}}{Y_{m,1}}, \frac{Y_{a,2}}{Y_{m,2}}, \dots, \frac{Y_{a,N}}{Y_{m,N}} \right), \frac{Y_{a,\text{total}}}{Y_{m,\text{total}}} \right]$$

Avec :

- $Y_{a,j}/Y_{m,j}$: le rendement relatif pour la $j^{\text{ème}}$ phase de sensibilité
- $Y_{a,\text{total}}/Y_{m,\text{total}}$: le rendement relatif saisonnier

9.1.3 Approche saisonnière

Comme écrit ci-dessus, cette relation emploie un coefficient de réponse du rendement saisonnier :

$$1 - \frac{Y_a}{Y_b} = K_y \left(1 - \frac{ET_{act}}{ET_{crop}} \right)$$

9.2 Méthodologie

Pour 7 champs, pendant différentes années, des rendements de maïs sont connus (pesés ou notés), tout comme les calendriers de cultures et parfois les calendriers d'irrigation supplémentaire. Un rendement maximum élevé de 8 tonnes/ha (bonnes conditions de culture dans ce village) est adopté pour calculer les rendements relatifs observés.

Les paramètres d'entrée sont comparables avec ceux du § 10.2 et ceux utilisées par Geerts en 2003.

9.3 Résultats

Les figures ci-dessous montrent les rendements relatifs du maïs observés et simulés avec BUDGET utilisant les trois approches décrites.

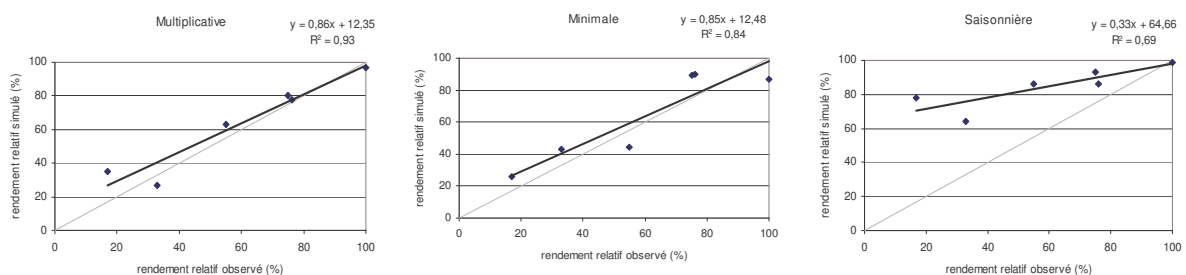


Figure 9.1 - Rendements relatifs du maïs observés et simulés avec BUDGET utilisant l'approche multiplicative (g.), minimale (m.) et saisonnière (d.).

9.4 Discussion et conclusion

Globalement, il est clair que l'approche multiplicative adaptée (Jensen, 1968 ; Kipkorir, 2002) est la meilleure façon de simuler les rendements de maïs au niveau de la parcelle.

L'approche minimale (Allen, 1994) est aussi valable pour les simulations de rendements.

Les mauvais résultats pour l'approche saisonnière peuvent être causés par un coefficient de réponse du rendement à l'eau trop bas ($K_y = 1.25$).

10

Simulation des rendements régionaux du maïs pluvial

Cette recherche vise à simuler des rendements de maïs au niveau provincial (niveau régional) avec des données d'entrée 'points'.

10.1 Méthodologie

Pour les années de 1995 jusqu'à 2001, des données de rendements provinciaux (tonnes/ha) du maïs pluvial sont connues. En adoptant un rendement maximum de 5 ton/ha, des rendements relatifs sont calculés. La valeur du rendement maximum est plus bas comparée aux valeurs ci-dessus, comme il s'agit de l'agriculture pluviale sans irrigation supplémentaire et dans une province avec des conditions de culture moyennes.

10.2 Données d'entrée

Les dates de semis sont estimées avec le critère du début de l'hivernage de Sivakumar (1988). Selon cette étude, l'hivernage commence du moment que la pluie journalière cumulative de 7 jours est égale ou supérieure à 20 mm et qu'il n'y a pas de sécheresse de 7 jours ou plus pendant les 30 jours suivants. Il est clair que ce critère est seulement utile pour des études historiques à cause de la règle du faux début. Si dans une année, il apparaissait une assez grande sécheresse pendant la période de croissance initiale, tombant quand même au dessous de la règle des faux débuts, une perte de culture complète et un deuxième semis sont supposés (à la deuxième date qui répond au critère de Sivakumar (1988)). (Wellens et al., 2004)

Pour les données pluviométriques, la station de la Vallée du Kou est sélectionnée à cause de sa localisation centrale dans la province du Houet. Remarquons ici que nous allons essayer de simuler des rendements régionaux avec des données locales. Les données sur l'évapotranspiration de référence décadaire moyenne proviennent aussi de la Vallée du Kou. Elles sont obtenues avec la formule de FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). (Wellens et al., 2003)

Un profil de sol lourd a été sélectionné comme profil représentatif pour la province. De nouveau, c'est une forte généralisation d'employer seulement un type de sol pour simuler tous les rendements dans la zone. Les détails du profil se trouvent dans le Tableau 10.1.

Tableau 10.1 - Caractéristiques du sol représentatives pour le province de Houet

Texture	Epaisseur (m)	θ_{PS} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)	τ (-)	K_{sat} (mm/jour)
Sablo argilo limoneux	2	52	44	23	0.30	20

Les détails du dossier de culture maïs pour les simulations des rendements régionaux se trouvent dans les Tableaux 10.2, 10.3 & 10.4.

Tableau 10.2 - Phases de croissance et paramètres culturales pour le maïs pluvial

Période de croissance	Longueur (jours)	K_c (-)	Z_r (m)	p (-)
Initiale	20	0.17 ↔ 1.10	0.20	0.55
Développement	40	... → 1.15	0.20 → 0.90	0.55
Mi saison	40	1.15	0.90	0.55
Saison tardive	20	1.15 → 0.35	0.90	0.55

K_c : coefficient de culture

Z_r : profondeur d'enracinement

p : facteur de déplétion

Tableau 10.3 - Phases de sensibilité et les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) du maïs

Période de sensibilité	Longueur (jours)	Coefficient de réponse du rendement (K_y) (-)
Installation	20	0.70
Végétative (tôt)	20	0.40
Végétative (tard)	20	0.50
Floraison	20	1.50
Formation du produit	40	0.80
Mûrissement	10	0.20
Total – valeur saisonnière	130	1.25

Tableau 10.4 - Autres caractéristiques culturales du maïs pour les simulations des rendements régionaux

Profil d'extraction de l'eau en zone d'enracinement	40-30-20-10%
Conditions déficientes en aération	Si $\theta_{PS} > \theta_{PS} - 5\%$
Fraction d'eau disponible (p)	0.55 avec FAO adaption
Occupation de sol au moment de couverture maximale	Couverture complète
Date de semis	Critère de Sivakumar (1988)
Période de simulation	Commence 30 jours avant, au point de flétrissement

10.3 Résultats

En simulant le bilan d'eau, une estimation des rendements relatifs est faite utilisant l'approche K_y (Doorenbos & Kassam, 1979). Les trois variantes de l'approche K_y ont été employées (approche multiplicative, minimale et saisonnière).

L'année 1997 est exclue des données en raison de mauvais résultats pour les simulations. Malgré un manque d'information, nous supposons que la cause de ces pertes est due à une maladie ou une invasion. Les résultats des simulations se trouvent les Figures 10.1.

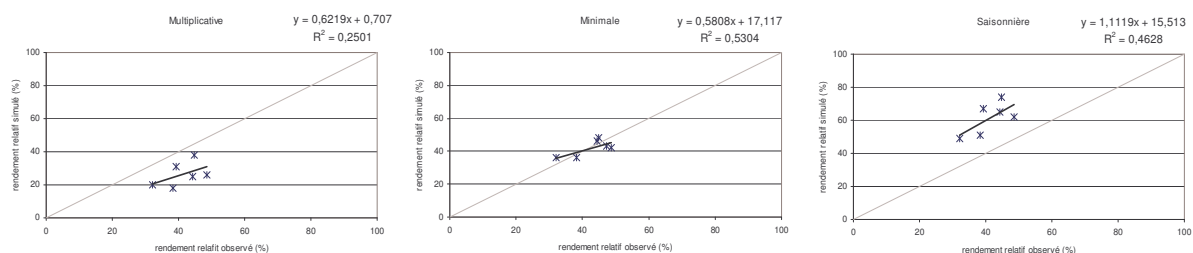


Figure 10.1 - Rendements relatifs du maïs pluvial observés et simulés avec BUDGET pour la province de Houet utilisant l'approche multiplicative (g.), minimale (m.) et saisonnière (d.).

10.4 Discussion et conclusion

Contrairement aux simulations au niveau de la parcelle, l'approche minimale est clairement la meilleure pour la simulation des rendements régionaux pour la province de Houet dans le sud-ouest du Burkina Faso. Dans la dernière version de BUDGET, cette approche est aussi l'approche standard pour le calcul des rendements relatifs.

Le service statistique agricole du Burkina Faso estime les rendements régionaux à l'aide des villages échantillons et une interpolation de ces données. De cette étude, il est clair qu'on est maintenant capable d'aider ce service pour la province du Houet en simulant des rendements au niveau de la parcelle tant qu'en simulant des rendements régionaux directement.

Pour les simulations au niveau de la parcelle avec irrigation supplémentaire, l'approche multiplicative K_y est conseillée. En cas de stress hydrique élevé, on considère que l'approche minimale est mieux adaptée. Pour les simulations pluviales régionales dans la province du Houet, l'approche minimale est conseillée, aussi à cause du stress hydrique élevé.

11

Fiches d'aide à la planification des irrigations

Le but d'un calendrier d'irrigation est de déterminer la dose et la fréquence des irrigations dans le futur.

Un apport d'eau limité résulte en une réduction de la production tandis qu'un excès d'eau provoque une percolation profonde et le lessivage des éléments nutritifs. Afin d'obtenir une bonne efficacité de l'irrigation, il faut minimiser les pertes de percolations profondes.

Puisqu'on ne connaît pas le climat à l'avance, il vaut mieux prévoir des calendriers pour plusieurs cas ; les calendriers d'irrigation pour le maïs seront déterminés pour des conditions sèches, normales et humides.

Afin d'obtenir un calendrier pratique, on essaiera de respecter une dose fixe et un intervalle qui varie le moins possible le long du cycle végétatif.

D'abord on réalise le calendrier pour des conditions sèches ; c'est-à-dire on détermine une certaine dose et un intervalle tout le long du cycle végétatif. Ensuite, on applique ce calendrier pour des conditions normales et sèches. Éventuellement, on doit changer l'intervalle (la dose reste fixe).

Le logiciel calibré BUDGET a été utilisé pour l'établissement des schémas d'arrosage. La plupart des données nécessaires pour l'établissement des calendriers d'irrigation sont les mêmes que celles utilisées pour faire les simulations.

11.1 Données d'entrée

Les données de la station météorologique de l'INERA à Bama (Vallée du Kou) ont été collectées. L'évapotranspiration a été obtenue par la formule de FAO Penman-Monteith (Wellens, 2003). Une analyse de fréquence des précipitations a été exécutée à l'aide du logiciel RAINBOW (Raes et al., 1996) avec des probabilités de dépassement de 20, 50 et 80 % pour respectivement une décade humide, normale et sèche (Wellens et al., 2003).

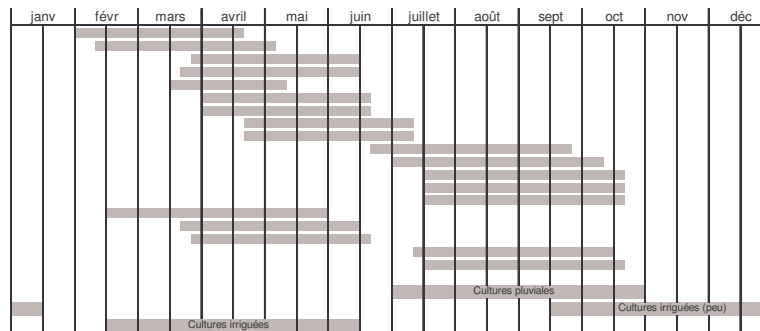
Un profil de sol lourd (Lixisols), représentatif pour la région a été sélectionné. Les caractéristiques du sol sont celles du Tableau 6.7 (§ 6.1.3).

Les détails du dossier de culture de maïs se trouvent dans les Tableaux 6.1, 6.2 & 6.3 (§ 6.1.3).

Les dates de semis ont été basées sur les dates appliquées sur les champs suivis. Ces dates tombent ensemble avec les périodes observées par le Chef de Zone la DRHARH-HB. II

partage l'année en trois périodes d'activités agricoles : une période pour les cultures irriguées, une pour les cultures pluviales et une dernière, peu pratiquée, de nouveau pour des cultures irriguées (Tableau 11.1).

Tableau 11.1 - Périodes d'activités agricoles



Des doses d'irrigations de 30 à 40 mm était le plus commun pendant les suivis. Ces doses ont alors été retenues pour l'élaboration des fiches d'aide.

11.2 Calendriers d'irrigations

Des calendriers d'irrigations ont été élaborés dans les Tableaux 11.2 & 11.3 pour des cultures irriguées et des cultures pluviales (irrigation de complément).

Tableau 11.2 - Calendriers d'irrigation pour des cultures irriguées pour deux différentes doses d'irrigation et trois conditions climatiques.

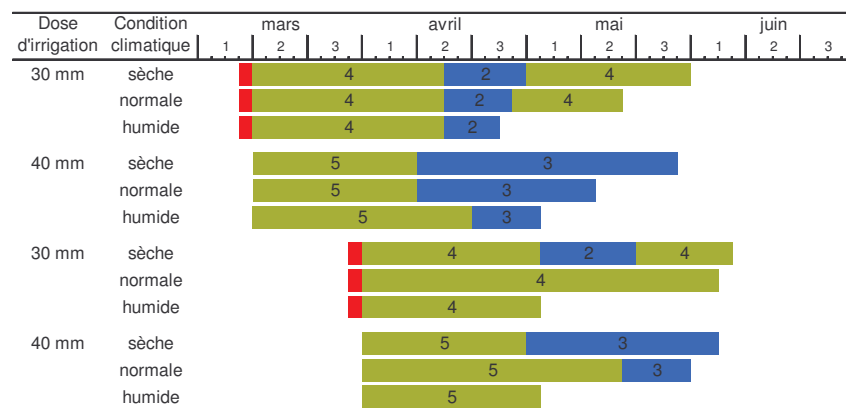
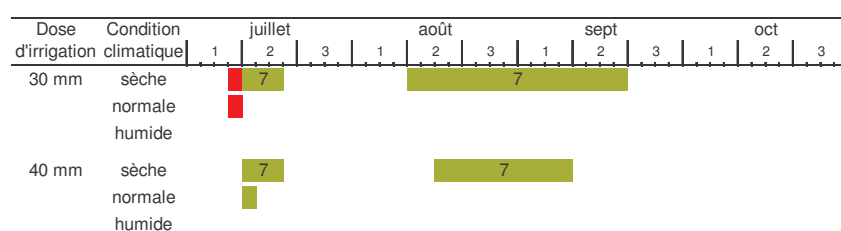


Tableau 11.3 - Calendriers d'irrigation pour des cultures pluviales (irrigation de complément) pour deux différentes doses d'irrigation et trois conditions climatiques.



Deux différentes doses d'irrigation ont été essayées, correspondant aux observations des champs suivis : 30 et 40 mm. Le trait rouge signifie qu'une irrigation avant la semence est souhaitable.

Dans le Tableau 11.2 on constate qu'un ensemencement un peu tardif est plus rentable. On économise sur les doses d'irrigation et aussi sur l'essence pour les motopompes. Bréhima (2004) avait déjà noté que les frais d'essence représentent la plus grande part des dépenses.

Le Tableau 11.3 montre que pour des années sèches l'irrigation de complément fait la différence entre une bonne et une mauvaise récolte.

11.3 Fiches d'aide à la planification des irrigations

La page suivante présente une proposition de fiche d'aide. Cette fiche a été faite pour le maïs de 105 jours (KPJ : Kambinoinsé Précoce Jaune), une des variétés la plus couramment cultivée dans la zone en saison sèche. Comme sol, un Lixisols a été choisi, aussi un des sols le plus présent dans le bassin du Kou. La dose d'irrigation a été fixée à 30 mm par irrigation. Etant donnée qu'une dose exprimée en mm est sans aucune signification pour les producteurs, il faut une autre solution. Une possibilité peut être un tableau de conversion pour les marques de motopompes utilisés dans la région, qui traduit les doses en mm en heures d'irrigation. Comme préalable, l'irrigant doit savoir à chaque instant combien de pluie est tombée dans sa région. Un rôle de prévention peut être réservé aux encadreurs du Ministère de l'Agriculture.

Méthodologie des calendriers :

- 1) Connaître la hauteur de précipitation tombée pendant la décade : eg. 20 mm ;
- 2) Reporter cette valeur de pluie sur l'histogramme contenu dans la fiche en fonction du mois et de la décade : eg. 8 mai, soit la première décade du mois de mai ;
- 3) Déterminer la condition climatique correspondante : un type de temps normal pour ce cas ;
- 4) Se placer sur le même jour dans le tableau du calendrier d'irrigation : fin de la première décade du mois de mai ;
- 5) Reporter une verticale jusqu'à la bande correspondant à la condition climatique déterminée : eg. normale ;
- 6) Lire le numéro affiché dans la bande : eg. 4, soit irriguer une dose de 30 mm tous les 4 jours. Si on vient d'irriguer avant-hier (le 6 mai), on peut irriguer de nouveau le 10 mai.

11.4 Conclusions

Les fiches d'aide à l'irrigation peuvent être une bonne manière d'augmenter les efficacités en irrigation. Seulement une bonne prévention à leur utilisation est indispensable au début. Cette fiche était aussi un exemple d'application pratique basée sur les recherches (validations,...) de BUDGET.

