



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

Rapport Annuel

No 2 : Décembre 2002 - Novembre 2003 (Janvier 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 BP 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 2 : Décembre 2002

- Novembre 2003

(Janvier 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 figures & tableaux	v
Liste des photos	ix

Avant Propos

1 Activités annuelles	2
1.1 Résumé des objectifs des activités	2
1.2 Résumé des activités réalisées	2
1.2.1 Inventorier les caractéristiques d'AVSWAT et Mike Basin	2
1.2.2 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique	2
1.2.3 Calibration et validation du modèle hydrologique	4
1.2.4 Bulletins techniques	4
1.2.5 Traitement des images	4
1.2.6 Cartes pédologiques et topographiques	5
1.2.7 Collecte des paramètres des modèles BUDGET et BIRIZ	5
1.2.8 Développement, calibration et validation des outils	6
1.3 Résumé et justification des activités non réalisés	6
1.4 Emploi du temps : décembre 2002 – novembre 2003	7
1.5 Planning : décembre 2003 – novembre 2004	8

Recherche

2 Agro-Climatologie	10
2.1 Pluviométrie	11
2.1.1 Généralités	12
2.1.2 Test d'homogénéité	14
2.1.3 Analyse de fréquence	15
2.1.4 Distribution spatiale	16
2.2 Facteurs climatiques	18
2.2.1 Température	18
2.2.2 Les vents	19
2.2.3 Rayonnement	20
2.2.4 L'hygrométrie	21
2.3 Evapotranspiration de référence	22
2.3.1 Méthode de Penman-Monteith	22
2.3.2 Résultats pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	23

2.4	Analyse de la saison culture	25
2.4.1	Début de l'hivernage – règles agronomiques	25
2.4.1.1	Les définitions du début de l'hivernage	26
2.4.1.2	Evaluation des différents critères à l'aide du logiciel BUDGET	26
2.4.1.3	Le choix du critère le mieux adapté	27
2.4.1.4	Analyse de fréquence pour la date de début	31
2.4.2	Cessation de l'hivernage et longueur de la saison de la culture – règles agronomiques	31
2.4.2.1	Cessation de l'hivernage	31
2.4.2.2	Longueur de la saison de culture	32
2.4.3	Analyse de la saison de culture – règle météorologique	33
2.4.4	Risques pour l'agriculture pluviale	34
3	Physique du Sol	37
3.1	Texture	37
3.1.1	Diaradougou	38
3.1.2	Vallée du Kou	38
3.2	Puits de profil	39
3.3	Densité apparente	42
3.4	Conductivité saturée du sol	43
3.5	Teneur en eau	43
3.6	Courbe de rétention	44
3.7	Discussion et conclusion	46
4	Synthèse hydrologique sur le Bassin du Kou	49
4.1	Etat des lieux des stations du bassin	49
4.1.1	Réseau pluviométrique	50
4.1.2	Réseau hydrométrique	50
4.2	Le logiciel SMAP	52
4.2.1	Historique	52
4.2.2	Méthodologie générale	53
4.2.3	Fonctionnement du modèle SMAP	53
4.2.4	Calage du modèle	56
4.3	Modélisation	57
4.3.1	Données d'entrée	57
4.3.2	Calage	58
4.3.3	Résultats	59
4.3.3.1	Analyse des courbes	59
4.3.3.2	Validation	64
4.3.3.3	Qualité du calage	64
4.3.4	Conclusions	65
5	Validation du modèle BUDGET	68
5.1	Le logiciel BUDGET et le bilan d'eau	68
5.2	Les paramètres d'entrée	70
5.3	Les simulations	70
5.4	Les récoltes	72
5.4.1	Méthodologie	72
5.4.2	Les simulations	73
5.5	Discussion	73

6 Amélioration des rendements	75
6.1 Ensemencement tardif	76
6.1.1 Méthodologie	76
6.1.2 Résultats des simulations	77
6.1.3 Discussion et conclusion	80
6.2 Irrigation supplémentaire	80
6.2.1 Méthodologie	80
6.2.2 Simulations et résultats	81
6.2.3 Discussion et conclusion	82
7 Le périmètre irrigué de la Vallée du Kou	84
7.1 Infrastructure hydraulique	85
7.1.1 La prise d'eau	85
7.1.2 Le canal d'amenée	85
7.1.3 Le canal principal, les secondaires, les tertiaires,...	87
7.1.4 Drainage	89
7.2 Gestion du périmètre	89
7.2.1 Calendrier agricole	89
7.2.2 La gestion	90
7.2.3 Irrigation	91
7.2.4 Rendements	91
7.3 Besoins en eau des cultures	92
7.4 Climatologie	95
7.5 Caractéristiques des sols	95
7.6 Bilan d'eau	96
7.6.1 Paramètres du bilan d'eau	96
7.6.1.1 Irrigation	96
7.6.1.2 Précipitation efficace	97
7.6.1.3 Imbibition	98
7.6.1.4 Evapotranspiration du riz	98
7.6.1.5 Percolation	99
7.6.1.6 Vidange	99
7.6.1.7 Pertes	100
7.6.2 Bilan d'eau	101
7.6.2.1 Saison sèche	101
7.6.2.2 Hivernage	102
7.7 Application du logiciel BIRIZ	103
7.7.1 Données d'input	103
7.7.2 Output	104
7.7.3 Efficiences de distribution	105

Gestion

8 Etudiants encadrés & formations	108
9 Coopération avec des partis tiers	111

Référence bibliographique	114
----------------------------------	------------

Annexe

A Rangement de Kendall	120
B Le logiciel BUDGET	121
C BUDGET – Paramètres d'entrée	123

Missions

Figures & Tableaux

Carte 2.1	Position du Burkina par rapport au F.I.T.	11
Carte 2.2	Isohyètes du Burkina Faso	12
Carte 2.3	Localisation des stations météorologiques étudiées	16
Carte 4.1	Réseau pluviométrique et hydrométrique	49
Carte 4.2	Polygones de Thiessen avec sous-bassins	58
Figure 2.1	Précipitation annuelle mesurée à Bobo-Dioulasso pour une longue période de 1959-2000	13
Figure 2.2	Moyenne des précipitations décennales dans Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	14
Figure 2.3	Test d'homogénéité de la pluviométrie annuelle pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	14
Figure 2.4	Pluie décennale fiable pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou avec 20, 50 et 80% de probabilité de dépassement	16
Figure 2.5	Variation des précipitations moyennes annuelles dans les différentes stations	17
Figure 2.6	Variation des températures moyennes mensuelles à Bobo-Dioulasso	19
Figure 2.7	Moyenne mensuelle de la vitesse du vent à 2 mètres du sol à Bobo-Dioulasso	20
Figure 2.8	Moyenne mensuelle du rayonnement solaire à Bobo-Dioulasso	21
Figure 2.9	Moyenne mensuelle de l'humidité relative à Bobo-Dioulasso	21
Figure 2.10	Evapotranspiration de référence moyenne pour la Vallée du Kou et Bobo-Dioulasso	23
Figure 2.11	Vitesse du vent à Bobo-Dioulasso et à Bama	24
Figure 2.12	Température moyenne et humidité relative à Bobo-Dioulasso et à Bama	24
Figure 2.13	Analyse de fréquence et probabilité de dépassement pour le nombre de journées avec un manque d'eau nocif pendant les 30 premières journées de la période de croissance, pour les 5 critères de début de l'hivernage	29
Figure 2.14	Analyse de fréquence; b, d, f, h, j la probabilité de dépassement pour la durée de la période avec du stress hydrique pendant les 30 premières journées de la période de croissance, pour les 5 critères de début de l'hivernage	30
Figure 2.15	Diagrammes ombro-thermiques pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	33
Figure 2.16	Probabilité d'apparition d'une période de sécheresse pendant 6 périodes de l'année pour la Vallée du Kou et Bobo-Dioulasso	34

Figure 3.1	Courbes de rétention de l'eau pour différents types de sol	45
Figure 3.2	Courbes caractéristiques de rétention de l'eau pour les champs de test	45
Figure 4.1	Hydrogrammes superposés des stations hydrométriques	51
Figure 4.2	Principe de fonctionnement du modèle SMAP	54
Figure 4.3	Simulation décadaire sur les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé	60
Figure 4.4	Cumul des apports décadaires observés et simulés pour les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé	61
Figure 4.5	Simulation mensuelle sur les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé	62
Figure 4.6	Cumul des apports décadaires observés et simulés pour les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé	63
Figure 5.1	Teneur en eau totale mesurée et simulée pour le champ de test 5 avec du maïs (culture pluviale) avec 4 cas d'irrigation supplémentaire pendant l'année 2002	71
Figure 5.2	Teneur en eau totale mesurée et simulée pour le champ de test 14 avec du maïs (culture pluviale) pendant l'année 2002	72
Figure 5.3	Rendements relatifs simulés avec le logiciel BUDGET comparés aux rendements relatifs réels	73
Figure 6.1	Rendements relatifs simulés avec le logiciel BUDGET pour le maïs et le sorgho à Bobo-Dioulasso pour l'ensemencement normal et tardif	77
Figure 6.2	Rendements relatifs prévus par BUDGET pour le maïs avec date de semis normal et tardive à Bobo-Dioulasso	81
Figure 6.3	Rendements relatifs prévus par BUDGET pour le maïs avec date de semis normal et post normal dans la Vallée du Kou	81
Figure 7.1	Vue générale du périmètre irrigué de la Vallée du Kou	88
Figure 7.2	Besoins en eau d'irrigation calculés avec BIRIZ pour les deux campagnes	105
Tableau 1.1	Emploi du temps : décembre 2002 – novembre 2003	7
Tableau 1.2	Planning : décembre 2003 – novembre 2004	8
Tableau 2.1	Classification des régimes pluviométriques d'une année pour deux stations météorologiques dans le Sud-ouest du Burkina Faso	15
Tableau 2.2	Analyse fréquentielle des précipitations annuelles	15
Tableau 2.3	Moyennes annuelles des hauteurs de pluie des différentes stations	17
Tableau 2.4	Corrélation entre les précipitations des stations voisines. Employant la méthode de rangement de Kendall	18
Tableau 2.5	Stations météorologiques étudiées	18
Tableau 2.6	Nombre de journées avec stress hydrique nocif moyen par année et la longueur moyenne d'une période avec stress hydrique nocif pour les 5 critères du début de l'hivernage	28
Tableau 2.7	Dates de début de l'hivernage moyennes (selon Sivakumar 1988) pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou et analyse de fréquence	31

Tableau 2.8	Dates de cessation de l'hivernage moyennes (d'après Stern et al., 1982) pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	32
Tableau 2.9	Longueur de la saison de culture moyenne pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou	32
Tableau 2.10	Durée des différents stades de la saison de culture pour le cas d'une année humide, normale et sèche pour Bobo-Dioulasso	33
Tableau 2.11	Durée des différents stades de la saison de culture pour le cas d'une année humide, normale et sèche pour la Vallée du Kou	33
Tableau 3.1	Classes texturales pour les champs de test à Diaradougou	38
Tableau 3.2	Description du profil du champ 1	40
Tableau 3.3	Description du profil du champ 5	40
Tableau 3.4	Description du profil du champ 14	41
Tableau 3.5	Description du profil dans le bas-fonds	41
Tableau 3.6	Densités apparentes à différentes profondeurs	42
Tableau 3.7	Les valeurs Ksat pour les différents champs de test à Diaradougou et la Vallée du Kou (Bama)	43
Tableau 3.8	Teneurs en eau pour différentes valeurs pF et différentes profondeurs dans les champs de test	46
Tableau 4.1	Liste des stations pluviométriques du bassin	50
Tableau 4.2	Récapitulatif des stations hydrométriques du bassin du Kou	51
Tableau 4.3	Paramètres d'entrée du modèle SMAP	56
Tableau 4.4	Périodes couvertes par les données disponibles de débits observés	57
Tableau 4.5	Coefficients de Thiessen pour le calcul des pluies moyennes par sous-bassin	58
Tableau 4.6	Paramètres de calage : simulations mensuelles et décadaires	59
Tableau 4.7	Coefficients d'écoulement et lames d'eau écoulées par station hydrométrique	59
Tableau 4.8	Critère de validation de Nash	64
Tableau 4.9	Critères d'appréciation des résultats	65
Tableau 6.1	Dates de début de l'hivernage moyennes pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou et analyse de fréquence	76
Tableau 6.2	Pertes relatives moyennes de rendement avec intervalles de confiance pour un ensemencement normal et tardif pour Bobo-Dioulasso	77
Tableau 6.3	Pertes relatives moyennes de rendement avec intervalles de confiance pour un ensemencement normal, post normal et tardif pour la Vallée du Kou	78
Tableau 6.4	Pertes relatives moyennes de rendement à Bobo-Dioulasso pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison	78
Tableau 6.5	Pertes relatives moyennes de rendement dans la Vallée du Kou pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison	78
Tableau 6.6	Gains relatifs moyens de rendement pour l'ensemencement tardif à Bobo-Dioulasso pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison	79
Tableau 6.7	Gains relatifs moyens de rendement pour l'ensemencement post normal dans la Vallée du Kou pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la	79

	floraison	
Tableau 6.8	Rendement relatif moyen sous conditions pluviales et sous conditions d'irrigation supplémentaire pour les années avec un rendement relatif pluvial au dessous de 70%	82
Tableau 6.9	Nombre moyen d'irrigations avec une profondeur nette d'irrigation de 30 mm nécessaire pour les champs de maïs pendant la période initiale afin de stabiliser les rendements relatifs environ 70-80%	82
Tableau 7.1	Débits du Kou avant la prise de Diaradougou pendant la saison sèche et l'hivernage	85
Tableau 7.2	Débits mesurés le long du canal d'amenée	86
Tableau 7.3	Relation hauteur-débit dans le canal d'amenée de la Vallée du Kou	86
Tableau 7.4	Variations de débits journaliers de février 2001. Lecture à l'échelle	87
Tableau 7.5	Récapitulatif de la nomenclature des canaux et leurs débits	88
Tableau 7.6	Répartition des superficies par canaux secondaires	88
Tableau 7.7	Calendrier agricole au niveau du périmètre rizicole	89
Tableau 7.8	Calendrier agricole de l'hivernage 2002 à la Vallée du Kou	90
Tableau 7.9	Rendements en T/ha durant les deux campagnes pour la période 1995-1998	91
Tableau 7.10	Mesures de rendement suivant la méthode des carrés de rendements	92
Tableau 7.11	Besoins en eau en l/s pour les blocs 2, 2a et le total pour tous les blocs	93
Tableau 7.12	Mesures réussies de ETriz et percolation sur quelques rizières	94
Tableau 7.13	Résultats des lysimètres	94
Tableau 7.14	Pertes par ETriz et percolation	94
Tableau 7.15	Quantités décadaires d'eau entrant au périmètre pendant la première et la deuxième campagne	97
Tableau 7.16	Précipitations décadaires totales et efficaces	97
Tableau 7.17	Teneur en eau des sols et la quantité nécessaire pour l'imbibition	98
Tableau 7.18	Evapotranspiration décadaire de riz	99
Tableau 7.19	Surface mouillée et volume d'eau perdu par percolation dans les canaux quaternaires	100
Tableau 7.20	Consommations décadaires d'eau et bilan d'eau pendant la saison sèche	101
Tableau 7.21	Consommations décadaires d'eau et bilan d'eau pendant l'hivernage	102
Tableau 7.22	Besoins en eau d'irrigation pour les deux campagnes de riziculture calculés par BUDGET	104

Photos

- 1 g Préparation d'un champ de bananiers (Diaradougou)
- m Bassins d'eau 'potable' aux sources de Pala
- d Marché des légumes à Bobo-Dioulasso
- 9 g Bama – Vallée du Kou
- m Dioulassoba – Bobo-Dioulasso
- d Voiture du projet avec chauffeur (Douna)
- 36 g Etude pédo-morphologique de M. E. Barro (Dofiguisso)
- m Préparation du champ collectif (Diaradougou)
- d Préparation des briques en banco pour la construction des maisons (Périmètre irrigué de la Vallée du Kou)
- 48 g Eléments d'échelles à Desso
- m Linnigraphe et éléments d'échelles à la confluence Niamé Baoulé
- d Linnigraphe et éléments d'échelles à la confluence Niamé Baoulé
- 67 g Cadre de rendement pour mesurer les quantités du riz récoltées
- m Récolte à Diaradougou
- d Mesure de la teneur en eau à l'aide des tensiomètres (Bama)
- 83 g Vanne à l'entrée d'un canal tertiaire (Vallée du Kou)
- m Canal d'amenée avec seuil (Vallée du Kou)
- d Périmètre maraîcher de Bama
- 107 g Nettoyage des anneaux (test d'infiltration à double anneau)
- m Greniers
- d Bama
- 110 g L'arbre à palabre
- m Pillage du maïs
- d Le mare à Bama/Vallée du Kou



- Activités annuelles -

1

Activités annuelles

1.1 Résumé des objectifs des activités

Comme prévues dans le « Rapport de Mission de 15-23 février 2002 » de Raes et Van Orshoven et dans le « planning : décembre 2002-novembre 2003 » du premier rapport annuel, les activités à entreprendre dans la deuxième année du projet étaient en ordre chronologique :

- 1) inventorier les caractéristiques d'AVSWAT et MIKE Basin ;
- 2) établissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique ;
- 3) calibration et validation du modèle hydrologique ;
- 4) transformer et adapter les thèses en bulletins techniques ;
- 5) traitement des images et analyse temporelle et spatiale de la végétation ;
- 6) étudier la validité des cartes pédologiques et topographiques pour des analyses avec AVSWAT ou MikeBassin ;
- 7) collecte des paramètres des modèles BUDGET et BIRIZ ;
- 8) développement, calibration et validation des outils (BUDGET, BIRIZ, ...).

1.2 Résumé des activités réalisées

1.2.1 Inventorier les caractéristiques d'AVSWAT et Mike Basin

Du 20 février 2003 jusqu'au 26 février 2003, Joost WELLENS, chef du projet, et Nestor COMPAORE, l'homologue du chef du projet, ont participé à une formation en MikeBassin organisé par le programme GIRE et dispensée par le DHI.

MIKE Basin est un modèle qui se prête facilement pour résoudre toute sorte de problème qui exige une gestion intégrée des ressources en eau. Son intégration dans ArcView 3.2 est aussi un grand avantage, car le projet avait déjà choisi de construire son outil de gestion sous ArcView 3.2.

Avec MIKE Basin il est impossible de modéliser les écoulements. Pour une telle modélisation le programme GIRE a choisi le modèle SMAP. C'est un modèle simplifié qui permet la transformation des pluies en débit à partir des caractéristiques physiographiques du bassin. Le modèle est disponible sous Excel. L'approche méthodologique repose sur l'utilisation des séries de précipitations de longues durées pour reconstituer ou générer des séries d'écoulements de durée équivalente.

A l'instant la fiabilité du modèle SMAP ne s'est pas convaincu le projet (avec son pas de temps d'un mois) ce qui fait que l'on préfère continuer à étudier les possibilités de AVSWAT.

AVSWAT est aussi un modèle de simulation des écoulements d'eau, couplé à ArcView 3.2. AVSWAT demande beaucoup plus de données d'entrée comme SMAP et a un pas de temps journalier ce qui le rend plus fiable. Les données d'entrée de AVSWAT sont :

- carte hydrographique
- modèle numérique de terrain (MNT)
- occupation du sol
- stations météorologiques

SMAP est bon pour simuler l'apport en eau par écoulement au niveau des cours d'eau. Les résultats sont des débits qui entrent dans un fleuve en un point d'un sous-bassin. Quant à AVSWAT, il prend aussi en compte l'impact des écoulements au niveau du bassin même, mais son approche est beaucoup plus spatiale. L'effet d'un écoulement simulé avec AVSWAT est beaucoup plus qu'alimenter un fleuve, le stockage prend aussi en compte de l'eau dans la zone d'écoulement et la simulation de la disponibilité de celle-ci pour la végétation.

Dans la mémoire de fin d'étude de Félicité Chabi-Gonni de l'EIER, intitulé « Synthèse hydrologique sur la Vallée du Kou. Mis en place d'un système de suivi et d'évaluation de la ressource », l'utilisation de Mike Basin et SMAP pour le projet est étudié. Les résultats sont aussi publiés dans le bulletin technique « Synthèse hydrologique du Bassin du Kou (à l'aide de SMAP).

Une profonde comparaison entre les différents modèles Mike Basin – SMAP et AVSWAT est reportée pour la troisième année du projet.

1.2.2 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique

L'établissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique est pour la plus grande partie fait. Les résultats sont regroupés dans les bulletins techniques :

- Agro-Climatologie ;
- Bulletin hydrologique du bassin versant du Kou : 1980 ;
- Synthèse hydrologique du bassin du Kou (à l'aide de SMAP).

Des cartes pédologiques et topographiques sont en train d'être élaborées (voire aussi § 1.2.6).

1.2.3 Calibration et validation du modèle hydrologique

Une calibration et validation du modèle de ruissellement SMAP est présenté dans le bulletin technique « Synthèse hydrologique du bassin du Kou (à l'aide de SMAP). Ces actions vont continuer pendant la troisième année du projet et vont être complétées avec des analyses faites avec AvSWAT.

1.2.4 Bulletins techniques

Plusieurs bulletins techniques ont été rédigés ou sont en voie de rédaction par le projet, résumant et documentant les acquis principaux de plusieurs actions et tâches. Ces bulletins sont énumérés ci-dessous :

- Publication de la présentation du bassin versant dans le Bulletin Technique N° 1 ;
- Publication de l'analyse du climat dans le Bulletin Technique N° 2 ;
- Publication des caractéristiques physiques des horizons des différents types de sol dans la zone d'intervention dans le Bulletin Technique N° 3 ;
- Publication de l'Hydrologie du bassin versant du Kou (1980 – 2002) dans le Bulletin Technique N° 4 ;
- Publication de la synthèse hydrologique du bassin versant du Kou à l'aide de SMAP dans le Bulletin Technique N° 5 ;
- Publication de la validation du modèle du bilan d'eau BUDGET & amélioration des rendements dans le Bulletin Technique N° 6 ;
- Publication des résultats du suivi du périmètre irrigué de la Vallée du Kou (BIRIZ) dans le Bulletin Technique N° 7.

Pendant la troisième année cette série de bulletins techniques sera complétée avec les publications suivantes :

- Publication de Fiches d'aide à la planification de l'irrigation dans le Bulletin Technique N° 9 ;
- Publication de la suivi-évaluation des ressources en eau à l'échelle d'un bassin versant (Vallée du Kou) dans le Bulletin Technique N° 10

1.2.5 Traitement des images

De mi-juin au début juillet 2003, Mons. Nestor Compaoré, homologue du coopérant technique et scientifique du projet, a suivi une formation à la K.U.Leuven. Cette formation portait sur la technologie des systèmes d'informations géographiques et de la télédétection et sur leur application dans le domaine de la gestion des ressources en eau dans l'agriculture.

Malheureusement à cause d'un manque de temps le projet n'a pas pu faire le traitement des images lui-même. Une interprétation des photos aériennes pour l'élaboration de la carte d'occupation des terres du bassin versant du Kou a été faite en collaboration avec le projet « Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou ». Ce projet est un projet de l'Agence Luxembourgeoise pour la Coopération au Développement.

1.2.6 Cartes pédologiques et topographiques

Afin d'améliorer la carte pédologique présentée dans le premier rapport annuel, une étude morpho-pédologique du bassin versant du Kou est en train d'être refaite avec M. Barro, agro-pédologue et consultant indépendant, lié à l'INERA. Les résultats sont attendus pour début janvier, la digitalisation de la carte sera faite pendant le mois de janvier.

Une étude topographique avec GPS différentiel pour compléter la carte digitale existante des courbes de hauteur est prévue pour les mois de janvier et février. Le traitement des résultats en SURFER sera garanti par M. Nestor Compaoré, homologue du chef du projet.

1.2.7 Collecte des paramètres des modèles BUDGET et BIRIZ

Les résultats de la collecte des paramètres des modèles BUDGET et BIRIZ sont publiés dans les bulletins techniques :

- Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET ;
- Périmètre irrigué de la Vallée du Kou.

Ces actions continueront durant la troisième année du projet en étroite collaboration avec le projet APPIA.

Le projet APPIA est financé par la Coopération française et 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 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.

La collaboration GE-EAU - APPIA est concrétisée par l'affectation durant 8 mois (novembre 2003 – juin 2004) par APPIA de deux ingénieurs sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou à Bama, d'une part, et sur le périmètre informel de Diaradougou d'autre part, afin d'effectuer un diagnostic pluridisciplinaire des performances de ces aménagements. Ces ingénieurs intégreront les informations et études existantes, ainsi que les données collectées par GE-EAU. Ils effectueront la collecte de données complémentaires sur les exploitations et le périmètre. Ils compléteront l'étude physique et hydraulique déjà effectuée par GE-EAU et assisteront GE-EAU dans la validation des modèles BUDGET et BIRIZ. Le travail d'analyse débouchera sur des propositions concrètes de solutions à mettre en œuvre à court et à moyen terme sur le périmètre et ses alentours (aménagements, règles de tour d'eau, calendriers d'irrigation,...). L'apport de GE-EAU est limité à l'encadrement de la partie hydraulique et à la coordination des activités de terrain.

1.2.8 Développement, calibration et validation des outils

Le développement d'un modèle d'aménagement des bas-fonds (développement et comparaison entre les débits mesurés et simulés) a été supprimé. Les bas-fonds dans le bassin versant sélectionné ne sont pas aménagés.

Pour la calibration et validation des outils BUDGET et BIRIZ, voire § 1.2.7.

1.3 Résumé et justification des activités non réalisés

Les activités du projet sont déterminées par les choix des étudiants et des stagiaires des mémoires de fin d'études, proposées chaque année par le projet à l'EIER et à la K.U.Leuven.

A cause d'un manque d'intérêt chez les étudiants pour les sujets sur la télédétection et le traitement des images, le projet n'a pas pu aboutir ses activités dans ce domaine. On a néanmoins réussi à élaborer à base des photos aériennes une carte d'occupation des terres en collaboration avec le Projet d'Aménagement Participatif des Forêts Classées de Dindéresso et du Kou.

Un modèle d'aménagement des bas-fonds n'a non plus été développé, les bas-fonds dans la zone du projet n'étant pas encore aménagés.

1.4 Emploi du temps: décembre 2002–novembre 2003

Tableau 1.1 – Emploi du temps: décembre 2002 – novembre 2003

Mois	Activités
Décembre	<ul style="list-style-type: none"> - Rapport; - Mission de J. Wellens en Belgique; - Congé.
Janvier	<ul style="list-style-type: none"> - Préparation des activités de la 2^{ième} année du projet (collaborations, stages, campagnes de mesures, études); - Inventaire des caractéristiques d'AVSWAT; des besoins en paramètres; disponibilités.
Février	<ul style="list-style-type: none"> - Inventaire des caractéristiques de MikeBassin; les besoins en paramètres et disponibilités; - Inventaire des modèles hydrauliques; - Recherche des données hydrauliques.
Mars	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de F. Chabbi-Gonni (E.I.E.R.): "Synthèse hydrologique sur la Vallée du Kou. Mise en place d'un système de suivi et d'évaluation de la
Avril	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de F. Chabbi-Gonni.
Mai	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de F. Chabbi-Gonni; - Correction des mémoires belges de 2002.
Juin	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Dedewanou (France): "Participation à la caractérisation de la ressource en eau"; - Formation télédétection; - Mission de J. Wellens et N. Compaoré en Belgique; - Congé.
Juillet	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Dedewanou (France); - Stage de M. Barro (EIER): "Etudier l'usage des tensiomètres pour valider le modèle du bilan d'eau BUDGET".
Août	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Dedewanou; - Stage de M. Barro; - Post-stage de F. Chabbi-Gonni: "Bulletin Technique sur les Données Hydrologiques du Bassin du Kou".
Septembre	<ul style="list-style-type: none"> - Stage de M. Barro; - Post-stage de F. Chabbi-Gonni; - Traitement des photo aériennes pour l'occupation de terre; - Transformer et adapter les thèses de 2002 en bulletins techniques.
Octobre	<ul style="list-style-type: none"> - Post-stage de F. Chabbi-Gonni; - Digitaliser la carte de l'occupation de terre; - Traduction de la carte du sol; - Transformer et adapter les thèses de 2002 et 2003 en bulletins
Novembre	<ul style="list-style-type: none"> - Démarrage de la collaboration sur le terrain avec APPIA; - Rapport et Comptabilité.

1.5 Planning : décembre 2003 – novembre 2004

Tableau 1.2 – Planning: décembre 2003 – novembre 2004

Mois	Activités
Décembre	- Rapport; - Mission de D. Raes et de J. Van Orshoven.
Janvier	- Préparation des activités de la 3 ⁱ ème année du projet (collaborations, stages, campagnes de mesures, études); - Etude topographique du Bassin du Kou.
Février	- Etude topographique du Bassin du Kou; - Etude de l'usage d'ERDAS et initiation du traitement des images.
Mars	- Stages de l'E.I.E.R., sujets proposés: i) valider et calibrer les modèles de simulations ii) efficiences en irrigation iii) élaborer des calendriers d'irrigation iv) traitement des images, télédétection.
Avril	- Stages de l'E.I.E.R. (voire Mars); - Séminaire sur la gestion en eau à l'EIER organisé par le projet; - Finaliser les coucher de données pour les simulations en AVSWAT.
Mai	- Stages de l'E.I.E.R. (voire Mars); - Finaliser les coucher de données pour les simulations en AVSWAT.
Juin	- Transformer et adapter les thèses de 2003-2004 en bulletins techniques.
Juillet	- Préparer les simulations en AVSWAT et Mike Bassin.
Août	- Stages de la K.U.L., sujets proposés: i) traitement des images et analyse temporielle et spatiale de la végétation; ii) simuler les écoulements et la gestion en eau dans le Bassin du Kou à l'aide d'AVSWAT.
Septembre	- Stages de la K.U.L. (voire Août).
Octobre	- Stages de la K.U.L. (voire Août); - Rapportage et comptabilité.