Fiche d'aide à l'irrigation

MAIS

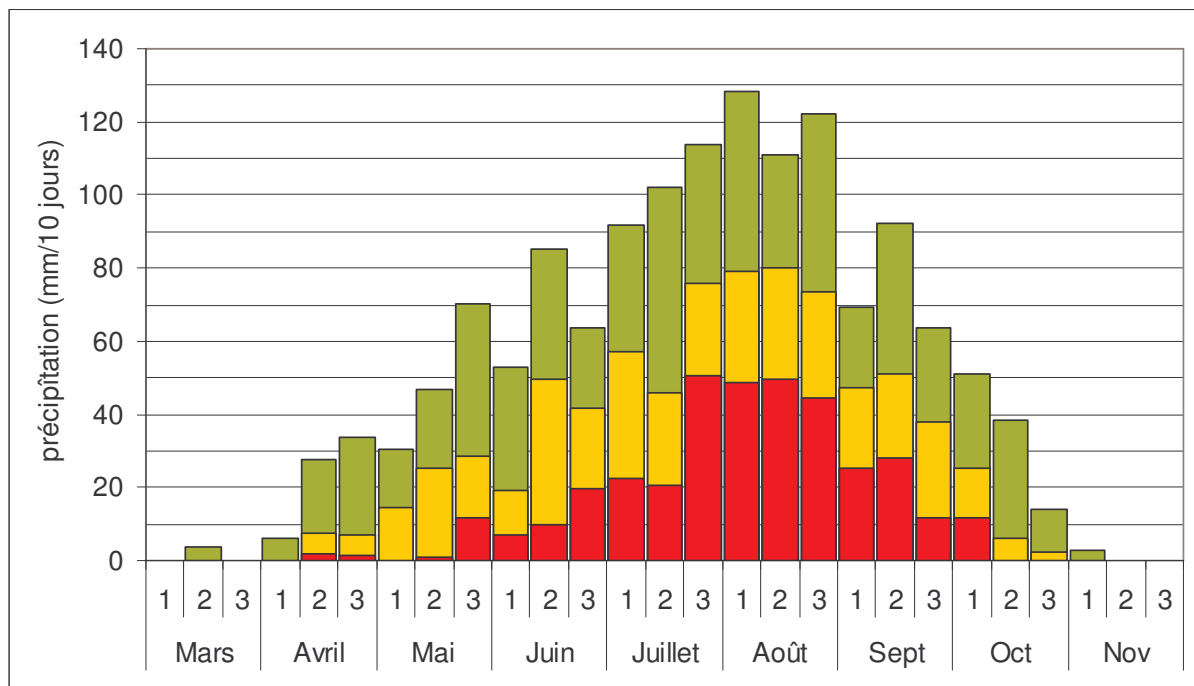
Argilo-Limoneux (Lixisols)

Dose d'irrigation : 30 mm

Calendriers d'irrigation en jours

Mois		mars			avril			mai			juin		
Décade (10 jours)		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Condition climatique	sèche	1	4			2		4					
	normale	1	4			2		4					
	humide	1	4			2							
Période de croissance		initiale			développement			mi saison			saison tardive		
Sensibilité à la sécheresse		moyen			peu sensible			très sensible			peu sensible		

Détermination du type de temps



Type de temps :



humide
normale
sèche

MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE L'HYDRAULIQUE
ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES

SECRETARIAT GENERAL

DIRECTION REGIONALE DE L'AGRICULTURE, DE
L'HYDRAULIQUE ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES
DES HAUTS-BASSINS

BOBO-DIOULASSO

BURKINA FASO



Renforcement de la capacité
de gestion des ressources en eau
dans l'agriculture moyennant
des outils de suivi-évaluation



- Cartographies & Etudes -

12

Etude morpho-pédologique

Afin d'avoir une remise en état de la carte de sols existants, les services de M. Barro S.E., chercheur à l'INERA et ancien de l'EIER et BUNASOLS, ont été consultés. Après plusieurs relances demandées par le projet, les objectifs de cette étude, la méthodologie de leur exécution et les résultats, rédigés et complétés par le projet, sont présentés ici.

Vu que cette étude a été faite en étroite collaboration avec BUNASOLS, la taxonomie selon la Commission Pédologique de Classification des Sols (CPCS) ne peut pas être claire pour tout le monde. Un essai de corrélation des taxonomies des sols CPCS – BRM (Base du Référentiel Mondial des ressources en sols, FAO) est présenté dans § 12.7 « Cartes & Tableaux ».

12.1 Objectifs

Il s'agit de rechercher et fournir des données appropriées sur les caractéristiques des sols en vue de les utiliser, de les mettre en relation avec d'autres données, pour planifier et gérer, de façon intégrée, le Bassin Versant du Kou.

Au titre des objectifs spécifiques, les études devront permettre de:

- connaître les principales caractéristiques et potentialités des unités morpho-pédologiques du Bassin versant;
- apprécier les états et risques de dégradation des ressources des sols

12.2 Méthodologie

12.2.1 Phase préparatoire

Elle a consisté à collecter et capitaliser, toutes les données disponibles du Bassin Versant sur la géologie, la topographie, les sols et leur occupation. L'intérêt a été porté sur :

- La carte topographique : IGN/IGB (1985) à l'échelle 1/200.000^e ;
- Les études de sols : ORSTOM (1958, 1969, 1976); GERSAR (1981);
- Et surtout les données d'études très récentes : BUNASOLS (2000).

12.2.2 Phase de terrain :

Plusieurs sorties de terrain ont été effectuées pour la recherche de données complémentaires dans les zones où cela s'est avéré nécessaire. Ce travail fait à l'aide des cartes IGN/IGB et BUNASOLS sus-citées, a été axé sur les réalités physiques actuelles du terrain, comparées avec les données antérieures en vue d'actualiser celles-ci et de les compléter par de nouvelles informations :

- Les informations sur l'environnement physique (substratum géologique, géomorphologie, relief / micro-topographie, végétation, etc.) ont été recueillies et confrontées avec celles des descriptions de sols.
- Les propriétés morphologiques (profondeur, texture, charge graveleuse, présence de nappe, drainage, structure, porosité, activité biologique, etc.) de quelques principaux types de sols.

12.2.3 Collecte et exploitation des données analytiques.

Pour ces données de sols, les principaux paramètres d'intérêt ont été les suivants :

- Paramètres physiques : granulométrie, porosité, indice d'instabilité structurale, vitesse d'infiltration, pF, RU, etc.
- Paramètres chimiques : matière organique, carbone et azote total, potassium disponible, phosphores total et assimilable, CEC, bases échangeables, pH_{eau} et pH_{KCl}, carbonates de calcium, Fer libre.
- Les effets de ces caractéristiques sur les propriétés physiques et le comportement hydrauliques des sols du Bassin Versant ont été appréciés.

12.2.4 Carte et documents élaborés.

La carte morpho-pédologique du Bassin Versant, ainsi élaborée, comporte les unités morpho-pédologiques identifiées avec les principales caractéristiques des sols de ces unités, leurs dénominations suivant la taxonomie de la Commission Pédologique de Classification des Sols (CPCS) et la Base du Référentiel Mondial des ressources en sols (BRM).

Un 'joint spatial' a été fait en SIG de la carte morpho-pédologique numérisée et les puits de profil numérisés de BURNASOLS (Carte 12.1).

Cette analyse a permis de vérifier quels types de sols sont les plus présents par unité morpho-pédologique pour l'ensemble de la carte (Tableau 12.2). Une même analyse a été faite individuellement pour chaque unité morpho-pédologique. Les caractéristiques des sols les plus présents dans une unité individuelle ont été accordées à cette unité. Pour des unités morpho-pédologique dans lesquelles il n'y a pas de puits de profils présent, les normes du Tableau 12.1 ont été prises.

L'ensemble des analyses a rendu la carte morpho-pédologique (Carte 12.2) plus spécifique et détaillée.

Le présent chapitre constitue la notice explicative de la carte.

12.3 Géologie et hydrographie

La rivière Kou est un affluent du fleuve Mouhoun dont le cours est marqué par les falaises des « grès à galets de quartz » (falaises de Banfora), situées au Sud du Bassin versant du Kou.

D'après la carte géologique à l'échelle 1/ 1.000.000^{ème} du Burkina Faso (Hottin et Ouedraogo, 1975) et Thiombiano (2003), ces falaises marquent le contact entre les formations sédimentaires et le vieux socle birrimien et antébirrimien constitué par des faciès granitoïdes à gneissiques. La zone représenterait la bordure Sud-est de l'immense géosynclinal de Taoudeni dont le remplissage a débuté, il y a environ 1300 MA. Les dépôts sédimentaires accumulés dans ce bassin seraient essentiellement d'âge précambrien et à dominance gréseuse avec des intercalations schisteuses mais quelques fois calcaire-dolomitique. Les faciès sont tabulaires avec un léger pendage vers le Nord-ouest.

Le Bassin versant du Kou est sur grès schisto-dolomitiques constitués de siltites et argilites carbonatées au Nord-ouest, zone du village de Souroukoudigua.

Sa plus grande partie est sur grès roses, possédant une meilleure résistance à l'érosion. Cette résistance se traduit de façon générale, par un relief resserré.

Dans les bas fonds et plaines, le substratum géologique est recouvert d'alluvions sédimentées par les cours d'eau.

12.4 Géomorphologie, sols, végétation

Du point de vue géomorphologie on peut retenir trois grands types d'unités : les **reliefs résiduels**, les **glacis actuels**, et les **ensembles fluvio-alluviaux**. Ces unités se distinguent par leurs formes, leurs régimes hydriques, sols, végétation et utilisations.

12.4.1 Reliefs résiduels

Les reliefs résiduels comprennent les buttes rocheuses, les buttes cuirassées et les plateaux cuirassés.

(a) – Les Buttes rocheuses

Dans le Bassin versant elles comprennent : les montagnes et collines rocheuses:

- Les montagnes ont des altitudes comprises entre 450 et 670 m (voir, par exemple, au Sud-ouest du village de Tien). Elles sont constituées surtout de grès roses, compacts, durs et homogènes, et sont généralement chapeautées par des reliques d'épaisses surfaces de cuirasse bauxitique mises en place avant le quaternaires, (éocène ou pliocène) ou au quaternaire.

Leurs versants sont de fortes pentes, (15 à 30%) non régulières ; cette irrégularité vient de la différence de résistance aux entailles du ravinement qu'entraînent les variabilités de structure et la lithologie des grès. Les replats et chicots rocheux sur les versants caractérisent les parties ou les strates sont les plus résistantes.

- Les collines sont formées par des grès affleurant ou sub-affleurant. Elles sont constituées de schistes dits de Toun : schistes verdâtres et violacés, alternés avec des grès fins micacés et d'assez nombreuses intrusions de dolérites qui s'altèrent en boules rencontrées dans les éboulis des escarpements. Elles ont généralement à leur sommet des plateaux cuirassés, en lanières. Ces plateaux sont soit des lambeaux du Haut-glacis cuirassé du pléistocène (400m d'altitude), soit de ceux du Moyens-glacis cuirassés du pléistocène plus récent (300 à 360 m d'altitude). Il ne reste plus que des dômes larges quand la cuirasse sommitale se démantèle.
- Sur toutes ces buttes rocheuses les **sols** sont superficiels ou hétérogènes généralement peu épais, ayant une **végétation** d'ensemble de forêt claire à dominance d'espèces telles que: *Anogeissus leiocarpus*, *Sterculia setigera*, *Isobertinia doka*, strate herbacée à *Andropogon gayanus*. Les sols à végétation chétive correspondent aux roches affleurantes ou sub-affleurantes.

(b) – Les buttes cuirassées

Ces buttes sont constituées soit du pléistocène ancien (400m d'altitude), soit du pléistocène plus récent (300 à 360m d'altitude). Elles correspondent au Haut glacis de la nomenclature de P. Michel. Elles sont représentées essentiellement par des buttes résiduelles ferrugineuses conglomératiques (matériaux grossiers réunis par un ciment siliceux), toujours bordées par un escarpement ou talus jonché de gravillons et blocs de cuirasse disloquée. Leur alignement est NNE.

Les versants sont rectilignes ; ils ont des pentes comprises entre 4 et 15%, une couche remaniée de matériau colluvial superficiel qui repose sur le grès, quelquefois sur ses altérites indurées (carapace) ou non (plinthite).

Les sols des buttes sont des sols superficiels sur cuirasse ; ceux des versants sont des sols d'apport colluvial sur matériau remanié, à altération de type ferrallitique antérieure au démantèlement et à la mise en place des colluvions.

La végétation est, dans l'ensemble, une savane arborée assez dense à espèces très variées : *Detarium microcarpum*, *Lanea acida*, *Pterocarpus erinaceus* etc., strate herbacée à *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum*. On y remarque cependant des zones peu denses correspondant aux cuirasses et carapaces affleurantes.

(c) – Les plateaux cuirassés

Les plateaux cuirassés arment les sommets d'interfluves. Ils sont d'altitude située entre 360 et 400m pour les plateaux des cuirasses du pléistocène ancien.

Les plus fréquents sont du pléistocène plus récent et correspondant au Moyen glacis de la nomenclature de P. Michel. Ils sont d'altitude située entre 260 à 360m, et suivis par un versant dénommé « glacis-versants carapacés » (GERSAR, 1981) : Le passage au système de glacis actuels se fait généralement par une rupture de pente; cela entraîne un décapage en nappe intense et une bande dégradée de 10 à 200 m de large qui caractérise souvent la base du « glacis-versant ».

Ce versant est le plus souvent rattaché au système des glacis et appelé glacis dénudé. Dans le cas du pléistocène ancien, il s'agit essentiellement de cuirasses ferrugineuses conglomératiques, toujours bordées par un escarpement ou talus jonché de gravillons et blocs de cuirasse disloquée (ex. plateau où se trouve le château d'eau de l'ONEA au Nord de Bobo-Dioulasso).

En ce qui concerne le pléistocène plus récent, il s'agit de cuirasses ferrugineuses pisolitiques, autochtones, induration en place de la plinthite. Assez souvent des morceaux de la cuirasse conglomératique sont enrobés dans cette induration.

Sur les **plateaux** les **sols** sont très superficiels, sur cuirasse, et ont des inclusions de placages de limon gris dans les parties plus ou moins confinées des plateaux, parsemées de termitières champignons. La **végétation** est peu abondante. Elle est composée d'espèces rencontrées sur les montagnes gréseuses, et donc non particulièrement spécifiques aux plateaux cuirassés, mais souvent chétives et formant surtout des bosquets qui colonisent les zones disloquées des cuirasses.

Sur les **versants** les **sols** sont des sols d'érosions sur carapace, peu profonds, gravillonnaires, à faciès souvent hydromorphe; la terre fine est constituée de limons sableux. La **végétation** est de type savane arborée ou arbustive, relativement dense dans les zones de raccordement avec les plateaux. Les principales espèces qui la composent sont : *Detarium microcarpum*, *Lannea acida*, *Bombax costatum*, *Butyrospermum parkii*, *Terminalia sp*, sous bois à *Gardenia sp*, *Ximenia americana*, *Vitex doniana*, *Combretum nigricans*, *Combretum glutinosum*, *Pterocarpus erinaceus*, couvert graminéen à d'Andropogon, g. Pennisetum p., et Cymbopogon.

12.4.2 Glacis actuels

Il correspond aux cuirasses ferrugineuses pisolitiques, autochtones, du pléistocène plus récent, et aux surfaces peu ou non cuirassées d'altitude faible et de pente inférieure ou égale à 2% dénommé aussi Bas-glacis (Michel,1956 ; GERSAR,1981).

Le Glacis actuel se caractérise par un haut de pente, une pente moyenne et un bas de pente qui le raccorde aux ensembles fluvio-alluviaux.

En glacis haut de pente et glacis pente moyenne les **sols** sont généralement des **sols** indurés peu ou moyennement profonds.

En glacis bas de pente, ce sont aussi des sols indurés mais profonds et/ ou des sols d'apports colluviaux ou colluvio-alluviaux ou des sols à argiles gonflantes (exemple zone de Souroukoudinga)

Sur sols bien drainés ou à drainage passable la **végétation** est de type cultures ou jachère sous parc à *Butyrospermum parkii*, *Acacia albida*, *Ceiba pentandra*, *Adansonia digitata*, *Ficus thonningii*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, sous bois à *Combretum sp.*, *Guiera senegalensis*, *Bauhinia r.*

La végétation des zones plus ou moins hydromorphes est de type savane arborée ou arbustive à *Butyrospermum parkii*, *Terminalia macroptera*, *Danellia oliveri*, *Bauhinia, rufescens*, *Combretum sp*, strate herbacée discontinue à *Andropogon* et *Hypparrhenia*.

Les sols à argiles gonflantes sont plutôt colonisés par des épineux (*Acacia seyal*, *Ziriphus mauritania*, *Balanites aegyptiaca*) et autres espèces à force de succion élevée qui révèlent un régime hydrique moins favorable aux autres plantes de la région

12.4.3 Ensembles fluvio-alluviaux.

Ils sont caractérisés par l'envoyage des lits majeurs par des sédiments alluviaux ou colluvions-alluviaux. Ces sédiments ont été redistribués et homogénéisés sous faible épaisseur d'eau, alimentée en grande partie par les débordements des cours et la remontée de la nappe phréatique dans certaines zones.

L'étendue (longitudinalement et transversalement) et la nature de ces matériaux sont fonction de la composition des sols amonts. Ce sont surtout des matériaux fins, limons argileux, argiles limoneuses ou argiles, qui dominent.

Les ensembles fluvio-alluviaux comportent les plaines, les lits majeurs et mineurs des cours d'eau, et les dépressions, cuvettes, et marécages qui jonchent la plaine.

Les plaines se situent au voisinage du Mouhoun (exemple de la zone de Diaradougou à Badala/Bama). Ce sont les parties inondables, quand elles ne sont pas aménagées en maîtrise totale de l'eau, à savane herbeuse à *Hyparrhenia rufa* et/ou à *Mitragyna inermis*.

Elles présentent une pente plate ou quasi-plate, et sont relativement étroites (200 à 1500 m).

Le matériau est à nette dominance argilo-limoneuse ou argileuse. **Les dépressions et cuvettes** se situent dans les plaines inondables. Elles ont des Sols engorgés dès fois semi-tourbeux à anmoor, une formation de Savane herbeuse à *Cyperus*, *Vetiveria*, *Hyparrhenia* avec, par endroits, des peuplements lâches de *Mitragyna inermis*. **Les marécages** sont les unités les plus basses des plaines inondables, caractérisés par la stagnation de l'eau en permanence : généralement, affleurement de la nappe phréatique.

Les **sols** des marécages sont essentiellement des sols engorgés tourbeux à gley, argileux à 15-20cm. Leur **végétation** est de type aquatique à *Nymphaea sp.*, *Echinochloa sp.*, *Cyperus*.

Les lits mineurs et majeurs des cours d'eau présentent une pente transversale plate, ou quasi-plate, une pente longitudinale de 1 à 3 %, rarement plus. Ils sont très étroits : 5 à 10m pour les marigots, 10 à 20 m pour les rivières. Le matériau est à nette dominance limons argiles sableuses ou argiles limoneuses.

12.5 Unités morpho-pédologiques et leurs caractéristiques

Rappelons que les unités morpho-pédologiques sont des unités de milieu qui ont pu être discernées sur le terrain en tant qu'entités bien distinctes, en raison de : leurs particularités des points de vue du modelé, types de matériau, régimes hydrologique et hydrique, pédogenèse, sols et végétation. Les parties de paysage qui ont une similitude du point de vue de ces caractéristiques appartiennent donc à la même unité morpho-pédologiques.

Comme indiqué ci-dessous et sur la carte morpho-pédologique du Bassin versant jointe au présent rapport, dix (10) principales unités ont été distinguées. En Annexes leurs principales caractéristiques, contraintes et aptitudes sont présentées.

En reliefs résiduels :

- **Unité 1a :** Modelé à buttes rocheuses;
- **Unité 1b:** Modelé à buttes cuirassées
- **Unité 1c :** Modelé à plateaux cuirassés

En Glacis actuels :

- **Unité 2a :** Système de Glacis haut de pente
- **Unité 2b :** Système de Glacis pente moyenne
- **Unité 2c :** Système de Glacis bas de pente
- **Unité 2d :** Système de Glacis dénudé

En ensembles fluvio-alluviaux :

- **Unité 3a :** Plaine alluviale
- **Unité 3b :** Dépressions, cuvettes et marécages
- **Unité 3c :** Lits mineurs et majeurs des cours d'eau

12.5.1 Reliefs résiduels

Unité 1a : Modelé à buttes rocheuses

(a) - Substratum géologique et modelé

L'unité 1a est sur grès compacts et/ou siliceux, ou sur schistes gréseux, verdâtres ou violacés (schistes de Toun).

Son modelé est formé par :

- des sommets d'altitude (montagnes de grès) allant de 450 à 650 m avec versants à forte pente (15 à 30%) qui se terminent aux piedmonts ; ces sommets sont surmontés de lambeaux reliques de surfaces cuirassées anté-quadernaires ou du Haut-glacis quadernaire ;
- des sommets d'interfluves situés à 400m (collines gréseuses avec lambeaux de haut-glacis cuirassé quadernaire) ou entre 300 et 360 m (collines coiffées par des plateaux en lanières du moyens- glacis). De larges dômes restent aux endroits où les cuirasses sommitales ont été démantelées. Les versants sont rectilignes et ont des pentes comprises entre 4 et 15% et se terminant aux pieds des collines.

(b) - Altération, matériaux, pédogenèse et sols.

L'**unité 1a** subit des phénomènes de désagrégation physiques et altération chimique qui ont pour résultantes les matériaux des versants et des piedmonts.

Sur les versants, à pentes fortes et irrégulières, deux types de matériaux sont associés :

- des replats et chicots rocheux correspondent aux strates les plus résistantes des grès,

- des dépôts peu épais, colluvions de pente, d'épaisseur et de proportions très variables suivant les roches et leur niveau d'altération : ils sont composés de blocs anguleux de grès fin, de plaquettes de grès schisteux, quelques fois de boules à dolorites, de blocs et gravillons ferrugineux issus de surfaces cuirassées des plateaux ou des reliques du Haut glaciais ou du Moyen glaciais, accrochées aux versants. Ces matériaux sont souvent dans une matrice sableuse fine de couleur rosâtre ;

Les piedmonts sont constitués de colluvions d'éléments très variables en taille et nature suivant leur origine lithologique. Les couches tendres sous ces colluvions sont constituées de matériaux en voie de transformation totale en sables plus ou moins limoneux, de couleur plutôt rougeâtre; elles ont des caractéristiques hydriques meilleurs à celles des colluvions de pentes.

La morpho-dynamique intense des reliefs rocheux contrarie la formation et l'évolution des sols. Il en résulte une mosaïque de lithosols, de sols peu évolués d'érosion régosoliques (PEER) et de sols peu évolués d'apport colluvial modaux (PEACM) peu profonds (20-40 cm). Les deux premiers types de sols sont superficiels (profondeur ≤ 20 cm). Il s'agit donc d'affleurements rocheux ou cuirassés, sans profondeur ou de sols rougeâtres sableux caillouteux superficiels ou peu profonds. Le troisième type est meilleur et l'abondance de la matière organique due à celle de la végétation ci-dessous décrite constitue un avantage pour ces sols.

Sur les collines, des lambeaux des reliques d'altération, sous forme de carapaces peu épaisses, existent dès fois et sont répartis, de façon très discontinue, laissant voir le substratum gréseux. Ces carapaces englobent souvent des grés ferruginisés.

(c) - Régimes hydrologique et hydrique.

L'une des caractéristiques des reliefs gréseux est l'inexistence de nappe phréatique d'altérites. Le ruissellement des eaux pluviales poursuit le façonnement progressif du modelé ; la forte érosion en nappe sur les pentes atteint souvent le stade du ravinement.

(d) - Végétation et utilisation des sols de l'unité 1a.

Dans l'ensemble, la végétation des montagnes est une forêt claire qui est caractérisée par les strates et espèces suivantes :

- strate arborée à *Isobertinia doka*, *Detarium microcarpum*, *Terminalia avicennioïdes*, *Burkea africana* ;
- Strate arbustive à *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Sterculia setigera* ;
- Strate herbacée discontinue à base d'*Andropogon gayanus*.

Cependant, l'examen plus détaillé montre que chaque composante de l'unité à une particularité du point de vue végétation :

- Les affleurements rocheux et surfaces cuirassées (plateaux, lambeaux accrochés aux versants) sont dénudés.
- Les colluvions de pente se caractérisent par une végétation assez chétive ;
- Les couches tendres des versants ou des piedmonts ont la forêt claire précédemment mentionnée.

Du point de vue utilisation, les montagnes sont peu prisées : elles ne sont pas utilisées par l'agriculture, et les pressions de pâturage et de coupe de bois y sont encore très faibles.

La végétation des collines est, en revanche, une savane arborée assez dense à strate arborée à *Detarium microcarpum*, *Lannea acida*, *Pterocarpus erinaceus*, *Terminalia avicennioides*, strate arbustive à *Combretum glutinosum*, *Vitex doniana*, *Ximenia americana*, *Burkea africana*, *Anogeissus leiocarpus*, et herbacée à *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum*, *Cymbopogon giganteus*.

Cependant dans les zones rabotées, où dominent les affleurements, les blocs anguleux déchaussés, les plaquettes gréso-schisteuses, la végétation est plutôt chétive.

Les collines sont également peu prisées : elles ne sont pas utilisées par l'agriculture, et les pressions de pâturage et de coupe de bois y sont aussi très faibles.

Le faible profondeur des sols, leur charge graveleuse importante, leur forte pente et l'érosion en ravines, constituent les principales contraintes qui ne permettent pas leur mise en valeur, par l'irrigation.

Unité 1b : Modelé à buttes cuirassées

(a) - Substratum géologique et modelé.

Les buttes cuirassées plus ou moins arrondies ou tabulaires de l'unité 1b sont sur grès et tous des reliques de surfaces anciennes de différentes périodes de pénélplanation : cuirasses anté quaternaires (jurassique, crétacé, et pliocène) et Haut-glacis du quaternaire (pléistocène).

(b) - Altération, matériaux, pédogenèse et sols.

Ces buttes cuirassées sont issues de l'induration de la carapace d'altération des grès, et reposent généralement sur cette carapace ou quelques fois directement sur la couverture d'altérites bauxitiques ou ferrugino-kaoliniques (plinithite).

En dehors des reliques cuirassées sommitales, des lambeaux d'altérites carapacées persistent sur les versants.

Comme résultat de morpho-dynamique lente de cette unité, les sols sont des lithosols sur cuirasse ou carapace affleurantes, ou des sols ferrugineux tropicaux lessivés superficiels, FLIS, (profondeur ≤ 10 cm) à inclusions de sols peu évolués d'érosion (PEEL) sur cuirasse sub-affleurante (placage de limon gris de 10 à 50 cm d'épaisseur sur la cuirasse issue du démantèlement physico-chimique superficiel de celle-ci). Il s'agit donc de sols avec peu ou sans profondeur.

(c) - Régimes hydrologique et hydrique.

Les phénomènes de dégradation physique des cuirasses entraînent des fractures dont le réseau est parfois polygonal ou alors orienté sur certaines failles ou diaclases ayant rejoué dans le substratum gréseux.

Ces fractures servent de zones d'infiltration des eaux pluviales. Cela contribue à la recharge de la nappe phréatique logée dans l'épais manteau d'altérites kaoliniques situé sous la cuirasse et couvrant presque partout le substratum gréseux.

D'après GERSAR (1981) « La circulation des eaux de percolation sous les cuirasses peut y provoquer des affaiblissements favorisant leur dislocation et la formation de petites cuvettes inondables en hivernage; celles-là sont très nombreuses sur certains lambeaux cuirassés».

(d) - Végétation et utilisation des sols.

La composition floristique des strates hautes de la végétation n'est pas particulièrement spécifique à l'unité 1b ; mais les espèces ont une taille généralement inférieure à la normale et surtout leur répartition est très particulière : les arbres et arbustes sont groupés en bosquets colonisant les fractures des dalles où les zones présentant une moindre induration permettent aux racines de pénétrer et d'exploiter la plinthisite plus meuble. Les espèces les plus rencontrées sont : *Detarium microcarpum*, *Lanea acida*, *Pterocarpus erinaceus*, *Combretum glutinosum*, *Burkia africana*, *vitex doniana*, *Ximenia americana*, *Bombax costatum*

Entre les bosquets, se sont des étendues de cuirasses affleurantes sans herbes ou des plages herbeuses à *Loudetia togoensis*. Les placages de limon gris hydromorphe sont généralement occupés par une savane herbeuse à *Hyparrhenia*. Les petites cuvettes inondées en hivernage sont colonisées par des *Cyperus*. En périphérique et au sein des bosquets d'arbres on trouve surtout *Andropogon gayanus* et *Andropogon spp.*

Lorsque les buttes ou plateaux cuirassés sommitaux sont limités par des talus à éboulis, ceux-ci recoupent les altérites rouges et meubles, sous-jacentes. Ces altérites ont un régime hydrique plus favorable : résurgence d'une partie des eaux infiltrées dans les fissures du bowal; les talus sont alors occupés par un liseré de végétation dense à grands arbres, en particulier : *Azalia africana*, *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, *Pterocarpus rinaceus*, *Isobertinia doka*.

L'unité 1b ne présente aucun intérêt agronomique. Elle sert quelques fois au pâturage et à l'approvisionnement en bois de chauffe qui y sont toute fois très faibles.

Unité 1c: Modelé à plateaux cuirassés du Moyen glaci

(a) - Substratum géologique et modelé

L'unité 1c, constituée du Moyen-glaci (d'âge pléistocène, mais postérieur au Haut-glaci) a pour substratum géologique les grès et schistes de Toun ou les grès schisto-dolomitiques; elle est située entre 260 et 360 m d'altitude. Le Moyen-glaci est très morcelé orienté NNE-SSW et se présente sous forme de plateaux échancrés et sinueux.

Ces plateaux cuirassés sont quelquefois bordés par un talus franc à éboulis, mais la plupart du temps celui-ci n'existe plus. On passe, en aval, à leurs versants (2 à 5% de pente) qui sont des carapaces sur plinthisite.

(b) - Altération, matériaux, pédogenèse et sols

Le Moyen-glaci est issu essentiellement de l'induration en place de la plinthisite, provoquée par le rabattement de la nappe phréatique consécutive à l'entaille du modelé. Son induration a

été variable suivant les endroits. Le cuirassement (10 à 150 cm d'épaisseur) est généralement, moins rigide que sur les surfaces plus anciennes.

Le Moyen-glacis repose souvent sur la carapace ou même sur l'altérites meuble à structure alvéolaire.

« La partie supérieure de la cuirasse (10 à 50 cm) est finement pisolithique. Les pisolithes semblent se former en place au sommet de la plinthite au fur et à mesure de son induration ; cela n'exclut pas un léger remaniement sur de courtes distances ; suivi d'une re-cimentation », GERSAR (1981).

Les sols sont des lithosols sur cuirasse ou carapace affleurantes ou des sols ferrugineux superficiels (profondeur \leq 10 cm)

(c) - Régimes hydrologique et hydrique.

Sous l'horizon pisolithique, la cuirasse présente un aspect alvéolaire à orientation sub-horizontale ; les **alvéoles et canalicules** montrent souvent des enduits ferrugineux bruns et lisses, indiquant qu'il s'agit probablement **d'anciens conduits d'eau**.

En surface, le Moyen-glacis montre dès fois de grandes plages de dalles directement affleurantes ou alors des placages gravillonnaires ou limoneux, "limon gris", peu épais. Cette couche de démantèlement, engorgée et "lavée" en saison des pluies, provient de la libération, dans les zones démantelées, de particules fines, suivie de leur épandage par le ruissellement en nappe. Certains plateaux cuirassés sont parsemés de cuvettes de 10 à 200 m de large, inondées en hivernage.

(d) - Végétation et utilisation des sols.

La composition floristique des strates hautes de la végétation, la taille et la répartition très particulière des espèces mentionnées pour l'unité 1b est valable ici. La densité plus ou moins grande des bosquets d'arbres et la hauteur de ceux-ci traduisent la variabilité de l'induration suivant les endroits.

L'unité 1c présente très peu d'intérêt agronomique. Elle sert au pâturage et à l'approvisionnement en bois de chauffage qui y sont cependant faibles.

12.5.2 Système de glacis actuel

Caractéristiques communes aux unités du système.

(a) - Substratum géologique et modelé.

Ces unités reposent sur grès et schistes de Toun, ou sur grès schisto-dolomitiques. Elles forment les parties basses des interfluves, frangeant les ensembles fluvio-alluviaux. Leurs pentes sont faibles, 1 à 2%, et orientées vers le réseau hydrographique : elles se trouvent dans le prolongement aval des versants du Moyen glacis.

Le modelé est très régulier, généralement à profil concave, typique de glacis, remontant légèrement vers l'amont en se raccordant avec les versants suscités.

(b) - Altération et matériaux.

D'après différents auteurs, (P. Michel, 1958 ; R. Boulet, 1960; GERSAR, 1981), la mise en place du Glacis actuel ou Bas-glacis, est postérieure à celle du Moyen-glacis. Elle a comporté les principaux processus, plus ou moins, simultanés suivants :

- Démantèlement régressif du Moyen-glacis ;
- Carapacement ou cuirassement des altérites des plateaux résiduels de celui-ci, consécutif au rabattement de la nappe phréatique, déclenché par l'érosion périphérique ;
- Décapage de la couverture pédologique meuble superficielle du Moyen-glacis, située au-dessus des altérites indurées (ancienne zone hydromorphe) ;
- Façonnement des "glacis-versants" par troncature du manteau d'altérites kaoliniques en cours de carapacement ;
- Formation du Bas-glacis (d'épandage) correspondant au nouveau niveau de base, Glacis actuel.

Généralement, le matériau superficiel du Bas-glacis, est issu du démantèlement et du transport vers l'aval des altérites situées sous le Moyen-glacis, ou du grès lui-même, lorsque la dénivellation entre les deux paliers est assez importante.

Il en résulte une couche colluviale dont l'épaisseur augmente dans le sens de la pente (50cm à plusieurs mètres); cette couche repose, en biseau, sur la plinthite, sur grès. La plinthite est généralement meuble, non indurées car elle est régulièrement imbibée par la nappe phréatique. Le matériau allochtone, d'épandage, est aussi soumis à la fluctuation de la nappe phréatique. Il a, de ce fait, un faciès argilo-limoneux tacheté qui fait qu'il est difficile de le distinguer de la plinthite. Cela est d'autant plus difficile que le matériau allochtone ne possède pratiquement pas d'éléments grossiers.

L'absence, ou la très faible teneur en gravillons et le manque total de blocs de cuirasse dans le matériau du Glacis actuel, a amené à conclure que lors de sa mise en place à partir du démantèlement du Moyen-glacis, ce dernier n'était pas encore cuirassé. « L'induration se produisait simultanément en amont, dans les altérites non encore décapées, au fur et à mesure de l'entaille régressive et de la baisse du niveau phréatique », GERSAR (1981).

La morphogenèse s'est trouvée bloquée lorsque l'armature des altérites par l'induration a été suffisante. La séquence courante : Bas-glacis, « glacis versant cuirassé » Moyen-glacis, correspond à un état d'équilibre entre l'agressivité érosive et la résistance du substratum au décapage. En revanche, dans le cas des Bas-glacis formés directement en contrebas des grès (désagrégation granulaire), l'érosion régressive, non bloquée par cuirassement, a été plus rapide et plus énergétique que dans celui des altérites en cours de carapacement. C'est pourquoi, le Bas-glacis a fait reculer plus facilement le Haut-glacis en formant généralement un talus net avec ses buttes résiduelles.

L'altération sous le Haut-glacis aurait été moins profonde que sous le Moyen-glacis : son démantèlement régressif a atteint le grès. Cette érosion, non bloquée par cuirassement peut donc se poursuivre encore actuellement ; il se forme alors des épandages riches en sables fins et limons rougeâtres en périphérie des buttes du Haut-glacis ou en contrebas des versant gréseux. Ces glacis colluviaux sont en continuité amont avec le Bas-glacis proprement dit,

qui lui n'est plus alimenté par de nouveau épandages ; il est plus argileux et hydromorphe et le siège d'une nappe phréatique.

(c)- Régimes hydrologique et hydrique, pédogenèse et sols.

Le matériel colluvial et la plinthite qui lui sert généralement de substratum sont le siège des fluctuations cycliques saisonnières d'une nappe perchée ou profonde. Selon la hauteur de la montée de celle-ci et la durée d'engorgement, la pédogenèse et la nature du sol ont paru différentes. Ainsi, d'après les conditions de drainage et la morphologie des sols, fonctions de la position topographique et du type de matériau colluvial, 4 unités du système ont été distinguées :

- Le glacis haut de pente bien drainée à « sols rouges »: unité 2a;
- Le glacis pente moyenne à drainage médiocre, à « sols beiges » : unité 2b;
- Le glacis bas de pente souvent hydromorphe, à « sols gris » ou « vertique »: unité 2c ;
- Le glacis dénudé: unité 2d.