- Agro-Climatologie -

2

Climatologie

La position géographique du Burkina confère à son climat un caractère soudano-sahélien marqué par le déplacement annuel du Front Inter Tropical (FIT) qui détermine deux grandes saisons : la saison sèche et la saison des pluies. Leur durée respective est fonction de la latitude, la saison humide se raccourcissant vers le nord.

Dans le Sud-Ouest, la latitude est la plus méridionale du Burkina et les conditions climatiques y sont les plus favorables : la saison des pluies dure 5 à 6 mois. On se trouve dans la zone soudanaise, qui est limitée au nord par l'isohyète 900 mm.

Les fluctuations du temps et du climat affectent significativement l'utilisation de l'eau et d'autres besoins notamment la production alimentaire.

Les stations de mesures sont nombreuses et possèdent des périodes d'observation variables. Si l'on s'en tient à la norme OMM (Organisation Météorologique Mondiale) qui est de 1 pluviomètre pour 600 à 900 Km², en zone tropicale plane on remarque que le bassin régional du Kou est suffisamment équipé. Cependant les postes sont mal répartis. Pour une bonne analyse spatiale des pluies, les stations relatives à la pluviométrie étaient aux différents postes soit à l'intérieur du bassin versant soit aux abords de celui-ci.

Les stations pluviométriques étudiées pour les analyses sont les stations de Bobo-Dioulasso, de la Vallée du Kou, d'Orodara, de Beregadougou et de Koumbia (Tableau 2.3 & Carte 2.3).

La collecte de ces données s'est faite auprès de la Direction de la Météorologie Nationale à Ouagadougou et l'IRD.

Des données des stations météorologiques de l'aéroport de Bobo-Dioulasso et de l'INERA à Bama (Vallée du Kou) ont été collectées. Il s'agit de données quotidiennes (température minimal et maximal, humidité relative minimal et maximal, vitesse de vent, évaporation de bac).

2.1 Pluviométrie

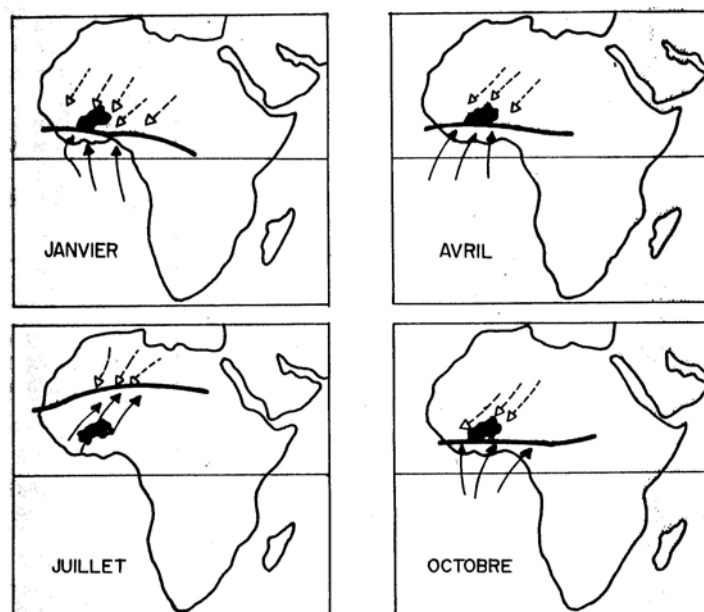
Les précipitations constituent le facteur primordial des régimes hydrologiques en produisant la matière première des débits des cours d'eau.

Le régime des pluies lié au climat est tributaire des flux d'air qui circulent des hautes pressions sahariennes à l'anticyclone de Sainte Hélène.

L'influence alternée des anticyclones est à l'origine des variations climatiques constatées :

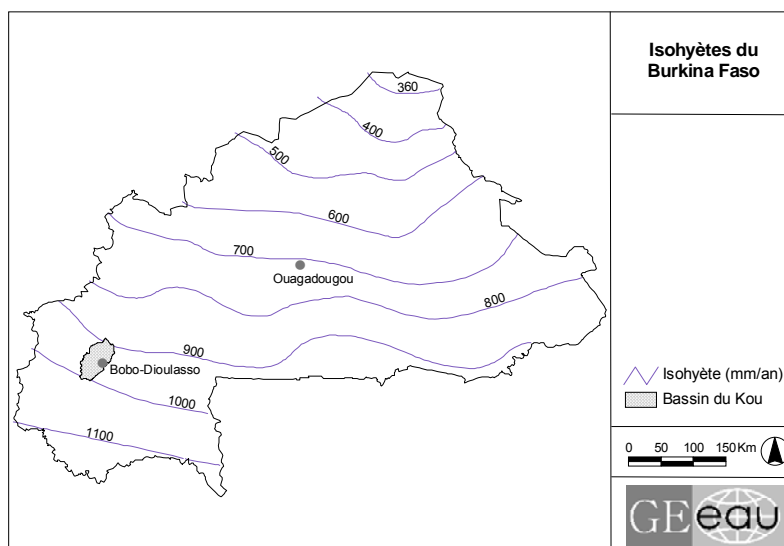
- Saison sèche : Novembre à Avril ;
- Saison des pluies : Avril-Mai à Octobre avec des périodes transitoires froides et chaudes.

En saison sèche, l'alizé continental, flux d'air sec appelé aussi harmattan, souffle des hautes pressions sahariennes en prenant une direction Nord-Est/Sud-Ouest. Sa rencontre avec le flux d'air humide ou alizé austral venant du Sud/Sud-Ouest appelé la mousson crée le front intertropical (F.I.T.) qui se déplace au cours de l'année du Golfe de Guinée (Janvier) à la latitude de 25° en Août. Le passage d'un flux à l'autre se produit deux fois par an, l'un en Avril et l'autre en Octobre (Carte 2.1) (Pigeonnière, 1996 ; Sahelconsult/F.E.T., 1997). La montée en latitude est plus lente (la mise en place de l'hivernage) que le retour.



Carte 2.1 - Position du Burkina par rapport au F.I.T.
(ligne épaisse : trace au sol du F.I.T. ; flèche pleine : principaux flux humides (mousson) ;
flèche pointillée : principaux flux secs (alizés))

Les précipitations sont inégalement réparties dans le temps et l'espace. Comme le montre la Carte 2.2 (isohyètes) la tendance est à une diminution du sud vers le nord. Dans la partie ouest de la zone, les isohyètes s'incurvent et montent vers le nord ; cet effet est dû aux reliefs élevés de la région de Sindou-Loumana qui induisent une augmentation de la pluviosité lors du passage des nuages de la mousson.



Carte 2.2 – Isohyètes du Burkina Faso

Un phénomène particulier engendre certaines années quelques pluies en décembre ou janvier (« pluies des mangues »). Une zone dépressionnaire située au-dessus du Sahara provoque une descente d'air polaire sur sa face occidentale et une remontée d'air chaude et humide sur la face orientale ; c'est cette dernière qui est à l'origine de ces épisodes pluvieux généralement modestes (rarement plus de 10 mm) (Sahelconsult/F.E.T. 1997 ; Gouvernement de Sénégal, 15/02/2002).

2.1.1 Généralités

Une courbe donnant les hauteurs de pluie dans le temps pour Bobo-Dioulasso est représentée dans la Figure 2.1. Cette figure fait clairement ressortir la variation des pluies dans le temps, les hauteurs varient globalement entre 600 mm et plus ou moins 1400 mm de pluie par an.

Dans la littérature (Carl Bro - GIRE, 2001) on a examiné les précipitations annuelles de 1902 à 2000 (données pas disponibles). L'examen montre que depuis une quarantaine d'années, la tendance de la pluviosité est à la baisse, avec des périodes de sécheresse accrue, spécialement dans les années 80 et une période d'amélioration entre 1985 et 1995.

Les conséquences de cette situation ont été :

- la baisse des débits des rivières (notamment ceux d'étiage liés au déversement des nappes) ;
- la baisse des nappes phréatiques, avec comme corollaire le tarissement de sources ;
- la dégradation du couvert végétal suite à une mortalité croissante des ligneux.

Il convient de rappeler qu'il n'est pas possible dans l'état actuel de la climatologie de prédire avec certitude, ou même avec un niveau de prévision raisonnable, une

tendance pour les prochaines décennies ; tout au plus peut-on produire des statistiques avec des probabilités de retour d'années sèches ou humides.

Figure 2.1 donne déjà une impression de cette tendance en baisse de pluviosité pour la région de Bobo-Dioulasso.

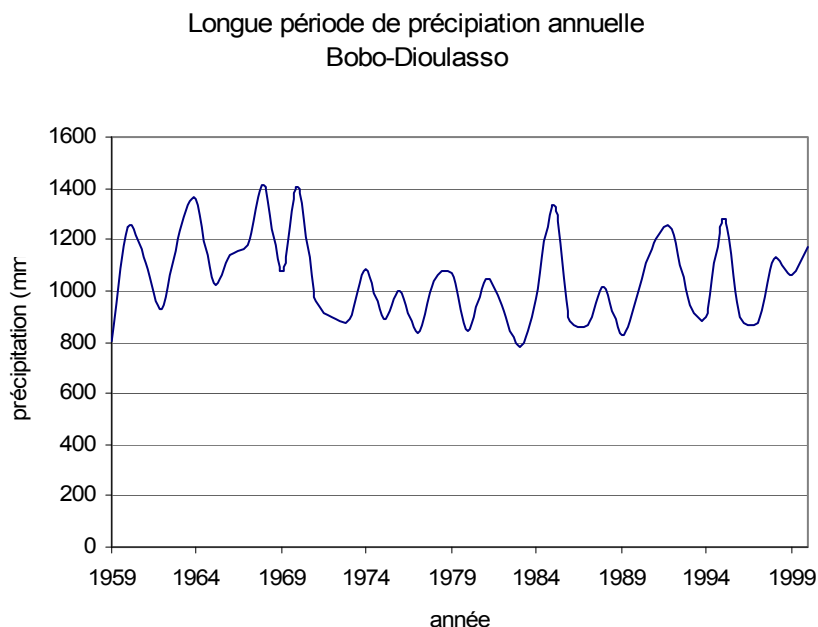


Figure 2.1 – Précipitation annuelle mesurée à Bobo-Dioulasso pour une longue période de 1959-2000

Le total des précipitations n'est pas un critère suffisant pour déterminer une bonne ou mauvaise saison de pluie. Il faut en plus connaître la répartition des pluies sur toute la saison. Des intervalles trop longs, mensuels par exemple, risquent de masquer des périodes sèches et des intervalles d'analyse trop courts, journaliers, risquent d'être peu pratique. C'est dans cette optique qu'une analyse des précipitations décennales est effectuée. Dans le cas de la planification et la gestion de l'irrigation, il est recommandé d'utiliser des intervalles d'analyse qui ne dépassent pas la décennie. Ce laps de temps correspond généralement à l'épuisement de la réserve d'eau stockée dans la zone racinaire en réponse à la demande climatique en absence de pluie. On a dans la Figure 2.2 la répartition des pluies décennales pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou.

La variation des hauteurs de pluie au cours de la saison indique un démarrage prudent et une cessation plus abrupte. Pendant le mois d'août, les hauteurs des pluies sont les plus élevées.

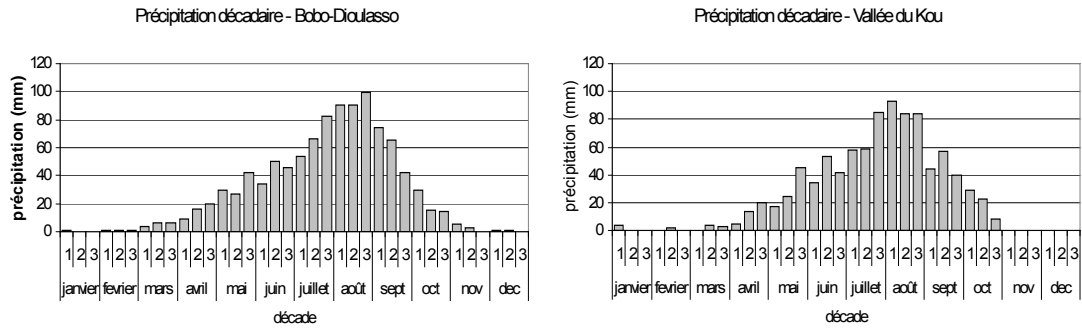


Figure 2.2 - Moyenne des précipitations décennales dans Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou

2.1.2 Test d'homogénéité

Ce test est une analyse de la variation de la précipitation annuelle. Elle est basée sur le calcul des déviations cumulatives de la moyenne (Raes *et al.* 1996 ; Demaree and Chadilly, 1988 ; Buishand, 1982) à l'aide du logiciel RAINBOW (Raes *et al.* 1996). Les résultats pour les deux stations météorologiques se trouvent dans la Figure 2.3.

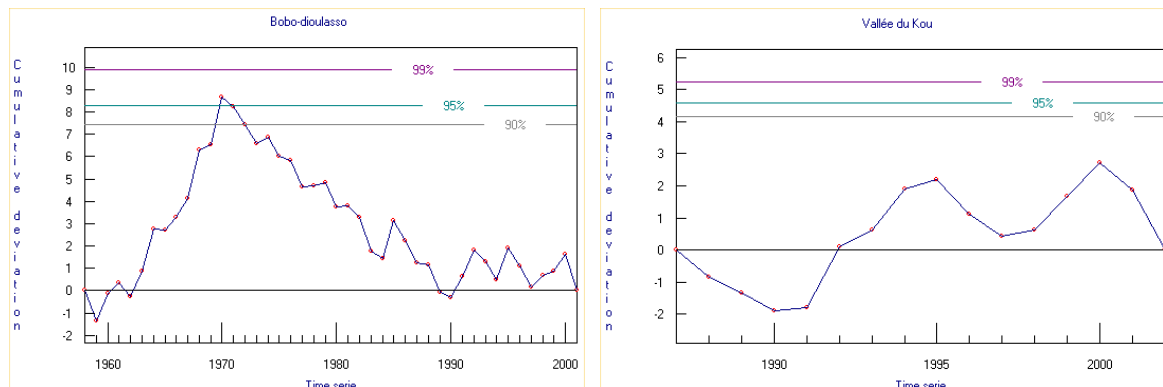


Figure 2.3 - Test d'homogénéité de la pluviométrie annuelle pour Bobo-Dioulasso (1959-2002) et la Vallée du Kou (1986-2002) dans le Sud-ouest du Burkina Faso avec indication des lignes de probabilité de 90, 95 et 99% de rejet de l'homogénéité.

On remarque que pour la Vallée du Kou, la série de données est homogène sans tendance significative. Par contre pour Bobo-Dioulasso, il y a une claire inhomogénéité. Le point charnière est situé à l'année 1970 (95% de confiance). Ainsi les moyennes des précipitations annuelles de 1959-1970 et de 1971-2002 diffèrent significativement ($\alpha=0.05$).

Ce fait n'est pas une rareté pour les pays sahéliens. Demaree et Chadilly (1988) ont déjà décrit la même tendance pour la Mauritanie. Sivakumar et Gnoumou (1987) ont mentionné cette tendance pour le Burkina Faso même, et en plus, leur conclusion pour Bobo-Dioulasso était basée sur une série de données de 60 années avant l'année 1971. La conclusion est qu'il y a eu un dessèchement relatif dans les pays sahéliens pendant les 3 dernières décennies. Pour Bobo-Dioulasso, il est prouvé que cette tendance a

commencé en 1971. On a donc limité la série de données à une période de 30 années (1971-2002 sans l'année 2001) pour les analyses suivantes.

2.1.3 Analyse de fréquence

La précipitation annuelle historique est classifiée suivant la méthodologie d'Almorox (2002) à l'aide du logiciel RAINBOW. On a déterminé la fiabilité des pluies annuelles et classifié les années suivant cette fiabilité. La distribution employée est la distribution normale, adaptée avec des moindres carrés. Les limites de classification sont 20, 40, 60 et 80% de probabilité de dépassement (voir le Tableau 2.1).

Tableau 2.1 - Classification des régimes pluviométriques d'une année pour deux stations météorologiques dans le Sud-ouest du Burkina Faso

Précipitation annuelle	Type d'année	Bobo-Dioulasso (%) (1971-2002)	Vallée du Kou (%) (1986-2002)
<20% de précipitation fiable	Très humide	19.3	26.7
20-40% de précipitation fiable	Humide	16.1	13.3
40-60% de précipitation fiable	Normale	16.1	13.3
60-80% de précipitation fiable	Sèche	32.2	33.3
>80% de précipitation fiable	Très sèche	16.1	13.3

Les résultats montrent qu'à Bobo-Dioulasso et dans la Vallée du Kou, il y a presque une année sur deux une année sèche ou très sèche. Aussi la variation inter-annuelle semble être assez grande à cause du grand nombre d'années extrêmes (très humide et très sèche).

Les résultats de l'analyse fréquentielle des précipitations annuelles sont consignés dans le Tableau 2.2. De ce tableau on peut dire que pour le cas de Bobo-Dioulasso dans un certain an une hauteur de pluie de 1188 mm/an peut être dépassée avec une probabilité de 20 %. Ou que seulement 2 années sur 10 plus la précipitation à Bobo-Dioulasso excèdera le 1188 mm.

Tableau 2.2 - Analyse fréquentielle des précipitations annuelles

Probabilité de dépassement (%)	Bobo-Dioulasso (mm)	Vallée du Kou (mm)
20	1188	1047
40	1067	954
60	963	880
80	841	802

Une analyse de fréquence à base des données décennales a aussi été exécutée à l'aide du logiciel RAINBOW (Raes *et al.*, 1996). La Figure 2.4 montre les résultats.

La variation des hauteurs de pluie au cours de la saison indique un démarrage prudent et une cessation plus abrupte. Pendant le mois d'août, les hauteurs des pluies sont les plus élevées. Pour Bobo-Dioulasso par exemple, cette valeur est environ 90mm par

décade dans une année normale (1 année sur 2) et 80mm par décade pour la Vallée du Kou.

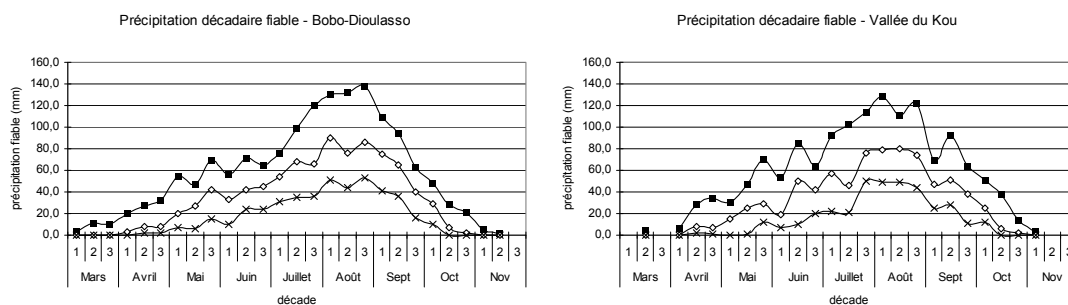


Figure 2.4 - Pluie décadaire fiable pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou avec 20, 50 et 80% de probabilité de dépassement pour respectivement une année humide (■), normale (◇) et sèche (x)

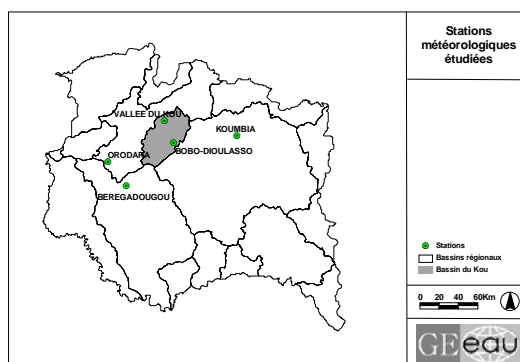
Pendant le mois de juin, il y a une période de stagnation ou même de sécheresse relative. Les hauteurs de pluie ne montent pas pendant cette période et il y a même une baisse significative dans la première et la dernière décade de juin.

2.1.4 Distribution spatiale

Afin de mieux s’apercevoir de la répartition spatiale de la pluie, une comparaison entre les données provenant des stations voisines est réalisée. Pour cela, on utilise la méthode de rangement de Kendall (Doorenbos, 1976 ; Quessy, 2002).

La méthode de rangement de Kendall permet d’avoir la corrélation qui existe entre une série de données de deux stations voisines. Cette méthode compare des paires de données, une paire représentant des observations couvrant la même période à deux stations voisines. Pour mieux comprendre la méthode, on donne exemple avec théorie en Annexe A.

Les stations pluviométriques étudiées pour cette analyse sont les stations de Bobo-Dioulasso, de la Vallée du Kou, d’Orodara, de Bergadougou et de Koumbia. La localisation des cinq stations climatologiques figure sur la Carte 2.3. La série de données et leur précipitation annuelle moyenne sont présentées dans le Tableau 2.3.



Carte 2.3 - Localisation des stations météorologiques étudiées

Tableau 2.3 - Moyennes annuelles des hauteurs de pluie des différentes stations

Station	Série (ans)	Période	Moyenne annuelle (mm)	Latitude -n- (DM)	Longitude -n- (DM)	Altitude (m)
Beregadougou	26	1974-2000	983	10°45	4°44	523
Bobo-Dioulasso	41	1960-1999	1042	11°10	4°18	432
Koumbia	37	1964-2000	925	11°24	3°40	310
Orodara	44	1955-1999	1080	10°59	4°55	331
Vallée du Kou	14	1986-2001	919	11°37	4°39	300

Des courbes donnant les hauteurs de pluies des dernières cinquante années pour les cinq stations sont représentées dans la figure ci-dessous. Cette figure fait déjà ressortir non seulement la variation des pluies au cours des années, mais aussi la différence d'une station à l'autre.

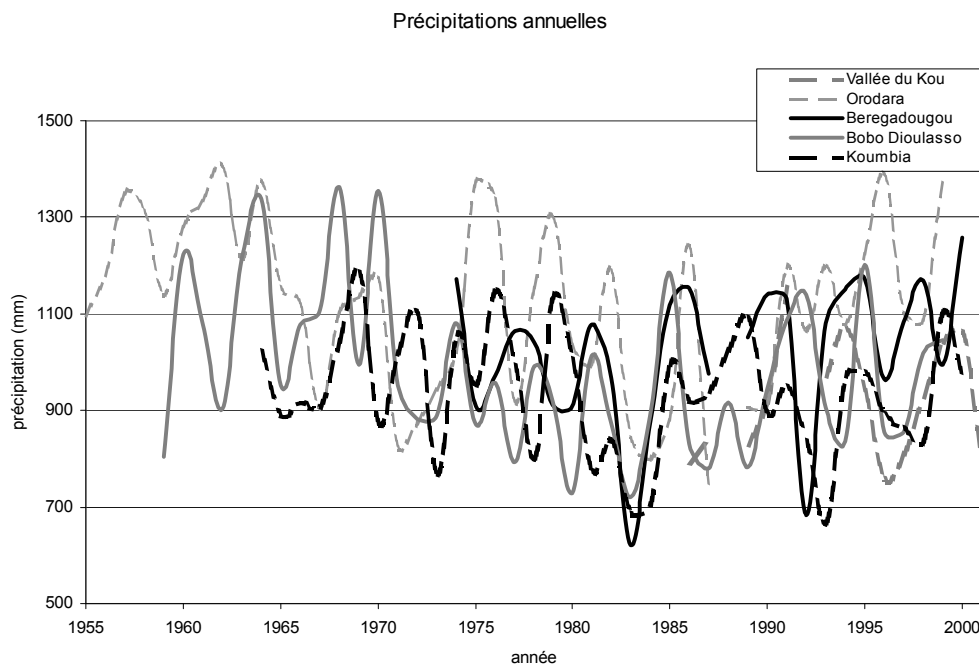


Figure 2.5 - Variation des précipitations moyennes annuelles dans les différentes stations

Les résultats du test de Kendall par lequel sont comparées les précipitations des stations voisines sont données dans le Tableau 2.4.

La valeur de Kendall qui varie entre +1 (concordance complète) et -1 (discordance complète) indique qu'on peut conclure qu'il n'y a pas de corrélation considérable entre les différentes stations. La seule chose qu'on peut dire c'est qu'il y a une corrélation limitée mais non significative entre les différentes stations.

Tableau 2.4 - Corrélation entre les précipitations des stations voisines
Employant la méthode de rangement de Kendall
(coefficient de corrélation Kendall ; années communes)

	Vallée du Kou	Orodara	Koumbia	Bobo-Dioulasso	Beregadougou
Beregadougou	0,24 (12 ans)	0,05 (26 ans)	0,08 (37 ans)	0,28 (26 ans)	-
Bobo-Dioulasso	0,42 (12 ans)	0,18 (40 ans)	0,07 (36 ans)		
Koumbia	0,15 (13 ans)	0,1 (36 ans)	-		
Orodara	-0,06 (12 ans)	-			
Vallée du Kou	-				

2.2 Facteurs climatiques

La température de l'air, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire et la vitesse du vent sont les principaux facteurs climatiques influençant l'évapotranspiration potentielle. Ces données journalières ont été recueillies auprès de l'aéroport de Bobo-Dioulasso, de l'antenne de l'INERA à Bama (Vallée du Kou).

Avant de calculer l'évapotranspiration potentielle les différents facteurs climatiques sont présentés et discutés ci-dessous.

Des données journalières ont été obtenues des stations météorologiques de l'aéroport à Bobo-Dioulasso et de l'INERA à Bama (Vallée du Kou) et concernent surtout les températures minimale et maximale, les humidités relatives minimale et maximale, la vitesse de vent et l'évaporation de bac pour les périodes de 1998-2002 pour Bobo-Dioulasso et de 2000-2001 pour la Vallée du Kou.

Tableau 2.5 – Stations météorologiques étudiées

Station	Série (ans)	Période	Latitude -n- (DM)	Longitude -n- (DM)	Altitude (m)
Bobo-Dioulasso	5	1998-2002	11°10	4°18	432
Vallée du Kou	3	2000-2002	11°37	4°39	300

2.2.1 Température

La figure 2.6 indique les températures mensuelles moyennes pour la région de Bobo-Dioulasso pour la période de 1940-1996 (51 ans)¹.

Les courbes font ressortir que les températures sont minimales à la fin et au début de l'année et augmentent progressivement au cours de l'année. Notons une baisse relative de la température aux mois de juillet et d'août, et les températures les plus élevées sont à signaler aux mois de mars et d'avril.

¹ 1950, 1952, 1957, 1977, 1979 et 1994 manquent

La moyenne annuelle de la température à Bobo-Dioulasso est 26,9 °C. L'amplitude thermique annuelle moyenne est de 5 °C. Les écarts diurnes varient entre 8 °C (août) et 14 °C (janvier) ; ils se réduisent vers le sud et augmentent vers le nord.

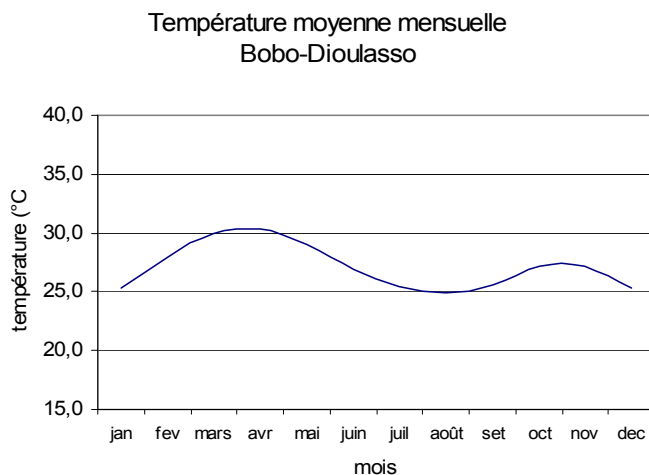


Figure 2.6 - Variation des températures moyennes mensuelles à Bobo-Dioulasso

Les extrêmes thermiques connus à Bobo-Dioulasso sont 40,2 °C (mars 1964) et 11,0 °C (décembre 1962). La température la plus basse connue dans la zone du projet a été 5 °C à Banankeledara, à 15 Km au nord de Bobo-Dioulasso en 1971.

2.2.2 Les vents

Ils sont liés aux mouvements du FIT.

En saison sèche, lorsque le FIT est redescendu vers la côte du Golfe de Guinée, le Burkina Faso est soumis au régime d'un vent alizé continental du nord-est, l'Harmattan. C'est un vent chaud, très sec et qui engendre des vents de sable dans le Sahel et le sud saharien. Plus au sud, et donc aussi dans le Sud-Ouest burkinabé, il en résulte parfois des journées de « brume sèche », constituée par la fraction la plus fine de ces vents de sable que l'Harmattan emporte. L'effet desséchant de ce vent est accentué en mars/avril par la montée de la température.

En saison de pluie, on passe sous le régime de la mousson, avec un alizé austral humide du sud-ouest chargé de cumulus.

Aux jonctions de ces deux stations, lors du passage du FIT, le vent est changeant. Des cellules orageuses locales se développent et les cumulo-nimbus fusionnent parfois pour former de vastes masses cycloniques. Des vents violents les accompagnent et peuvent atteindre 120 Km/h. Au début de la saison des pluies, ces vents provoquent des tempêtes de poussière intense mais brèves, et à la fin de la saison des pluies, ils peuvent occasionner des dégâts aux cultures, couchant les céréales qui n'ont pas encore été récoltées (Sahelconsult/F.E.T., 1997).

La moyenne des valeurs mensuelles de la vitesse du vent d'une série de 26 ans (période 1970-2000)² à Bobo-Dioulasso est reportée sur la figure suivante. La vitesse du vent mesurée à 10 mètres du sol est rapportée à 2 mètres en multipliant les valeurs par 0,77.