Il apparaît notamment les éléments suivants :

Unité 2a : Système de Glacis haut de pente

Elle occupe la partie amont du système, a une pente sensible (1 à 2%), des sols rougeâtres sablo-limoneux en surface et limono-sableux puis argilo-sableux après. Ce sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (FLIMP) ou profonds (FLIP) Ils sont épais mais massifs et de faible fertilité chimique, à risque de dégradation élevée, et ont des contraintes de topographie.

Ils sont aptes aux cultures pluviales et irriguées.

Unité 2b : Système de Glacis pente moyenne

De drainage médiocre, cette unité est la plus répandue du système; elle est soumise à la fluctuation d'une nappe qui peut atteindre 60/80cm de la surface du sol. Elle est objet d'un lessivage et d'une hydromorphie ; les sols sont épais, massifs en horizons supérieurs de structure polyédrique angulaire après ; ils sont de faible fertilité chimique bien que leur complexe argilo-humique soit riche en bases. La RU est moyenne. Ce sont des sols aptes aux cultures pluviales et irriguées.

Le mil et le coton peuvent avoir des problèmes de rendements avec l'hydromorphie des sols. Il faut veiller au drainage de ces sols

Unité 2c : Système de Glacis bas de pente

Elle est en bordure de la plaine et est souvent hydromorphe, et se reconnaît sur le terrain par la présence de bosquets arborés centraux.

On a une mosaïque de sols : sols beiges, sols gris, sols plus ou moins vertiques.

En bordure immédiate de la plaine les sols sont totalement engorgés, hydromorphes, blanchis (sols beiges), de faible fertilité chimique : la CEC est faible à moyenne, le phosphore assimilable faible, la RU moyenne à bonne

Il y a, par endroits, de longue durée d'engorgement ; les sols y sont gris-foncé (10YR 3/1) en surface, brun-jaunâtre (2,5 Y 6/6) en profondeur où la texture est argileuse (40-50% d'argiles, 30% de limon), la structure prismatique et polyédrique grossière. Ils sont légèrement craquelés en surface avec des micro-effondrements de 10 à 20cm de profondeur. Le matériau est issu du démantèlement, sur place, du versant du glacis situé sur substratum schisto-dolomitiques (exemple du glacis bas de pente à Bana).

L'hydromorphie est liée à l'absorption d'eau par les argiles montmorillonitiques créant un milieu asphyxiant, totalement fermé entraînant le ruissellement et l'érosion.

Les sols sont riches en MO (3 à 6%) ; le C/N est bas (7) indiquant une forte minéralisation, le pH est neutre à légèrement basique (7,2 à 8); la CEC est élevée 25 à 37 mé/100g ; il y a plus de 20% de Ca⁺ les Pt et P.ass sont faibles.

Les sols vertiques ont une fertilité chimique moyenne ; mais leur travail est difficile; ils sont asphyxiants, et ont une RU faible à moyen.

Ils sont plutôt aptes aux cultures irriguées en maîtrise totale de l'eau. En cultures pluviales on passe très vite aux extrêmes: asphyxie ou sécheresse.

Unité 2d : Système de Glacis dénudé

L'unité 2d englobe tous les versants d'interfluve de pentes de 2 à 5%. Le raccordement des versants avec les unités, qui sont en amont, se fait par un petit talus-versant plus ou moins net marqué par une légère augmentation de la pente; ce petit talus est remplacé par une large convexité sommitale quand la cuirasse est démantelée.

Ses versants sont issus de l'induration, en place, de la plinthite, provoquée par le rabattement de la nappe phréatique, consécutive à l'entaille du model. Ils ont été façonnés dans cet épais manteau d'altérites kaoliniques meuble à structure alvéolaire dont l'épaisseur au-dessus du grès sain peut dépasser 10m. Le versant est donc une relique du moyen-glacis. La carapace s'y trouve à faible profondeur.

Il y a apparition d'une sorte de chanfrein entraînant une rupture de pente qui provoque l'érosion et le décapage du sol.

Dans le bassin versant le Moyen-glacis ne domine pas directement le glacis actuel par un talus net : L'érosion régressive a été gênée par le carapacement simultané des altérites en même temps que leur troncature; il s'est alors formé les longs versants de raccordement avec fréquemment des replats intermédiaires franchement cuirassés.

Les actions mécaniques et chimiques des arbres (sécrétions acides à action réductrice sur le fer) font subir à l'altérite carapacée une désagrégation en gravillons ferrugineux et particules fines limons argiles sableuses. La morpho-dynamique des eaux de ruissellement redistribue

ces éléments en surface qui forment une pellicule de 10 à 50cm, de matériau gravillonnaires à ciment fin (croûte Gravillonnaires ou G).

Une bande dégradée de 10 à 200 m de large, due à un décapage en nappe intense, caractérise souvent la base du versant dénudé. En revanche, le passage au glacis actuel se fait généralement par diminution progressive de la pente.

Sur le matériau gravillonnaire à ciment fin suscité, le régime des eaux de surface est défavorable : l'infiltration des eaux de pluies est ralentie ; en hivernage, la partie meuble supérieure s'engorge, l'hydromorphie est plus ou moins accusée suivant les possibilités d'écoulement superficiel ou hypodermique. Lorsque la pente est très faible (replats), il y a stagnation de longue durée entraînant un régime de pseudogley, par nappe perchée. Au contraire le ruissellement hypodermique provoque un lavage latéral et un blanchiment de la matrice de limons argiles sableux. Lorsque la capacité d'absorption du sol est dépassée, il se produit un important ruissellement net à la base des versants où s'observent fréquemment de larges franges dégradées à carapace parfois dénudée.

La formation végétale est, dans l'ensemble, une savane arborée ou arbustive, plus ou moins dense ayant comme espèces :

- En strate arborée : *Detarium microcarpum*, *Lannea acida*, *Terminalia sp*
 - o *Bombax costatum*, *Butyrospermum parkii*;
 - o *Ximenia americana*, *Vitex doniana*,
- En strate arbustive : *Combretum nigricans*, *Combretum glutinosum*, *Hymenocardia sp.*, *Gardenia sp*, *Pterocarpus erinaceus*;
- En couvert graminéen : *Andropogon spp.*, *Pennisetum p.* et *Cymbopogon* qui subissent malheureusement les feux de brousse chaque année.

La couche de terre fine en surface constitue un support acceptable pour l'enracinement des cultures peu exigeantes. La carapace sous-jacente est en revanche un obstacle important à la pénétration des petites racines. L'unité 2d est donc généralement peu cultivée ; la préférence est donnée aux sols profonds, meubles, non gravillonnaires, du glacis actuel. Le problème de terres amène les migrants à déboiser et cultiver en partie ces sols.

La capacité de rétention en eau des sols est faible compte tenu de leur épaisseur utile réduite et de leur charge graveleuse importante. Le volant hydrique est faible, il y a des risques fréquents de sécheresse. Les sols ont du reste une très faible réserve minérale et un complexe absorbant pauvre valorisant mal les fertilisants.

C'est donc une unité de qualité très médiocre, surtout pour les cultures irriguées, à cause de ces contraintes édaphiques et des limitations topographiques.

12.5.3 Ensembles fluvio-alluviaux

Unité 3a : Plaine alluviale

(a) - Substratum géologique et modelé

L'unité 3a est sur substratum géologique constitué de grès de Toun ou de grès schisto-dolomitiques. La topographie est quasi plate ou plate.

(b) - Altération, matériau, pédogenèse et sols

Cette unité est formée à partir des alluvions et/ou des colluvions alluviaux à granulométrie homogène argiles limoneuses. Elle a une association de sols hydromorphes minéraux à pseudogley d'ensemble (HPGE) et de sols peu évolués d'apport hydromorphes (PEAH), voire, par endroit, de sols bruns eutrophes hydromorphes vertiques (BEHV) de texture argiles limoneuses ou argileuse (exemple du bas-fond de Bana au passage de l'axe routier Bobo-Banzon); les sols BEHV sont généralement bien structurés, à éléments polyédriques sub-angulaires en surface, angulaires puis prismatiques en horizons moyens et profonds.

(c) - Régime hydrologique et hydrique.

Une inondation annuelle de l'ordre de 3 mois (de août à octobre) caractérise cette unité. Elle est due:

- soit, à la présence d'une lame d'eau de moins de 1 mètre d'épaisseur, due essentiellement à la remontée de la nappe phréatique à forte fluctuation;
- soit, au débordement du Kou, renforcé par les eaux de drainage des périmètres irrigués.

(d) - Végétation et utilisation des sols

La formation végétale est une savane herbeuse à *Hyparrhenia rufa*.

Il y a une submersion peu épaisse pendant 3 mois durant lesquels les sols drainent difficilement à cause de la nappe phréatique affleurante. A cette période seule la riziculture de décrue est possible. En revanche les sols drainent bien en saison sèche et l'unité est apte à toutes cultures irriguées de cette saison ou en conditions de maîtrise totale de l'eau.

Unité 3b : Dépressions, cuvettes et marécages

(a) - Substratum géologique et modelé.

L'unité 3c se trouve sur grès ou sur grès schisto-dolomitiques. Elles occupent les parties basses de la plaine, à accumulation d'eau préférentielle.

(b) - Altération, matériau, pédogenèse et sols.

Elle a le même matériau que l'unité précédente : des alluvions et/ou des colluvions alluvions à granulométrie homogène argiles limoneuses.

Les différences sont nettes en ce qui concerne les sols : Les dépressions et cuvettes ont des Sols hydromorphes semi-tourbeux à anmoor de 7 à 15 cm d'épaisseur, reposant sur

pseudogley argileux limoneux, associés à des sols bruns eutrophes hydromorphes vertiques. En revanche les sols de marécages sont essentiellement des sols hydromorphes tourbeux à gley argileux à 15-20cm..

(c) -.Régime hydrologique et hydrique.

Du point de vue régime hydrologique et hydrique les trois unités diffèrent encore plus nettement :

- Les dépressions sont caractérisées par une inondation annuelle de l'ordre de 3 à 6 mois, alimentée par les crues et la remontée de la nappe phréatique à forte fluctuation.
- les cuvettes ont une inondation annuelle, de 6 à 9 mois, alimentée par les débordements du fleuve Mouhuon ou du Kou et la remontée de la nappe phréatique.
- Les marécages ont une stagnation de l'eau en permanence : affleurement de la nappe phréatique.

(d) -.Végétation et utilisation des sols.

Là aussi, la différence est très nette:

- Les dépressions ont une formation de Savane herbeuse à *Cyperus*, *Vetiveria*, *Hyparrhenia* avec, par endroits, des peuplements lâches de *Mitragyna inermis*. Elle est prisee par le pâturage de saison sèche et localement emblavée avec des cultures de contre-saison.
- Les cuvettes présentent une végétation semi-aquatique à *Cyperus*, *Oryza*, *Echinochloa*, *Vetiveria*, *Paspalum* et à *Mimosa pigra* autour des mares. Elle est aussi prisee par le pâturage de saison sèche ;
- Les marécages une végétation aquatique à *Nymphaea sp.*, *Echinochloa sp.* *Cyperus*.

Pendant leur submersion les dépressions sont difficiles à drainer et ne peuvent être emblavées qu'avec du riz flottant comme cela se fait traditionnellement dans certains cas. Il y a aussi des possibilités de riziculture de décrue ou autres cultures à cycle court.

Les cuvettes peuvent être irriguées en saison sèche. En revanche les marécages, non drainables, ne sont utilisables que pour l'abreuvement des animaux en contre saison.

Unité 3c : Lits mineurs et majeurs des cours d'eau

(a) - Substratum géologique et modelé

Les lits mineurs et majeurs des cours d'eau sont sur grès ou sur grès schisto-dolomitiques. Ils présentent une pente transversale faible 0,5% , une pente longitudinale de 1 à 3 %, rarement plus ; ils sont très étroits : 5 à 10m pour les marigots, 10 à 20 m pour les rivières.

(b) - Altération, matériau, pédogenèse et sols.

En lit majeur le matériau est à nette dominance limons argiles sableuses ou argiles limoneuses et donne des sols PEAH et/ou des sols HPGE. En lits mineurs, il est constitué de sables, fins, ou grossiers, fonction de la compétence de l'écoulement de l'eau; ce qui correspond à des sols minéraux bruts sur sables colluvions alluviaux ou alluviaux

(c) - Régime hydrologique et hydrique.

Les lits mineurs du Kou et de quelques marigots affluents sont sous l'eau durant 2 à 3 mois, août-octobre, pendant l'hivernage. Dans beaucoup de cas les marigots n'ont d'eau que quelques heures après les averses.

(d) – Végétation et utilisation des sols.

Les lits mineurs et majeurs des cours d'eau sont bordés de *Mitrgyna inermis* dans les zones hydromorphes et *Terminalia macroptera*, *Danellia oliveri*, dans les autres parties.

Les lits majeurs sont utilisés pour le maraîchage de saison sèche quand il y a de l'eau non loin. Les lits majeurs, même secs ne sont utilisables que pour l'approvisionnement en sable et graviers pour les constructions.

12.6 Etats et risques de dégradation des ressources en sols

Les caractéristiques suivantes sont examinées pour l'évaluation des états et risques de dégradation des sols : couleur grise en surface, texture, structure, indice de drainage, coefficient de perméabilité (Caractéristiques physiques) ;

(a) La profondeur du sol

La profondeur ne constitue pas une contrainte dans le cas de bon nombre de sols du Bassin versant de la Vallée du Kou (BVK).

Elle ne l'est que dans le cas :

- Des lithosols (cuirasses et roches affleurantes) en inclusions dans certaines unités morphologiques des reliefs résiduels où la cuirasse affleurant ou la roche constitue un impluvium donc les eaux entraînent l'érosion en nappe et en ravines des sols avals.
- Des sols FLIPP et FLIMP où le lessivage latéral emporte les argiles et nutriments des horizons supérieurs du sol.
- Et de certains sols HPGE en cultures céréalière pluviales. Dans ces conditions il y a le risque de dégradation du sol plus élevé dû à l'engorgement du sol, principale cause des états et risques de dégradation des sols et dont les corollaires sont:
 - L'acidification du sols ;
 - La mauvaise minéralisation de la matière (m. o.) ;
 - Activité insuffisant ou nulle ;
 - Le compactage des sols et le manque d'eau pour les plantes.

(b) La couleur du sol

En général elle renseigne sur la teneur en matière (m.o.).

Les sols sombres sont généralement des sols riches en matière organiques, les sols clairs en sont pauvres.

A l'exception des sols HPGE, FLIP, et FLTC, les sols du BVK sont de couleur plutôt claire et donc pauvres en matière organique. Les faibles taux de matière organique donnés par les

résultats analytiques (voir annexes) confirment cela. L'utilisation intensive des sols cultivables sans restitution organique fait que la plus part de ces sols ont des états et risques de dégradation élevés.

(c) La texture

La discontinuité de la texture dans le profil de sol (contraste de texture entre l'horizon supérieur et les horizons moyens et profonds) constitue une contrainte pour l'enracinement des plantes et la pénétration de l'eau en profondeur.

Elle est due au phénomène de lessivage dans les sols FLIP et FLTC notamment. Ce phénomène provoque, pour ces sols un état et risque de dégradation élevé. Rappelons que les textures SL sont plus défavorables à l'agrégation des sols.

En présence de matières organiques suffisantes les textures argileuses sont en principe favorables aux bonnes conditions physiques et chimiques des sols. Les textures LAS et L n'excédant pas 30-35 % de Limon ont une texture parfaitement équilibrée propice à ces conditions. Les limons fins, très fin et certaines LA offrent souvent une texture très défavorable à la formation d'agrégats du sol.

La texture est donc d'un intérêt évident pour l'évaluation des états et risques de dégradation des sols.

(d) La structure

La plupart des sols ont une structure massive ou dans le meilleur des cas faiblement développé polyédrique sub-angulaire à éléments grossiers dominant ; ces caractéristiques dues entre autre au faible taux de matière organique expliquent les états et risques de dégradation structurale élevés au niveau de beaucoup de sols du BVK, les sols ferrugineux notamment.

L'état dégradé de la structure entraîne entre, autres, le sol défavorable :

- Aux abondances, répartitions et état sanitaire des racines ;
- Au développement d'une bonne porosité du sol en général ;
- Aux bonnes conditions d'échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère en particulier et entraîne l'asphyxie des racines.
- A l'obtention de bonnes conditions physiques pour assurer l'alimentation des plantes.

12.7 Cartes & Tableaux

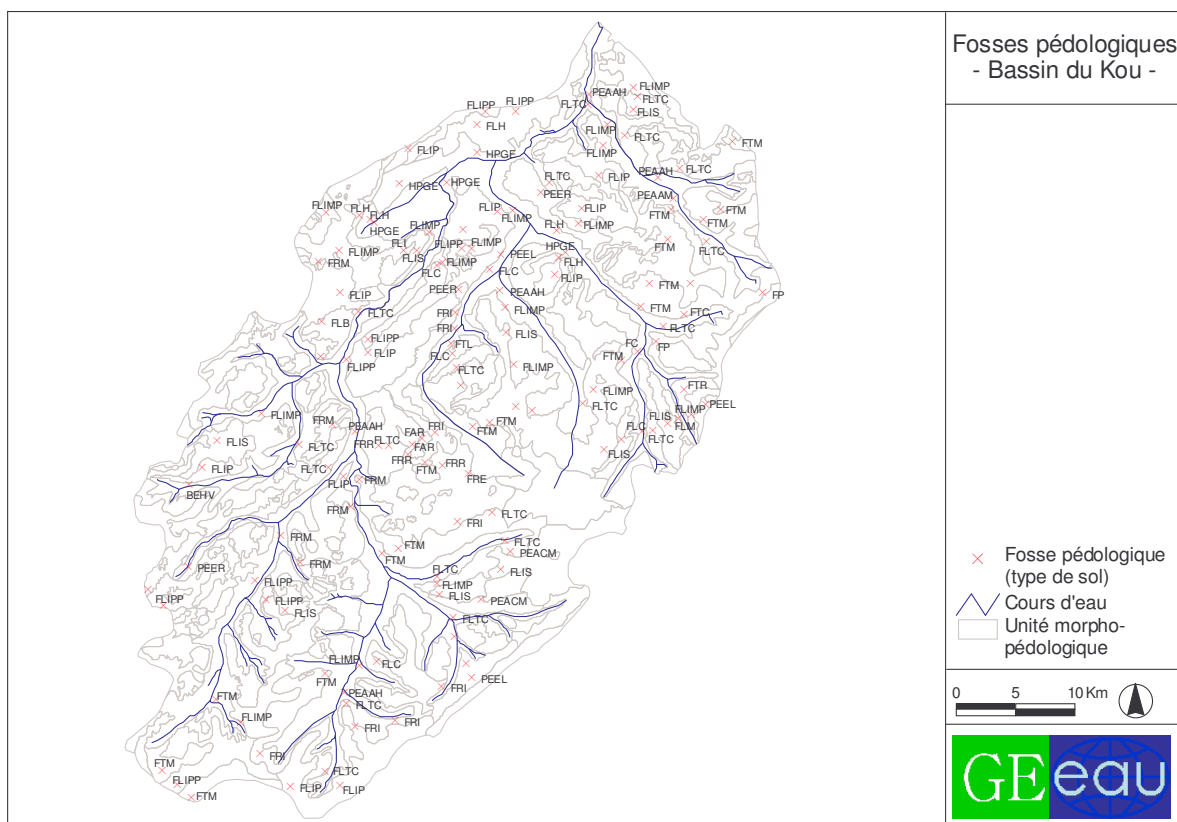
Le Tableau 12.1 présente un essai de corrélation des taxonomies des sols BRM/CPCS. Le Tableau 12.2 présente les résultats analytiques de tous les sols présents dans le bassin du Kou. Ci-dessous les abréviations du système CPCS :

FLC	sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions
FLIMP	sol ferrugineux tropical lessivé induré moyennement profond
FLIP	sol ferrugineux tropical lessivé induré profond
FLIPP	sol ferrugineux tropical lessivé induré peu profond
FLIS	sol ferrugineux tropical lessivé induré superficiel
FLM	sol ferrugineux tropical lessivé modal
FLTC	sol ferrugineux tropical lessivé à tâches et concrétions
FRI	sol ferrallitique faiblement désaturé remanié induré
FTM	sol ferrallitique faiblement désaturé en (B) typique modal
FTH	sol ferrallitique typique hydromorphe
FRM	sol ferrallitique faiblement désaturé remanié modal
HPGS/HPGE	sol hydromorphe peu humifière à pseudogley de surface
LITH	sols minéraux bruts d'érosion
PEAAH	sol peu évolué d'apport fluvial hydromorphe
PEEL	sol peu évolué d'érosion lithique

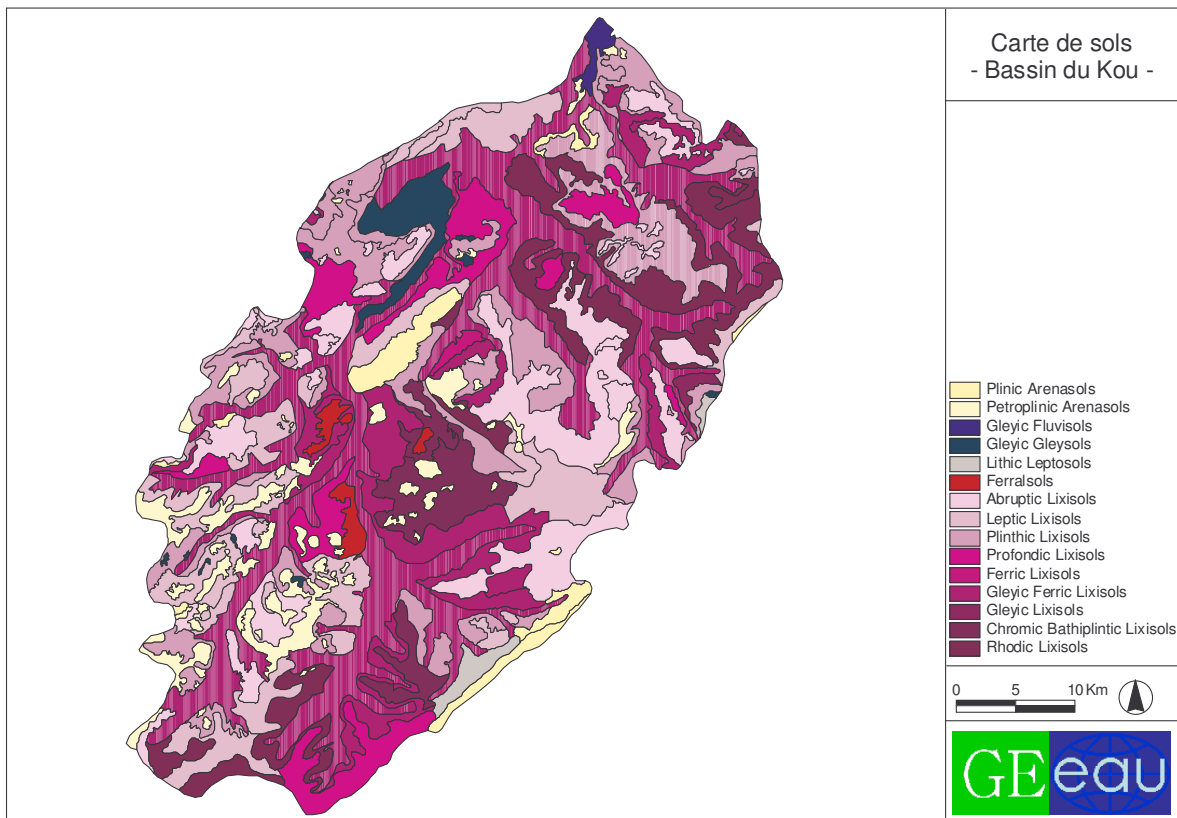
Tableau 12.1 - Corrélation des taxonomies des sols BRM/CPCS

Unité morpho-pédologique	CPCS	BRM	
		groupe de sols	type de sols
Butte rocheuse	LITH	Arenasols	Petroplinic Arenasols
		Arenasols	Plinic Arenasols
Butte cuirassée	LITH	Lixisols	Abruptic Lixisols
		Lixisols	Leptic Lixisols
Plateau cuirassé	FLIPP	Lixisols	Plinthic Lixisols
		Lixisols	Profondic Lixisols
Glacis haut de pente	FLIMP	Lixisols	Abruptic Lixisols
		Lixisols	Plinthic Lixisols
Glacis pente moyenne	FLIP	Lixisols	Rhodic Lixisols
		Lixisols	Gleyic Ferric Lixisols
Glacis bas de pente	FLTC	Lixisols	Profondic Lixisols
		Lixisols	Gleyic Ferric Lixisols
Plaine alluviale	HPGE	Gleysols	Gleyic Gleysols
		Gleysols	Gleyic Gleysols
Zone inondable	PEAAH	Fluvisols	Gleyic Fluvisols

La Carte 12.1 montre les puits de profils avec les unités pédo-morphologiques. Carte 12.2 est le résultat final : la carte pédo-morphologique du bassin du Kou



Carte 12.1 - Les puits pédologiques avec les unités pédo-morphologiques



Carte 12.2 - Carte pédo-morphologique du bassin du Kou

Basées sur les résultats analytiques des profils des puits pédologiques de BUNASOLS pour la région du bassin du Kou, les textures ont pu être calculées pour tous les types de sols présents dans le bassin (Tableau 12.2).

Tableau 12.2 - Textures de tous les types de sols présents dans le bassin du Kou

CPCS		BRM	Prof. [cm]	Argile [%]	Limons [%]	Sables [%]
FLC	Lixisols	Ferric Lixisols	0-15	9,80	35,30	54,90
			15-35	25,49	23,53	50,98
			35-64	29,41	29,41	41,18
			64-105	27,45	25,49	47,06
FLIMP	Lixisols	Plinthic Lixisols	0-15	10,78	48,05	41,18
			15-45	25,49	47,06	27,45
FLIP	Lixisols	Profondic Lixisols	0-15	13,73	33,33	52,95
			15-40	38,24	22,55	39,22
			40-80	43,14	29,41	27,45
			80-100	37,25	25,50	37,25
FLIPP	Lixisols	Leptic Lixisols	0-13	13,73	39,21	47,06
			13-32	27,45	50,98	21,57
FLIS	Lixisols	Abruptic Lixisols	0-20	5,88	17,65	76,47
FLM	Lixisols	Profondic Lixisols	sol non-analysé, se référer au sol FRI			
FLTC	Lixisols	Gleyic Ferric Lixisols	0-19	12,745	57,845	29,41
			19-50	31,37	42,16	26,47
			50-77	32,35	34,315	33,335
			77-114	33,33	41,18	25,49
FRI	Lixisols	Chromic Bathiplintic Lixisols	0-8	27,45	15,69	58,86
			8-40	45,1	17,65	37,25
			40-82	45,1	19,61	35,29
FTM	Lixisols	Rhodic Lixisols	0-15	7,84	17,65	74,51
			15-35	28,43	15,685	55,885
			35-110	39,165	13,725	47,06
FTH	Lixisols	Gleyic Lixisols	sol non-analysé, se référer au sol FRI			
FRM	Ferralsols	Ferralsols	0-20	12,745	15,685	71,57
			20-45	39,22	15,68	45,1
			45-90	35,29	21,575	43,135
			90-125	39,215	13,725	47,06
HPGE	Gleysols	Gleyic Gleysols	0-15	47,06	39,21	13,73
			15-41	45,1	27,45	27,45
			41-77	50,98	37,26	11,76
			77-107	50,98	33,33	15,69
LITH	Arenasols	Petroplinic Arenasols	trop gravillonnaire, pas d'analyse possible			
PEAAH	Fluvisols	Gleyic Fluvisols	0-19	9,80	39,22	50,98
			19-34	11,76	35,30	52,94
			34-87	45,10	45,10	9,80
			87-125	31,37	50,98	17,65
PEEL	Leptosols	Lithic Leptosols	0-6	5,88	27,45	66,67
			6-11	7,84	19,61	72,55

13

Carte d'occupation des terres

Une carte d'occupation des terres des bassins versants a été élaborée avec le projet d'Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou (BKF/007 – PAFDK).

13.1 Recherche documentaire

Les documents suivants ont été collectés et exploités dans le cadre de cette étude :

- les prises de vue aériennes (PVA) IGB 03175 – B URG1 Bobo de mars 2003 L1, L2, L3, L4, L5, L6 et L7, échelle 1/50.000
- la carte topographique de reconnaissance feuille de Bobo échelle 1/200 000.

13.2 Préparation des prises vue aériennes

La préparation des PVA consistait à :

- Vérification de la netteté des PVA. La série des photos paires a été retenue pour l'interprétation. Ces PVA ont été montées avec des films transparents taillés à leurs formats sur lesquels les entités identifiées ont été reportées ou tracées avec des feutres.
- Triangulation des PVA. Ceci consiste à rechercher les points homologues sur l'ensemble des photos couvrant la zone. Ces points servent à délimiter la surface à interpréter des photos utiles. Par photo un minimum de 8 points de calage a été identifié afin de faciliter le mosaïquage.
- Interprétation des PVA : une première lecture des photographies aériennes a permis d'établir une légende provisoire appelée 'clé d'interprétation' (confère Tableau 13.1). Après cette étape, c'est la photo-interprétation. Elle a consisté à déterminer les différentes unités de la légende sur les PVA.

13.3 Vérification sur terrain

L'échantillon des entités composant la zone interprétée, identifiées sur les photos ont été repérées sur le terrain (zone de Bama, Kokoroué, Koumi et Niéguema).

Après les travaux de terrain, la légende provisoire a été revue et corrigée. Les corrections ont été opérées sur les PVA pendant les travaux de terrains, ce qui a mené à l'interprétation

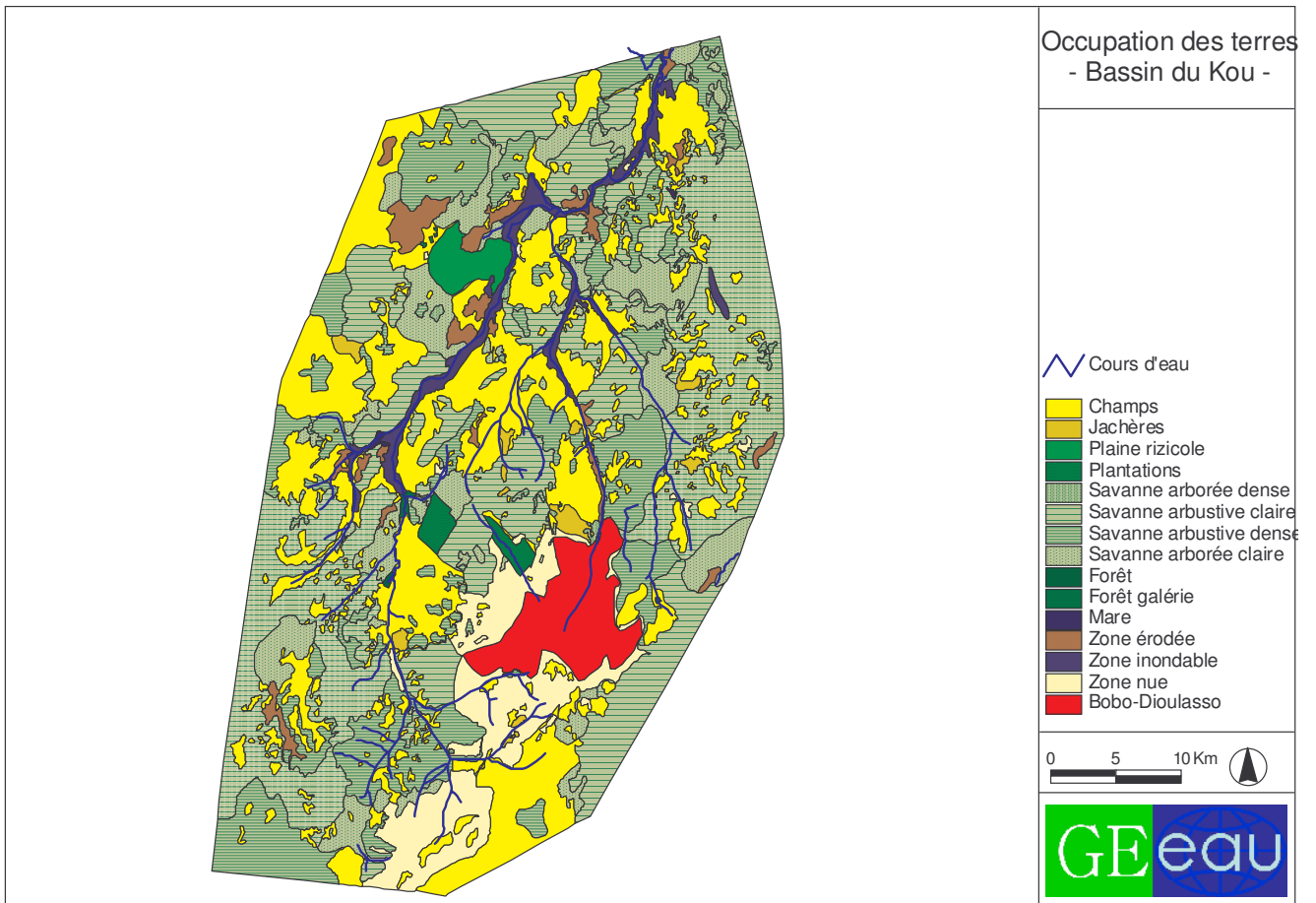
définitive. Finalement la carte a été dessinée sur des supports stables (films transparents) appropriés à la numérisation.

Tableau 13.1 - Clef d'interprétation des photos pour l'élaboration de la carte d'occupation des terres des bassins versants du Kou.

Unité	Teinte de réflectance	Texture	Forme	Taille	Topo
Champ	Gris clair à brillant	Ponctuée à peu ponctuée	Polygones réguliers	Petite à moyenne	Pente inférieure moyenne et sup.
Jachère	Gris clair à sombre	Fine à très fine et ponctuée	Peu régulière	Petite à moyenne, parfois grande	Pente inférieure moyenne et sup.
Forêt galerie	Très sombre	Ponctuée à grossière	Filiforme +/- régulière	Petite à moyenne et grande	Bas fond
Zone inondable	Sombre à très sombre	Ponctuée	Filiforme +/- régulière	Petite à très petite	Berges
Savane arborée dense	Gris sombre	Grossière	Taches irrégulières	Moyenne à grande	Pente moyenne à inférieure
Savane arborée claire	Gris clair	Ponctuée et grossière	Taches irrégulières	Moyenne à grande	Pente moyenne à inférieure
Savane arbustive dense	Gris clair à sombre	Très fine à sombre	Taches irrégulières	Petite à moyenne	Glacis et collines
Savane arbustive claire	Gris clair à clair	Fine ponctuée à dense	Taches irrégulières	Petite à moyenne	Glacis et collines
Savane herbeuse	Gris clair à clair	Lisse	Filiforme ou taches	Petite	Bas fond et glacis haut de pente
Sol dénudé ou sol nu	Brillant à très clair	Lisse	Taches irrégulières	Petite à moyenne	Glacis haut de pente et bas fond
Sol érodé	Gris clair à sombre	Lisse	Taches irrégulières	Petite à grande	Berges, glacis haut de pente

13.4 Résultat

Les différentes couches dessinées sont : Bobo-Dioulasso, savane arborée claire, savane arborée dense, savane arbustive claire, savane arbustive dense, champs, jachères, plantations, zones inondables, zones érodées, zones nues, forêt, forêt galerie, mare, route bitumée, route régionale, piste de l'aéroport, piste de l'ONEA, sentier, chemin de fer, fleuves et rivières, cours d'eau temporaire et escarpement. La carte numérisée est présentée ci-dessus.