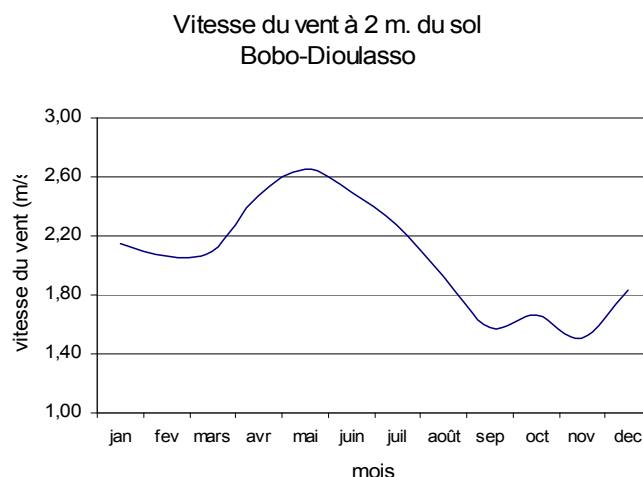


Figure 2.7 – Moyenne mensuelle de la vitesse du vent à 2 mètres du sol à Bobo-Dioulasso

La figure fait ressortir que les vitesses sont les plus faibles en fin de saison de pluie et augmentent progressivement pour atteindre leur maximum en saison sèche (notamment en avril et mai).

2.2.3 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une partie du rayonnement extraterrestre qui va atteindre le sol. On l'a estimé par la formule d'Angstrom, formule qui tient compte de l'insolation relative (n/N) et du rayonnement extraterrestre R_s .

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a$$

où les coefficients a et b sont donnés par Doorenbos et Pruitt³

Ainsi donc les résultats des calculs sont donnés sous forme de courbe dans la Figure 2.8 ci-dessous (période 1971-2000 ; 22 ans)⁴.

La courbe fait ressortir que le rayonnement solaire est minimum en juillet et août, ceci peut s'expliquer par le fait que durant cette période l'insolation est faible du fait de la présence des nuages qui masquent souvent le ciel. Ce rayonnement est élevé en saison sèche et en fin de saison de pluie.

² 1977, 1979, 1980, 1983 et 1994 manquent

³ Pour Bobo a = 0,29 et b = 0,42; N pour janvier jusqu'à décembre 0,76 ; 0,73, 0,64 ; 0,61 ; 0,63 ; 0,61 ; 0,51 ; 0,47 ; 0,55 ; 0,68 ; 0,76 ; 0,72 ; Ra 13,2 ; 14,2 ; 15,3 ; 15,7 ; 15,5 ; 15,3 ; 15,3 ; 15,5 ; 15,3 ; 14,7 ; 13,6 ; 12,9)

⁴ 1972, 1973, 1974, 1977, 1979, 1980, 1983, 1994 manquent

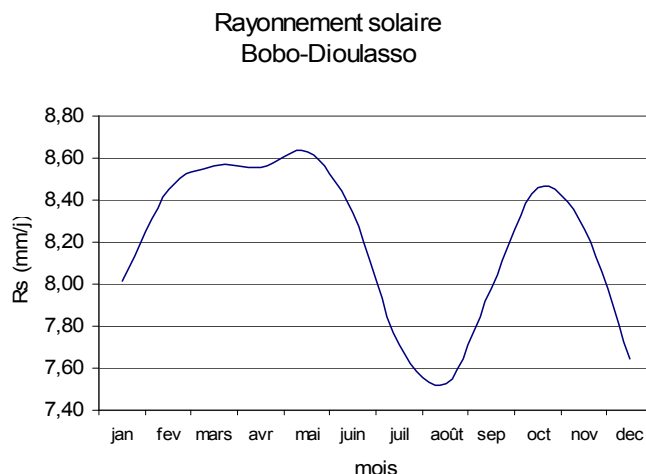


Figure 2.8 - Moyenne mensuelle du rayonnement solaire à Bobo-Dioulasso

2.2.4 L'hygrométrie

L'hygrométrie annuelle moyenne est de 53 % (période 1961-1997 ; 34 ans)⁵.

Elle fluctue beaucoup selon la saison et est fonction des vents et des masses d'air associées.

Les alizés de la mousson amènent du Golfe de Guinée un air humide, avec une hygrométrie moyenne de 80 %. En saison sèche, l'Harmattan fait descendre des zones sahariennes et sahéliennes un air très sec dont l'hygrométrie tombe à 20 % en janvier (Sahelconsult/F.E.T., 1997).

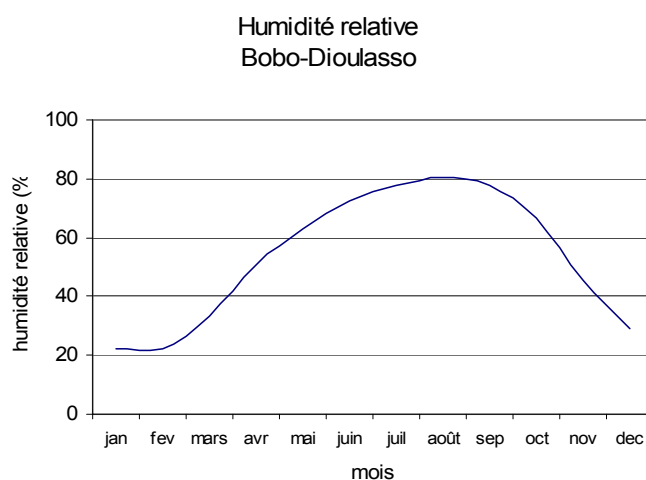


Figure 2.9 – Moyenne mensuelle de l'humidité relative à Bobo-Dioulasso

⁵ 1977, 1979, 1994 manquent

2.3 Evapotranspiration de référence

L'évapotranspiration est la combinaison de 2 procédés distincts dans lesquels l'eau est perdu par l'évaporation directe à partir du sol d'une part et d'autre part par la transpiration de la culture.

L'unité d'évapotranspiration est normalement exprimée en millimètres par unité de temps. La vitesse exprime la quantité d'eau perdue par une couverture végétale en unités d'hauteur d'eau.

Evapotranspiration potentielle de référence (ET₀) : nommée aussi évapotranspiration de référence, est comme son nom l'indique l'évapotranspiration d'un couvert végétal de référence. Comme référence on utilise un couvert vert de 8 à 15 cm de hauteur, couvrant totalement le sol et ne manquant pas d'eau (Doorenbos et Pruitt, 1977).

2.3.1 Méthode de Penman-Monteith

Une consultation des experts et des chercheurs organisée par le FAO en Mai 1990, a sélectionné la méthode de Penman-Monteith comme la méthode préférable pour calculer l'évapotranspiration de référence et fournissant des valeurs de l'ET₀ les plus fiables dans toutes régions et tous climats. Les résultats de ce programme ont été publiés, en 1998, sous forme d'un Bulletin Technique 'Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper N°56.

Ce bulletin recommande l'adoption de la méthode combinée de 'Penman-Monteith' comme méthode standard d'estimation de l'évapotranspiration de référence et guide les utilisateurs sur les procédures de calculs des différents paramètres qui s'y affèrent. Dans ce choix, il a été considéré que la culture de référence sera par définition une 'culture fictive de hauteur de 0.12 m et ayant une résistance de surface de 70 s/m et un albédo de 0.23'.

A partir de toutes ces considérations, la Formule de 'FAO Penman-Monteith' indiquée pour l'estimation de l'évapotranspiration de référence est :

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{\text{moy}} + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

avec :

ET_o	évapotranspiration de référence (mm.j^{-1})
R_n	rayonnement net à la surface de la culture ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$)
G	densité de flux de chaleur dans le sol ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$)
T_{moy}	température moyenne mesurée à 2 m du sol ($^{\circ}\text{C}$)
u_2	vitesse du vent mesurée à 2 mètres du sol (m.s^{-1})
e_a	pression de vapeur de l'air (kPa)
e_s	pression de vapeur saturante de l'air (kPa)
Δ	pente de la courbe de pression de vapeur saturante ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$)
γ	constante psychrométrique de l'air ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$)

En dehors de la localisation du site, l'équation de Penman-Monteith exigent des données climatologiques typiques : le rayonnement solaire (insolation), la température de l'air, l'humidité de l'air et la vitesse du vent. Des situations peuvent se présenter dans lesquelles des données pour ces facteurs climatologiques manquent. L'application d'une procédure de calcul d' ET_o alternative, demandant des paramètres climatologiques limités, devrait être évitée. Il reste recommandable de continuer à employer la méthode de base de Penman-Monteith après avoir résolu le problème des données manquantes. Des procédures pour estimer des données climatologiques manquantes sont présentées dans la littérature (Allen et al., 1998) ou incorporées dans des logiciels spécifiques.

Pour la région du Bassin du Kou, ces procédures ont été vérifiées par Deschamps (2003) et en cas des manques de données des facteurs de correction y sont formulés.

2.3.2 Résultat : Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou

Le logiciel 'ETo' (Raes, 2003) est utilisé pour calculer l'évapotranspiration de référence pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou à Bama. Les données climatologiques pour la période 1998-2002 de Bobo Dioulasso ont été acquises auprès de la station météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso. Celles de la Vallée du Kou couvrant la même période ont été fournies par l'antenne de l'INERA à Bama. Les données disponibles étaient : la température minimale et maximale, l'humidité relative, la vitesse du vent et la radiation solaire.

Dans la Figure 2.10 on voit la distribution de l'évapotranspiration de référence pour la période de 1998 à 2002 pour Bobo Dioulasso et Bama.

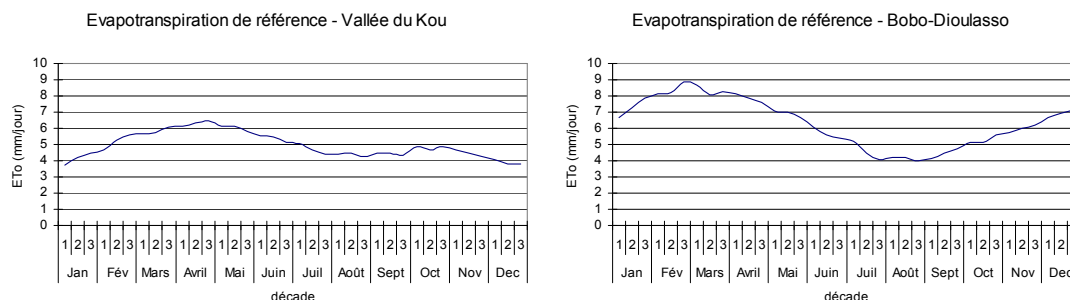


Figure 2.10 - Evapotranspiration de référence moyenne pour la Vallée du Kou et Bobo-Dioulasso

On peut diviser l'année en deux périodes au vu de l'évolution décadaire de l'évapotranspiration de référence. Logiquement les deux périodes coïncident avec les saisons, une évapotranspiration de référence haute dans la saison sèche (l'été) et une évapotranspiration de référence basse pendant la saison de pluie (l'hivernage). Pendant l'été l'évapotranspiration est en hausse à cause de l'harmattan, un vent très sec qui cause une humidité basse par conséquent l'évapotranspiration de référence augmente. Pendant l'hivernage, ce sont les alizés austraux ou le vent de mousson, chargé en humidité, qui sont responsables de l'humidité relative haute, par conséquent l'évapotranspiration de référence diminue.

La différence entre Bobo-Dioulasso et Bama s'explique grâce à l'altimétrie. Bobo-Dioulasso est située à 430 m d'altitude, Bama est situé à 300 m d'altitude. Par conséquent les vents à Bobo Dioulasso sont plus forts qu'à Bama. Ce phénomène est visualisé dans la Figure 2.11. Le déroulement annuel de l'évapotranspiration de référence est identique pour les deux stations mais la vitesse du vent y diffère significativement. Les différences en température et en humidité relative sont beaucoup moins prononcées (Figure 2.12).

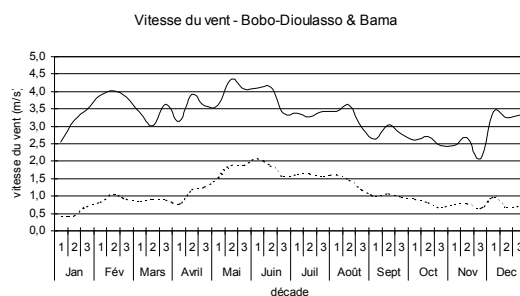


Figure 2.11 - Vitesse du vent à Bobo-Dioulasso (ligne pleine) et à Bama (ligne brisée)

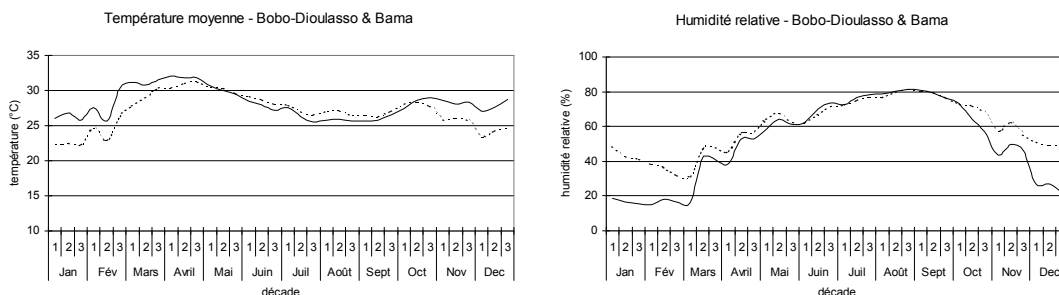


Figure 2.12 - Température moyenne et humidité relative à Bobo-Dioulasso (ligne pleine) et à Bama (ligne brisée)

2.4 Analyse de la saison culture

Le but de cette étude était de sélectionner des critères pertinents pour la détermination du début de l'hivernage dans le Sud-ouest du Burkina Faso et de tester leur justesse à l'aide du modèle BUDGET, un modèle de bilan d'eau.

Le besoin de la connaissance du début et de la fin de l'hivernage est clair. Sous les tropiques, toutes les activités de la saison des cultures sont dictées par le début, la distribution et la fin des pluies, c'est-à-dire, la sélection des variétés, la période de culture, le moment des semis, des récoltes et d'appliquer l'engrais, etc. La plupart des cultures sont sensibles aux conditions atmosphériques pendant la croissance et la maturation. Si les sols sont trop secs ou trop humides les traitements des champs sont normalement inefficaces et nocifs. En plus, une cessation tardive de l'hivernage peut causer un retard de la récolte. Les différentes cultures ont aussi besoin d'une période de rétablissement après une période trop sèche ou trop humide. Aussi les pluies incessantes ne causent pas seulement un retard dans les récoltes, mais aussi un environnement favorable pour les mycoses et les autres maladies (Ilesanmi O.O., 1972).

2.4.1 Début de l'hivernage – règles agronomiques

Pour le début de l'hivernage, différents critères ont donc déjà été employés dans la littérature. Ici on a seulement évalué les critères simples à une seule variable, notamment la hauteur de pluie journalière. On a cherché un bon critère utilisable par les agriculteurs eux-mêmes, à l'aide d'une station météorologique locale, dans une grande région, indépendant des caractéristiques pédologiques locales et indépendant des différences locales d'évapotranspiration de référence.

Selon les enquêtes menées auprès des agriculteurs, le début de la période des pluies est considéré comme

- normal, s'il arrive aux environs du 20 mai
- très précoce, s'il arrive avant le 1 mai.
- tardif, s'il arrive après le 25 juin

Tous insistent pour dire qu'aujourd'hui le début de l'hivernage est beaucoup plus variable qu'autrefois.

2.4.1.1 Les définitions du début de l'hivernage

Sivakumar et Stewart (1988) ('début 1') définissent le début de l'hivernage comme «le moment où la pluie décadaire est égale ou supérieure à 30mm et qu'il n'y a pas de sécheresse de 7 jours ou plus pendant les 30 jours suivants». Une journée est définie comme sèche (pas humide) quand il y a moins de 1.5mm de pluie.

Dans un autre critère, Sivakumar (1988) ('début 2') prend comme début le moment où la pluie journalière cumulative de 7 jours est égale ou supérieure à 20mm et qu'il n'y a pas de sécheresse de 7 jours ou plus pendant les 30 jours suivants. Ce critère ressemble assez à celui de Sivakumar et Stewart.

Stern *et al.* (1982) ('début 3') ont encore défini un autre critère. Le début de l'hivernage est «la date que la pluie journalière cumulative de 3 jours est égale ou supérieure à 20mm à condition qu'il n'y ait pas de période de sécheresse égale ou supérieure à 10 jours pendant les 30 jours suivants».

Le seul critère sans règle pour éviter un faux début de l'hivernage est celui de Frère *et al.* (1990) (nommé 'début 4') qui définit le début de l'hivernage comme «le jour où la hauteur cumulée des pluies journalières tombées à partir des nouvelles pluies, atteint 75 mm ou plus».

Un dernier critère testé est le critère de Davey *et al.* (1976), combiné avec la règle de faux début de Benoit (1977) ('début 5'). D'après eux, le début de l'hivernage est «la date à laquelle la pluie journalière cumulative de 2 jours est égale ou supérieure à 20mm, à condition qu'il n'y ait pas de sécheresse de 5 jours ou plus pendant les 12 jours suivants».

Il existe aussi des critères fondés sur le bilan d'eau. Ils ont l'avantage d'être beaucoup plus exacts sur le plan scientifique, mais ils sont aussi beaucoup plus difficiles à employer par l'agriculteur ou la service de vulgarisation. Un tel critère tient compte des différents types de sol et de l'évapotranspiration de référence journalière. De plus, des entrées concernant le type de culture sont utilisées, ce qui donne un résultat spécifique et correct.

2.4.1.2. Evaluation des différents critères à l'aide du logiciel BUDGET

Le logiciel BUDGET (Raes, 2002) est un modèle de bilan d'eau. Une description en détail se trouve sous l'Annexe B où le modèle est présenté. Les entrées nécessaires sont la pluviométrie, l'évapotranspiration de référence, les paramètres pédologiques et des paramètres concernant la culture. Les données utilisées sont dans Annexe C.

La valeur et la justesse des critères sélectionnés sont testées en évaluant le déficit en eau d'une plante pendant la période initiale pour des données climatologiques et pédologiques particulières.

Pour les simulations, la teneur en eau initiale est mise au point de flétrissement. Cette hypothèse est justifiée parce que nous avons commencé les simulations 30 jours avant la date de début de l'hivernage, ce qui est la date de semis ou de plantation dans les simulations. Pendant ces 30 journées, le sol sera humidifié ou asséché dans la simulation, selon les pluies et les périodes de sécheresse avant le début de l'hivernage calculé.

Pour chaque critère, le nombre de jours avec un déficit d'eau nocif est calculé. La mesure du rapport de la transpiration réelle (T_{act}) et potentielle (T_{pot}) est un bon critère d'évaluation du manque d'eau. Des valeurs de 100% (pas de stress) jusqu'à 0% (stress nocif) sont possibles.

Une analyse de fréquence du nombre de journées présentant un déficit d'eau nocif et pour la durée des périodes avec stress hydrique a été exécutée. Les probabilités de dépassement sont donc calculées et forment une méthode d'évaluation objectif pour les 5 critères testés. (Méthodologie d'après Wellens, J., 2000)

2.4.1.3 Le choix du critère le mieux adapté

Bien qu'il y ait des différences nettes entre les différents critères, nul critère n'est parfait et la probabilité de stress hydrique précoce reste grande pour tous les critères.

Le meilleur critère semble être celui de Davey *et al.* (1976) et Benoit (1977) ('début 5'). Le problème de ce critère est la règle de la période de sécheresse. Des périodes de 5 jours sans pluie ne sont pas rares dans le sud-ouest du Burkina Faso (voir aussi § 4.4 – Risques pour l'agriculture pluviale). Donc, bien que les résultats des simulations soient très bons (Figure 2.13 et Figure 2.14), les prévisions de début d'hivernage sont généralement trop tardives pour être utiles: les agriculteurs ont déjà semé au moment où le début de l'hivernage est déterminé par la méthode de Davey *et al.* (1976). De plus, des périodes de 5 jours sans pluie, après une période assez humide, ne sont pas encore nuisibles aux plantes en règle générale. Ce fait ressortait déjà clairement des enquêtes. La réponse moyenne à la question «Après une période de précipitation assez longue, à partir de combien de jours de sécheresse les différentes cultures sont-elles endommagées?» était 6 à 10, selon le type de culture concerné et selon la période de croissance. Néanmoins, des sécheresses de 5 jours après une précipitation peu élevée et avec une évapotranspiration de référence élevée peuvent être très nuisibles.

Le critère 5 est donc trop restrictif pour le Sud-ouest du Burkina Faso. Faire passer la limite des jours de sécheresse de 5 à 6 jours améliorerait peut-être la qualité de ce critère pour cette région. On ne retient donc pas ce critère pour le Sud-ouest du Burkina Faso.

Bien que le critère de Frère *et al.* (1990) (début 4) soit simple à calculer, les faux débuts d'hivernage à cause des périodes de sécheresse ne sont pas pris en compte, ce qui engendre de mauvais résultats dans les simulations (Figure 2.13 g-h et Figure 2.14 g-h). Par exemple environ 1 année sur 5, il y a des périodes de stress hydrique de 10 à 16 jours (Figure 2.14 h).

Mis à part le critère 5, les résultats du critère de Sivakumar (1988) sont les meilleurs. La fréquence de zéro journées avec un manque d'eau nocif est :

- 40% pour le critère de Sivakumar (2),
- 32% pour le critère 1,
- 20% pour le critère 3 et
- 30% pour le critère 4.

Les critères 1 et 2 donnent aussi des probabilités de dépassement du nombre de journées avec du stress hydrique nocif par année les plus basses, mis à part le critère 5. Par exemple, pour 3 jours avec stress hydrique nocif par année, la probabilité de dépassement est :

- 50% (1 année sur 2) pour le critère 2
- comparé à 60% pour le critère 1,
- 70% pour le critère 4 et
- 75% pour le critère 3.

L'analyse du nombre de journées avec stress hydrique par année et l'analyse de la longueur moyenne d'une période avec stress hydrique nocif (Tableau 2.6) montrent aussi que les critères de Frère *et al.* (1990) et de Stern *et al.* (1982) (début 4 et 3 respectivement) sont les plus mauvais critères pour notre région d'étude. Cette conclusion est confirmée avec 95% de confiance.

Le critère 5 est meilleure que les critères 1 et 2 (90% de confiance), mais comme mentionné plus haut, ce critère est trop prudent pour être utilisable. La différence entre le critère 1 et 2 n'est pas significative.

Le critère de Sivakumar (1988) (début 2) donne de meilleurs résultats dans toutes les analyses (Figures 2.13 & 2.14, et Tableau 2.6). C'est donc le critère retenu pour le Sud-ouest du Burkina Faso.

Tableau 2.6 - Nombre de journées avec stress hydrique nocif moyen par année et la longueur moyenne d'une période avec stress hydrique nocif pour les 5 critères du début de l'hivernage

Critère de début	Nombre de journées avec stress Hydrique moyen par année	Longueur moyenne d'une période avec stress hydrique
1	8	4
2	7	4
3	11	3
4	12	6
5	5	3

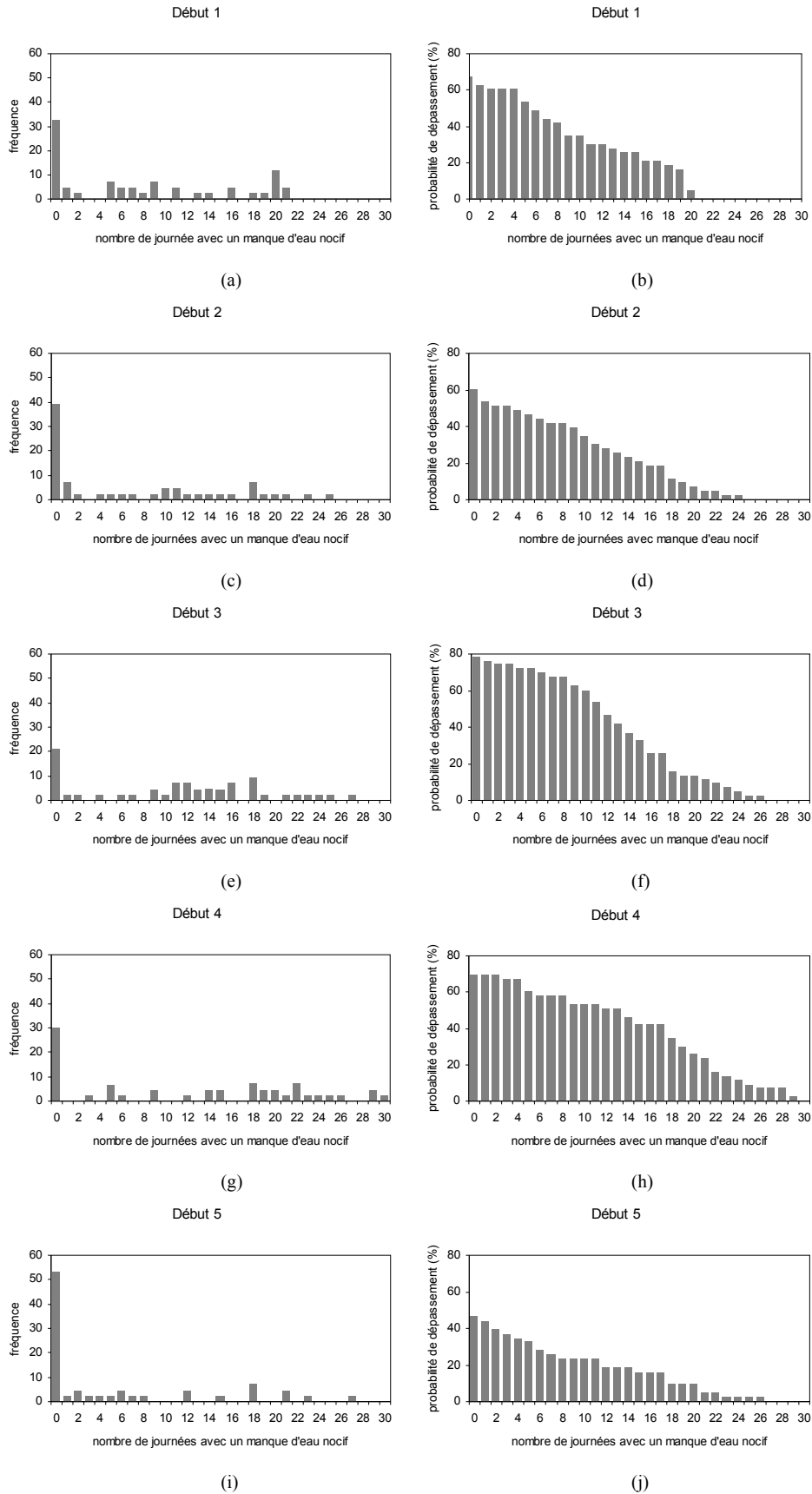


Figure 2.13 - a, c, e, g, i représentent l'analyse de fréquence; b, d, f, h, j la probabilité de dépassement pour le nombre de journées avec un manque d'eau nocif pendant les 30 premières journées de la période de croissance, pour les 5 critères de début de l'hivernage

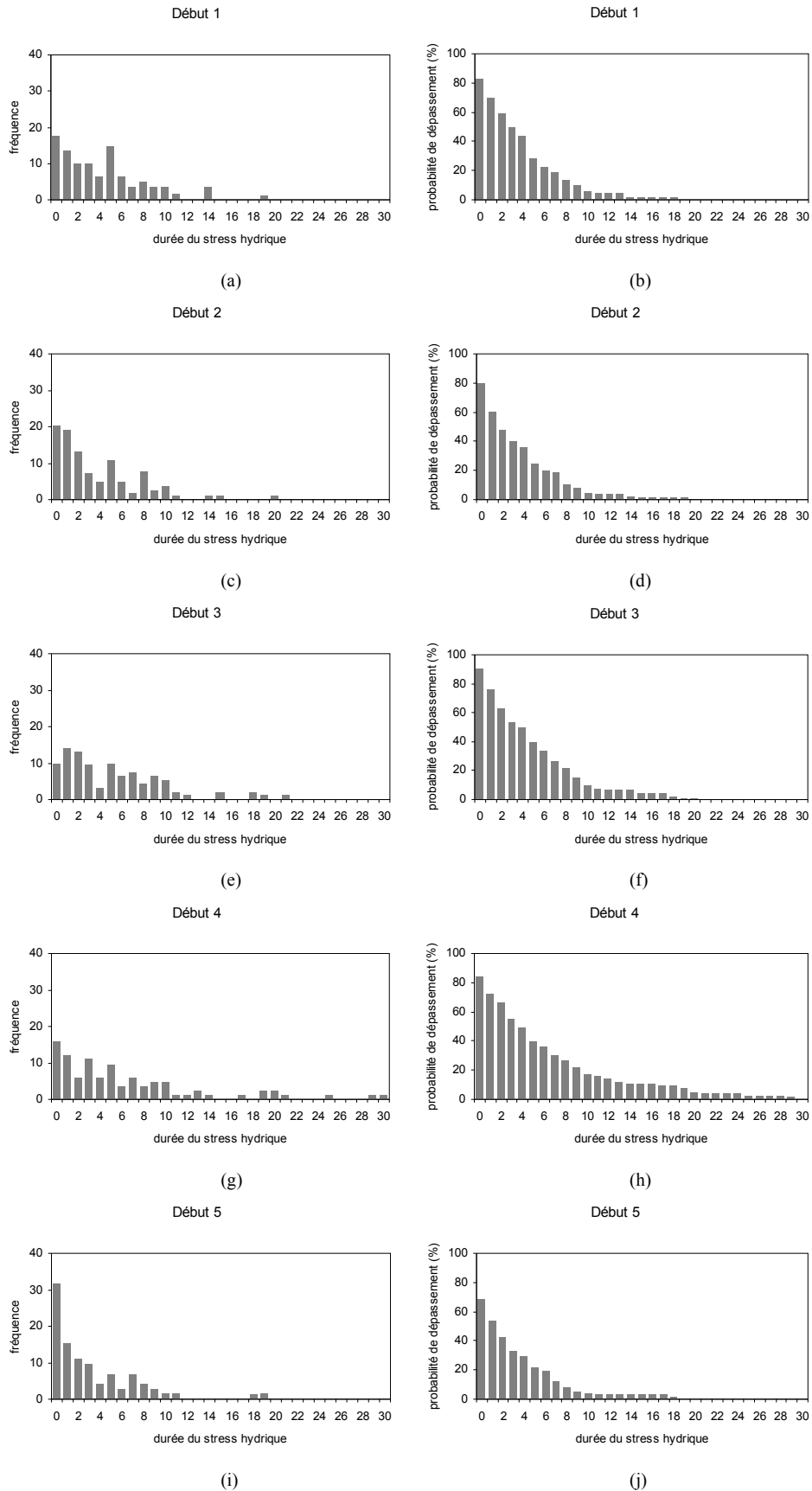


Figure 2.14 - a, c, e, g, i représentent l'analyse de fréquence; b, d, f, h, j la probabilité de dépassement pour la durée de la période avec du stress hydrique pendant les 30 premières journées de la période de croissance, pour les 5 critères de début de l'hivernage.

4.4.1.4 Analyse de fréquence pour la date de début

A l'aide du critère de Sivakumar (1988), les dates du commencement de l'hivernage ont été estimées à l'aide d'une analyse de fréquence (logiciel RAINBOW (Raes et al., 1996)) pour une année humide, normale et sèche (Tableau 2.7).

Tableau 2.7 - Dates de début de l'hivernage moyennes (selon Sivakumar 1988) pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou et analyse de fréquence

Localisation	Début moyen	Intervalle de confiance (95 %)		Analyse de fréquence		
		limite inférieure	limite supérieure	année humide (80%)	année normale (50%)	année sèche (20%)
Bobo-Dioulasso	30 mai	21 mai	8 juin	8 mai	30 mai	21 juin
Vallée du Kou	6 juin	25 mai	19 juin	16 mai	6 juin	27 juin

Dans les enquêtes, les agriculteurs ont mentionné que le début de l'hivernage est devenu plus variable au cours des dix années passées. Et en effet, l'écart type des débuts des dix dernières années est 28 journées comparé à 19 journées pour les autres années. Oladipo *et al.* (1993) a déjà mentionné que les tendances actuelles à l'augmentation de la variabilité de la durée de la période de culture sont beaucoup plus dues à un accroissement de la variabilité du début de l'hivernage qu'à celle de la cessation.

2.4.2 Cessation de l'hivernage et longueur de la saison de culture – règles agronomiques

Pour la cessation de l'hivernage deux critères identiques et assez simples sont employés. Alors en combinaison avec le début, la durée de la période de culture est aussi calculée.

Pour Stern *et al.* (1982) la cessation est la date du début d'une période de sécheresse de 15 jours ou plus, après une date délimitée. Les enquêtes menées auprès des populations locales ont amené à considérer la mi-septembre comme date de cessation précoce.

Le deuxième critère est celui de Sivakumar (1988) qui prend la date du début d'une période de sécheresse de 20 jours ou plus comme date de cessation.

2.4.2.1 Cessation de l'hivernage

Après examen des données climatologiques et agronomiques de différentes années, le critère de Stern (1982, Stern *et al.*) était le meilleur pour la région du Bassin de Kou. Toutefois les différences entre les deux résultats étaient trop faibles pour être considérées comme significatives.

Pour la région d'étude, le critère de Stern *et al.* (1982) a été retenu parce que la date de cessation moyenne des enquêtes et la date moyenne obtenues à l'aide du critère de Stern *et al.* (1982) ont la meilleure corrélation, bien que l'autre critère donne aussi des résultats satisfaisants.

Tableau 2.8 - Dates de cessation de l'hivernage moyennes (d'après Stern *et al.*, 1982) pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou

Localisation	Date de cessation moyenne (Stern <i>et al.</i> , 1982)	Intervalle de confiance (95%)	
		limite inférieure	limite supérieure
Bobo-Dioulasso	20 octobre	15 octobre	26 octobre
Vallée du Kou	17 octobre	10 octobre	24 octobre

La cessation moyenne est le 20 octobre pour Bobo-Dioulasso et le 16 octobre pour la Vallée du Kou (Tableau 2.8). Les intervalles de confiance pour la date de cessation sont remarquablement plus étroits que les intervalles des dates de début de l'hivernage. Sivakumar (1988) a également remarqué que le début de l'hivernage est beaucoup plus variable que la cessation. En fait, pour Bobo-Dioulasso, l'écart type de la date de début est 22 journées comparé à 14 pour la date de cessation.

Une explication peut être trouvée dans le travail de Pigeonnière (1996) où il décrit la trace au sol du FIT (voire aussi « Pluviométrie »). La montée en latitude, la mise en place de l'hivernage, est beaucoup plus lente que le retour.

2.4.2.2 Longueur de la saison de culture

Il a été également prouvé l'existence d'une forte corrélation entre le début de l'hivernage et la longueur de la période de culture. Un début précoce est corrélé avec une longue saison de culture (Geerts, 2003).

Stern *et al.* (1982) a montré qu'il n'y a pas de relation entre le début et la cessation de l'hivernage. L'analyse des données météorologiques de la région le confirme: cette corrélation est faible et non significative.

Sur la base des définitions des dates de début donnée par Sivakumar (1988) et des dates de cessation donnée par Stern *et al.* (1982), on a maintenant une meilleure idée de la longueur de la période de culture (Tableau 2.9). La saison de culture est plus longue à Bobo-Dioulasso par rapport à la Vallée du Kou. La différence n'est pas significative.

Tableau 2.9 - Longueur de la saison de culture moyenne pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou

Localisation	Longueur de la saison de culture (journées)
Bobo-Dioulasso	143
Vallée du Kou	133

2.4.3 Analyse de la saison de culture – règle météorologique

Une saison de culture, déterminée par des relations pluie-évapotranspiration spécifiques pour la région, possède plusieurs stades basés sur ces événements météorologiques. La FAO a aussi retenu cette approche et a défini les différents stades :

- début de la saison de culture : caractérisé par l'équation $0,5 E_{To} < Précipitation < E_{To}$ (avec E_{To} : évapotranspiration de référence) ;
- période humide : caractérisée par une $Précipitation > E_{To}$;
- fin de la saison de culture : caractérisée par l'équation $E_{To} > Précipitation > E_{To}$.

Après avoir appliqué ce critère météorologique sur les données de Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou on obtient les diagrammes ombro-thermiques présentés dans la Figure 2.15.

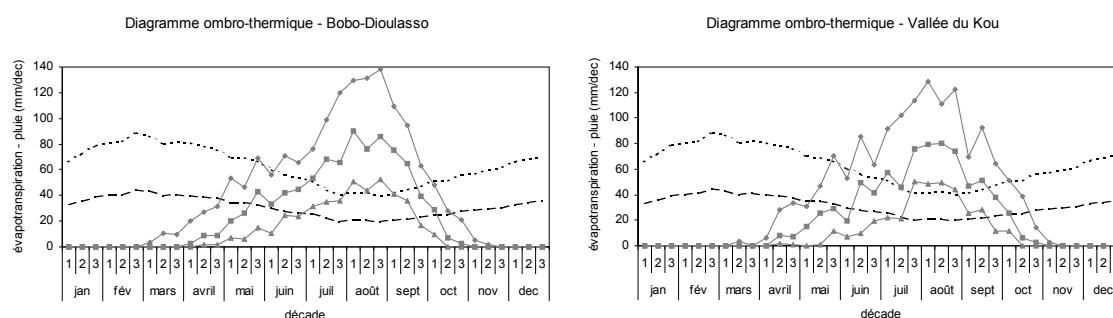


Figure 2.15 - Diagrammes ombro-thermiques pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou ; avec les précipitations prévisibles pour une année humide (◊), normale (◊), et l'évapotranspiration de référence (-----) et la moitié de l'évapotranspiration de référence (___)

La projection sur l'axe des points d'intersection détermine les intervalles et donne les renseignements suivants :

Tableau 2.10 - Durée des différents stades de la saison de culture pour le cas d'une année humide, normale et sèche pour Bobo-Dioulasso

stade de la saison de culture	année humide (20%)	année normale (50%)	année sèche (80%)
période de début	27 avril – 24 mai	20 mai – 3 juil	1 juil – 28 juil
période humide	25 mai – 2 oct	4 juil – 21 sept	29 juil – 4 sept
période de fin	3 oct – 16 oct	22 sept – 8 oct	5 sept – 21 sept

Tableau 2.11 - Durée des différents stades de la saison de culture pour le cas d'une année humide, normale et sèche pour la Vallée du Kou

stade de la saison de culture	année humide (20%)	année normale (50%)	année sèche (80%)
période de début	9 mai – 24 mai	8 juin – 2 juil	16 juil – 22 juil
période humide	25 mai – 4 oct	3 juil – 17 sept	23 juil – 25 août
période de fin	5 oct – 19 oct	18 sept – 5 oct	26 août – 19 sept

On peut donc conclure que la tendance générale des résultats de ce critère est comparable avec les conclusions faites ci-dessus. Ici aussi il y a plus de variation dans la date de début de l'hivernage que pour la cessation de l'hivernage. On a une variation d'à peu près 10 jours entre l'hivernage à Bobo-Dioulasso et dans la Vallée du Kou.

Néanmoins il faut faire remarquer que le critère de la FAO est plus sévère que celle du Sivakumar. Le début de l'hivernage proposé par le critère de la FAO est trop tôt.

4.4.4 Risques pour l'agriculture pluviale

Une analyse fréquentielle est faite sur les durées des périodes de sécheresse pendant l'hivernage. Une telle analyse donne une idée de la sévérité d'une période de sécheresse dans une certaine période.

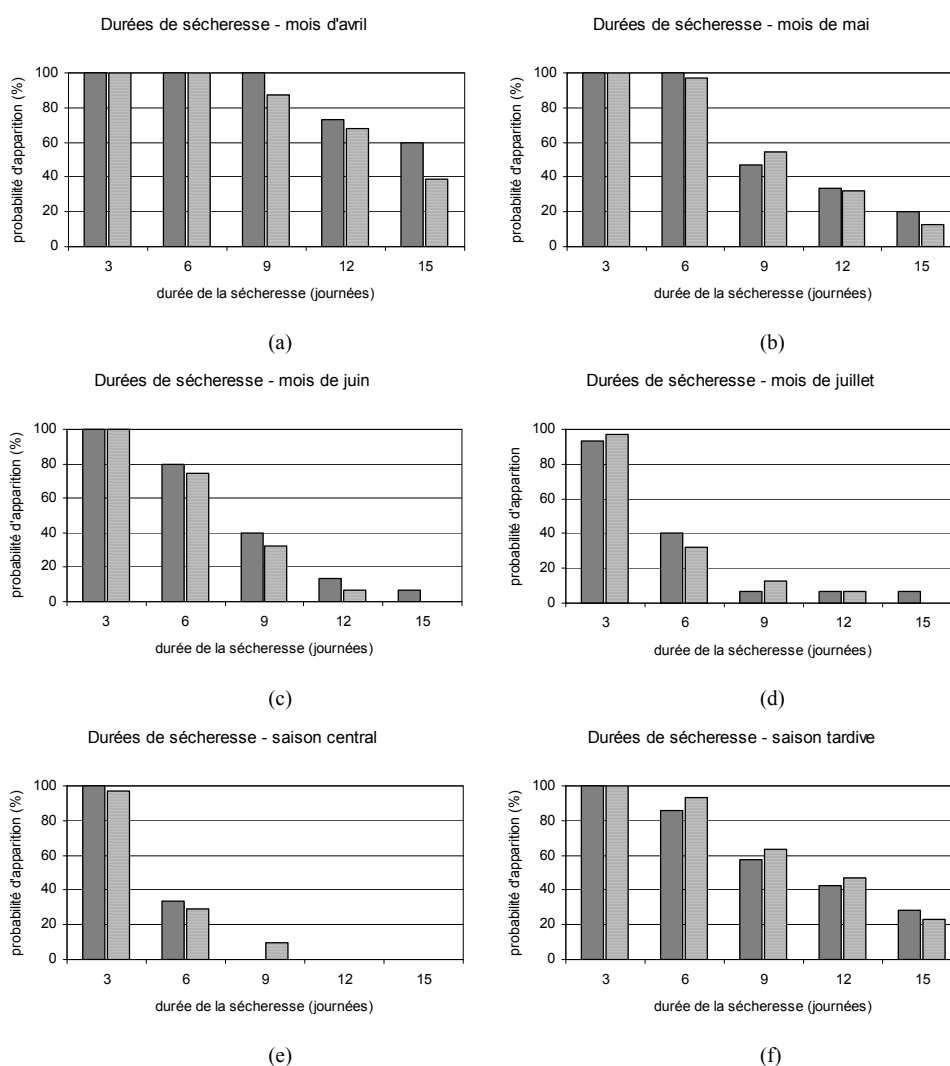


Figure 2.16 - Probabilité d'apparition d'une période de sécheresse pendant 6 périodes de l'année pour la Vallée du Kou (gris) et Bobo-Dioulasso (rayé)

L'analyse a été exécutée pour 6 périodes, divisées arbitrairement, notamment le mois d'avril, le mois de mai, le mois de juin (à cause du début moyen à Bobo-Dioulasso du 30 mai), le mois de juillet, la saison centrale (1 août-15 septembre) et la saison tardive (16 septembre-16 octobre).

Pour chaque période l'occurrence des périodes de sécheresse de 3, 6, 9, 12 et 15 jours successifs est étudiée. Les résultats se trouvent dans la Figure 2.16.

L'analyse des périodes de sécheresse a indiqué qu'il y a des risques bien réels pour l'agriculture pluviale. En effet, les risques d'apparition d'une période de sécheresse pendant la période de forte croissance des plantes ne sont pas négligeables. Par exemple pendant le mois de mai il y a une période de sécheresse d'au moins 15 jours successifs une année sur 5 dans la Vallée du Kou et 3 années sur 20 à Bobo-Dioulasso. Pendant la période allant du 16 septembre au 16 octobre, cette probabilité est d'une année sur quatre à la Vallée du Kou et d'une année sur cinq à Bobo-Dioulasso.

La présence précoce des longues périodes de sécheresse est très nocive à l'agriculture pluviale. Les activités de semence sont retardées et un second ensemencement est même nécessaire parfois.

Pendant la période centrale, les probabilités d'occurrence des périodes de sécheresse s'abaissent, mais quand même il y a par exemple une sécheresse d'au moins 9 jours successifs une année sur dix à Bobo-Dioulasso. Ces sécheresses sont très nocives pour des végétaux en pleine floraison.



- Physique du sol -

3

Physique du Sol

Le sol peut être étudié et décrit selon de nombreux points de vue différents. Dans le cas de l'évaluation de l'agriculture pluviale sur le plan du bilan d'eau, il est bien clair que l'on s'intéresse surtout aux valeurs pratiques. Dans cette étude les caractéristiques physiques importantes seront étudiées. Les caractéristiques mesurées dans les champs seront décrites, telles que les caractéristiques distillées de la littérature. A cause de l'hétérogénéité horizontale et verticale du sol, des mesures à différents emplacements et profondeurs sont nécessaires. Par manque de moyens, une vraie classification des sols selon WRB (Driessen *et al.*, 2001) ne sera pas possible.

Pendant plusieurs mois, des champs de test dans le village de Diaradougou et sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou ont été suivis.

3.1 Texture

L'expression 'la texture du sol' renseigne sur la taille prédominante ou la gamme de tailles des particules de sol d'une manière qualitative et quantitative. Qualitativement, on a un sol léger (grossier, sableux et facile à cultiver) ou un sol lourd (fin, argileux). Quantitativement, la texture décrit les proportions relatives de diverses tailles de particules d'un sol.

La texture est une caractéristique importante du sol. La connaissance de la texture permet de bien comprendre tous les autres paramètres mesurés au champ ou au laboratoire. Elle influence la courbe caractéristique de l'humidité du sol, la conductivité hydraulique, la porosité ainsi que d'autres paramètres. Plusieurs fonctions de 'pédotransfert' décrivent la relation empirique entre la texture et d'autres caractéristiques physiques (Wösten *et al.*, 1985 ; Schaap & Leij, 1998).

Normalement, l'analyse de la texture est effectuée dans le laboratoire d'une manière exacte qui donne la répartition pondérale des tailles des particules, donc en pourcentages de sable, de limon et d'argile.

Pour cette étude on a analysé la texture selon la méthode de la '*palpologie*' (palpation) ou la méthode 'à la main' (Service pédologique de la Belgique). Le terme palpologie est emprunté du monde médical et veut dire 'sentir à la main pendant des examens physiques'. Dans la pédologie, cette méthode est souvent employée, entre autre en Allemagne et en règle générale pour des conseils pratiques. Ce test doit nécessairement être exécuté par des experts après avoir tamisé les échantillons pour enlever les particules avec une taille plus grande que 2mm. Pour diminuer le

caractère subjectif du test, un deuxième expert du Service Pédologique fait le contrôle. S'il y a une différence nette entre les deux analyses, le test est exécuté une troisième et dernière fois. Elle correspond à la méthode granulaire par le triangle de texture, qui donne des intervalles quantitatifs pour les différentes tailles des particules. A cause des intervalles larges et les résultats douteux pour nos échantillons, des fonctions de pédotransfert ne seront pas employées dans notre étude.

3.1.1 Diaradougou

Du Tableau 3.1, il est clair que les sols limoneux sont prédominants dans la région de Diaradougou.

Tableau 3.1 - Classes texturales pour les champs de test à Diaradougou

N° du champ	Profondeur	Classe texturale		
2	20	Sable-limon		
	30	Limon léger		
	50	Sable-limon		
3	10	Limon léger		
	15	Limon léger		
	15	Limon léger		
	15	Limon		
	25	Limon		
4	25	Sable-limon		
	25	Limon		
5	20	Limon		
	25	Limon		
14	15	Limon léger		
	45	Limon		
Légende	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	
Limon léger	15-67,5	15-72,5	12-22,5	
Limon	0-15	67,5-92,5	8-17,5	
Sable	15-50	37,5-85	0-12	

3.1.2 Vallée du Kou

Le périmètre est installé sur 'des sols hydromorphes minéraux à pseudogley sur matériaux à texture variée' selon la carte d'occupation des sols du Burkina Faso. Un sol hydromorphe est un sol dont les caractères sont dus en grande partie à la présence temporaire ou permanente de l'eau. Le pseudogley est rencontré dans un horizon à engorgement périodique par l'eau, caractérisé par une alternance de phénomènes de réduction et d'oxydation.

Selon la texture, il existe six types de sols à la Vallée du Kou : les sols sablo-argilo-limoneux (38% de la superficie totale), les sols argilo-limoneux (24%), les sols limoneux (18%), les sols argileux (10%), les sols sablo-limoneux (6%) et les sols sablo-argileux (4%).

Dans ce contexte, 66 % de la superficie totale des sols cultivés de la Vallée sont hydromorphes. Il s'agit des sols à texture moyenne et les sols à texture légère.

Enfin on a les sols lourds. Les sols à texture lourde représentent 34 % et sont les mieux indiqués pour la riziculture.

Ces différents types de sol ainsi énumérés sont répartis sur le périmètre de façon hétérogène. Par exemple, on rencontre sur l'ensemble du périmètre un peu partout les sols sablo-argilo-limoneux, les sols limoneux et les sols argilo-limoneux. Par contre les sols purement argileux sont pratiquement concentrés entre les deuxième et troisième quartiers (blocs 2 et 3) qu'au niveau des parcelles des sixième et septième quartiers (blocs 6 et 7).

Par rapport aux exigences du riz irrigué, il est à retenir que 66% de la superficie totale exploitée de la Vallée ne conviennent pas vraiment au riz irrigué (Nébie, B., 1994). Il s'agit des sols à texture moyenne et légère cités plus haut. En effet ces sols posent deux types de problèmes à la riziculture irriguée de la Vallée du Kou, à savoir : la perméabilité et le tassement.

Les sols à forte fraction sableuse sont trop perméables. L'infiltration étant trop forte ces champs exigent beaucoup de l'eau pour maintenir une lame d'eau dans les parcelles. La conséquence directe est que les paysans sont obligés d'utiliser des doses d'irrigations excessives aggravant du coup le phénomène de lessivage et les pertes d'eau. En plus cela cause des tensions entre les paysans.

Le tassement provoque une réduction du système racinaire du riz entraînant une baisse de rendement. Ce phénomène est dû à la texture légère des sols, au système de travail du sol (le travail est exécuté dans des conditions d'humidité du sol) et enfin à la pression de la lame d'eau qui stagne pratiquement en permanence dans les parcelles. Leurs teneurs en base échangeables sont très convenables au départ mais baissent rapidement. Les sols sont pauvres en matière organique, en azote et en phosphore. Alors un fumage est précaire.

3.2 Puits de profil

Pour la détermination des différentes couches du sol, plusieurs puits de profil ont été creusés dans les champs de test. A l'aide du changement des couleurs et le changement de la résistance à la pénétration avec un outil pointu on a pu déterminer les différentes couches des champs. Au fur et à mesure que la texture de quelques couches était identique des adaptations ont été faites.

On peut remarquer la présence fréquente des couches impénétrables dans la région. D'après les densités apparentes extrêmement élevées et les recherches qualitatives dans les puits, on conclue que ces couches sont souvent constituées du plinthise. A cause de la profondeur moyenne d'environ 1m de ces couches impénétrables, la profondeur de la zone d'enracinement est limitée.

Finalement, dans différentes études pédologiques (éditions J.A., 2001 ; Bureau national des sols, 1993), l'apparition des sols hydromorphes est mentionné. Cette remarque correspond avec la présence fréquente de 'gley' dans les profils recherchés.

Champ 1

Localisation du puits : (04°26'47.9''W et 11°15'41.9''N, altitude : 326m)

Tableau 3.2 - Description du profil du champ 1

1	2	3	4
0-7 cm	7-20 cm	20-35cm	35-130cm
brun clair	brun-gris	gris rouge	rubigineux avec une matrice rouge
texture sableuse	sableux limoneux	Argileux (estimation :30%) ; commencement des petits cailloux	très argilleux ; cailloux à partir de 40 cm
pas de gley	pas de gley	des signes de gley commencent à partir de 32 cm.	gley (quantité augmente graduellement).
structure pas trop compacte	structure assez compacte	structure assez douce	La structure durcit graduellement.

Remarques générales :

- Gley à partir de 32 cm jusqu'à 130cm
- Profondeur de la zone d'enracinement >120 cm
- Concrétions de Mn (noir) à partir de 50-60 cm jusqu'en bas du puits)
- L'eau rentrait à partir de 130cm
- Présence de grands trous à 20, 65 et 90cm, éventuellement à cause des souris.

Champ 5

Localisation du puits :(04°26'28.0''W et 11°16'52.8''N, altitude : 318m)

Tableau 3.3 - Description du profil du champ 5

1	2	3	4
0-10 cm	10-40 cm	40-60 cm	60-105 cm
gris	brun clair	couleur entre brun clair et orange brun	rubigineux, ou orange brun
texture sableuse	limoneux	limoneux (estimation :50%) et des petits cailloux (partout)	très argilleux, présence des cailloux
pas de gley	pas de gley	pas de gley	pas de gley
structure pas trop compacte	structure assez compacte	structure assez dure	structure très dure

Remarques générales :

- Pas de gley
- Profondeur de la zone d'enracinement : 100cm
 - Les plus grandes racines jusqu'à 40 cm
 - Entre 60 et 80 cm de nouveau des racines plus grandes.
- Petits cailloux partout dans le profil.
- A partir de 75 cm, vraiment dur !
- Tout le profil est assez dur, sauf la première couche.
- 25-35cm : du vieux matériel organique.

Champ 14

Localisation du puits : (04°25'06.9''W et 11°18'16.3''N, altitude : 316m)

Tableau 3.4 - Description du profil du champ 14

A	B1	B2	C
0-11 cm	11-32 cm	32-60 cm	60-85cm
gris	brun clair, beige	brun clair, beige	rubigineux
texture sableuse	sable-limon	Sable-limon avec plus d'argille petits cailloux à partir de 30 cm	Couche dure, présence de cailloux
pas de gley	début de gley	gley	gley
structure pas trop compacte	structure assez fine	Structure plus raboteuse	Structure très dure

Remarques générales :

- Profondeur de la zone avec des racines : >80cm
- Petits cailloux à partir de 30 cm.
- A partir de 60 cm, vraiment dur !
- Gley à partir de 10 cm
- Trous des vers et des termites

Champ : bas-fonds

Localisation du puits : (04°25'32.3''W et 11°17'43.3''N, altitude : 329m)

Tableau 3.5 - Description du profil dans le bas-fonds

A	AB	B	Couche dure
0-10 cm	10-25 cm	25-50cm	A partir d'environ 45-50 cm
noir gris	gris clair	gris clair et rubigineux	Aussi beaucoup de gley
texture assez sableuse	sableux et déjà peu argileux	argileux (estimation : 40%) et commencement des petits cailloux	Aussi des cailloux assez blancs.
1 à 2% de gley (superficie, estimation visuelle)	20% de gley	50% de gley	

Remarques générales :

- Gley à partir de 8 cm jusque dans le fragipan
- Profondeur de la zone avec des racines : 52 cm
- Concrétions de Mn (noir à partir de 35 cm jusque dans le fragipan.
- Structure assez compacte.
- L'eau rentrait à partir de 70 cm.

3.3 Densité apparente

La densité apparente (ρ_a) est définie comme le poids de sol sec par unité de volume de sol en g/cm^3 . Elle indique la relation entre la masse des particules sèches et le volume total du sol. La densité apparente varie de $1,3 \text{ g/cm}^3$ pour des sols argileux jusqu'à $1,6 \text{ g/cm}^3$ pour des sols sableux.

La façon d'obtenir la densité apparente est la suivante :

On prend des échantillons non perturbés à l'aide des cylindres de 100 cm^3 . Puis on sèche les échantillons à l'étuve ventilée (105°C) pendant 24 h. La densité apparente est alors définie par

$$\rho_a = M_s/V_t$$

M_s = Poids net de la terre sèche

V_t = Volume du cylindre (100 cm^3 dans nos analyses)

Tableau 3.6 donne les valeurs des densités apparentes à différentes profondeurs pour les champs de test.

Tableau 3.6 - Densités apparentes à différentes profondeurs

Numéro du champ	Profondeur (cm)	Densité apparente (g/cm^3)
2	20	1.71
	20	1.68
	30	1.61
	50	1.48
	55	1.60
	60	1.58
	65	1.63
2bis	10	1.58
3bis	10	1.56
	12.5	1.49
	15	1.58
	15	1.65
	15	1.55
	25	1.72
4bis	25	1.56
	22.5	1.51
	25	1.79
5	7.5	2.12
	20	2.04
	25	1.56
	30	1.95
14	15	1.41
	15	1.37
	45	1.43
	50	1.57

Les valeurs extrêmement élevées peuvent d'une part être causées par la présence de la plinthisite ou par des erreurs de mesure d'autre part (voir le changement de densité

apparente trop abrupte entre 20 et 25 cm pour le cas du champ 5). La teneur en cailloux élevée dans les échantillons peut être à l'origine de nos difficultés de mesures.

3.4 Conductivité saturée du sol

Les valeurs de Ksat pour les différents champs de test obtenus avec le test d'infiltration à double anneau (Walker & Skogerboe, 1987 ; Wellens 1998) se retrouvent dans le Tableau 3.7.

Tableau 3.7 - Les valeurs Ksat pour les différents champs de test à Diaradougou et la Vallée du Kou (Bama)

Numéro du champ	Ksat (mm/jour)	Numéro du champ	Ksat (mm/jour)
1	838	13	3153
	4520	14	2001
	352		5470
2	331		3456
4	908	Bama	19
	450		16
5	54		14

3.5 Teneur en eau

La méthode gravimétrique pour la détermination de la teneur en eau d'un sol est la plus souvent employée et la plus pratique à mesurer. Elle donne l'humidité par rapport au poids sec (séché à 105°C). On obtient la teneur pondérale en eau exprimée en % de poids de sol sec (θ_p) par pesée d'un échantillon perturbé avant et après étuvage :

$$\theta_p = 100 \frac{M_e}{M_s} = 100 \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad (\% \text{pond})$$

θ_p est la teneur gravimétrique en eau (g(eau)/100g(sol sec))

M_e la masse d'eau (g)

M_t la masse de l'échantillon humide (sol + eau) (g)

M_s la masse de l'échantillon sec (sol) (g)

Après, la teneur en eau gravimétrique est convertie en teneur volumique en eau (θ_v) à l'aide de la densité apparente, entre autre parce que pour la validation du modèle BUDGET, on a besoin de ces valeurs.

$$\theta_v = \theta_p \rho_a \quad (\% \text{vol})$$

3.6 Courbe de rétention

Dans le sol l'eau est retenue par des forces matricielles. Les plantes doivent vaincre ces forces afin d'extraire de l'eau du sol. Chaque sol a sa propre courbe caractéristique d'humidité ou courbe de rétention. Le potentiel matriciel est exprimé comme une pression négative (en Pa, bar, cm, colonne d'eau, etc.). Parfois, la force de succion est exprimée comme valeur pF :

$$pF = \log_{10} (-P)$$

avec P la pression de l'eau (cm colonne d'eau)

D'abord, quelques informations sur les points importants dans la courbe caractéristique de l'humidité du sol :

Point de saturation (PS)

Si l'espace des pores est entièrement rempli d'eau, le sol est saturé. Le potentiel matriciel du sol est zéro (pF= 0). La teneur en eau de saturation égale la porosité :

$$\theta_{PS} = 100 (1 - \rho_a / \rho_s) \quad (\%vol)$$

Capacité au champ (CC)

La capacité au champ est la quantité d'eau retenue dans un sol, bien drainé, contre les forces de gravité. En d'autres termes, c'est la teneur en eau à laquelle on présume que le drainage interne cesse, mais ce n'est pas une limite absolue. En effet, après avoir atteint la capacité au champ, le mouvement descendant de l'eau ne cesse pas complètement mais continue à un rythme très faible. Des sols de différentes textures ont des différents teneurs en eau de capacité au champ et il existe une variation de la succion en fonction du type du sol :

- Texture argileuse ou limoneuse : pF = 2.5 (environ 0.3 bar)
- Texture sableuse : pF = 2.0 (environ 0.1 bar)

Point de flétrissement permanent (PF)

Le point de flétrissement permanent correspond à l'humidité du sol à laquelle les plantes périssent définitivement. Pour la plupart des sols cela commence à partir d'une rétention d'environ 15 bar. Le point de flétrissement permanent ne dépend pas uniquement de l'humidité du sol, d'autres facteurs interviennent comme la conductivité hydraulique du sol et le degré d'évapotranspiration potentielle.