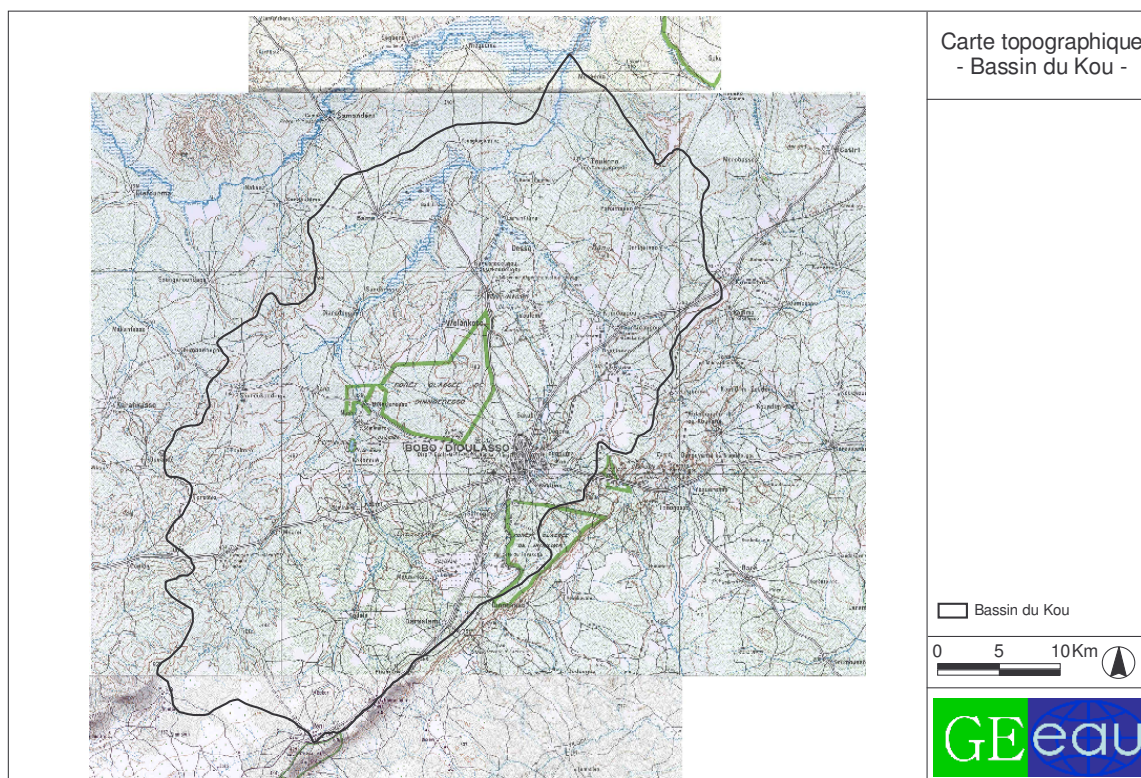
Carte 13.1 - Occupation des terres du Bassin du Kou

14

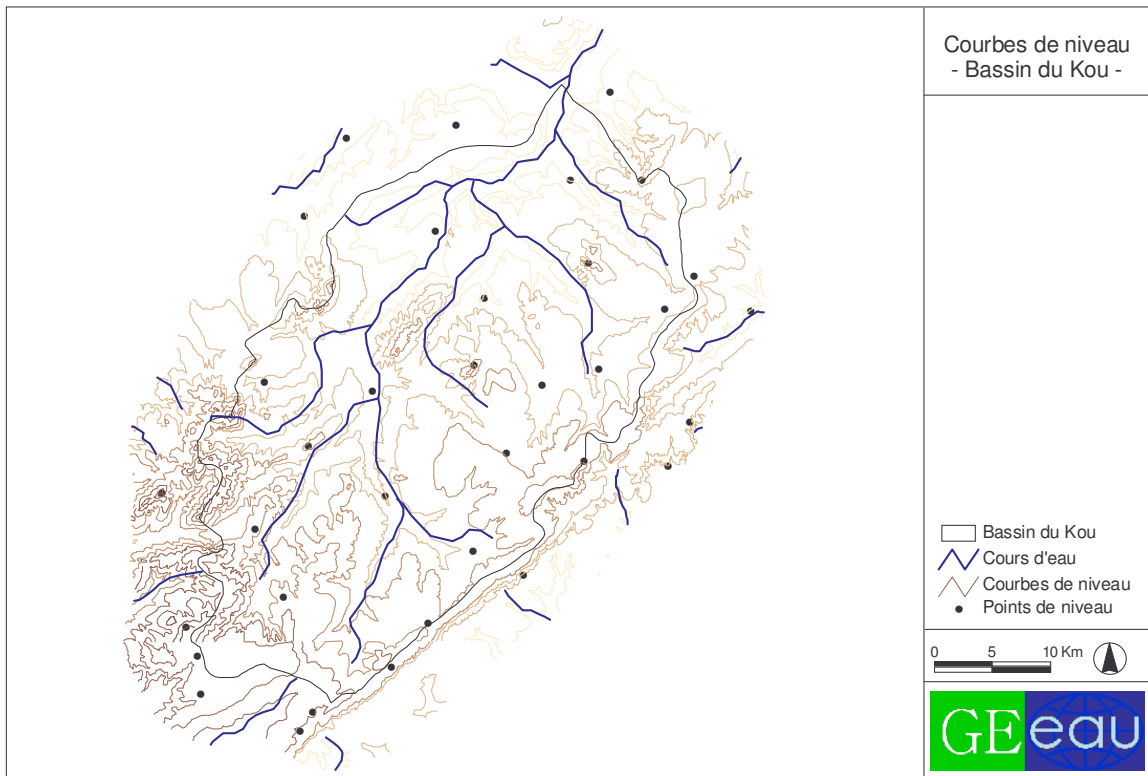
Modèle numérique de terrain

Avec ArcView et 3D Analyst un modèle numérique de terrain du bassin du Kou a été construit.

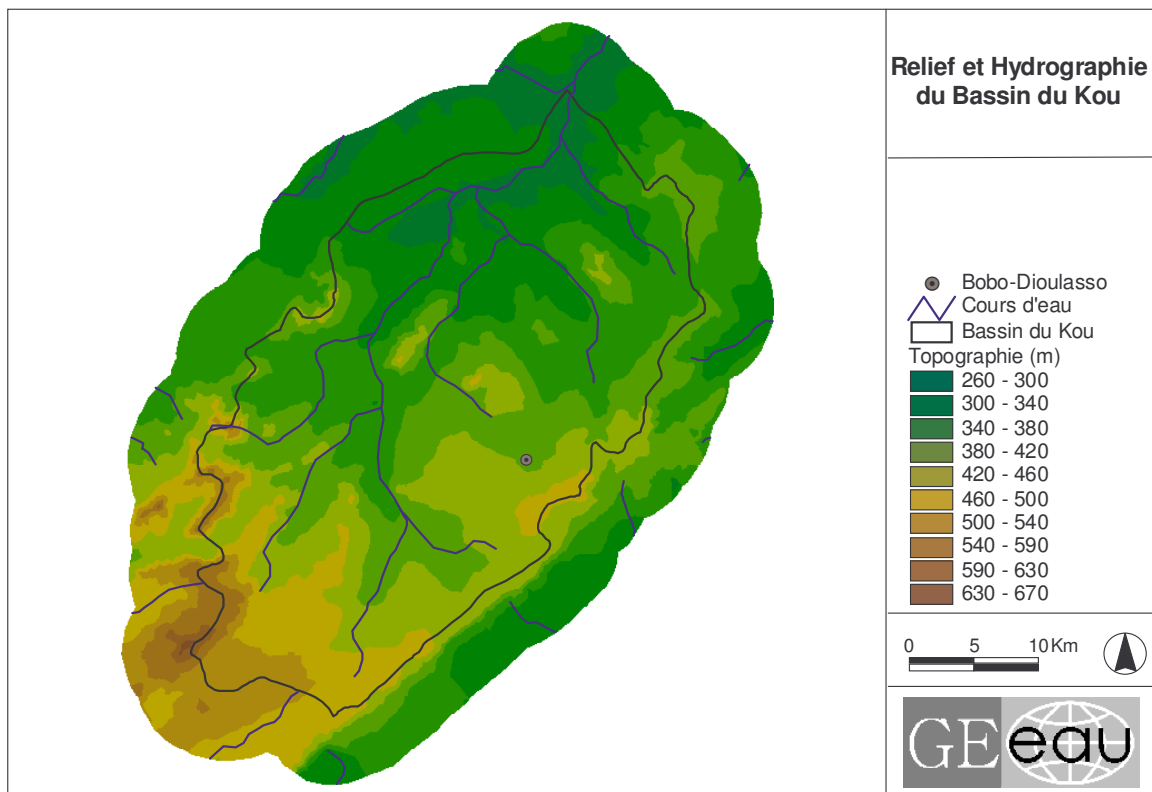
A partir des cartes topographiques de l'IGB, scannées et géoréférencées (échelle 1/200 000) des courbes et des points de niveau ont été numérisés (Cartes 14.1 & 14.2). La carte numérique des cours d'eau a été prise au niveau de la cellule SIG de la DRAHRH-HB (Wellens, 2003). L'ensemble permettait 3D Analyst d'ArcView de faire un modèle numérique de terrain du bassin du Kou (Carte 14.3).



Carte 14.1 - Carte topographique du Bassin du Kou (scannée et géoréférencée)



Carte 14.2 - Courbes et points de niveau du bassin du Kou



Carte 14.3 - Modèle numérique de terrain du bassin du Kou



– Formations & Ateliers –

15

Etudiants encadrés & Formations

Comme les deux premières années le projet a accueilli et encadré des étudiants de fin d'études avec lesquels on mène des travaux en vue d'atteindre les objectifs du projet. Cette année, deux étudiants ont fait leurs mémoires de fin d'étude au sein du projet. Au début de l'année du projet une jeune ingénieur a été initiée et formée dans le domaine du SIG afin d'élaborer des tâches de numérisation et d'informatique pour le projet et pour la DRAHRH-HB.

Le projet de recherche en collaboration avec le projet APPIA (voir aussi Wellens et al., 2003) a aussi pris forme. Deux assistants de recherche ont travaillé ensemble avec l'équipe du projet et la DRAHRH-HB. Un diagnostic pluridisciplinaire des performances sur les périmètres irrigués formels et informels a été effectué.

Les frais pour ce projet de recherche ont été pris en charge par GEeau, APPIA et l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

15.1 Au niveau de GE-eau

De mars à juin Mamadou BARRO, de Burkina Faso et étudiant en dernière année de l'EIER, a fait son mémoire de fin d'études dans le projet. Le thème de son mémoire portait sur les « Besoins en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ ».

L'objectif était d'évaluer l'efficacité en irrigation, au niveau du périmètre rizicole à l'aide du logiciel BIRIZ. A partir de cette analyse, un diagnostic des pratiques d'irrigation actuelles, au niveau collectif (périmètre) et individuel (parcelle) a été établi.

En même temps Bengueou DRAPEAU, du Tchad et aussi étudiant en dernière année de l'EIER, a fait son mémoire de fin d'études dans le projet. Son travail est titré « Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aide à la planification des irrigations ».

L'objectif était d'évaluer l'efficacité en irrigation au niveau de la parcelle à l'aide du logiciel BUDGET et établir le diagnostic des pratiques d'irrigation actuelles. Une amélioration de la gestion actuelle de l'irrigation en développant des calendriers d'irrigation pour les principales cultures irriguées, exposés sous forme de fiches techniques à destination des producteurs et de leur encadrement, a été proposée dans cette oeuvre.

Comme l'homologue du chef de projet et chef du cellule SIG à la DRAHRH-HB, Nestor Fiacre Compaore, avait une formation à l'université Marie Curie à Poitiers, il a quitté son poste pour une période de 5 mois.

Pour faire face à son absence et pour continuer à garantir un bon déroulement du projet, le projet et les responsables de la DRAHRH-HB ont opté pour former une jeune ingénieur, Félicité Chabi-Gonni, dans les matières de SIG et numérisation.

Il est apparu le plus facile et efficace que cette formation ait eu lieu à la DRAHRH-HB même. Pendant deux mois le boursier a été formé par le chef de la cellule SIG.

Pendant cette période ils se sont surtout concentrés sur l'apprentissage :

- des techniques de base en SIG : AtlasGIS et ArcView ;
- des principes de numérisation ;
- du géo-référencement des cartes digitalisés et scannés ;
- de l'utilisation de GPS ;
- de la construction des bases de données.

Après cette formation théorique, le boursier a pu valider pendant 3 mois ses connaissances par la numérisation et géo-référencement de la carte d'occupation des terres et de la carte de sols de la zone de test du projet. En même temps, les bases de données appartenant à ces cartes ont été construites par le boursier.

Le boursier a aussi fourni beaucoup de taches informatiques utiles pour les autres services de la DRAHRH-HB.

15.2 Collaboration avec APPIA¹

15.2.1 Contexte

Le périmètre irrigué de la vallée du Kou est situé à 25 km de Bobo-Dioulasso, au Burkina Faso. La plaine du Kou se compose de 8 coopératives autonomes, regroupées en une Union des coopératives. Au total, 1100 ha sont exploités deux fois par an (campagnes humide et sèche) par environ 2000 producteurs (parcelles de 0.5 à 1 ha). Le riz est la culture dominante.

Depuis quelques années, le périmètre connaît des difficultés croissantes d'approvisionnement en eau pendant la saison sèche. Cette raréfaction de la ressource est liée à divers facteurs :

- externes : facteurs hydro-climatiques et multiplication des usagers en amont du périmètre, sur le Kou ou sur le canal principal (« pirates »)
- internes : gestion de l'eau et respect du règlement intérieur sur le périmètre

Diverses solutions sont expérimentées, qu'elles soient agronomiques (diversification en maïs) ou organisationnelles (délégation de la gestion de l'eau à une association privée).

¹ Extrait du document du projet de recherche GE-eau & APPIA : « Evaluation des performances sur le périmètre irrigué formel et informel de la Vallée du Kou ».

15.2.2 Importance pour l'irrigation en Afrique de l'Ouest

Le périmètre de la vallée du Kou est un excellent cas d'école pour aborder la question de l'utilisation efficiente de la ressource en eau sur les systèmes irrigués. Aujourd'hui, en Afrique de l'Ouest, l'eau n'est généralement pas le facteur limitant le plus déterminant pour les performances des systèmes irrigués. Pourtant, du fait de facteurs climatiques défavorables, de difficultés de mobilisation de la ressource et d'une multiplication des usages de l'eau, les cas de stress hydriques et de conflits multi-usages tendent à se multiplier.

15.2.3 Intérêt pour le Groupe des Ecoles EIER-ETSHER

Les résultats du projet de Recherche pourront être valorisés dans les enseignements :

- méthodologie de diagnostic des systèmes irrigués avec un accent sur les aspects pluridisciplinaires et participatifs,
- introduction de la notion de benchmarking,
- test, validation et mise en place d'outils de modélisation et d'aide à la gestion de l'eau,
- actualisation des données sur l'irrigation au Burkina,
- référence et étude de cas permettant d'illustrer les cours théoriques sur l'irrigation.

Par ailleurs, l'aspect pluridisciplinaire de l'approche permettra de solliciter diverses compétences du Groupe EIER-ETSHER

15.2.4 Partenaires

Le **projet APPIA**, financé par la **Coopération Française**, a pour objectif l'amélioration des performances sur les périmètres irrigués en Afrique sahélienne. Mis en œuvre par l'ARID (Association Régionale pour l'Irrigation et le Drainage), il est basé à Ouagadougou, au sein de l'EIER. APPIA s'intéresse au diagnostic comparatif de systèmes irrigués de la sous-région et à l'échange d'informations entre professionnels de l'irrigation.

Le **projet GEeau** a pour objectif le renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture. Initié par l'**Université de Leuven**, en Belgique, il est mis en œuvre en partenariat avec le Groupe EIER-ETSHER et la Direction Régionale de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Basée depuis plus d'un an à Bobo-Dioulasso, l'équipe du GEeau travaille sur le bassin versant de la vallée du Kou où elle recense et collecte diverses données climatiques, pédologiques et hydrauliques.

Le projet **FNPP-IWRM-VG** (Programme de Partenariat **FAO - Pays-Bas**, composante "Eau et sécurité alimentaire - Gestion Intégrée des Ressources en Eau pour les Groupes Vulnérables) propose de développer une approche de gestion intégrée des ressources en eau, afin de renforcer la sécurité alimentaire en milieu rural. Cette approche sera essayée, testée et validée dans la vallée du Kou et les leçons

tirées de cette recherche-action seront utilisées pour adapter la méthode aux conditions particulières du pays et de la sous-région.

Ces trois partenaires travaillent conjointement sur la Vallée du Kou. Leurs objectifs sont complémentaires et leurs actions coordonnées. Ils appuieront le projet de recherche en :

- proposant la méthodologie de base et les outils nécessaires à l'établissement du diagnostic,
- offrant des données complémentaires à celles collectées par le projet de Recherche,
- assistant le stagiaire par un encadrement de proximité,
- fournissant un appui logistique à Ouagadougou et à Bobo Dioulasso.

15.2.5 Activités

Les stagiaires travailleront en étroite collaboration avec les projets APPIA, GEeau et FNPP-IWRM-VG. Ils effectueront un diagnostic du système irrigué, à partir de la méthodologie développée par APPIA. Ils intégreront les informations et études existantes, ainsi que les données collectées par le GEeau. Ils effectueront la collecte de données complémentaires sur les exploitations et le périmètre.

Ils compléteront l'étude physique et hydraulique du GEeau par une approche agro-économique. L'analyse portera en particulier sur les questions d'organisation de la gestion de l'eau sur le périmètre et de valorisation de la ressource en eau (productivité de l'eau), cruciales dans ce contexte de stress hydrique. Les stagiaires pourront approfondir son analyse grâce aux logiciels de calcul des besoins en eau utilisés par GEeau (BUDGET, BIRIZ). L'étude sera complétée par des comparaisons avec d'autres périmètres semblables de la sous-région.

Le travail d'analyse débouchera sur des propositions concrètes de solutions à mettre en œuvre à court et moyen terme sur le périmètre.

A travers son travail, les stagiaires chercheront à collaborer avec les acteurs locaux, à susciter leur intérêt et leur participation au processus du diagnostic. Il devra pour ce faire développer des méthodes participatives d'analyse et de diffusion de l'information.

15.2.6 Résultats attendus

A l'issue de ce travail, les résultats suivants sont attendus :

- une description générale du fonctionnement et des principales caractéristiques du périmètre de la Vallée du Kou,
- une évaluation des performances du système irrigué, sur le plan agronomique, hydraulique, organisationnel et économique,
- la détermination des difficultés majeures et la proposition de solutions,
- en particulier, le diagnostic du fonctionnement hydraulique, l'analyse de la valorisation de la ressource en eau à l'échelle des exploitations et du périmètre. La proposition de pistes de résolution de la « crise » et de moyens de maximiser la valorisation de l'eau.