Courbes de rétention

La Figure 3.1 présente des courbes caractéristiques de rétention de l'eau pour différents types de textures. La figure 3.2 montre les courbes de rétention de l'eau, générées sur la base de 6 points de pF et pour plusieurs profondeurs dans les champs de test. Les lignes pointillées dans les figures montrent les courbes escomptées (valeurs parfois douteuses pour pF 0 et 2).

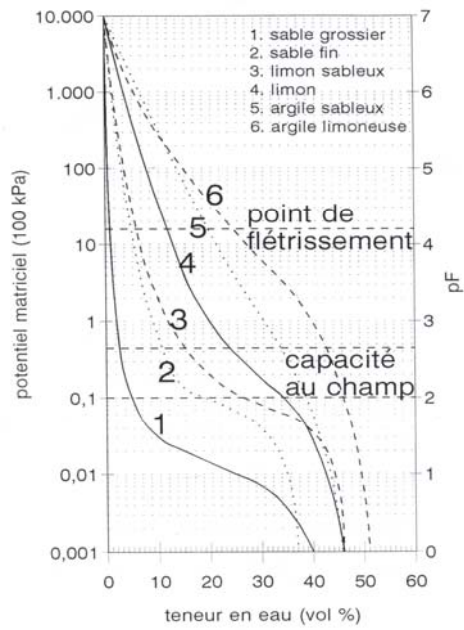


Figure 3.1 - Courbes de rétention de l'eau pour différents types de sol

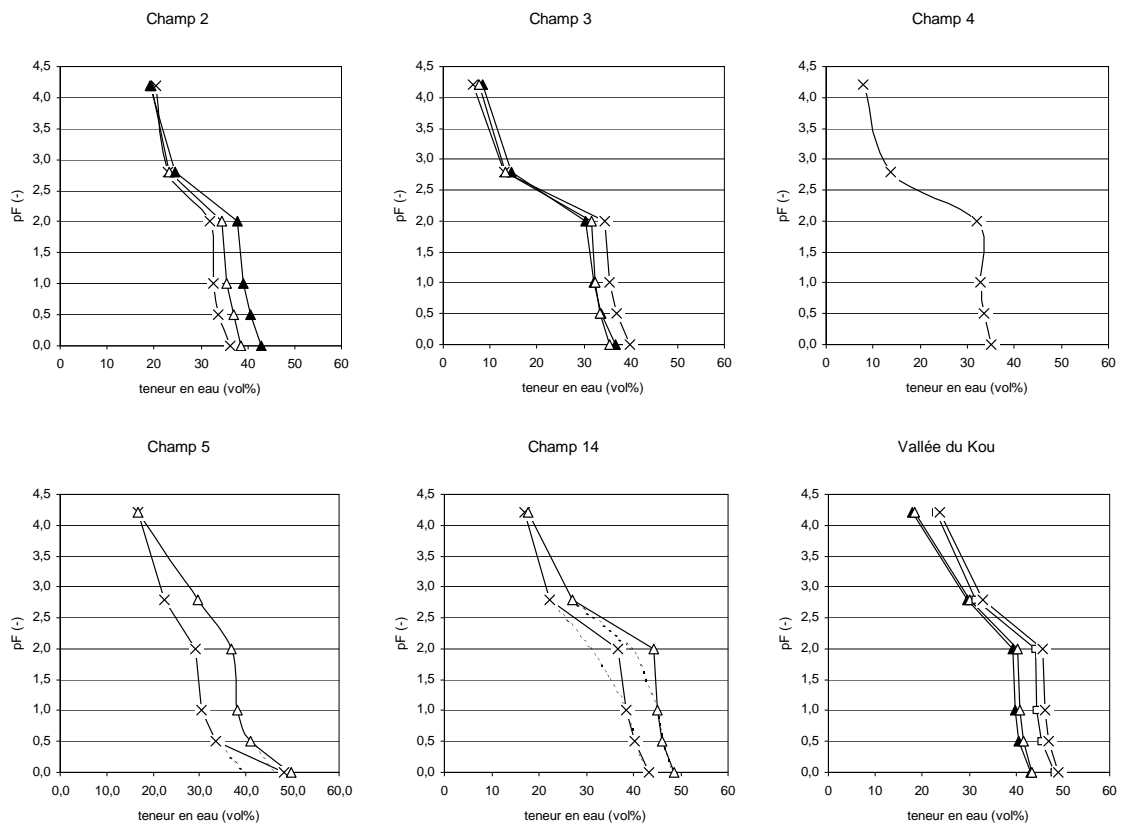


Figure 3.2 - Courbes caractéristiques de rétention de l'eau pour les champs de test¹

¹ Champ 2: 20cm -x- 30cm -Δ- 50cm -▲- ; Champ 3 : 10cm -x- 15cm -Δ- 25cm -▲- ; Champ 4 : 25cm -x- ; Champ 5 : 20cm -x- 25 cm -Δ- ; Champ 14 : 15 cm -x- 45cm -Δ- ; Vallée du Kou : location 1 à 15cm -Δ-, location 4 à 15cm -▲-, location 2 à 50cm -□-, location 3 à 50cm -x-.

A l'aide des mesures et des courbes générées, les teneurs en eau au point de flétrissement permanent, à la capacité au champ et saturée peuvent être déduites. Les données sont reprises dans le Tableau 3.8.

Tableau 3.8 - Teneurs en eau pour différentes valeurs pF et différentes profondeurs dans les champs de test

N° du champ	Profondeur (cm)	θ_{SAT} (%)	θ_{CC} (%)	θ_{PF} (%)
2	20	36	28	20
	30	39	29	19
	50	43	31	19
3	10	40	24	7
	15	35	22	8
	25	37	23	8
4	25	35	23	8
5	20	48	26	17
	25	50	33	17
14	15	43	30	17
	45	49	36	18
Bama	15	43	35	18
	50	49	39	23

7 Discussion et conclusion

Selon le bureau national des sols du Burkina Faso (1993, rapport technique n° 88) et selon les résultats présentés, les textures limoneuses sont les types de texture les plus abondants dans le Sud-ouest du Burkina Faso.

Selon le même rapport, la présence fréquente de sols ferrugineux confirme l'hypothèse de la présence de plinthite. Les couches dures sont des formes de 'hyperplinthite' et la présence abondante des cailloux ferrugineux indiquent de l'orthoplinthite'. Ce sont ces couches qui limitent souvent la profondeur d'enracinement des cultures. La présence de l'orthoplinthite dans les échantillons non perturbés est également à l'origine des densités apparentes très élevées et réduit les liens existant entre textures et densités apparentes (Driessen *et al.*, 2001).

La présence de ces cailloux entraîne des difficultés pratiques pendant le prélèvement d'échantillons destinés à l'établissement des courbes de rétention. L'influence directe de ces cailloux sur la capacité de rétention de l'eau d'un sol n'est pas bien connue. Les recherches ont également montré que la perméabilité des couches à l'eau pouvait être variable. Des valeurs K_{sat} très basses tout comme des valeurs très élevées ont été mesurées dans les champs possédant des couches dures.

Les couches dures posent également des problèmes lors des mesures de conductivités hydrauliques. Les valeurs K_{sat} très élevées peuvent être causées par les termites, par des fissures souterraines, des arbres proches ou des courants d'eau superficiels dus à une couche impénétrable. Cette dernière hypothèse est confirmée par des test d'infiltration très proches l'un de l'autre dans les bas fonds. Les derniers facteurs expliquent aussi la différence entre les textures et les valeurs K_{sat} rapportées.

Finalement, les courbes de rétention obtenues à partir des échantillons montrent une analogie acceptable avec les textures, malgré ces difficultés. Les teneurs en eau à saturation, à capacité au champ et au point de flétrissement permanent s'approchent très bien les valeurs fixées par défaut pour la texture limoneuse (champs de test) ou pour un sol 'sablo argilo limoneux à argilo limoneux (cas de la Vallée du Kou).



- SMAP -

4

Synthèse hydrologique sur le Bassin du Kou

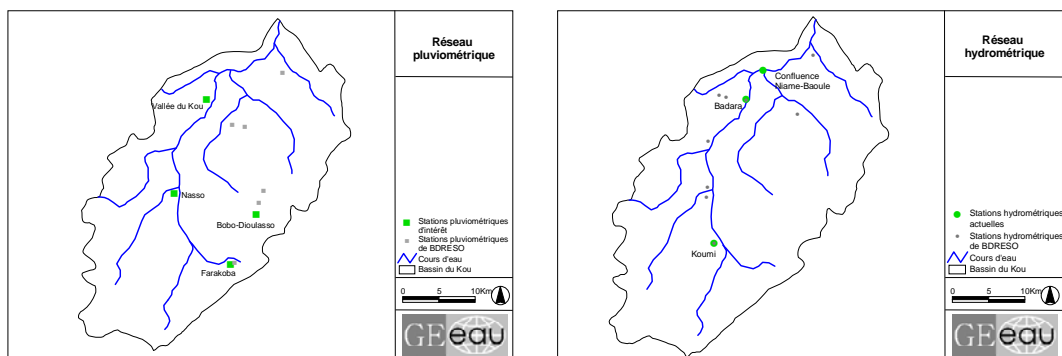
4.1 Etat des lieux des stations du bassin

Les observations faites sur le terrain ont permis de constater que le bassin versant du Kou est relativement bien couvert en stations pluviométriques et hydrométriques.

En effet, les stations pluviométriques et hydrométriques situées à l'intérieur du bassin et qui sont encore suivies à l'heure actuelle sont respectivement de 3 et de 4.

On a donc un poste pluviométrique pour 465 km² environ et une densité de une station hydrométrique pour 620 km² de bassin. Ce qui respecte les normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ; cette norme recommande pour la zone tropicale, un poste pluviométrique pour 600 à 900 km² et une station hydrométrique pour 1000 à 2500 km².

Cependant la qualité des données hydrométriques n'est pas toujours bonne. Carte 4.1 ci-dessous représente le réseau pluviométrique.



Carte 4.1 – Réseau pluviométrique et hydrométrique

4.1.1 Réseau pluviométrique

La collecte des données de pluie est bien effectuée sur le bassin versant. On note quatre (4) postes pluviométriques sur l'ensemble du bassin. Ce réseau comprend trois types de stations : des stations synoptiques, des stations agro-météorologiques et des postes pluviométriques simples. La principale donnée collectée par tous ces types de poste est la pluviométrie.

Tableau 4.1 – Liste des stations pluviométriques du bassin

Nom	Type	Latitude (N)	Longitude (O)	Altitude (m)	Données
Bobo-Diouilasso	Synoptique	11°10'	4°19'	459	1907 à 1916 1919 à nos jours
Farakoba	Bioclimatologique	11°06'	4°20'	405	1953 à 1987 1989 à 1991 1993 à nos jours
Nasso	Pluviométrique	11°12'	4°26'	335	1953 à nos jours
Vallée du Kou	Bioclimatologique	11°22'	4°23'	459	1977 à 1980 1986,1987,1997

L'homogénéité des données de pluies ainsi que leur qualité ont été vérifiées et trouvées bonnes.

Une analyse des données climatologiques du bassin du Kou est donnée dans « Bulletin Technique : Agroclimatologie » (GE-eau, 2004).

4.1.2 Réseau hydrométrique

Le bassin versant du Kou, compte tenu de son importance économique (plusieurs périmètres irrigués formels et informels) a fait l'objet de plusieurs études pendant une vingtaine d'années et les études sur ce bassin continuent jusqu'à ce jour.

Cependant, la plupart des stations hydrométriques installées par un projet, subissent un abandon immédiat à la fin du projet.

Aujourd'hui trois (3) stations hydrométriques dites nationales sont suivies. Le tableau ci-dessous récapitule ces 3 stations. La Figure 4.1 indique la situation des stations à l'intérieur du bassin.

Les données de ces stations, disponibles dans la base HYDROM, possèdent beaucoup de lacunes dans les séries. Il y a également le cas de la station de Koumi qui ne possède aucune donnée de débits bien que les lectures d'échelles et les données « débits hauteur » pour l'établissement de la courbe de tarage existent dans HYDROM. La courbe de tarage de cette station a donc été tracée.

Tableau 4.2 – Récapitulatif des stations hydrométriques du bassin du Kou

Nom	Latitude (N)	Longitude (O)	Superficie drainée (km ²)	Date d'installation	Equipement
Koumi	11°13'	4°42'	347	1985	échelles
Badara	11°37'	4°37'	989	1955	limnigraphe mécanique
Niamé-Baoulé (confluence)	11°42'	4°33'	1605	1980	limnigraphe mécanique OTTx + échelles

La comparaison des trois stations hydrométriques permet de voir et d'identifier d'éventuelles anomalies.

La superposition des hydrogrammes des stations de Koumi, Badara et de la confluence Niamé-Baoulé (Figure 4.1) permet de dire, qu'il n'y a pas d'anomalie remarquable avec cette critique visuelle.

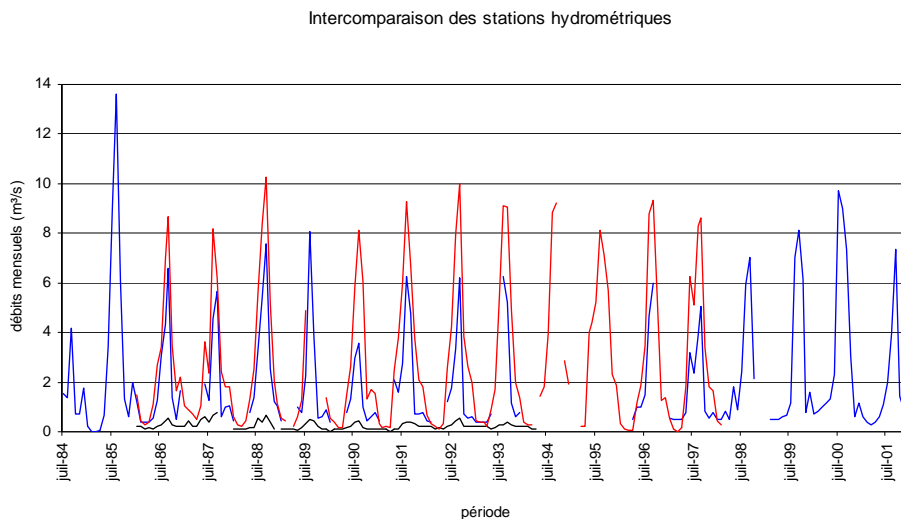


Figure 4.1 – Hydrogrammes superposés des stations hydrométriques (noir : Koumi ; bleu : Badara & rouge : confluence Niamé-Baoulé)

L'analyse des hydrogrammes de débits mensuels observés par station fait ressortir pour la station de Koumi, pour chaque année, des débits constants sur six mois environ. Cela peut amener à dire que les lectures d'échelles n'ont pas toujours été bien faites sur cette station. Mais cela pourrait aussi être les débits de base car cette constante est observée en période sèche.

Le débit annuel moyen du Kou à la confluence Niamé Baoulé est de 3.49 m³/s, ce qui correspond à un débit spécifique de 2.18 l/s/km², équivalent à un apport moyen annuel de 68.61 millions de m³.

Sur le bassin, les étiages vont de 0.10 à 0.40 m³/s et les étiages absolus ont le plus fréquemment lieu de mi-avril à mi-mai.

La rigueur de l'étiage de chaque année dépend d'une part, de l'ampleur des pluies de l'année précédente et son caractère précoce ou tardif et d'autre part, de la date des premières précipitations de la saison des pluies suivantes.

Les crues qui se produisent au cours d'une même saison de pluie se succèdent et se déroulent pour la plus part du temps en août ou septembre.

Vu les lacunes existantes dans la base de données HYDROM, l'utilisation d'une méthode de simulation pluie – débit était incontournable pour combler les vides.

4.2 Le logiciel SMAP

Dans la plupart des cas les relevés de débits sont plus rares et plus courts que les observations de précipitations. Au Burkina Faso on dispose de longues séries pluviométriques dont certaines ont une cinquantaine d'années et la couverture météorologique est relativement dense. Pour ce qui est des débits, le réseau de mesures est récent et beaucoup moins reparti.

Il est très généralement admis que dans des situations pareilles les modèles déterministes, dont le modèle SMAP qui permettent de convertir les précipitations en écoulement constituent un outil fiable et performant. Depuis plus de 30 ans, de nombreux modèles de ce type ont été développés, testés et utilisés avec succès sous tous les climats et dans les contextes physiographiques très variés dans le monde entier. Ils servent à étendre les séries de débits courtes, et, pour peu que les paramètres soient transposables, ils peuvent être appliqués là où les données hydrométriques font défaut.

Le bilan hydraulique est modélisé par simulation à partir des paramètres climatologiques (pluie moyenne pondérée sur le bassin et évapotranspiration potentielle) et des paramètres physiques semi-empiriques qui globalisent les conditions de ruissellement (capacité d'infiltration), du bassin versant pris dans son ensemble. Ces paramètres virtuels ne sont pas mesurables sur le terrain, mais sont déterminés au cours de la calibration du modèle par tâtonnements. En gros, ils assimilent le degré de saturation du bassin pris dans son ensemble à une cascade de réservoirs fictifs qui, lorsqu'ils sont remplis, débordent et contribuent aux écoulements.

4.2.1 Historique

Le modèle SMAP a été présenté en 1981 durant les travaux du symposium national d'hydrologie au Brésil, par J.E.G. Lopez, B.P.F. Braga et J.G.L. Conejo. C'est un modèle hydrologique à réservoirs simplifiés qui permet la transformation des pluies en débits à partir des caractéristiques physiographiques du bassin.

Il a été introduit à la D.G.I.R.H en 1999 par le programme Gestion Intégrée des Ressources en Eau (G.I.R.E) et a contribué à l'estimation de la disponibilité en eau du Burkina.

Le modèle tourne sous Excel.

4.2.2 Méthodologie générale

L'approche méthodologique repose sur l'utilisation des séries de précipitations de longue durée pour reconstituer ou générer des séries d'écoulements de durée équivalente. Pour cela, le modèle utilisé est un modèle conceptuel déterministe.

Cette approche présente les avantages suivants :

- L'utilisation optimale des informations fournies par l'ensemble du réseau pluviométrique qui est à la fois plus dense et dispose de données plus longues.
- Une extension dans le temps et dans l'espace des séries par la modélisation pluie-débit.

La méthodologie peut être décrite de la manière suivante :

- Inventaire, saisie et mise en forme des données de base : pluie, débit et ETp sur les bassins ;
- Calcul des pluies moyennes pondérées sur les bassins ;
- Détermination des paramètres physiques des bassins ;
- Modélisation pluie-débit : transfert des séries ETp, pluies moyennes et paramètres vers SMAP ;
- Calage du modèle ;
- Calcul des matrices de corrélation pluie-débit : analyse et interprétation des ressources superficielles.

4.2.3 Fonctionnement du modèle SMAP

La représentation schématique du modèle, en illustrant la façon dont les réservoirs sont raccordés entre eux, permet de mieux comprendre le fonctionnement du modèle.

Celui-ci est constitué par des réservoirs virtuels qui simulent les phénomènes essentiels de retenue et de transfert des eaux de pluie. Deux réservoirs linéaires représentent le sol et la nappe phréatique (réservoir souterrain).

Le taux de la teneur en eau du sol est défini à chaque instant par l'expression :

$$TU = \frac{R_{SOL}}{SAT}$$

R_{SOL}	Niveau du réservoir du sol [mm]
SAT	Capacité de saturation du sol [mm]

Un bilan de masse est établi pour chaque pas de temps. Une fraction de l'eau précipitée passe directement comme écoulement de surface et est déduit du système, tandis qu'une partie alimentera le réservoir du sol :

$$ES = P \cdot TU^{E2}$$

ES Ecoulement de surface [mm]
P Précipitation [mm]
E2 Paramètre d'écoulement superficiel

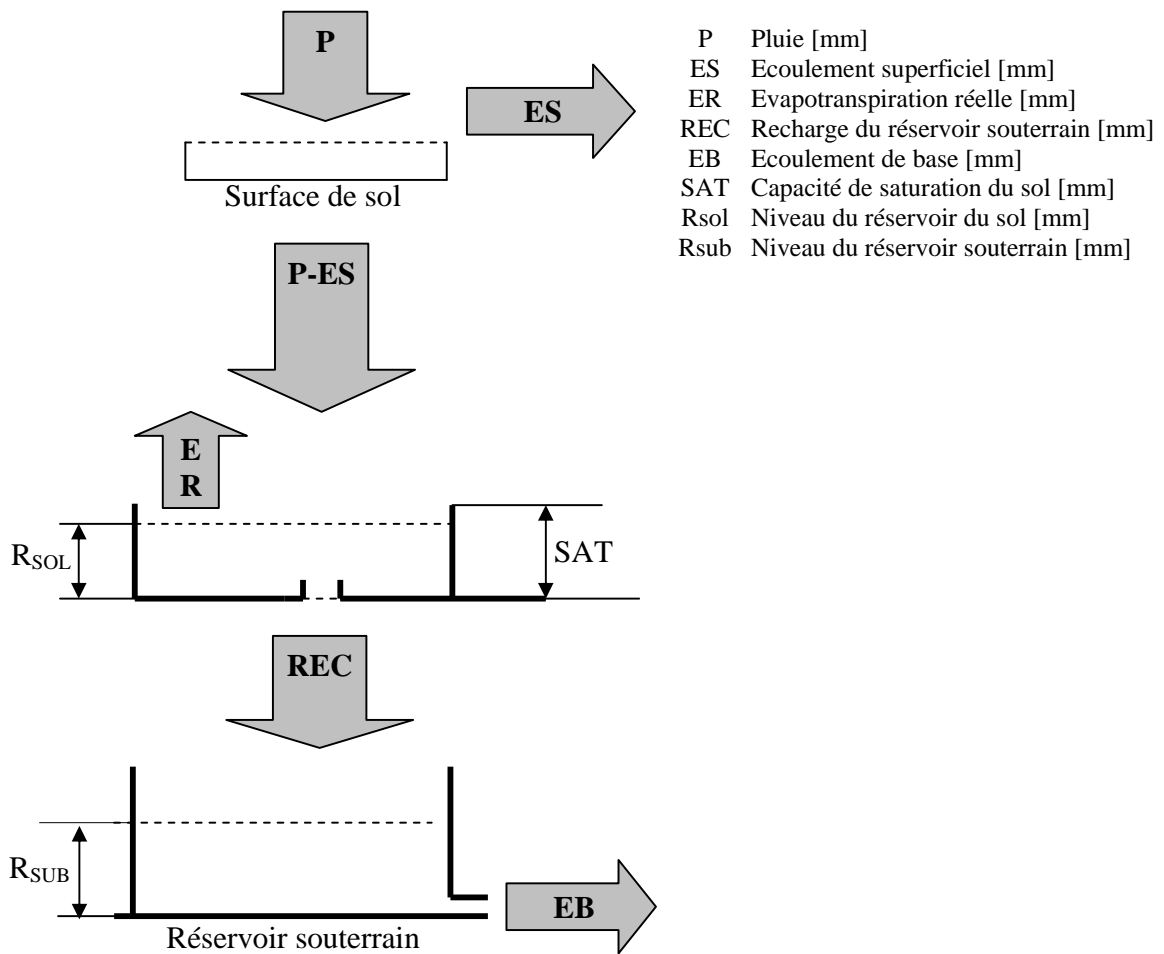


Figure 4.2 - Principe de fonctionnement du modèle SMAP

Dans le réservoir du sol, une partie de la pluie résiduelle se perd par évapotranspiration réelle selon l'équation :

$$ER = EP \cdot TU^{E1}$$

ER	Evapotranspiration réelle [mm]
EP	Evapotranspiration potentielle [mm]
E1	Paramètre qui contrôle l'évaporation du sol

La recharge du réservoir souterrain se déduit du niveau d'eau dans le réservoir du sol par l'équation :

$$REC = R_{SOL} \cdot TU^4 \cdot CREC$$

REC	Recharge [mm]
CREC	Coefficient de recharge de la nappe.

La valeur de l'exposant TU est prise égale à 4 pour que la recharge s'approche de zéro quand la teneur en eau du sol s'approche de la capacité du terrain.

Dans le second réservoir linéaire, le niveau de l'eau est abaissé à un taux constant qui correspond à l'écoulement de base. L'expression suivante est utilisée :

$$EB = R_{SUB} \cdot (1 - C_K)$$

R _{SUB}	Niveau du réservoir souterrain en mm.
C _K	Constante de récession hydraulique du réservoir.
EB	Écoulement de base en mm.

Les équations suivantes définissent à chaque pas de temps le bilan de masse :

$$R_{SOL(i+1)} = R_{SOLi} + P - ER - ES - REC$$

$$R_{SUB(i+1)} = R_{SUBi} + REC - EB$$

Où i et i+1 indiquent les mois considérés et RSOL et R_{SUB} les niveaux dans chaque réservoir.

De la somme des écoulements superficiels ES et de base EB, résulte le débit au point de contrôle du bassin (en mm), soit:

$$Q = ES + EB$$

Le niveau de chaque réservoir est actualisé à chaque pas de temps en fonction de l'écoulement superficiel, de l'évapotranspiration, de la recharge de la nappe phréatique et de l'écoulement de base par les algorithmes présentés ci-dessus.

4.2.4 Calage du modèle

Pour le calage du modèle, les données suivantes sont nécessaires : les précipitations (mm/mois), l'évapotranspiration potentielle (mm/mois) et les apports mensuels (Mm³/mois).

Les paramètres d'entrée du modèle sont les suivants :

Tableau 4.3 - Paramètres d'entrée du modèle SMAP

Paramètres physiques		Paramètres définissant les conditions initiales	
SAT	Capacité de saturation du réservoir du sol	R _{SOL}	Niveau initial dans le réservoir du sol
E1	Coefficient de contrôle de l'ETp	Q _{bin}	Débit de base initial
E2	Coefficient de contrôle de l'écoulement		
CREC	Coefficient de recharge de la nappe		
CK	Constante de récession du bassin		

Le niveau d'eau initial dans le réservoir souterrain, R_{SUBi} est déterminé de la manière suivante :

$$R_{SUBi} = \frac{Q_{bin} \cdot T}{S \cdot (1 - C_K)}$$

S Surface du bassin [km²]
T Nombre de secondes dans le mois.

Tous ces paramètres seront ajustés par tâtonnement en partant des conditions hydrauliques, météorologiques et physiques du bassin.

La constante hydraulique de récession pourra être approchée en se basant sur la récession d'étiage réellement observée sur quelques hydrogrammes. La droite de récession a pour expression.

$$Q_t = Q_o \cdot K^{(t-t_o)}$$

Q_o Débit à l'instant t_o
Q_t Débit à l'instant t
K Récession journalière

Pour les modélisations à pas de temps, la constante de récession mensuelle, C_k, est employée : C_k = K³⁰

4.3 Modélisation

4.3.1 Données d'entrée

Les **données hydrométriques** disponibles dans la base HYDROM et mises à jour jusqu'à 2001 sont celles des stations de Koumi, Badara et de la Confluence Niamé – Baoulé. Pour la période de simulation 1980 à 2001 les données des trois stations couvrent en général moins de 12 ans (Tableau 4.4).

Tableau 4.4 – Périodes couvertes par les données disponibles de débits observés

	Koumi	Badara	Confluence
Nombre de données mensuelles sur les 22 ans ou 264 mois	96 mois 8 ans	156 mois 13 ans	137 mois 11,4 ans
Pourcentage des données observées	36 %	59 %	52 %
Qualité des données	acceptable	bonne	bonne

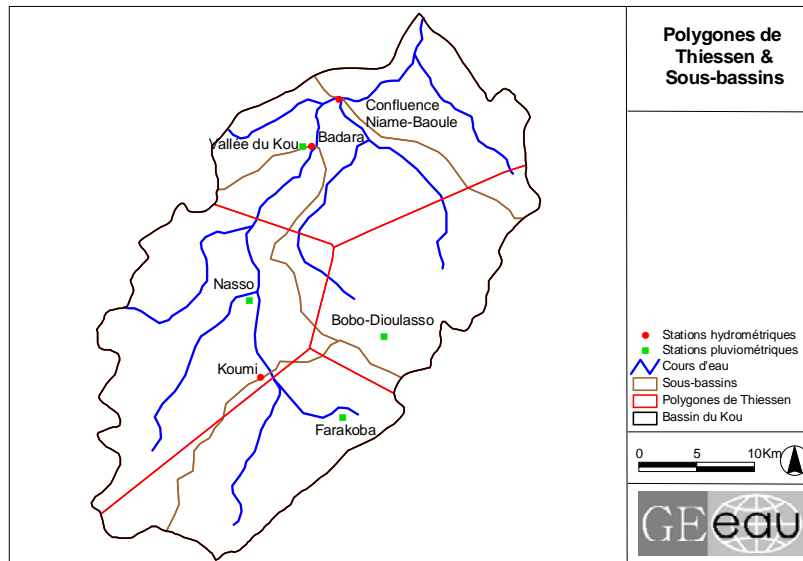
L'**évapotranspiration potentielle** ne varie pas beaucoup sur le bassin (GE-eau, 2004). Les données utilisées sont celles de la ville de Bobo-Dioulasso.

Les **hauteurs de pluie** journalières des 4 stations pluviométriques situées toutes à l'intérieur du bassin ont été utilisées (Bobo-Dioulasso, Farakoba, Nasso et la Vallée du Kou).

Ces données ont permis le calcul des pluies moyennes par sous bassin. La méthode utilisée pour ce calcul est la méthode des polygones de Thiessen. Elle évalue la hauteur moyenne des précipitations pour un pas de temps donné, sur un bassin ou une région d'après la moyenne pondérée des enregistrements pris à plusieurs stations. Le facteur de pondération d'une station est la superficie du polygone formé par les médiatrices des segments d'union entre cette station et les stations environnantes. Le polygone peut être aussi limité par les frontières physiques du bassin de la région. La hauteur moyenne des précipitations est alors :

$$P_m = \frac{\sum S_i \cdot h_i}{A}$$

avec S_i : superficie du polygone de la station i ;
 H_i : hauteur enregistrée sur cette station.



Carte 4.2 – Polygones de Thiessen avec sous-bassins

Carte 4.2 fait ressortir les polygones de Thiessen. Les tableaux ci-dessous présente les coefficients de Thiessen utilisés pour le calcul des pluies moyennes sur les sous-bassins.

Tableau 4.5 – Coefficients de Thiessen pour le calcul des pluies moyennes par sous-bassin

Koumi			Badara			Confluence Niamé-Baoulé		
Stations pluviométriques	Superficie (km ²)	Coeff	Stations pluviométriques	Superficie (km ²)	Coeff	Stations pluviométriques	Superficie (km ²)	Coeff
Farakoba	318	0,92	Farakoba	378	0,38	Farakoba	378	0,24
Bobo-Dioulasso	20	0,06	Bobo-Dioulasso	25	0,03	Bobo-Dioulasso	335	0,21
Nasso	9	0,03	Nasso	513	0,52	Nasso	553	0,34
			Vallée du Kou	73	0,07	Vallée du Kou	339	0,21
Total	347	1,00	Total	989	1,00	Total	1605	1,00

4.3.2 Calage

Le Tableau 4.6 montre les paramètres de calage pour les simulations mensuelles et décennales. Ce calage a été fait par une observation visuelle des différentes courbes tout en modifiant les paramètres d'entrée.

Les simulations journalières n'ont jamais donné un résultat satisfaisant.

Tableau 4.6 – Paramètres de calage : simulations mensuelles et décadaires

	Koumi		Badara		Confluence	
	mensuel	décadaire	mensuel	décadaire	mensuel	décadaire
Surface (km ²)	347		989		1605	
SAT	1630	1900	1700	1800	1450	900
E1	0,15	0,2	0,1	0,1	0,15	0,2
E2	2	1,8	1,3	1,2	1,4	1,9
CREC	0	0	0	0	0	0
C _K	0,8	0,1	0	0,9	0	0,8
R _{SOL}	0	0	0	0	0	0
Q _{bin}	1	1	1	1	1	1

4.3.3 Résultats

Après ajustement des différentes courbes, les courbes définitives obtenues sont indiquées ci-dessous (Figure 4.3 – 4.6).

4.3.3.1 Analyse des courbes

D'une façon générale, la concordance entre les débits simulés et observés est acceptable pour les deux pas de temps.

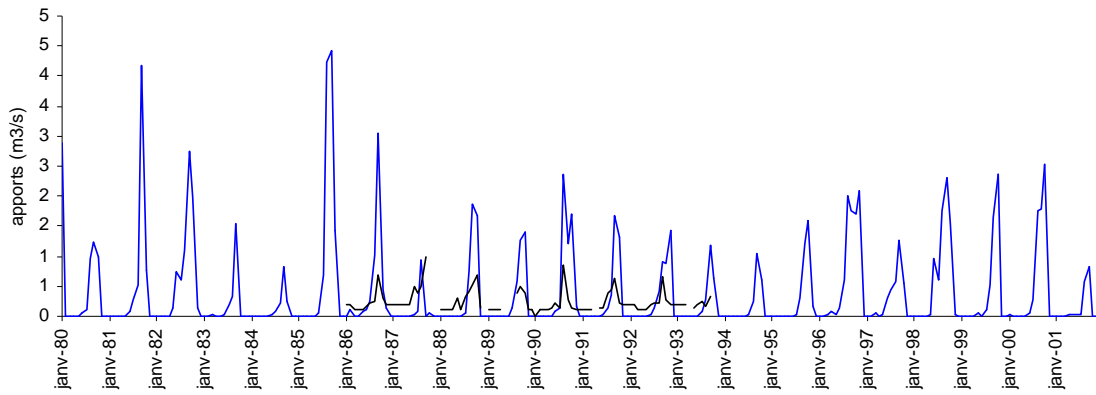
Les courbes des apports et des débits mensuels et décadaires, simulées sont au-dessus de celles observées. Cela s'explique aisément par les prélèvements effectués sur le bassin.

De plus on note d'après le Tableau 4.7 que le coefficient de ruissellement est très faible (moins de 10%). Cela s'explique également par les prélèvements.

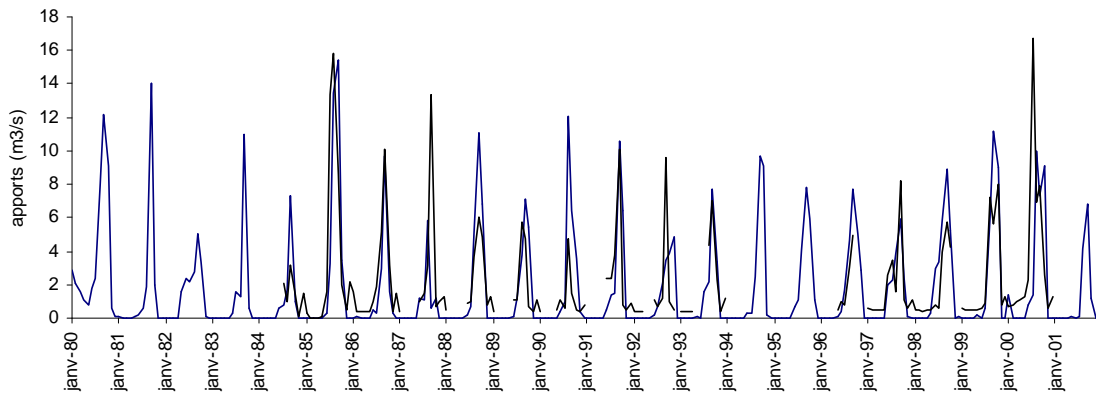
Tableau 4.7 – Coefficients d'écoulement et lames d'eau écoulées par station hydrométrique

	Koumi		Badara		Confluence	
	mensuel	décadaire	mensuel	décadaire	mensuel	décadaire
S (km ²)	347		989		1605	
P _{annuel} moyenne (mm)	997		969		962	
Q _{annuel} (mm)	34	26	58	54	69	61
Vol écoulé (Mm3)	11.741	9.129	57.386	53.719	110.121	97.771
L/P (%)	3,4 %	2,6 %	6,0 %	5,6 %	7,2 %	6,3 %

Koumi: simulation décadaire



Badara: simulation décadaire



Confluence: simulation décadaire

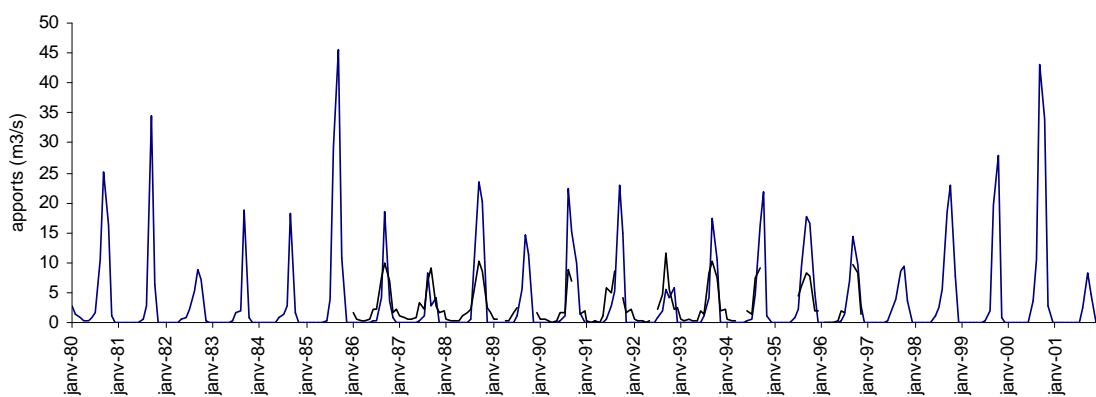
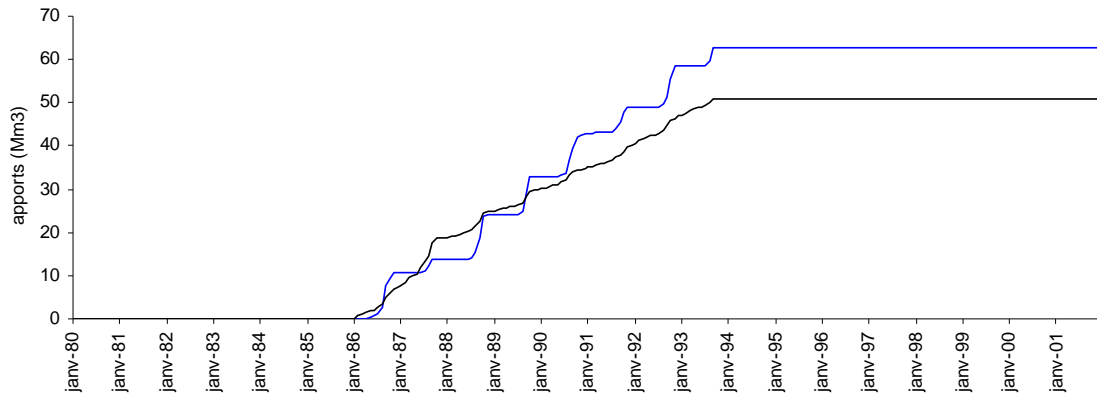
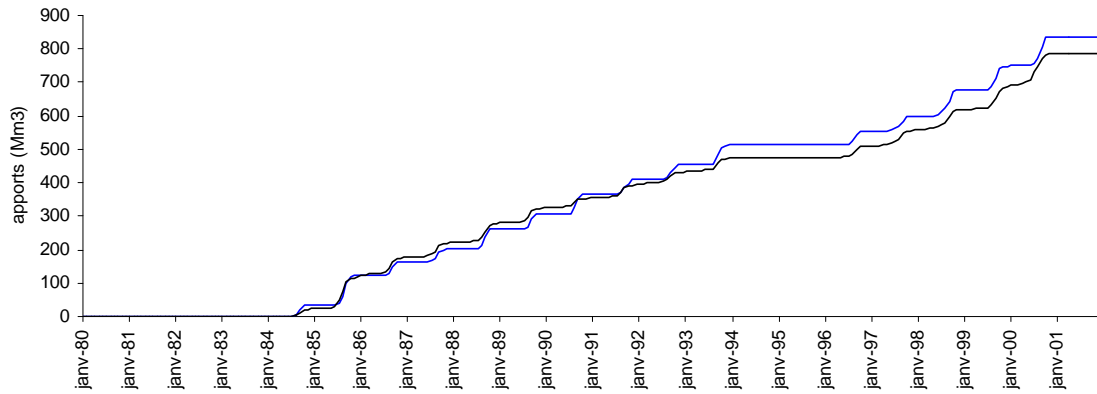


Figure 4.3 – Simulation décadaire sur les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé (bleu : débit simulé ; noire : débit observé)

Koumi: Cumul des apports décennaires observés et calculés



Badara: Cumul des apports décennaires observés et simulés



Confluence: Cumul des apports décennaires observés et simulés

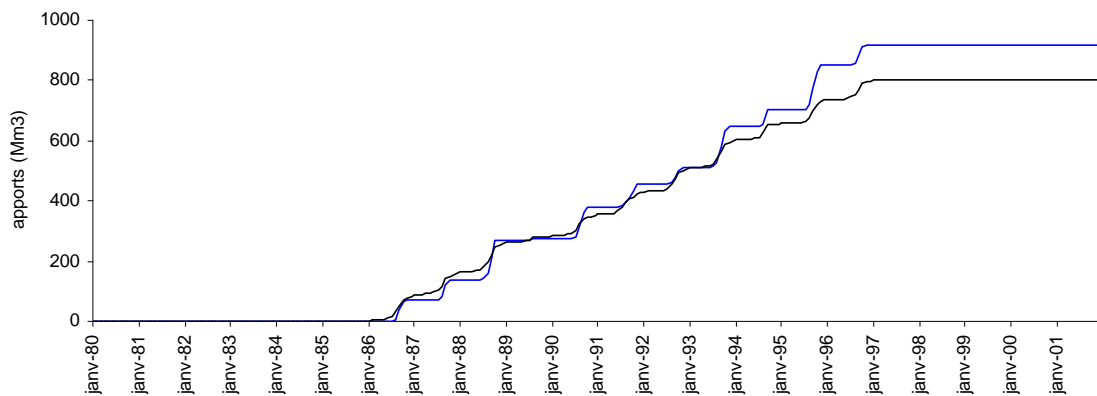
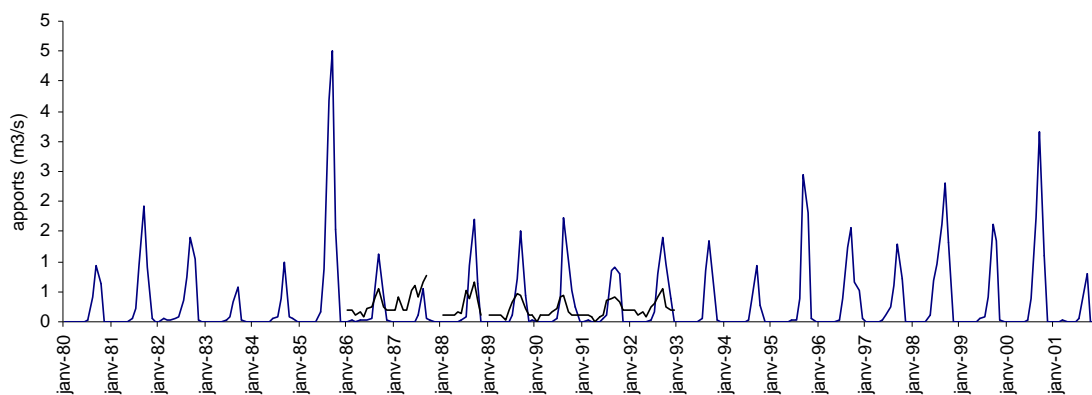
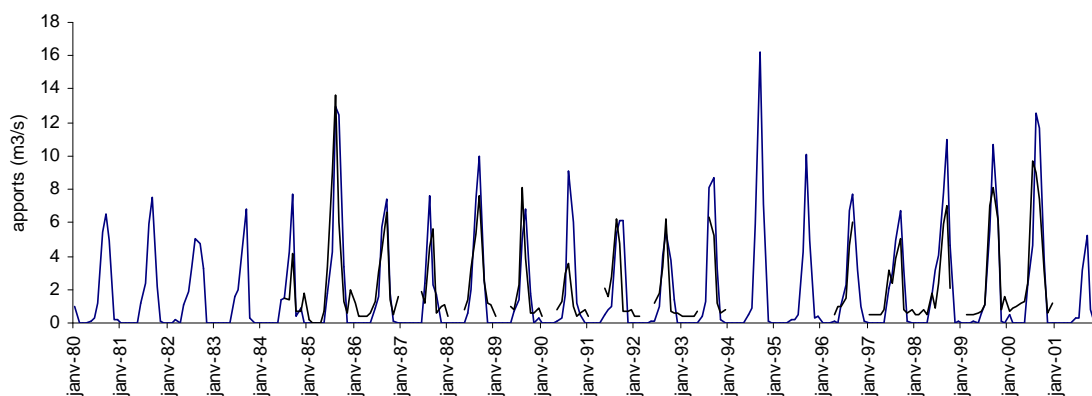


Figure 4.4 – Cumul des apports décennaires observés et simulés pour les station hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé (bleu : débit simulé ; noire : débit observé)

Koumi: simulation mensuelle



Badara: simulation mensuelle



Confluence: simulation mensuelle

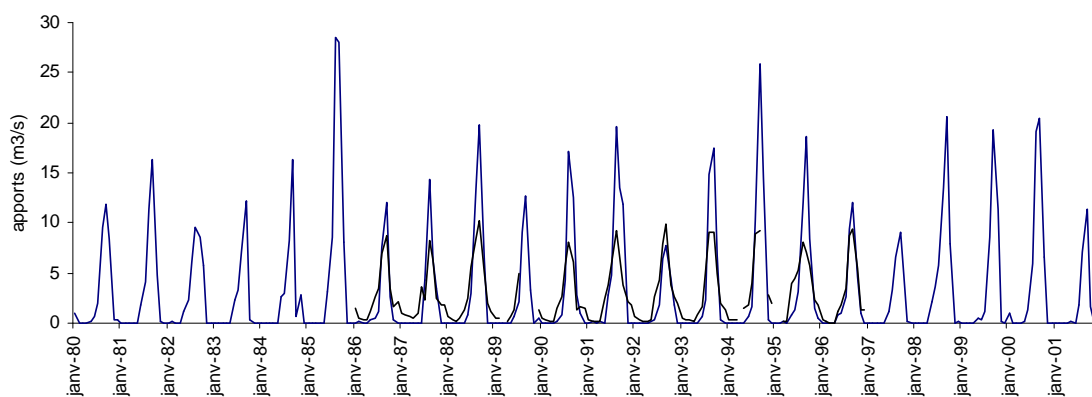
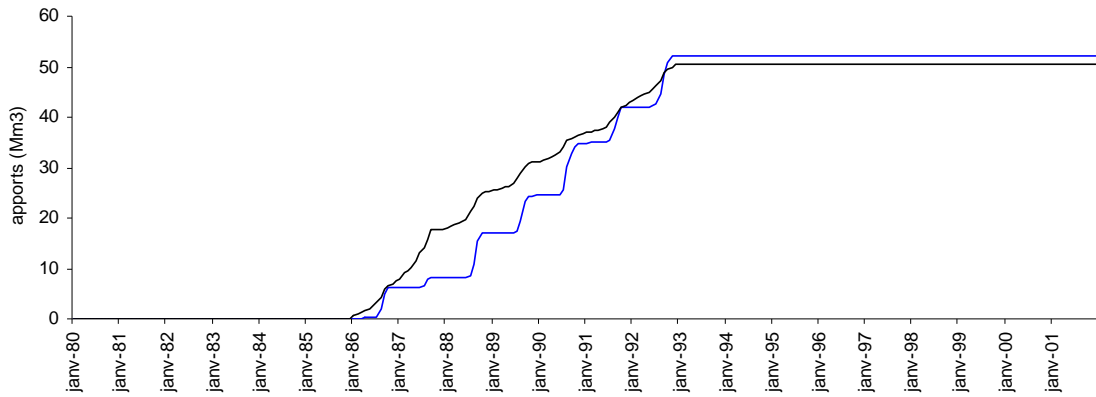
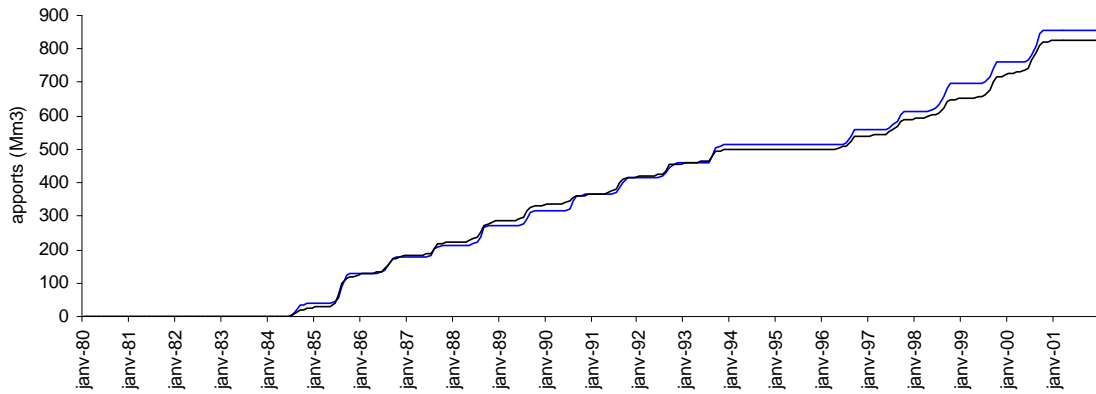


Figure 4.5 – Simulation mensuelle sur les stations hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé (bleu : débit simulé ; noire : débit observé)

Koumi: Cumul des apports mensuels observés et simulés



Badara: cumul des apports mensuels observés et simulés



Confluence: Cumul des apports mensuels observés et calculés

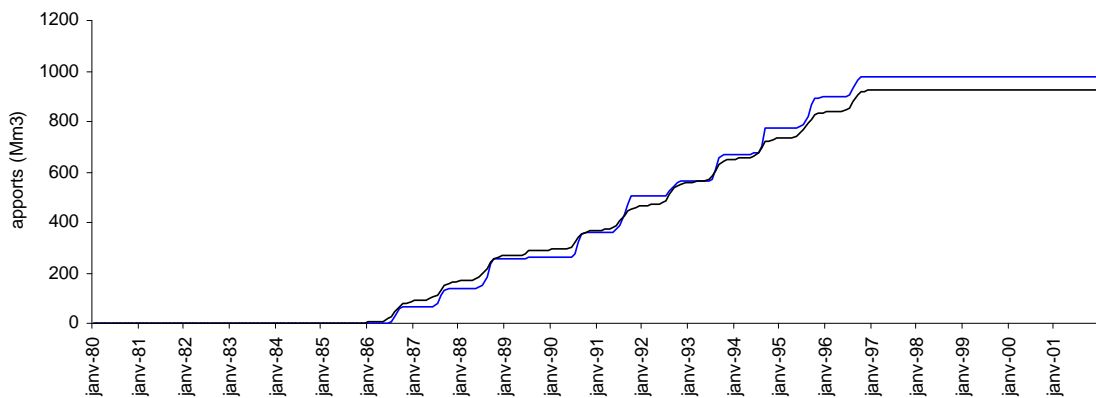


Figure 4.6 – Cumul des apports décadaires observés et simulés pour les station hydrométriques de Koumi, Badara et la confluence Niamé-Baoulé (bleu : débit simulé ; noire : débit observé)

4.3.3.2 Validation

La qualité d'un modèle se mesure par les résultats de sa validation. La validation a consisté ici à comparer des données observées d'une année (données non utilisées pendant la calibration du modèle), aux données simulées de la même année. Le critère de Nash, qui doit tendre vers 1, est calculé pour procéder à cette vérification.

$$C = 1 - E$$

$$E = \frac{\sqrt{(Q_{obs} - Q_{sim})^2}}{\sqrt{(Q_{obs} - Q_{mobs})^2}}$$

Q_{obs} données de débits observés ;
 Q_{sim} données de débits simulés ;
 Q_{mobs} moyenne des débits observés.

Les résultats de ce calcul sont présentés dans le Tableau 4.8. Seule la station de Badara satisfait au critère de Nash pour les deux pas de temps. Vu que ce critère est trop 'sévère', la qualité du calage est encore vérifié par d'autres procédés.

Tableau 4.8 – Critère de validation de Nash

	Mensuel	Appréciation	Décadaire	Appréciation
Koumi	-20,05	médiocre	-43,58	médiocre
Badara	0,74	acceptable	0,37	acceptable
Confluence	-2,50	médiocre	0,67	acceptable

4.3.3.3 Qualité du calage

Une seconde appréciation de la qualité de calage du modèle SMAP a été faite sur la base des critères suivants :

- comparaison visuelle des hydrogrammes et courbes de doubles masses Q_{obs}/Q_{cal} ;
- analyse des corrélogrammes Q_{obs}/Q_{cal} (pente de la droite de régression et dispersion) ;
- calcul de l'erreur relative et des coefficients de corrélation entre débits observés et débits simulés.

Les trois critères d'appréciation ont donc été calculés et sont regroupés dans le Tableau 4.9. Ces critères ont été estimés pour les périodes communes de débits observés et simulés.

Tableau 4.9 – Critères d’appréciation des résultats

		débit moyen observé (m ³ /s)	débit moyen simulé (m ³ /s)	erreur relative (%)	corrélation (-)	pente (-)
Koumi	mensuel	0,23	0,23	1%	0,59	1,6
	décadaire	0,24	0,25	-1%	0,58	1,4
Badara	mensuel	2,14	2,14	0%	0,85	1,1
	décadaire	2,13	2,22	-4%	0,75	1,0
Confluence	mensuel	2.845	2.902	-2%	0,86	1,5
	décadaire	2.781	2.915	-5%	0,78	1,6

Pour les moyennes, la différence entre les débits observés et simulés est acceptable et cela pour les deux pas de temps. En effet, l’erreur relative commise est de + 5%.

Les corrélations sont également bonnes. Pour les stations de Badara et de la Confluence (>75%). On ne saurait conclure sur la corrélation (0,57) obtenue avec la station de Koumi ; vu que les débits observés de cette station ne couvrent que 36% de la période d’étude et leur qualité n’est pas très bonne.

Les valeurs des pentes sont loin de la valeur « 1 » recommandée. A l’exception de la station de Badara, qui obtient une pente de 1,0 en simulation décadaire, et de 1,1 en simulation mensuelle. Cela n’est pas étonnant car Badara est la seule station qui possède plus de 50% de valeurs observées sur la période étudiée.

4.3.4 Conclusions

La simulation a permis de faire une évaluation globale mais assez courte des apports de surface décadaires et mensuels dans l’ensemble du bassin du Kou. On note une lame d’eau écoulee moyenne de 69 mm /mois soit un volume de 110.12 millions de m³ à la confluence Niamé Baoulé et de 127.48 millions de m³ à la sortie du bassin.

Cependant, les valeurs trouvées et regroupées dans les annexes ne sauraient représenter fidèlement la réalité du terrain. La qualité des observations de terrain et de leur traitement primaire (dépouillement des limnigraphes et des mesures de débits, courbes de tarage, nombre de jaugeage souvent petit, etc) n’est pas optimale. La relation pluie – débit n’est pas totalement stable (circulation karstique prélèvements). Une bonne simulation devrait se faire sur 20 ans minimum avec le maximum de données observés.

Néanmoins les résultats obtenus ici permettront d'avoir une idée sur les apports réels pendant la période 1980 – 2001.

De plus avec cette simulation, le projet GE-eau et donc la DRAHRH-HB dispose de données de débits sur 20 ans sans lacunes sur le bassin versant du Kou. Données qui seront très utiles pour les études sur le bassin et qui pourraient soulager les nombreux demandeurs en quête de données.



- BUDGET -

5

Validation du modèle BUDGET

Sur plusieurs champs de test la teneur en eau gravimétrique a été mesurée dans la zone d'enracinement afin de valider le modèle du bilan d'eau BUDGET.

En combinaison avec le coefficient de réponse du rendement à l'eau (K_y) (Doorenbos et Kassam, 1979) ce modèle fonctionne aussi comme un modèle prédictif des rendements relatifs.

Le logiciel BUDGET a été sélectionné à cause de sa simplicité et du nombre limité de variables à introduire. Il existe bien des modèles déterministes, mais pour fonctionner correctement, ils exigent des paramètres d'entrée très détaillés qui ne sont normalement pas disponibles dans les pays en voie de développement.

5.1 Le logiciel BUDGET et le bilan d'eau

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 (KULeuven), Leuven, Belgique (Raes, 1982 ; 2002). Le modèle comprend plusieurs sous-modèles qui décrivent les mouvements verticaux de l'eau et les processus de l'extraction de l'eau par les racines dans un profil drainant librement.

Les différents processus pris en compte par ce logiciel sont :

- l'infiltration à la suite de la précipitation et/ou l'irrigation;
- l'écoulement superficiel ;
- le drainage interne ;
- la percolation profonde;
- l'évaporation ;
- et la transpiration.

BUDGET calcule donc pour chaque jour le stockage en eau dans un profil du sol, affecté par des entrées en eau et par l'extraction en eau. Pendant des périodes de manque d'eau, les pertes relatives de récoltes sont estimées à l'aide des coefficients de réponse du rendement (K_y). Ces valeurs pour les différents stades de croissance sont données par Doorenbos et Kassam (1979). En sélectionnant les critères de la dose d'irrigation (quantité) et le moment de l'irrigation (intervalle), BUDGET peut également générer des schémas d'irrigation.

Les données climatologiques nécessaires sont des données pluviométriques et des données concernant l'évapotranspiration de référence journalières, décadaires

moyennes ou mensuelles moyennes qui sont toutes transformées en données journalières au moment de la simulation suivant la méthodologie de Gommae (1983). En spécifiant et en sélectionnant quelques paramètres liés aux cultures, le logiciel crée une collecte complète des paramètres qui pourraient être affichés et modifiés dans le cas où plus d'information serait disponible.

Le profil du sol peut être composé de différentes couches, chacune ayant des caractéristiques spécifiques. BUDGET contient un jeu complet de caractéristiques par défaut qui peut être sélectionné et adapté aux différents types de couches du sol.

L'estimation de la quantité de pluie perdue par l'écoulement superficiel est basée sur la méthode du "US Soil Conservation Service", notamment le 'Curve number method' (USDA, 1964 ; Steenhuis et al., 1995).

L'infiltration et le drainage interne sont décrits par une fonction de drainage exponentielle (Raes *et al.* 1982), qui tient compte de l'humidité initiale et des caractéristiques de drainage des différentes couches du sol. Des observations faites sur le terrain ont montré que la fonction de drainage imite l'infiltration et le drainage interne de façon réaliste (Raes, 1982 ; Feyen 1987 ; Wiyo, 1999).

A l'aide de la procédure du double coefficient de "culture" (Allen *et al.*, 1998) on calcule le taux d'évaporation du sol et de la transpiration de la culture. L'évaporation effective du sol est dérivée de l'humidité du sol et de la couverture végétale (Ritchie, 1972 ; Belmans *et al.*, 1983).

L'extraction effective de l'eau par les racines est finalement décrite en terme 'sink' (Feddes *et al.*, 1978 ; Hoogland *et al.*, 1981 ; Belmans *et al.*, 1983) qui tient compte de la distribution des racines et de la teneur en eau dans le profil du sol.