→ des acteurs locaux impliqués dans le processus d'analyse et motivés pour contribuer au diagnostic participatif.

15.2.7 Organisation du programme de Recherche

Lieu et date

Lieu : Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Dates : novembre – juin 2003

Durée : 8 mois

Calendrier des tâches

Novembre – décembre 2003 : Phase préparatoire

Activité	localisation	Intervenant
Mission prospective : ♦ définition des attentes des acteurs ♦ établissement du contexte avec le consultant FAO	Bobo Dioulasso	Stagiaire - Organisation de la mission : EIER-ETSHER et APPIA Information : FAO
Analyse descriptive : ♦ Recensement et analyse des informations existantes ♦ Description de l'organisation de la coopérative ♦ Typologie sommaire des exploitations ♦ Description du réseau hydraulique	Bobo Dioulasso	Stagiaire Appui méthodologique : EIER-ETSHER, APPIA et GEeau
Etablissement du protocole : ♦ Revue des méthodes et outils ♦ Définition des indicateurs ♦ Définition de la méthode de collecte ♦ Définition des critères de sélection des parcelles	Ouagadougou	Stagiaire Appui méthodologique : EIER-ETSHER, APPIA et GEeau
Installation sur le terrain : ♦ Organisation logistique ♦ Echantillonnage des parcelles ♦ Collecte des données de base aménagement et parcelles	Bobo Dioulasso	Stagiaire Appui installation : GE eau Appui échantillonnage et collecte : FAO
Restitution aux acteurs locaux de la phase préparatoire	Bobo Dioulasso	Stagiaire

Janvier- avril 2004 : collecte et traitement des données

Activité	localisation	Intervenant
Collecte des données : ♦ Itinéraire technique sur les parcelles ♦ Données hydrauliques périmètre et parcelles, ♦ Gestion comptable du groupement ♦ Paramétrage des outils d'analyse	Bobo Dioulasso	Stagiaire Suivi rapproché GEeau (hydraulique, outil) et FAO (IT, gestion) Suivi à distance : EIER-ETSHER et APPIA
Analyse des données collectées : ♦ Description du fonctionnement hydraulique du périmètre ♦ Calcul des indicateurs de performances	Bobo Dioulasso	Stagiaire Appui EIER-ETSHER, GEeau et APPIA

Mai – juin : Analyse et diffusion

Activité	localisation	Intervenant
Fin de la collecte des données	Bobo Dioulasso	Stagiaire
Diagnostic comparatif : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Analyse statistique des données parcellaires, ◆ Comparaison à des références extérieures (Benchmarking) ◆ Diagnostic des principaux facteurs limitants 	Bobo Dioulasso ou Ouagadougou	Stagiaire Appui EIER-ETSHER et APPIA
Diagnostic des causes du stress hydrique : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Efficience de l'irrigation et gestion de l'eau ◆ Valorisation de l'eau et stratégie des acteurs 	Bobo Dioulasso	Stagiaire Appui EIER-ETSHER, GEeau et APPIA
Proposition de solution et d'outils d'aide à la décision	Bobo Dioulasso	Stagiaire
Restitution <ul style="list-style-type: none"> ◆ Aux producteurs et organisations paysannes ◆ Aux acteurs locaux intéressés par l'étude 	Bobo Dioulasso	Stagiaire

15.2.8 Capitalisation, diffusion, suites à donner...

Rédaction d'un article à paraître dans SST

Diffusion des résultats sur le site web de l'ARID (www.eieretsher.org/arid)

Les partenariats avec APPIA, GEeau, et FNPP-IWRM-VG, garantissent la valorisation et l'utilisation ultérieures des résultats du projet de Recherche.

Par ailleurs, un effort important sera fait sur l'appropriation de la démarche d'analyse diagnostic par les acteurs locaux. Un résultat attendu est que (i) les acteurs locaux adoptent un système de suivi-évaluation des performances du système irrigué et que (ii) ces acteurs utilisent effectivement les recommandations du projet de Recherche, avec l'appui des projets APPIA, GEeau et FNPP-IWRM-VG.

16

Ateliers

L'équipe du projet ont activement participé à deux ateliers et sous l'égide de l'APEFE, organisé un troisième.

Pour l'atelier sur l'Amélioration des Performances sur les Périmètres Irrigués en Afrique organisé par l'ARID, une présentation sur l'importance de la concertation entre les différents utilisateurs d'une même ressource a été préparée par les assistant de recherche et le projet.

Afin de répondre sur la question "Comment faire face aux impacts environnementaux de l'eau et l'agriculture dans les trente ans à venir ?" posé par le PNUE et la FAO à Ouagadougou, une contribution a été faite sur : les contraintes et potentialités pour l'utilisation des outils de modélisation avec les parties prenantes, au niveau local, des secteurs privé et public, dans l'évaluation stratégique des ressources en eau. Quelques exemples de la pratique de la gestion intégrée des ressources en eau au Burkina Faso.

Sous l'égide de l'APEFE de Région Wallonne un atelier de planification sur les stratégies de « Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou : agir localement pour réfléchir globalement » a été organisé à Bobo-Dioulasso. Cet atelier a débouché sur l'adoption d'une charte d'intervention, matérialisée par le dossier d'instruction d'une intervention APEFE de longue durée, soit un plan d'action pour la deuxième phase du Projet GEeau.

Les contributions du projet à cet atelier étaient plusieurs :

- Présentation spécifique de la problématique relative à la gestion/valorisation des ressources en eau pour l'agriculture dans la Vallée du Kou ;
- Présentation du projet GEeau : objectifs, acquis, difficultés et perspectives ;
- Exposé sur la conception de GEeauPlus.

Amélioration des Performances sur les Périmètres Irrigués en Afrique

(Atelier national final, Ouagadougou, 29 avril 2004)

Cet atelier rassemblera, en plus des partenaires du projet APPIA, les principaux acteurs de l'irrigation au Burkina Faso.

Les objectifs de l'atelier sont de :

- partager et valider les principaux résultats des diagnostics rapides mis en œuvre par les agents des structures partenaires sur six systèmes irrigués sélectionnés au Burkina Faso ;
- formuler des propositions d'activités et des priorités pour la seconde année du projet ;
- identifier de possibles synergies et des enjeux communs entre le Burkina Faso et d'autres pays suivis par le projet APPIA.

1 Programme

Accueil et enregistrement des participants

Inauguration de l'Atelier

(Lompo Pierre, Président de l'AITB)

Introduction :

- Rappels sur le projet APPIA

- Présentation des sites sélectionnés

(Coulibaly Remi, Coordinateur de la Cellule Nationale APPIA)

Présentation du processus et de la méthodologie utilisée sur les périmètres sélectionnés pour réaliser le Diagnostic Rapide.

(Sanou Souleymane)

Présentation de résultats de l'évaluation des performances et comparaison des sites étudiés. Identification d'enjeux prioritaires.

(Zambrana Tania, APPIA)

Communications et discussions à partir des principales conclusions du Diagnostic Rapide au Burkina Faso :

Thème 1 : faible technicité des producteurs (voire détail ci-dessous)

Thème 2 : la commercialisation des produits

Thème 3 : la faible capacité financière des organisations d'irrigants

Thème 4 : la gestion hydraulique des systèmes irrigués

Présentation de la demande d'action au niveau local et des axes d'action APPIA identifiés pour l'appui conseil au niveau national.

(Zambrana Tania, APPIA)

2 Détails des différents thèmes

Thème 1 : Faible technicité des producteurs

Pour mieux illustrer cette problématique, nous présenterons des réalités différentes de terrain et nous essayerons de tirer des conclusions quant à l'appui conseil qui serait adapté :

- Les problèmes rencontrés par des producteurs qui commencent l'activité de maraîchage.
(Equipe du PDR – Boulgou)
- Les problèmes rencontrés par des agriculteurs maraîchers expérimentés.
(Equipe du PPIV)

Thème 2 : La commercialisation des produits

L'étude de cette mathématique sera structurée autour de trois études de cas qui présenteront différentes réalités auxquelles les agriculteurs sont soumis. Deux spécialistes interviendront par la suite deux filières irriguées importantes : le riz et le maraîchage.

- La commercialisation du riz : le riz burkinabé est il trop cher ?
(Equipe de la MOB)
- La commercialisation organisée dans le site de Titao.
(Equipe de la FNGN)
- Commercialisation individuelle sur le site de Diaradougou.
(Equipe PPIV)
- Intervention du représentant de l'Observatoire du Riz, Burkina Faso.
- Intervention de Coulibaly Remi, de la DGHA, Burkina Faso.

Thème 3 : La faible capacité de gestion financière des OGS²

La faible capacité des organisations d'irrigants ou de leurs coopératives est constatée sur nombre de sites irrigués, en particulier sur les périmètres irrigués villageois ne disposant pas de personnel professionnel spécialisé en gestion en comptabilité. Cette faible capacité se traduit notamment par un manque de légitimité et de crédibilité de l'organisation auprès des partenaires financiers extérieurs comme de ses propres membres. Une étude de cas du Burkina Faso sera exposée, suivie de l'intervention d'un spécialiste du Mali.

- L'exemple présenté sera celui de périmètre de Titao.
(Equipe de la FNGN)
- Intervention de Traoré Bakary, Ancien Coordinateur du PCPS (Projet Centre de Prestations de Service), Mali.

² Organisation paysanne de gestion du système irrigué

Thème 4 : La gestion hydraulique des systèmes irrigués

Cette première thématique qui s'adresse notamment aux grands périmètres collectifs sera illustrée par trois études de cas et deux interventions de spécialistes :

- Les besoins de formation et sensibilisation des usager par rapport aux contraintes qui découlent du partage d'un système productif à usage collectif.
(Equipe de la MOB)
- Désengagement de l'Etat et faiblesse des Organisations d'irrigants qui héritent la gestion et l'entretien du périmètre.
(Equipe de l'AMVS)
- L'importance de la concertation entre les différents utilisateurs d'une même ressource.
(projet de recherche APPIA – GEeau)
- Intervention de Magatte Wade représentant de la Coordination Régionale du PSI CORAF
(Pôle Systèmes Irrigués de la Conférence des Responsables de Recherche Agronomique en Afrique de l'Ouest et du Centre, Sénégal)
- Intervention de Dakouré Denis membre de l'AEDE (Association Eau, Développement et Environnement, Burkina Faso)

“Comment faire face aux impacts environnementaux de l’eau et l’agriculture dans les trente ans à venir”

Réunion d’experts à Ouagadougou, 2 et 3 juin 2004

Réunion sous l’égide du

Programme des Nations Unies pour l’Environnement (PNUE)

Organisation pour l’alimentation et l’agriculture (FAO)

En collaboration avec le

Partenariat global pour l’eau – Partenariat ouest-africain pour l’eau

1 Justification

“Comment faire face aux impacts environnementaux de l’eau et l’agriculture dans les trente ans à venir ” (EIP-30) est un projet initié par le PNUE et la FAO, visant à effectuer une évaluation stratégique des impacts environnementaux liés à l’eau dans le développement agricole sur les trente ans à venir. Le projet agira comme un catalyseur afin de générer et de renforcer la gestion pro-active des ressources en eau dans l’agriculture au niveau global et du bassin. L’étude sur la perspective de la FAO “Agriculture Mondiale jusqu’en 2015/2030” (AT 2015/2030) (FAO, 2003, ed. Bruinsma) servira comme point de départ et comme référence de base.

Le projet consiste en deux composantes essentielles et interdépendantes:

1. Une évaluation globale des impacts environnementaux et de leurs conséquences extrapolables des données AT 2015/2030.
2. Un certain nombre d’études de cas, pour assister les parties prenantes au niveau régional et du bassin fluvial (y compris les écosystèmes marins et côtiers en aval) dans leur évaluation environnementale stratégique.

Une relation étroite est également établie entre le présent projet et la conférence sur ‘L’Eau pour l’Alimentation et les Ecosystèmes’, prévu pour janvier 2005 à la FAO à Rome. Cette conférence est initiée par le Ministère de l’Agriculture des Pays-Bas en collaboration avec la FAO, le secrétariat de la convention de Ramsar, la Convention pour la diversité biologique, entre autres.

2 Réunion sur le bassin du Volta – objectif

Pendant la phase de préparation (novembre 2003 – juillet 2004), sera organisée une réunion de chercheurs scientifiques et d’experts institutionnels en matière de la gestion de l’eau, afin d’apprécier la faisabilité d’une évaluation stratégique des impacts environnementaux au niveau bassin fluvial. Cette réunion de conception, qui étudiera le cas du **Bassin fluvial du Volta** comme un cas pilote, aura lieu à Ouagadougou le 2 et 3 Juin 2004.

Elle réunira un groupe d'experts d'institutions de gestion et pour la recherche scientifiques ayant travaillé sur la modélisation des ressources en eau et sa gestion pour l'agriculture et la nature (i.e. IWMI, Glowa, WRI et le WRC au Ghana; la DGIRH, IUCN-bureau régional et le WAWP au Burkina Faso).

Le compte-rendu de cette réunion, sera présenté à la deuxième réunion de conception du projet EIP-30 (prévu à Rome le 22 et 23 Juin 2004), avant de finaliser la proposition de projet en juillet 2004.

La réunion se penchera sur l'utilisation des modèles existants, les besoins en matière de prévision et la faisabilité de créer des outils plus performants dans le bassin du Volta. Les aspects suivants seront regardés de plus près:

- l'évaluation des perspectives du développement de l'eau pour agriculture et son impact environnemental, à partir de modèles globaux et au niveau du bassin fluvial,
- disponibilité des bases de données régionales et nationales,
- élaboration de scénarios alternatifs pour l'évaluation stratégique avec les parties prenantes.

Questions fondamentales pour la discussion:

1. Quelles sont les leçons apprises des méthodes appliquées en SEA³ pour le développement durable des ressources en eau en agriculture au niveau du bassin fluvial ?
2. Sur quel type de modèles le projet devra-t-il se focaliser ? Quels variables d'impact doivent faire l'objet d'un suivi? Comment se comparent les modèles au niveau global et du bassin fluvial ?
3. Y a-t-il des lacunes dans les base de données et comment les compléter? Quels variables présentent une résolution plus fine au niveau du bassin fluvial par rapport au niveau global? Comment les deux niveaux peuvent-ils se compléter?
4. Comment traiter les questions d'échelle? Quels aspects du fonctionnement des "hydro-systèmes" au niveau du sous-bassin sont importants pour améliorer la modélisation du bassin fluvial et des SEA?
5. Quelles sont les parties prenantes et de quelles informations ont-ils besoin? Comment tenir compte des valeurs et des scénarios des parties prenantes locales ?

La réunion sera consacrée à l'analyse critique, le 'brainstorming et la conception d'un projet viable. Des présentations en nombre restreint seront faites, pour introduire le débat, mais l'atelier est avant tout une plate-forme pour réviser la proposition provisoire de projet et pour recueillir les suggestions de son amélioration.

³ SEA: Strategic Environmental Assessment – Evaluation environnementale stratégique

7 Programme

Jour 1 – Mercredi 2 Juin

- 08h45 - Allocution d'ouverture
(Athanasé Compaoré – Président GWP-WAWP)
- Présentation des participants
- Présentation de l'étude prospective de la FAO "Agriculture en 2015 / 2030", utilisée comme référence de base pour le projet EIP-30.
(Sasha Koo-Oshima – Chargée de la qualité des eaux et de l'environnement, FAO-AGLW)
- Introduction aux objectifs du EIP-30 au niveau du bassin fluvial, y compris les écosystèmes côtiers et marins.
(Martin Adriaanse – Responsable de programme UNEP/GPA)
- Introduction aux objectifs généraux du projet EIP-30.
Produits attendus de l'Atelier.
(Peter Torrekens – Coordinateur technique du EIP-30)
- 10h45 - L'évaluation stratégique des impacts environnementaux (ESI) du développement du secteur de l'eau, un outil pour la GIRE ?
(Rockson / Armah)
- Présentation des expériences de modélisation au niveau global des impacts environnementaux de l'utilisation d'eau dans l'agriculture pour les groupes d'intérêt au niveau du bassin fluvial.
(Peter Torrekens – EIP-30 Technical Co-ordinator)
- Discussion sur les modèles globaux et l'évaluation prospective. Comment l'établissement de modèles et les scénarios prospectifs peuvent-ils contribuer à la gestion des ressources au niveau global et du bassin?*
- 14h30 - Le cadre institutionnel de la gestion de l'eau dans le bassin du Volta, au niveau national et régional : Les objectifs et la vision à long terme.
(Dr. Odame-Ababio – Water Resources Commission, Ghana)
- Contexte et méthodes des flux environnementaux – principes et exemples pratiques.
(Birguy Lamizana – Chargée de programme zones humides UICN)
- 16h00 - Liens entre l'aval et l'amont – référence spéciale au bassin du Volta et les écosystèmes côtiers et marins.
(Dr. A.K. Armah - Département de l'Océanographie et de la Pêche, Université de Ghana, Legon)

Contraintes et potentialités pour l'utilisation des outils de modélisation avec les parties prenantes, au niveau local, des secteurs privé et public, dans l'évaluation stratégique des ressources en eau. Quelques exemples de la pratique de la gestion intégrée des ressources en eau au Burkina Faso .

(Ir. Joost Wellens – Association Eau, Développement et Environnement & GEeau)

Jour 2 – Mercredi 3 Juin

08h45 - Inventaire des études prospectives et des modèles de prévision de l'état des ressources hydriques dans le bassin des fleuves Voltas (et au Burkina Faso en particulier).
(Moucharaf Padonou – Consultant ; Aristide Tabsoba - DGIRH)

Inventaire des études prospectives et des modèles de prévision de l'état des ressources hydriques dans le bassin des fleuves Voltas (et au Ghana en particulier).
(Yaw Opoku-Ankomah – Consultant)

10h15 - Techniques d'évaluation au niveau du bassin fluvial. Méthodes et modèles développés par le DHI.
(Hans Christian Ammentorp, UCC-water/DHI, Danemark)

Discussion générale sur les forces et faiblesses des modèles d'estimation et de prévision au niveau national, à l'échelle du bassin fluvial et au niveau régional dans le bassin des fleuves Volta.

14h30 - *Comment renforcer l'utilisation des outils de modélisation au niveau local, national et du bassin fluvial*

- *Analyse des lacunes par rapport aux différentes caractéristiques :*
 - o *Qualités de l'eau*
 - o *Ressources quantitatives et flux*
 - o *Ressources mobilisées par l'agriculture et pour l'approvisionnement des communautés rurales*
 - o *Ressources nécessaires pour la biodiversité et les écosystèmes.*
- *Besoins en termes de bases de données et pour le suivi des hydro-systèmes, ressources en eau exploitable et des flux environnementaux.*
- *Besoins pour renforcer la conscience et la capacité au coeur des groupes de parties prenantes.*

Discussion sur le renforcement de l'utilisation des études prospectives et des modèles hydrologiques dans le bassin des fleuves Volta.

Conclusions générales de la réunion des experts et formulation des recommandations à la deuxième réunion de formulation du projet EIP-30.

“Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou : agir localement pour réfléchir globalement”

Atelier d’experts à Bobo-Dioulasso, 19 -22 juillet 2004

Atelier sous l’égide du :
Association pour la Promotion de l’Education et de la Formation à l’Etranger – Région Wallone (APEFE/RW).

1 Justification

L’EAU est au cœur des préoccupations des Burkinabè : qu’il s’agisse de l’accès à l’eau potable, de la pratique des cultures pluviales ou de l’irrigation, de l’abreuvement des animaux ; de l’activité minière et industrielle ou de la production énergétique.

L’objectif global de la politique en matière d’eau est de contribuer au développement durable en apportant des solutions appropriées aux problèmes liés à l’eau afin que celui-ci ne devienne pas un facteur limitant du développement socio-économique. Favoriser l’émergence d’une expertise nationale capable de concevoir, exécuter, exploiter et entretenir les dispositifs d’observation de la ressource et de son exploitation.

La région des Hauts-Bassins abrite la capitale économique et est la seconde agglomération urbaine du pays. Elle a vocation à structurer un espace régional constitué par les bassins versants du Mouhoun et de la Comoé. Cet espace qui constitue 20% du territoire, abrite 20% de la population du pays recèle 60% des ressources renouvelables en eau et 40% du potentiel irrigable reconnu du Burkina Faso. Cette région représente donc un des principaux atouts de développement du pays.

Cet atelier permettra de faire une évaluation approfondie du contexte, de la problématique et de la dynamique stratégique des interventions dans le bassin du Kou en matière de gestion des ressources en eau.

L’atelier regroupera les intervenants directs et indirects potentiels. Il débouchera sur l’adoption d’une charte d’intervention entre les parties intéressées.

2 Programme

Jour 1 – Lundi 19 juillet (08h45 – 12h30 & 14h30 – ...)

- Allocution d'ouverture
par Monsieur le Haut Commissaire de la province Houet
- Aperçu du contexte de coopération de l'EIWB au Burkina et présentation de l'atelier : objectifs, méthodologie, résultats attendus, programme et planning de l'atelier (J Decharneux, J. Derouane, F. Sprimont)
- Présentation des participants : tour de table
- Approche « problème-solution » :
 - 1) Identification des problèmes et des besoins
 - Présentation générale du contexte et des problèmes de gestion des ressources en eau dans la vallée du Kou (D. Dakouré)
 - Présentation spécifique de la problématique relative à la gestion/valorisation des ressources en eau pour l'agriculture dans la vallée du Kou (J. Wellens)
 - 2) Identification des solutions actuelles : aperçu des structures et outils existants
 - Présentation du Comité de Gestion du Bassin du Kou : fonctionnement actuel et acquis
(le secrétariat du Comité de Gestion : DRAHRH-HB assistée par le AEDE)
 - Présentation du projet GE-Eau1 : objectifs, acquis, difficultés et perspectives (J. Wellens)
 - Aperçu du programme VREO : objectifs et résultats attendus (D. Dakouré)
- Discussion de groupe (questions/réponses, avis des participants) (animation : M. Diallo)

Jour 2 – Mardi 20 juillet (08h45 – 12h30 & 14h30 – ...)

- Stratégies d'actions futures à mener pour répondre aux besoins/attentes/problèmes identifiés en première journée:
 - Définition ou présentation des futures stratégies d'action du Comité de Gestion du Bassin du Kou (plan quinquennal 2005-2009)
(le secrétariat du Comité de Gestion : DRAHRH-HB assistée par le AEDE)
 - Présentation du projet GE-Eau2 : objectifs, partenariat, activités, résultats attendus (J. Wellens)

- Discussion de groupe (animation : M. Diallo) : Synergies et complémentarité entre GE-Eau2, VREO et le Comité de Gestion du Bassin du Kou
- Communications et colloque : les participants qui le souhaitent sont invités à présenter leur expérience sur une thématique liée à la gestion/valorisation des ressources en eau, en relation avec l'objet de l'atelier.
 - Exemples d'application des mesures isotopiques à la connaissance des eaux souterraines : la quantification des eaux souterraines, la caractérisation des principaux aquifères, l'identification des directions d'écoulements et l'estimation des vitesses de transfert vers les sources. (D. Dakouré)
 - « Méthodologie de caractérisation et de protection des ressources en eaux souterraines » (transfert de technologies Nord-Sud, J. Derouane)
 - Mise en œuvre du Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Burkina Faso (K. Ouédraogo, DGIRH - SP PAGIRE)
 - Le contrat de rivière dans la vallée du Sourou (H. Bado, COPROD)
 - Notion de risque dans l'utilisation de l'eau en agriculture (B. Tychon, Département des Sciences et gestion de l'Environnement de l'ULg)
 - Contribution du Projet d'Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou (PAFDK) à l'élaboration d'un programme de gestion de bassin du Kou (D. Zallé)
- Travail en comité restreint sur la conception du projet : objectifs, partenariat, activités, résultats attendus.

Jour 3 – Mercredi 21 juillet (08h45 – 12h30 & 14h30 – ...)

- Exposé et validation de la conception du projet (J. Wellens)
- Planification détaillée et définitions des instruments de l'intervention identifiée sous la référence BF/04-02 et intitulée « Renforcement structurel de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'agriculture dans le bassin du Kou »
- Fermeture de l'atelier par Monsieur le Haut Commissaire de la province Houet

Jour 4 – Jeudi 22 juillet

- Visite de terrain
- Rédaction des documents APEFE en comité restreint (partenaires du projet) : tableaux APEFE et rapport d'atelier

3 Identification et liste des participants

- Association Eau, Développement et Environnement (AEDE)
 - Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût (CREPA)
 - Comité de Gestion du Bassin du Kou (CGBK)
 - Commune de Bobo-Dioulasso
 - Direction Générale de l'Hydraulique Agricole (DGHA)
 - Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins (DRAHRH-HB)
 - Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)
 - Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
 - Office National de l'Eau et de l'Assainissement
 - Projet d'Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou (BKF/007 – PAFDK)
-
- Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger (APEFE, Burkina Faso)
 - Département des Sciences et gestion de l'Environnement de l'ULg (ex-FUL)
 - Ministère de la Région Wallonne – Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement – Division de l'Eau (MRW-DGRNE)

Agenda mission S.Geerts – Juillet 2004

05/07/2004	Voyage au Burkina Faso Accueil à Ouagadougou	
06/07/2004	Voyage à Bobo-Dioulasso Accueil et installation dans la maison de J.Wellens Connaissance avec Bobo-Dioulasso	
07/07/2004	Accueil au DRAHRH Installation au bureau Installation des logiciels	
08/07/2004	Consultations des rapports temporaires Discussion des rapports intermédiaires avec J.Wellens Discussion sur les données disponibles avec J.Wellens	
09/07/2004	Vérification du matériel de labo employé Nettoyage des données	
10/07/2004	Calcul des teneurs en eau pondérale pour des champs irrigués (3) Calcul des teneurs en eau pondérale pour les champs irrigués (3) Vérification préliminaire des teneurs en eau observées	
11/07/2004	Consultation du littérature appropriée précédente. Temps libre.	
12/07/2004	Calibrage du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau pour le champ de maïs n° 1	Simulation final (champ 1) = ok
13/07/2004	Testes de champ à Bama : étude de l'environnement pédologique Calibrage du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau pour le champ de maïs n° 1 : finalisation et rédaction. Simulations des champs de bananes (bilan d'eau)	
14/07/2004	Tests de labo sur les teneurs en eau pondérales (sondages) Calibrage du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau pour le champ de maïs n° 2	
15/07/2004	Calibrage du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau pour le champ de maïs n° 2 Tentative de simulation du champ de bananes (mi-saison) avec le logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau	Simulation final (champ 2) = ok
16/07/2004	Tentative de simulation du champ de bananes (mi-saison) avec le logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau	Simulation final (Bananes) = ok
17/07/2004	Préparation des présentations pour l'atelier des experts "Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou: agir localement pour réfléchir globalement". (Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 19-21 juillet)	
18/07/2004	Temps libre	

19/07/2004	Calibrage du logiciel BUDGET au niveau du bilan d'eau pour le champ de maïs n° 3 Assistance à l'atelier des experts "Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou: agir localement pour réfléchir globalement"	Données incomplètes (champ 3) : interruption des simulations
20/07/2004	Rédaction du rapport sur les simulations du bilan d'eau Assistance à l'atelier des experts "Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou: agir localement pour réfléchir globalement"	
21/07/2004	Simulation des rendements des deux champs de maïs (2004) Résimulation des rendements de maïs des années : 1998 2000 2001 2002 Assistance à l'atelier des experts "Gestion des ressources en eau dans le bassin du Kou: agir localement pour réfléchir globalement"	
22/07/2004	Rédaction du rapport technique des simulations des rendements	
23/07/2004	Rédaction du rapport technique des simulations des rendements Préparation des simulations du bilan d'eau (~tensiomètre) : campagne 2002	
24/07/2004	Temps libre	
25/07/2004	Visite du terrain à Diaradougou : inspection des champs de test Temps libre	
26/07/2004	Simulation des rendements au niveau régional	
27/07/2004	Simulation des rendements au niveau régional Rédaction du rapport de mission VLIR et des fiches techniques	Fin des simulations régionales
28/07/2004	Rédaction du rapport de mission VLIR Simulations du bilan d'eau (~tensiomètre) : campagne 2002	
29/07/2004	Préparation du transport des données Finalisation de la mission Voyage à Ouagadougou	
30/07/2004	Réunion à Ouagadougou – EIER avec Hamma Yacouba (Directeur des études) Voyage en Belgique	12.00h : fin de la mission
31/07/2004	Arrivée en Belgique	

Référence bibliographique

- Albert, K.D., (2000). Système d'Information Géographique pour le Burkina Faso.
- Allen, R.G., (1994). Memorandum on application of FAO-33 yield functions. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA, pp:3.
- Allen, R., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Rome, Italy. 300p.
- Barro, M. (2003). Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso moyennant des tensiomètres. Rapport de stage. GE-eau, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso. 29.
- Barro, M., (2004). Besoin en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ. Mémoire de fin d'études. GE-eau, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso. 70 p.
- Barro, S.E., (2003). Etudes d'avant projet sommaire et de faisabilité du projet du barrage de Samandeni : volet pédologie et agronomie. Rapport provisoire.55pages.
- Barro, S.E., (2004). Géomorphologie de la région de la plaine de Banzon ; sous presse.
- Boulet, R. et Fauck, R., (1976). République de Haute volta. Ressources en sols : Carte à 1/500 000 des unités agronomiques déduites de la carte pédologique Ouest-sud. ORSTOM, Minist. Coop. Paris.
- Boulet, R. et Fauck, R., (1976). Notice de la carte des ressources en sols. ORSTOM, Minist. Coop. Paris
- BUNASOLS, (1990). Diagnostic de la fertilité dans les parcelles de la vallée du Kou. Etude pédologique de la zone d'extension du Kou et de Miami. Rapport technique n°32 32p
- BUNASOLS, (1990). Méthodes, chimiques
- BUNASOLS, (1990). Manuel pour l'évaluation des terres ; doc. Tech. n°7 Ouagadougou181pages.
- BUNASOLS, (2003). Etude morpho-pédologique de la Province du Houet. Burkina Faso. Sous presse.

CERC,I (1978). Fiches techniques du riz, des cultures irriguées et des cultures fourragères. 72p.

Compaoré, M.L., (1999). Les données de base de l'irrigation. 2^{ème} Edition. Polycopié EIER, Ouagadougou, Burkina Faso. 176 p.

CPCS, (1967). Classification française des sols. Ed. 1967. Commission Pédologique de Classification des Sols/Laboratoire de géologie-pédologie de l'ENSA Grignon, France. 96 pages.

Dembélé, Y., (1991). Etudes des besoins en eau du riz irrigué dans différentes conditions pédoclimatiques au Burkina Faso. Actes séminaires de Ouagadougou. CTA/ISESCO. 118-127.

Doorenbos, J., Kassam, A.H., (1979) Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 33. Rome, Italie, 193p.

Doorenbos, J. et Kassam, A.H., (1986). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper N°33. Rome, Italy. 193p.

Drapeau, B., (2004). Evaluation de l'irrigation à l'aide de BUDGET et développement des fiches d'aide à la planification des irrigations. Mémoire de fin d'études. GE-eau, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso. 62p.

FAO, (1976). Cadre pour l'évaluation des terres. Bull. pédologique n°32. FAO ROME

FAO, (1977). Directive pour la description des sols. 2ème édition FAO-ROME.

FAO, (1984). Land evaluation for forestry. FAO forestry paper n°48 ; FAO-ROME.

FAO/ISRIC, (1999). Base de référence mondiale pour les ressources en sols ; 96 pages.

FAO/ISRIC, (2001). Base de référence mondiale pour les ressources en sols ; (Document revu provisoire).

Geerts S., (2003). Analyse des risques, amélioration des rendements et validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études. GE-eau, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven. Leuven, Belgique. 111 p.

Guillobez, S. et Raunet, M. République de Haute volta. Haute vallée de la volta noire schéma directeur d'aménagement : Carte morpho-pédologique. Echelle 1/100.000è. IRAT/GERSAR.

Hanks, R.J., (1974). Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron. J., 66 :660-664.

Hottin, G. et Ouedraogo, F., (1975). Carte géologique de Haute volta; Echelle 1/10.000è BUMIGEB-Burkina Faso.

IWACO-BERA, (1988). Etude de prélèvement d'eau entre la Guinguette et la prise de Diaradougou. Rapport Final. 32 p.

Jensen, M.E., (1968). Water consumption by agricultural plants. Chap. 1 in Water Deficits and Plant growth, Vol II, T. Kozlowski, ed., Academic Press, New York, p. 1-22.

Kipkorir, E.C. & Raes, D., (2002). Transformation of Doorenbos and Kassam's yield response to water factor to Jensen's sensitivity index. Irrigation and Drainage systems 16(1): 47-52.

Kipkorir, E.C., Raes, D. & Massawe, B., (2002). Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya. Agricultural water management 56: 229-240.

Lahcen, O., (2000). Exploitation et entretien des réseaux d'irrigation du périmètre rizicole irrigué de la Vallée du Kou. Maroc. 52 p.

Leprun et Moreau, R., (1968). Etude pédologique de la Haute-Volta, Région Ouest-Nord ; carte échelle 1/500 000. Rapport ORSTOM.

Ministère de la Coopération Française, (1991). Mémento de l'Agronomie. Ministère de la Coopération. France. 1635 p.

Moreau, R., Rieffel, J.M, et Guichard, E., (1969). Carte pédologique de reconnaissance de la république de Haute-Volta, Ouest-Sud. Echelle 1/500 000. Plus rapport. ORSTOM. Centre de DAKAR.

Munsell, C., (1975). Soil color charts. Edit. 1975.

Pieri, C., (1989). Fertilité des terres de savane : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT, Paris. 444p

Projet Vallée du Kou, (1988). Les membres de la cooperative des exploitants de la Vallée du Kou. Bama, Burkina Faso.

Raes, D., (1982). A summary simulation model of the water budget of a cropped soil. Dissertations de Agricultura n° 122. K.U.Leuven University, Leuven, Belgium. 110p.

Raes, D., B., Deckers, (1995). Simulation of Irrigation Water Requirements of Rice Schemes in the Senegal River Delta and Valley. Irrigated Rice in the Sahel: Prospects for Sustainable Development. (Miézan, K.M., Woporeis, M.C.S, Dingkuhn, M., Deckers, J., et Randolph, T.F., eds.) WARDA, Dakar, Senegal. 411-420.

Raes, D., (2001). Irrigation Agronomy. IUPWARE lecture notes. Belgique. 288 p.

Raes, D., (2002). BUDGET, a soil water and salt balance model: Reference manual. (Version 5.0, June 2002). Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium. 83p. (voir aussi: <http://www.iupware.be>)

Reinoud, P., (1991). Rapport final sur la vallée du Kou. 121p.

SAED, (1993). Bilan d'eau et coût d'énergie de perimeters rizicoles. Bulletin Technique n° 6. Sénégal. 93 p.

Sedogo P.M., (1993). Evolution des sols ferrugineux tropicaux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur leur fertilité. Thèse de Doctorat es sciences, 353pp.

Sivakumar, M.V.K., (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in the southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. Agric. For. Meteorol., 42: p. 295-305.

SOGREAH, Dakouré, D., (1993). Etude hydrogéochimique des aquifères de la zone sédimentaire de Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

SOGREAH, Compaoré, N.F. (1993). Etude des ressources en eau souterraine de la zone sédimentaire de la région de Bobo-Dioulasso. Test de productivité des aquifères G.k.s. et G.g.q.. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Soltner, D., (1983). Les bases de la production végétale. Le sol, le climat, la plante. Tome 1 : Le sol. Sciences et techniques agricoles, Angers, 455pp

Thiombiano (2003). Etudes d'avant projet sommaire et de faisabilité du projet du barrage de Samandeni : Géologie et Hydrogéologie.

Traore, S., Gombert, P., (1997). Variations des débits interannuels de la source de la Guingette. Ministère de l'Eau et de l'Environnement. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Wellens, J. et Compaoré N.F., (2003). Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation – GEeau. Rapport Annuel No 1 (décembre 2001 – Novembre 2002). Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ; Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso & Katholieke Universiteit Leuven, Département Gestion des Terres, Leuven, Belgique. 123 p.

Wellens, J. et Compaoré N.F., (2004). Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation – GEeau. Rapport Annuel No 2 (décembre 2002 – Novembre 2003). Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ; Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso & Katholieke Universiteit Leuven, Département Gestion des Terres, Leuven, Belgique. 141 p.