Le sous-modèle de réponse des cultures à la disponibilité en eau est la partie la plus difficile à développer. Le coefficient de réponse du rendement K_y (Doorenbos et Kassam, 1979) est employé, comme nous avons déjà mentionné. A l'aide d'une fonction polynomiale (Kipkorir *et al.*, 2002), les valeurs de K_y sont converties en indices de sensibilité pour le modèle multiplicative de Jensen (1968). En utilisant la procédure, présentée par Tsakiris (1982), l'effet du stress hydrique sur le rendement relatif pendant une courte période de temps est dérivé de l'évapotranspiration relative à l'aide du modèle empirique de Jensen (1968).

Quelques avantages du modèle BUDGET sont entre autres l'extraction de l'eau différentielle en fonction de la profondeur et du temps. Ainsi la profondeur des racines variable pendant la saison de croissance est-elle scientifiquement correcte. Le modèle n'est pas apte pour simuler le comportement des sols qui gonflent et se contractent tels que les Vertisols et les Vertic Luvisols (Driessen *et al.* (ed.) 2001), parce que ces sols ne s'humidifient pas uniformément dans un sens vertical, vu qu'ils présentent un écoulement préférentiel par leurs fissures.

Ainsi, en calculant la teneur en eau et en sel dans un profil du sol en fonction de l'apport et l'extraction d'eau et de sel pendant la période de simulation, le logiciel est apte à :

- estimer le manque d'eau dans des conditions pluviales,
- estimer la réponse des rendements à l'eau,

- concevoir des schémas d'irrigation,
- étudier l'accumulation en sel dans la zone racinaire du sol,
- évaluer des stratégies d'irrigation

5.2 Les paramètres d'entrée

A l'aide de deux pluviomètres placés stratégiquement proches des champs de test, les quantités journalières de **pluie** ont été rapportées.

Les données utilisées pour le calcul de l'**évapotranspiration** de référence proviennent aussi de la station la plus proche de la zone de test, notamment la station de la Vallée du Kou (antenne de l'INERA).

Les **données pédologiques** recherchées sont expliquées en détail dans le Bulletin Technique : Physique du Sol (GE-eau, 2004).

A cause des tests d'infiltration douteux dans le champ 14, on a du prendre les valeurs par défaut correspondantes à la texture et aux courbes de rétention. Pour le champ 5, le test d'infiltration est fiable et donc pour ces simulations, la valeur K_{sat} mesurée est donc retenue avec succès.

En cas de couches iménétrables, il est conseillé d'employer la valeur K_{sat} mesurée dans le champ et d'omettre cette couche dans le profil pour le logiciel BUDGET. La valeur K_{sat} intégrée représente déjà partiellement les propriétés physiques de la couche impénétrable.

Les **données de culture** correspondent avec celles décrites dans l'annexe C. (Doorenbos & Kassam, 1979 ; Allen *et al.*, 1998). Pour les deux champs de test, ces données ont été normalisées pour qu'on puisse les comparer valablement.

La zone d'enracinement est limitée à 90 cm de profondeur. Les teneurs en eau totales comparées sont donc calculées pour cette zone de 90 cm.

Le patron d'extraction d'eau par les racines est mis à une distribution uniforme pour les simulations. L'extraction de l'eau du sol n'est différentielle qu'au dessous une profondeur critique de 1,1 m pour le maïs et le sorgho (Dardanelli *et al.*, 1997 ; Cabelguenne & Delbaeke, 1998).

Sur la base des données décrites ci-dessus, la teneur en eau du sol totale journalière a été simulée pour la période de croissance totale. Les **simulations** ont commencé pendant la saison sèche et les teneurs en eau initiales sont donc mises au point de flétrissement permanent. La profondeur maximale d'évapotranspiration du sol nu a été adaptée à une valeur de 10 cm (Ritchie, 1972 ; Allen *et al.*, 1998).

Après, ces simulations ont été comparées avec les valeurs mesurées dans les champs.

5.3 Les simulations

Les Figures 5.1 et 5.2 montrent les teneurs en eau journalières totales simulées et les teneurs en eau totales observées pour les champs 5 et 14 avec du maïs pour la période de début septembre jusqu'à mi-octobre. Pour des périodes présentant des mesures douteuses, une limite inférieure et supérieure ont été ajoutées. Pour être représentatives, les simulations doivent se trouver à l'intérieur de ces limites.

Champ 5 - Maïs

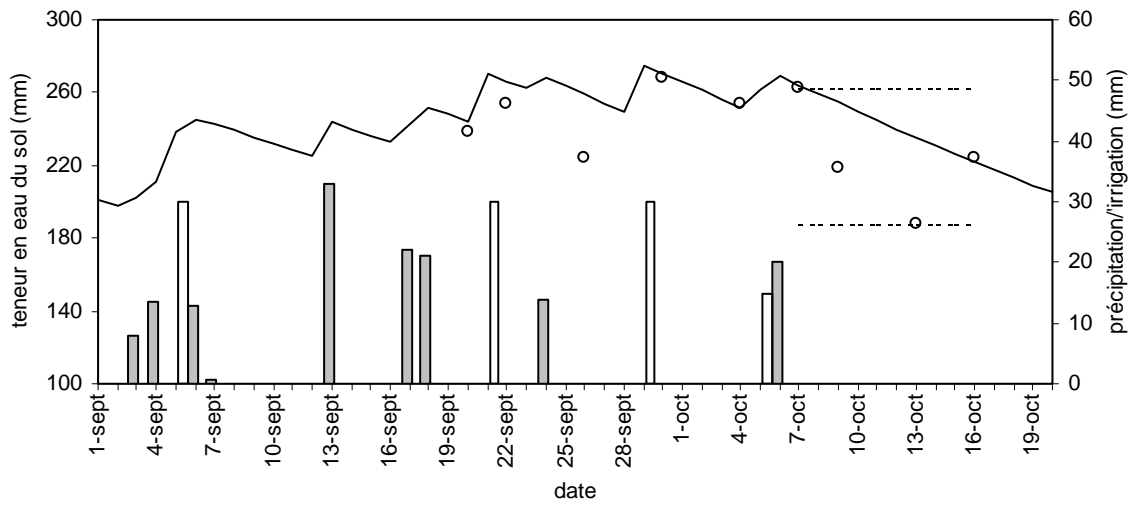


Figure 5.1 – Teneur en eau totale mesurée (o) et simulée (-) pour le champ de test 5 avec du maïs (culture pluviale – bandes remplies) avec 4 cas d'irrigation supplémentaire (bandes vides) pendant l'année 2002

Champ 14 - Maïs

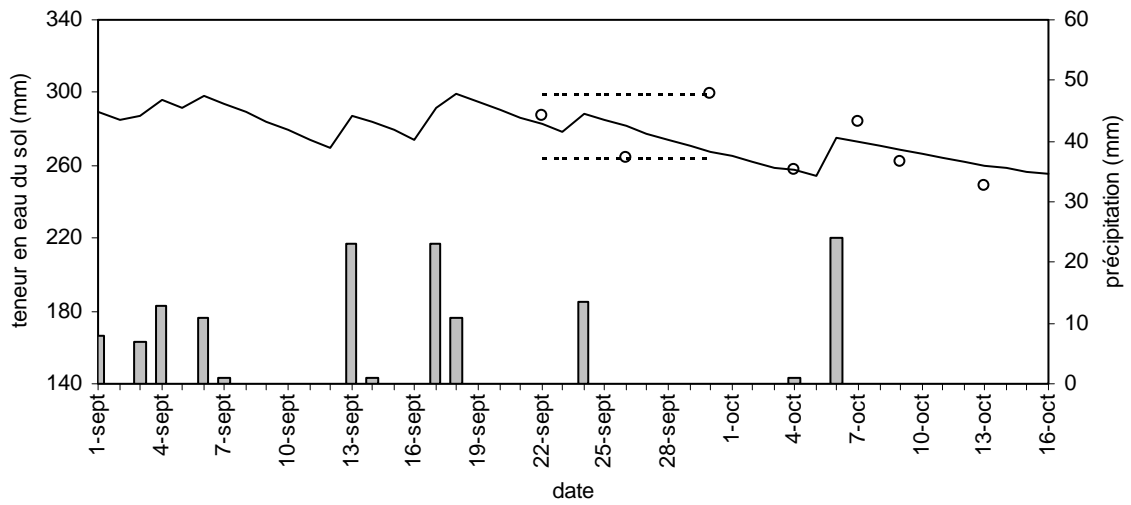


Figure 5.2 – Teneur en eau totale mesurée (o) et simulée (-) pour le champ de test 14 avec du maïs (culture pluviale – bandes remplies) pendant l'année 2002

5.4 Les récoltes

5.4.1 Méthodologie

Le but de cette étude est de comparer les rendements relatifs réels aux rendements relatifs simulés par le logiciel BUDGET. Globalement, le logiciel BUDGET emploie la formule de Doorenbos et Kassam (1979) pour calculer le rendement relatif sur la base de l'évapotranspiration relative:

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

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

Pour calculer le rendement relatif total, l'approche multiplicative de Jensen (1968) est employée. Kipkorir & Raes (2002) ont développé une relation pour la transformation du coefficient de réponse du rendement en l'indice de sensibilité de Jensen. Le modèle de Jensen a deux avantages:

- il intègre l'effet de toutes sortes de manque d'eau pendant la saison de croissance.
- il peut être utilisé à des tranches de temps inférieures à la période de croissance, par exemple un intervalle d'irrigation, si la procédure cumulative de Tsakiris (1982) est employée.

Comme le modèle BUDGET emploie le bilan d'eau comme base de calcul du rendement relatif, une validation du modèle au niveau des rendements est en même temps une validation du modèle au niveau du bilan d'eau.

Pour l'année 2002, les quantités de maïs récoltées sont estimées par extrapolation de pesées effectuées sur des parcelles de test représentatives de 16m², réparties en différents points des champs de test. Pour les années 1998, 2000 et 2001 on a employé les résultats de nos enquêtes qui présentaient une bonne concordance.

De ces résultats, on a calculé une moyenne pour ces trois années. Pour le calcul du rendement relatif, les quantités réelles ont été divisés par la valeur de 8 ton/ha, ce qui est considéré comme maximum pour notre région sur la base d'enquêtes et sur la base de la quantité rapporté en 2001 sur deux champs irrigués.

5.4.2 Les simulations

La figure 5.3 montre la relation entre les rendements réels et les rendements simulés avec le logiciel BUDGET. La valeur R^2 de 0.86 prouve que la relation est fiable pour notre zone de test.

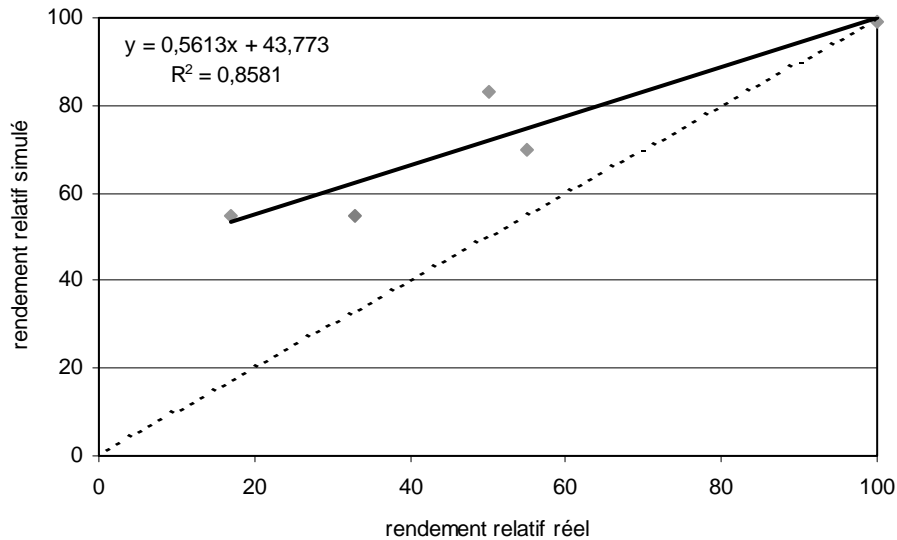


Figure 5.3 – Les rendements relatifs simulés avec le logiciel BUDGET comparés aux rendements relatifs réels

La pente de la droite n'est pas très élevée. Ce fait peut être causé par l'incertitude concernant le rendement potentiel dans la région. Doorenbos et Kassam (1979) ont indiqué que les rendements potentiels pour le maïs se trouvent entre 6 et 9 ton/ha. Il est très probable que les rendements potentiels pour toute la zone d'étude soient moins élevés que ceux rapportés dans notre village de test. Ainsi, le changement du rendement potentiel pourrait encore donner une meilleure correspondance entre les rendements simulés et réels sur le plan régional.

5.5 Discussion

On peut conclure que malgré les mesures sans répétitions spatiales, les résultats des simulations et les mesures correspondent assez bien. La série limitée de mesures et le nombre de mesures douteuses n'ont pas permis de déjà valider le modèle de façon statistique.

Remarquons la situation physique exceptionnelle des sols caillouteux et des sols contenant une couche impénétrable, qui peut engendrer des difficultés de mesure et des difficultés dans les simulations.

Les valeurs globales de K_{sat} (test d'infiltration à double anneau) n'ont pas permis de comparer les teneurs en eau à chaque profondeur. En plus, pour des prédictions régionales, ces détails n'ont généralement pas d'importance. Il est conseillé d'employer des valeurs de K_{sat} mesurées dans les champs à condition qu'elles soient

fiables. Dans le cas contraire, les valeurs par défaut du modèle ont donné la preuve de résultats satisfaisants (champ 14).

Sur la base de la relation entre l'évapotranspiration relative et le rendement relatif (Doorenbos et Kassam, 1979), on a pu valider le logiciel BUDGET pour le Sud-ouest du Burkina Faso. De la comparaison entre les rendements relatifs réels et simulés, on a pu extraire une relation avec un degré de fiabilité élevé ($R^2=0.86$).

Remarquons que les mêmes validations, sur la base des rendements relatifs régionaux, sont déjà exécutées avec succès pour le Zimbabwe et la Tunisie (Raes, 2003).

Une meilleure connaissance des rendements potentiels pour la région de test pourrait encore améliorer la pente de la relation trouvée. Pour cette étude, on a travaillé avec des rendements potentiels assez élevés.

Les résultats discutés ici montrent la valeur du modèle sur le plan régional, tel que pour le suivi du bilan d'eau que pour l'estimation des récoltes. Ainsi, le modèle sera employé ultérieurement pour évaluer divers facteurs pouvant influencer favorablement les rendements dans le Sud-ouest du Burkina Faso.

6

Amélioration des rendements

Une amélioration des rendements peut être atteinte en partie par une meilleure prévision des pluies, comme on vient de le voir, et peut encore être améliorée par une irrigation supplémentaire.

L'irrigation supplémentaire est définie comme "l'application d'une quantité limitée d'eau aux cultures, au moment où les pluies ne fournissent plus assez d'eau pour la production optimale, dans le but de stabiliser et d'augmenter les rendements" (Oweis *et al.*, 1999). La quantité additionnelle d'eau ne sera pas suffisante pour une production maximale des cultures. Cette quantité d'eau limitée est appliquée stratégiquement pendant des périodes avec une sensibilité élevée au stress hydrique, périodes qui sont en outre celles où l'efficacité d'extraction est maximale.

Plusieurs auteurs ont présenté des mesures faites sur le terrain qui suggèrent que les périodes de sécheresse sont une cause importante de bas rendements de l'agriculture pluviale. Adoucir les effets des périodes de sécheresse constitue donc la clé de l'amélioration de la productivité de l'agriculture pluviale en régions tropicales semi-arides et sub-humides (Rockstrom *et al.*, 2000 ; Oweis *et al.*, 1999 & Ragab, 1995).

L'analyse des dates de début de l'hivernage (GE-eau, 2004) a montré que les agriculteurs étaient placés devant une alternative difficile: soit être optimistes, semer dès le début de la saison humide et prendre le risque de perdre leurs récoltes soit être prudents et attendre un peu avant de semer afin de réduire ce risque (sans avoir la possibilité de l'éliminer totalement).

L'analyse de fréquence et les probabilités d'avoir une journée humide montrent que pendant le mois de juin, de juillet et la partie centrale de la saison de culture, on a une probabilité élevée d'avoir une période de sécheresse (GE-eau, 2004). Uniquement une irrigation supplémentaire pratiquée pendant la période initiale de vie de la plante peut permettre à l'agriculteur de semer plutôt sans trop de risque.

Le but de ce chapitre est donc de développer des directives pour l'irrigation supplémentaire à l'aide du modèle BUDGET. Ces directives seront développées pour deux espèces de plantes largement employées en agriculture pluviale, notamment dans le Sud-ouest, le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH.) et le maïs (*Zea mays* L.). En plus, les rendements obtenus seront comparés en cas de culture tardive avec ceux obtenus en cas de culture précoce afin de tirer des recommandations à l'usage des agriculteurs.

6.1 Ensemencement tardif

6.1.1 Méthodologie

A l'aide des données pluviométriques historiques, les rendements relatifs provenant des simulations des différentes années avec le logiciel BUDGET sont comparés pour les dates de début avec 50% de probabilité de dépassement (1 année sur 2) et les dates de début avec 20% de probabilité de dépassement (1 année sur 5) (GE-eau, 2004).

Le Tableau 6.1 montre que ces dates sont respectivement le 30 mai et le 21 juin pour Bobo-Dioulasso et respectivement le 6 juin et le 27 juin pour la Vallée du Kou. Pour ce dernier emplacement, on a encore ajouté une date de recherche appelé l'ensemencement post normal, notamment le 16 juin.

Tableau 6.1 – Dates de début de l'hivernage moyennes pour Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou et analyse de fréquence (GE-eau, 2004)

Localisation	Début moyen	Intervalle de confiance (95 %)		Analyse de fréquence		
		limite inférieure	limite supérieure	année humide (80%)	année normale (50%)	année sèche (20%)
Bobo-Dioulasso	30 mai	21 mai	8 juin	8 mai	30 mai	21 juin
Vallée du Kou	6 juin	25 mai	19 juin	16 mai	6 juin	27 juin

Après, les gains éventuels de rendement sont étudiés. Aussi les pertes périodiques de rendement dans deux périodes clé du cycle de croissance sont examinées. Ces périodes sont la période d'installation (les 20 premières journées du cycle) et la période de floraison (jour 61 à 80).

Les données pédologiques sélectionnées pour les simulations sont de nouveau les caractéristiques d'un sol limoneux uniforme. Cette fois-ci, la présence des couches impénétrables et dures (i.e. plinthite), situées à une profondeur moyenne d'un mètre, est prise en compte car leur présence limite la profondeur maximale des racines.

En ce qui concerne les cultures pluviales, le maïs et le sorgho, les données viennent d'Allen *et al.* (1998) et de Doorenbos et Kassam (1979). Les périodes de croissance sont de 130 journées, comme au Nigéria. Les coefficients de réponse du rendement à l'eau (K_y) ainsi que d'autres détails concernant les variables d'entrée des simulations se trouvent dans l'annexe 1.

La profondeur d'évaporation du sol nu est à nouveau fixée à 0.1 mètre de profondeur. La teneur en eau initiale est mise au point de flétrissement permanent, parce que les simulations commencent pendant la saison sèche.

6.1.2 Résultats des simulations

La Figure 6.1 montre l'augmentation des rendements relatifs de maïs et de sorgho à Bobo-Dioulasso grâce à l'ensemencement après la date de début avec une probabilité de dépassement de 20% (1 année sur 5), ici appelé ensemencement tardif.

Dans certaines années, des gains de rendement de 40% sont rapportés grâce à l'ensemencement tardif.

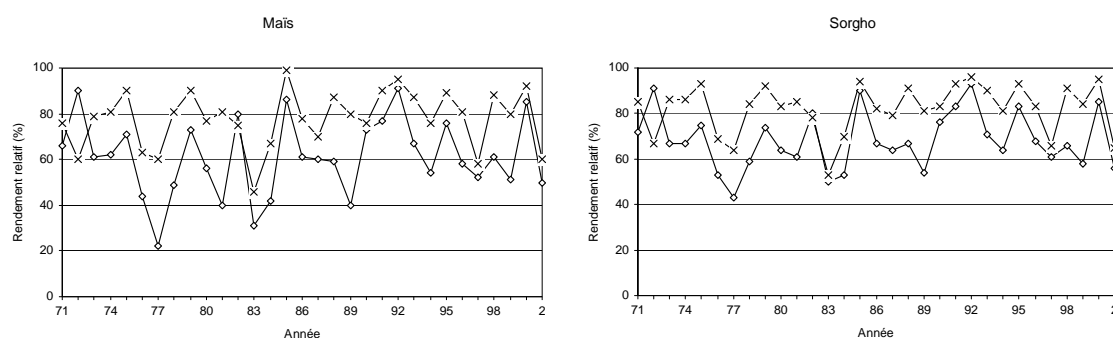


Figure 6.1 - Rendements relatifs simulés avec le logiciel BUDGET (Raes, 2002) pour le maïs et le sorgho à Bobo-Dioulasso pour l'ensemencement normal (30 mai) (-◇-) et tardif (21 juin) (-x-).

Le Tableau 6.2 donne plus d'information concernant les pertes relatives pour l'ensemencement normal et tardif pour Bobo-Dioulasso. Les différences entre les deux cultures diminuent cependant en cas d'ensemencement tardif. Les pertes relatives diminuent de 44% pour le maïs et de 44% pour le sorgho. En chiffres absolus, les gains pour le maïs sont plus grands que ceux pour le sorgho (voire le Tableau 6.5).

Tableau 6.2 - Pertes relatives (%) moyennes de rendement avec intervalles de confiance (95%) pour un ensemencement normal (30 mai) et tardif (21 juin) pour Bobo-Dioulasso

Culture	Perte relative moyenne de rendement (%) pour l'ensemencement normal			Perte relative moyenne de rendement (%) pour l'ensemencement tardif		
	Intervalle de confiance (95%)			Intervalle de confiance (95%)		
	Limite inférieure	Moyenne	Limite supérieure	Limite inférieure	Moyenne	Limite supérieure
Maïs	33	39	45	18	22	27
Sorgho	27	32	36	15	18	22

Pour la Vallée du Kou les pertes relatives moyennes sont présentées dans le Tableau 6.3. Ici, la date 16 juin, ensemencement tardif, a été ajoutée à cause des améliorations non significatives pour l'ensemencement tardif. Néanmoins aussi pour cette date les gains ne sont pas non plus significatifs. La diminution relative des pertes est de 13% pour le maïs et de 14% pour le sorgho (comparé à 44% et 44% pour Bobo-Dioulasso). Aussi en chiffres absolus, les gains ne sont pas non plus significativement plus élevés pour le maïs que pour le sorgho, contrairement à la situation à Bobo-Dioulasso (voir aussi le tableau 6.6).

Tableau 6.3 - Pertes relatives (%) moyennes de rendement avec intervalles de confiance (95%) pour un ensemencement normal (6 juin), post normal (16 juin) et tardif (27 juin) pour la Vallée du Kou

Culture	Perte relative moyenne de rendement (%) pour l'ensemencement normal			Perte relative moyenne de rendement (%) pour l'ensemencement post normal			Perte relative moyenne de rendement (%) pour l'ensemencement tardif		
	Intervalle de confiance (95%)			Intervalle de confiance (95%)			Intervalle de confiance (95%)		
	Limite inférieure	Moyenne	Limite supérieure	Limite inférieure	Moyenne	Limite supérieure	Limite supérieure	Moyenne	Limite supérieure
Maïs	27	35	42	21	29	38	25	35	45
Sorgho	23	29	36	17	25	32	18	27	35

Après cette analyse, les périodes de croissance sujettes aux plus grandes pertes ont été recherchées. Aussi les gains de rendement pendant ces périodes clé à cause de l'ensemencement tardif (Bobo-Dioulasso) ou post normal (la Vallée du Kou) sont recherchés.

Tableau 6.4 et 6.5 montrent les relatives moyennes totales, ainsi que les pertes relatives moyennes pendant la période d'installation et la période de floraison pour l'ensemencement normal. Pour le maïs, environ 50% des pertes totales sont causées par des sécheresses pendant la période d'installation (30/05-18/06 à Bobo-Dioulasso et 06/06-26/06 dans la Vallée du Kou). Pour le sorgho, ces pertes sont légèrement moins élevées.

Pendant la période de floraison (29/07-18/08 à Bobo-Dioulasso et 5/08-25/08 dans la Vallée du Kou), les pertes sont nettement moins élevées, avec un maximum de 13% de la perte relative totale pour le maïs à Bobo-Dioulasso.

Entre 47% et 64% de la perte totale est expliqué par les pertes périodiques de la période d'installation et la période de floraison. Les autres pertes de rendement sont dispersées dans la saison de culture.

Tableau 6.4 - Pertes relatives (%) moyennes de rendement à Bobo-Dioulasso pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison

Culture	Total	Perte relative moyenne de rendement (%) pendant deux périodes de croissance				
		Pendant l'installation		Pendant la floraison		Pourcentage de la perte totale pendant les périodes d'installation et de la floraison
		Limite inférieure	Moyenne	Limite inférieure	Moyenne	
Maïs	39	20	50	5	13	64
Sorgho	32	13	40	2	8	47

Tableau 6.5 - Pertes relatives (%) moyennes de rendement dans la Vallée du Kou pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison

Culture	Total	Perte relative moyenne de rendement (%) pendant deux périodes de croissance				
		Pendant l'installation		Pendant la floraison		Pourcentage de la perte totale pendant les périodes d'installation et de la floraison
		Limite inférieure	Moyenne	Limite inférieure	Moyenne	
Maïs	35	18	52	2.5	7	59
Sorgho	29	13	45	1.7	6	50

Après cette étude des pertes, une étude de la diminution des pertes, ou gains, à cause de l'ensemencement tardif à Bobo-Dioulasso et normal dans la Vallée du Kou est aussi intéressante à exécuter. Cela surtout pour mesurer l'impact de cet ensemencement tardif et post normal sur les différentes périodes de croissance. Les Tableaux 6.6 et 6.7 montrent les résultats de cette étude.

Tableau 6.6 - Les gains relatifs (%) moyens de rendement pour l'ensemencement tardif (21 juin) à Bobo-Dioulasso pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison

Culture	Gain relatif moyen de rendement causé par l'ensemencement tardif (%)					
	Total	Pendant l'installation		Pendant la floraison		Pourcentage du gain total pendant les périodes d'installation et de la floraison
		Pourcentage du total		Pourcentage du total		
Maïs	17	6	34	5	29	63
Sorgho	14	3	21	2	16	38

On constate que bien que les pertes pendant la période d'installation soient très élevées, les gains pendant cette même période sont faibles. Les gains pendant la période de floraison sont presque aussi importants. Si on compare les pertes relatives moyennes (Tableau 1.3) et les gains relatifs moyens (Tableau 1.5) pendant la période de floraison, on voit que l'on a complètement remédiées à ces pertes en semant après la date de début avec 20% de probabilité de dépassement (21/06) à Bobo-Dioulasso. 94% et 92% des pertes relatives sont annulées pour le maïs et le sorgho respectivement pendant cette période de floraison. Pendant l'installation, seulement 29% et 23% des pertes sont évitées en semant plus tard. Cette dernière conclusion montre l'avantage possible d'une irrigation supplémentaire pendant cette période initiale.

Tableau 6.7 - Les gains relatifs (%) moyens de rendement pour l'ensemencement post normal (16 juin) dans la Vallée du Kou pour la période de croissance totale, pour la période d'installation et pour la période de la floraison

Culture	Gain relatif moyen de rendement causé par l'ensemencement post normal (%)					
	Total	Pendant l'installation		Pendant la floraison		Pourcentage du gain total pendant les périodes d'installation et de la floraison
		Pourcentage du total		Pourcentage du total		
Maïs	5	0.7	13	1.0	19	31
Sorgho	4	0.7	16	0.7	16	32

Pour la Vallée du Kou (Tableau 1.6), les gains apportés par l'ensemencement post normal sont marginaux, bien qu'ils soient significatifs ($\alpha=0.05$). Les raisons pour une telle différence avec Bobo-Dioulasso ne sont pas très claires. Généralement, l'irrigation supplémentaire pourrait servir comme une meilleure solution pour l'amélioration des rendements dans la Vallée du Kou.

6.1.3 Discussion et conclusion

Les résultats des simulations et les analyses des pertes relatives de rendement qui s'en suivent ont montré qu'une date d'ensemencement tardif (21 juin) est surtout très utile à Bobo-Dioulasso. Pour la Vallée du Kou, les gains relatifs de rendement dus à la date d'ensemencement post normale (16 juin) ne sont pas très élevés, bien que statistiquement significatifs. Une des raisons expliquant les gains relatifs plus élevés apportés à Bobo-Dioulasso par les ensemencements tardifs est la durée supérieure de la saison de culture comparée à celle de la Vallée du Kou.

Les gains relatifs de rendement, causées par la date de semis tardive, sont moins élevés pour le sorgho en chiffres absolus. Ainsi on pourrait conclure que l'analyse du début de l'hivernage est plus adaptée au sorgho qu'au maïs. Aussi pour la Vallée du Kou, cette analyse des débuts de l'hivernage reste valable si on regarde les moindres gains à cause de l'ensemencement post normal.

Les bons résultats des simulations pour la date d'ensemencement normal pour le sorgho font croire que cette culture jouera encore un rôle important dans le futur. Cette conclusion est confirmée par la résistance intrinsèque élevée à la sécheresse de cette culture. Tant à Bobo-Dioulasso que dans la Vallée du Kou, les résultats de l'ensemencement normal du sorgho sont significativement meilleurs que ceux du maïs. Bien que le système racinaire secondaire de cette plante ne puisse pas toujours se développer en raison de la présence de couches impénétrables, il reste relativement résistant au stress hydrique (Doorenbos & Kassam, 1979).

Finalement il y a quelques faits qui mettent l'accent sur l'application de l'irrigation supplémentaire. D'une part, une irrigation supplémentaire peut être utile dans la période d'installation, parce que les pertes de rendement pendant cette période ne sont pas bien corrigées en semant tardivement. Deuxièmement, une irrigation supplémentaire pendant la période de floraison est utile si on choisit de semer tôt, car alors on perd les avantages de l'ensemencement tardif pendant cette période.

6.2 Irrigation supplémentaire

6.2.1 Méthodologie

L'irrigation supplémentaire est un mode de culture qui avait déjà été employée à certains endroits de la zone d'étude à l'aide des petites motopompes. Dans cette étude, l'efficacité et les bénéfices des telles irrigations ont été examinés pour le maïs à l'aide du logiciel BUDGET.

En général, le sorgho est plus résistant à la sécheresse (voir ci-dessus) et par conséquent, on applique rarement de l'irrigation au sorgho.

Les Figure 6.2 & 6.3 présente la classification des rendements relatifs obtenus pendant la période de croissance en fonction de la quantité de pluie (Almorox, 2002). Pour Bobo-Dioulasso, on remarque nettement les bénéfices dus à l'ensemencement

tardif. On voit également l'imprévisibilité des rendements, surtout dans les années sèches. La cause de ce problème est le moment variable d'apparition des périodes de sécheresse. On voit également que c'est surtout dans ces années sèches que les pertes se situent, bien qu'il y ait parfois aussi des rendements peu élevés dans les années normales et humides.

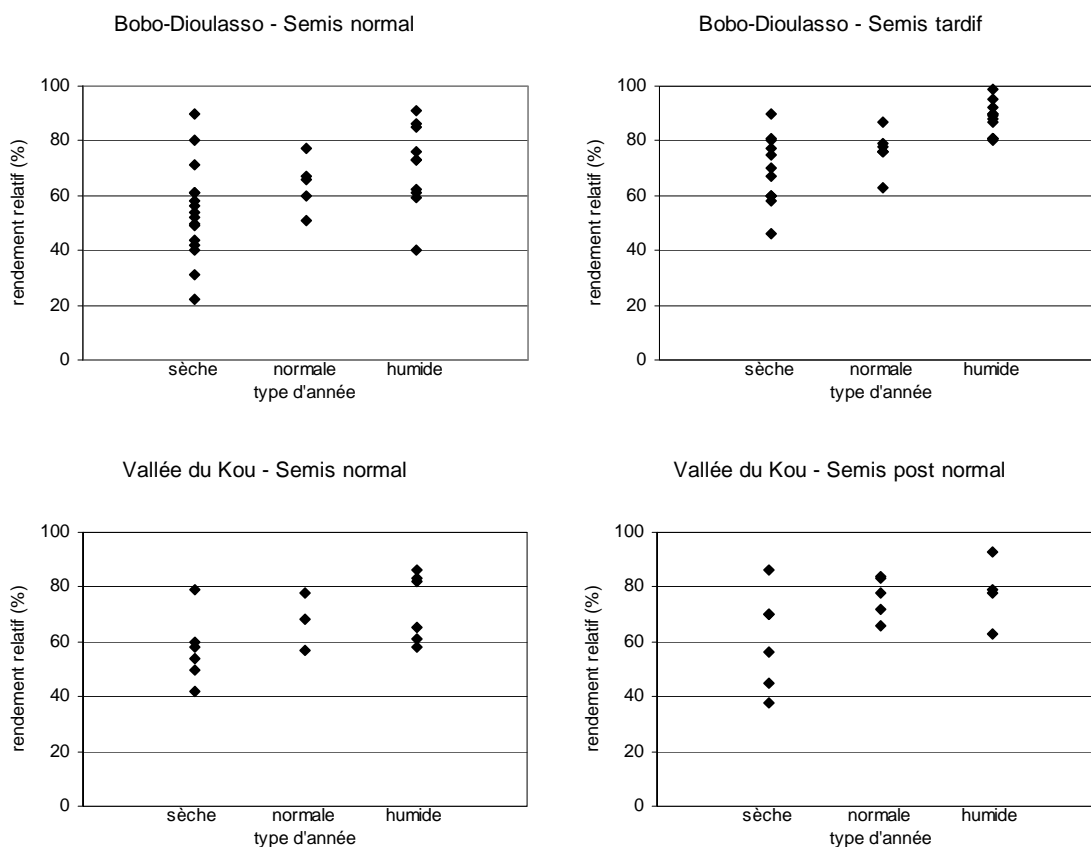


Figure 6.2 & 6.3 - Rendements relatifs prévus par BUDGET pour le maïs avec date de semis normal et tardive à Bobo-Dioulasso ; et normal et post normal dans la Vallée du Kou, classifiés selon la quantité de pluie pendant la période de croissance

6.2.2 Simulations et résultats

L'irrigation supplémentaire est surtout examinée pour les dates d'ensemencement normales, soit le 30 mai à Bobo-Dioulasso et le 6 juin dans la Vallée du Kou. Des doses d'irrigation de 30 mm sont appliquées avec le but de stabiliser les rendements relatifs aux environs de 70-80%.

Le Tableau 6.8 indique les gains de rendement relatif moyen pour les années avec irrigation supplémentaire appliquée pendant la période initiale. Les différences en rendement relatif sont significatives.

Tableau 6.8 - Rendement relatif moyen sous conditions pluviales et sous conditions d'irrigation supplémentaire pour les années avec un rendement relatif pluvial au dessous de 70%

Localisation	Rendement relatif moyen sous conditions pluviales	Rendement relatif moyen sous conditions d'irrigation supplémentaire
Bobo-Dioulasso	52	72
Vallée du Kou	57	70

Finalement, le nombre moyen d'irrigation de 30 mm, nécessaire pour stabiliser les rendements aux environs de 70-80% est présenté dans le Tableau 6.9. On remarque déjà que, même dans les années avec une quantité suffisante de pluie pendant la période de croissance, une irrigation supplémentaire peut être bénéficiaire pendant la période initiale.

Tableau 6.9 - Nombre moyen d'irrigations avec une profondeur nette d'irrigation de 30 mm nécessaire pour les champs de maïs pendant la période initiale (juin) afin de stabiliser les rendements relatifs environ 70-80%

Localisation	Type d'année		
	Sèche	Normal	Humide
Bobo-Dioulasso	3	1	1
Vallée du Kou	3	1	1

6.2.3 Discussion et conclusion

L'analyse effectuée ici a montré que la variabilité d'apparition des pluies pendant la période de croissance peut troubler la classification des pluies tombées en une année. Pour le maïs avec date d'ensemencement normale, les pertes de rendements se situent surtout dans les années sèches, mais les années normales et humides présentent aussi parfois des pertes considérables.

On peut conclure que, pour le maïs et dans la zone d'étude, l'application d'une irrigation supplémentaire pendant la période de croissance initiale est une pratique efficace.

L'ensemencement tardif n'a pas que des avantages, il pourrait être la cause de problèmes tels que le lessivage des sols que seule une date de semis normale permet d'éviter. Dans ce cas, l'irrigation supplémentaire est très efficace.

Annexe : Paramètres d'entrée

1 Profils hydriques

Tableau A.1 – Variables d'entrée du sol pour champ n° 5

Paramètres	Unité	Valeur	
Hauteur des diguettes	(m)		0,0
Écoulement superficiel	(-)		oui
Valeur CN	(-)	par défaut	non
	(-)	définie par utilisateur	oui
Profondeur d'impact d'écoulement superficiel sur la valeur CN	(m)		1,0
Valeur CN	(-)		85
Nombre de couches	(-)		1
Épaisseur des couches	(m)		0,9
Point de saturation	(vol%)		49,8
Capacité au champ	(vol%)		33,2
Point de flétrissement permanent	(vol%)		16,7
Coefficient de drainage (tau)	(-)		0,4
Conductivité saturée du sol	(mm/jour)		53,8

Tableau A.2 – Variables d'entrée du sol pour champ n° 14

Paramètres	Unité	Valeur	
Hauteur des diguettes	(m)		0,0
Écoulement superficiel	(-)		oui
Valeur CN	(-)	par défaut	oui
	(-)	définie par utilisateur	non
Profondeur d'impact d'écoulement superficiel sur la valeur CN	(m)		1,0
Valeur CN	(-)		75
Nombre de couches	(-)		1
Épaisseur des couches	(m)		0,9
Point de saturation	(vol%)		48,5
Capacité au champ	(vol%)		35,8
Point de flétrissement permanent	(vol%)		17,7
Coefficient de drainage (tau)	(-)		0,4
Conductivité saturée du sol	(mm/jour)		200,0

2 Dossier de culture

Tableau A.3 – Variables d'entrée du culture maïs
(Doorenbos & Kassam, 1979 ; Allen et al., 1998)

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la saison de culture	(journées)	130
Durée des période de croissance		
- initiale	(journées)	20
- développement	(journées)	40
- mi saison	(journées)	40
- saison tardive	(journées)	30
Coefficient de culture (Kc)		
- mi saison	(-)	1,15
- tardif	(-)	0,35
Profondeur minimale d'enracinement	(m)	0,20
Profondeur maximale d'enracinement	(m)	1,00
Coefficient de réponse du rendement (Ky) (valeur saisonnière)	(-)	1,25
Coefficient de réponse du rendement (Ky)	(journées)	(-)
- 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
Fraction d'eau disponible (p)	(-)	0,55
Extraction maximale de l'eau en zone d'enracinement (Smax)		
- partie supérieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,019
- partie inférieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,005
Conditions déficientes en aération	(-)	teneur en eau du sol > (saturation - 5 vol%)
LAI	(-)	courbe type S avec le point d'inflexion à 2,54 (journée 33)

Tableau A.4 – Variables d'entrée du culture sorgho
(Doorenbos & Kassam, 1979 ; Allen et al., 1998)

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la saison de culture	(jours)	130
Durée des période de croissance		
- initiale	(jours)	20
- développement	(jours)	35
- mi saison	(jours)	45
- saison tardive	(jours)	30
Coefficient de culture (Kc)		
- mi saison	(-)	1,00
- tardif	(-)	0,45
Profondeur minimale d'enracinement	(m)	0,20
Profondeur maximale d'enracinement	(m)	1,00
Coefficient de réponse du rendement (Ky) (valeur saisonnière)	(-)	0,90
Coefficient de réponse du rendement (Ky)	(jours)	(-)
- installation	20	0,50
- végétative (tôt)	20	0,30
- végétative (tard)	20	0,50
- floraison	20	0,75
- formation du produit	40	0,55
- mûrissement	10	0,20
Fraction d'eau disponible (p)	(-)	0,55
Extraction maximale de l'eau en zone d'enracinement (Smax)		
- partie supérieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,016
- partie inférieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,004
Conditions déficientes en aération	(-)	teneur en eau du sol > (saturation - 5 vol%) courbe type S avec le point d'inflexion à 2,54 (journée 33)
LAI	(-)	



- Vallée du Kou -

7

Le périmètre irrigué de la Vallée du Kou

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 et enclave le village de Bama. Il se situe entre le 10°55 " de latitude nord, 4° 20" et 4 ° 35" de longitude ouest à une altitude de 300 m par rapport au niveau de la mer. Il est délimité au sud à l'ouest et au nord par le canal principal d'irrigation, tandis que la rivière le Kou constitue sa limite naturelle à l'est.

D'une superficie totale de 1260 ha aménagés, le périmètre rizicole irrigué de la Vallée du Kou fait partie d'une vaste plaine de 9700 ha de superficie dont 2300 ha sont exploitables. La plaine comprend deux parties : la vallée du Kou et quelques collines de 300 m d'altitude qui limite la plaine à la sortie de Bobo.

Le périmètre a été réalisé dans le cadre de la coopération entre la Haute Volta et les Taiwanais. Les 100 premiers hectares ont été aménagés par la coopération Taiwanaise en 1969 et exploités en 1970. L'extension du périmètre s'est poursuivie jusqu'en 1974.

Après 1974, les Chinois remplacent les Taiwanais pour 2 ans. Suite à leur départ, le périmètre est géré par l'ORD (Organisation pour la Recherche et le Développement) puis bénéficie d'une aide financière de la BOAD (Banque Ouest Africaine de Développement) et d'une assistance néerlandaise jusqu'à 1993. Le programme RESO (Ressources en Eau dans le Sud-Ouest) géré par l'assistance technique d'IWACO a fait une étude du périmètre. Enfin en 1999 - 2000 un programme spécial pour la sécurité alimentaire géré par la FAO et le Maroc a de nouveau analysé les problèmes du périmètre.

La population est répartie en 8 villages situés sur le périmètre irrigué, majoritairement des producteurs allochtones venus par vagues successives qui représentent 80 % de la population.

Le riz est la culture dominante, on y fait deux récoltes par an : le riz irrigué et le riz pluvial. La première campagne rizicole ou la campagne de contre-saison est généralement mise en place courant décembre-janvier. La deuxième campagne rizicole se pratique pendant la période pluvieuse.

Depuis l'aménagement du réseau hydraulique, une baisse remarquable des rendements a été observée. La production moyenne était de 7,7 T/ha/camp en 1980-1981. Et depuis, les rendements se sont stabilisés autour de 4,8 T/ha/camp de paddy (Lahcen, 2000).

Selon la typologie aboutie d'une étude menée par le CILSS en 1991, cet aménagement est de type : grand aménagement hydroagricole encadré (Sahelconsult/FET, 1997).

7.1 Infrastructure hydraulique

7.1.1 La prise d'eau

Le périmètre rizicole irrigué de la vallée du Kou appartient au type d'aménagement par dérivation au fil de l'eau et comprend un réseau hydraulique permettant son fonctionnement. L'irrigation du périmètre se fait à partir du fleuve le Kou.

Le Kou est un affluent du fleuve Mouhoun. Il présente un débit assez élevé surtout en saison pluvieuse pouvant atteindre 14,3 m³/s au mois d'Août. Ce débit baisse jusqu'à 3,09 m³/s au mois de Mars en saison sèche. Une étude de la réserve d'eau souterraine du bassin versant du Kou fait ressortir qu'en année sèche, cette réserve hydrogéologique est capable de fournir un débit minimum continu de 2,4 m³/s soit 2400 l/s pour un besoin réel d'environ de 2,2 l/s/ha minimum pour tout le périmètre (Lahcen, 2000).

A l'étiage, tout le débit du Kou est dévié pour l'irrigation du périmètre, ce n'est qu'à la saison des pluies que la rivière retrouve un écoulement continu.

Tableau 7.1 présente les débits du Kou avant la prise de Diaradougou pendant la saison sèche (Source : ONPF (Office National pour la Protection des Forêts), « Vallée du Kou, rapport des campagnes 1984, 1985 », GE-eau, 2002)

Tableau 7.1 - Débits du Kou avant la prise de Diaradougou pendant la saison sèche et l'hivernage

Mois	Débit (m ³ /s)	Mois	Débit (m ³ /s)
janvier	3,2	juillet	3
février	2,4	août	3
mars	2,0	septembre	3
avril	2,1	octobre	3
mai	3,2		

7.1.2 Le canal d'amenée

La prise de Diaradougou aménagée sur le Kou est à 11 km de la zone. L'eau est déviée dans un bassin muni d'un système d'alimentation et avec une faible pente de l'ordre de 1 mm/m, l'eau est conduite gravitairement jusqu'aux rizières par des ouvrages hydrauliques de transport composés de l'amont vers l'aval par un canal d'amenée revêtu de 11 Km de longueur et de section trapézoïdale véhiculant un débit de l'ordre de 3,5 m³/s régulé à son départ par deux vannes (Lahcen, 2000).

Le 22/09/02 et 03/10/02 des mesures de débits ont été faites par le projet au long du canal d'amenée sur les différents ponts traversant le canal. Les résultats sont présentés dans

Tableau 7.2. Il serait souhaitable que de telles mesures puissent faites pendant toute l'année.

Tableau 7.2 – Débits mesurés le long du canal d'amenée

Pont	Débits de 22/09/02 (m ³ /s)	Débits de 03/10/02 (m ³ /s)
1	2,97	2,25
2	2,68	2,41
3	-	-
4	2,38	2,10
5	2,26	2,05
6	2,26	2,17
7	-	-
8	2,02	1,97
9	-	-
10	-	2,24
11	2,10	2,02

Une échelle de lecture de débit avec seuil est installée quelques centaines de mètres en amont du premier canal secondaire. Tableau 7.3 donne la relation hauteur-débit dans le canal d'amenée, comme trouvée dans la littérature (Berthiaud, 2001)

Tableau 7.3 - Relation hauteur-débit dans le canal d'amenée de la vallée du Kou

Hauteur d'eau (m)	Débit (m ³ /s)	Observations
1,3	3,57	Capacité maximal du canal
1,2	2,95	Débit souhaité pour le bon fonctionnement du périmètre
1,1	2,42	
1	1,96	
0,9	1,54	
0,8	1,19	Débit minimum pour le périmètre
0,7	0,9	A partir de ces débits l'irrigation du périmètre est impossible

Les relevés de débit journalier pour le mois de février 2001 sont contenus dans le tableau ci-dessous (Berthiaud, 2001). Ces relevés sont issus du cahier de bord de l'aiguadier. En pleine période sèche le débit n'atteint jamais la valeur prévue par les études antérieures. Des débits mensuels et décadaires sont publiés dans le Bulletin Technique « Bulletin Hydrologique du Bassin Versant du Kou » (GE-eau, 2004).

Tableau 7.4 - Variations de débits journaliers de février 2001.
Lecture à l'échelle de la porcherie

Jour	Debit (l/s)	Jour	Debit (l/s)	Jour	Debit (l/s)	Jour	Debit (l/s)
1	2000	9	2000	17	2000	25	1900
2	1900	10	1600	18	2000	26	2000
3	1600	11	1600	19	2000	27	2000
4	2000	12	1600	20	2000	28	2000
5	2000	13	1600	21	2000		
6	2000	14	1600	22	2000		
7	2000	15	1600	23	2000		
8	2000	16	1600	24	1600		

De plus, des cultures informelles qui se trouvent le long du canal d'amenée utilisent l'eau du canal pour leur irrigation. La superficie des cultures informelles est estimée à 200 ha (inventaire des parcelles en irrigation effectué par le Ministère de la Question Paysanne, 1987). Les prises d'eau se multiplient et certains jours le débit de canal ne dépasse pas 1400 l/s.

Une autre étude (Berthiaud, 2001) a obtenu un débit moyen de 634 l/s prélevé par les cultures informelles dans le canal d'amenée.

Ce qui est confirmé par une étude faite en 1983 (Rapport sur les prélèvements d'eau le long de la partie tête morte du canal d'irrigation de la plaine rizicole du Kou), on a constaté que la différence de débit entre le liere pont et la porcherie variait de 100 l/s en mi-février à 500 l/s en mars, avril.

Tableau 7.2 montre aussi qu'il y a des « pertes » d'eau le long du canal.

7.1.3 Le canal principal, les secondaires, les tertiaires, ...

Au niveau du point dit « vannes déversoir », le canal d'amenée est prolongé par le **canal principal** revêtu de section trapézoïdale, d'une longueur de 10 Km et véhiculant un débit de 2,3 m³/s à 2,7 m³/s qui ceinture presque tout le périmètre, de 9 **canaux secondaires** revêtus, de section trapézoïdale, d'une longueur totale de 16,2 Km et distants de 500 m les uns des autres véhiculant ainsi un débit variant de 0,30 m³/s à 0,49 m³/s, de 91 **canaux tertiaires** dont la majorité revêtus, de section trapézoïdale véhiculant un débit variable de 0,21 m³/s à 0,037 m³/s et enfin d'un ensemble de canaux quaternaires et d'arroseurs en terre de section trapézoïdale alimentant les parcelles (Lahcen, 2000). Une vue générale du périmètre est donnée par la Figure 7.1.

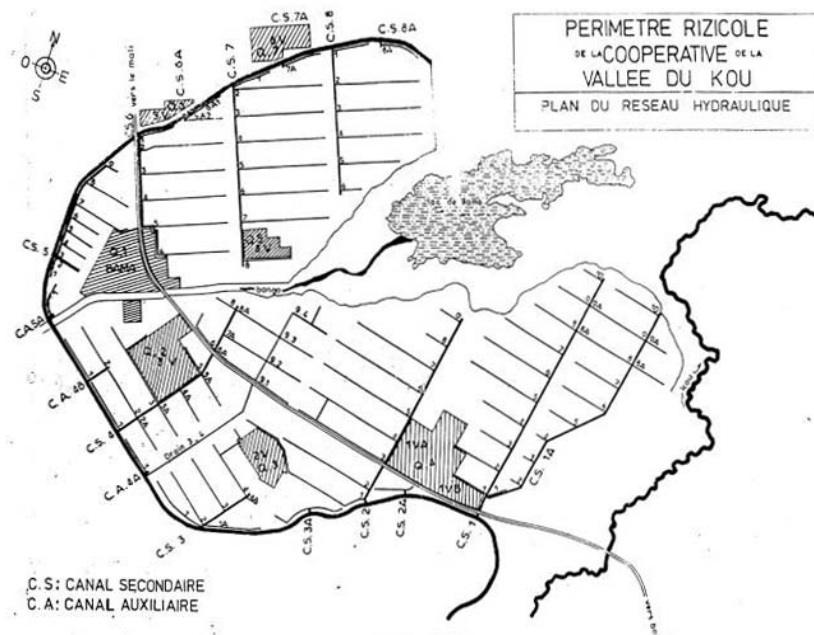


Figure 7.1 – Vue générale du périmètre irrigué de la Vallée du Kou

Tableau 7.5 - Récapitulatif de la nomenclature des canaux et leurs débits

Ouvrage	Nombre	Débit (m ³ /s)
Prise Diaradougou	1	-
Canal d'amenée	1	3,5
Canal principal	1	2,7 - 2,3
Canaux secondaires	9	0,49 - 0,3
Canaux tertiaires	91	0,21 - 0,037
Canaux quaternaires	-	-

Tableau 7.6. – Répartition des superficies par canaux secondaires

Canal secondaire	1 + 1A	2	3	4	4B	5	6	7	8	Total
Superficie (ha)	167	162	94	161	12,5	63	139	159,5	63	1021

Comme dans le canal d'amenée, des seuils à mesure se trouvent aussi en aval de chaque prise d'eau secondaire.

Des modules à masques sont installés en tête des canaux tertiaires juste à l'aval de chaque vanne de garde. Leur répartition de vannettes est : chaque fois une vannette de 5, 10, 15 et 30 l/s. Il faut remarquer que presque tous les modules sont bouchés, tordus ou coincés ; alors aucune mesure fiable n'était possible dans ces conditions.

7.1.4 Drainage

Un réseau d'assainissement assez dense permet de récolter les eaux depuis les parcelles jusqu'au canal émissaire en aval du lac de Bama. Les eaux d'inondation du périmètre sont drainées par le marigot Bango et conduites également vers le lac. L'excès d'eau du lac est vidé par l'émissaire qui est relié au Kou en aval du périmètre.

7.2 Gestion du périmètre

7.2.1 Calendrier agricole

La première campagne dure 126 jours et la deuxième dure 120 jours. Cette différence vient du fait qu'à cause du froid en janvier, le repiquage se passe un peu plus tard par rapport à la deuxième campagne de l'année.

Tableau 7.7 - Calendrier agricole au niveau du périmètre rizicole

Activités agricoles	Campagne 1	Campagne 2
date de semence	07/01	15/07
date de repiquage	01/02	01/08
date de la fermeture de la prise d'eau	02/05	30/10

Ci-dessous au Tableau 7.8 on voit le calendrier agricole pour la deuxième campagne au périmètre de la Vallée du Kou pendant l'hivernage de 2002. Ce calendrier est une notion explicative pour les agriculteurs, il n'est pas rigoureux.

Le Kou prévoit le périmètre d'une grande main d'eau et la pluie tombe assez souvent dans ce période. Pour ces raisons l'entretien des canaux est lamentable, l'utilisation de l'eau est non contrôlée et les agriculteurs font leurs labours à leur guise.

Normalement 70 kg de riz est utilisé pour la semence d'une pépinière qui donnera le riz pour un hectare. Le riz croît environ 25 jours dans les pépinières, l'irrigation se passe chaque 3 jours. Après le repiquage on attend trois jours avant de recommencer l'irrigation afin de laisser la plante s'adapter à la nouvelle situation. Le rythme d'irrigation suivi est alors chaque 2 jours. Une fois que le mûrissage commence l'irrigation s'arrête.

Tableau 7.8 – Calendrier agricole de l'hivernage 2002 à la Vallée du Kou

Dates	Opérations
15/06 - 29/06	Nettoyage des canaux d'irrigation
25/06	Ouverture du canal d'amenée
25/06	Trempage général de la semence
30/06	Semis des pépinières, l'épandage de fumure organique, le réfection des diguettes, l'hersage et la mise en boue des champs
20/07 - 10/08	Début des repiquages du riz
05/08 - 10/08	Premier épandage d'urée, sarclage et binage
15/08 - 20/08	Entretien des canaux d'irrigation et de drainage
20/08	Réunion des responsables secondaires et tertiaires
20/08 - 30/08	Deuxième épandage d'urée
14/09 - 19/09	Entretien des canaux d'irrigation et de drainage
10/11	Fermeture du canal
15/11	Réunion des responsables secondaires et tertiaires

7.2.2 La gestion

Jusqu'en 1993 le périmètre avait trois niveaux de gestion. (Carl Bro., 2001)

Premièrement il y avait la coopérative qui représentait tous les exploitants du périmètre. Ses objectifs étaient l'approvisionnement du périmètre en intrants agricoles, la commercialisation de la production de riz, la veille au respect du règlement intérieur (sur l'usage d'eau, les paiements des redevances en eau, l'entretien des drains,...) et l'octroi des crédits d'équipement aux exploitants.

Deuxièmement il y avait la direction qui représentait les cadres et les techniciens. Ses objectifs étaient la gestion des infrastructures hydrauliques, l'établissement des calendriers de culture en fonction des débits du canal, la formation et l'encadrement des exploitants pour maîtriser les pratiques culturales et les techniques d'irrigation, la conduite de la gestion de l'eau et l'organisation des travaux d'irrigation et d'entretien.

A la fin on avait 4 aiguadiers qui étaient les responsables de l'ouverture et de la fermeture des vannes et de la vérification des travaux d'entretien. Les directions se sont succédées pendant ces années d'assistance technique au périmètre. Elles étaient un appui à la coopérative et faisaient des études afin d'améliorer la production, tant au niveau de mode de culture que de l'irrigation. Cette cellule était un élément primordial pour une gestion rationnelle de l'eau. Selon le règlement intérieur, chaque exploitant était tenu de faire l'entretien des canaux. L'entretien était effectué au milieu et à la fin de chaque campagne. Ils contribuent ainsi à la pérennité de leur système d'irrigation et par conséquent au rendement de la production. Les consignes étaient bien respectées sous peine de perdre sa parcelle.

La situation en 2001 a changé . L'encadrement technique, qui était très rapproché au temps des Chinois et des Néerlandais s'est relâché. Les exploitants se trouvent

abandonnés ce qui entraîne un désordre accentué sur le périmètre. Les exploitants ont cependant acquis des connaissances sur la culture irriguée avec ces 20 années d'assistance technique mais ils ne sont toujours pas prêts à la gestion des infrastructures hydrauliques et de l'irrigation. La coopérative a éclaté en 8 petites coopératives indépendantes les unes des autres. Un seul aiguardier officiel reste. Il n'a pour seul outil de travail que le calendrier d'irrigation élaboré par les Néerlandais en 1990.

7.2.3 Irrigation

Pendant la saison sèche (de février à mai), l'eau d'irrigation est insuffisante et pour une gestion rationnelle de l'eau, un tour d'eau entre exploitant est instauré 24h/24.

Un lâcher d'eau est effectué en tête des canaux secondaires 1 – 2 – 3 et 4 pour servir 24h/24 jusqu'au lendemain (une nuit et un jour d'irrigation). Au lendemain, on ferme les vannes en tête de ces canaux secondaires et on effectue un lâcher en tête des canaux secondaires n°5 – 6 – 7 et 8 pour servir 24h/24, puis on ferme et le tour d'eau recommence. Ce tour d'eau au niveau de tous les canaux secondaires est réalisé par le responsable eau du périmètre

Si l'eau est abondante en saison pluvieuse (juin – octobre), on ouvre tous les canaux secondaires en même temps.

7.2.4 Rendements

Au niveau de la DRA, dans une étude de la FAO, des données sur les rendements en T/ha durant les deux campagnes rizicoles depuis l'année 1995 jusqu'à l'année 1998 étaient collectées (Tableau 7.9) (Lahcen, 2000).

Tableau 7.9 - Rendements en T/ha durant les deux campagnes pour la période 1995-1998

	Saison sèche	Saison humide
1995		4,81
1996	3,47	3,62
1997	4,46	4,03
1998	3,22	3,93
Moyenne		3,93

Pour la saison humide de 2002 des cadres de rendements étaient ramassés. C'est à dire, de plusieurs champs 1 m² étaient récoltés, décortiqué et pesés. Ca permettra d'extrapoler ces données et d'avoir une idée des rendements globaux dans la Vallée du Kou ; et finalement aussi pour calibrer les modèles de simulation de besoins en eau des cultures.

Tableau 7.10 – Mesures de rendement suivant la méthode des carrés de rendements

N° du Champ	Poids du riz décortiqué 1m ² (g)	Rendement (T/ha)
95	600	6,0
59	750	7,5
317	850	8,5
30	610	6,1
51	690	6,9
70	600	6,0
93	500	5,0
50	580	5,8
58	550	5,5
16	500	5,0
	Moyenne	6,2

7.3 Besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures représentent le volume d'eau exprimé généralement en lame d'eau ou en mm, qui est consommé par le phénomène de l'évapotranspiration du couvert végétal qui doit être indemne de maladies, développé sur une grande surface et dans des conditions non limitantes de disponibilité en eau dans le sol et de fertilisation. De telles conditions doivent conduire au rendement potentiel.

Pour les besoins en eau des cultures maraîchères, ces dernières d'une superficie de l'ordre de 70 ha ont été introduites au niveau du périmètre irrigué de la vallée du Kou depuis la première campagne agricole de l'année 1988. Leurs besoins en eau ne sont pas connus avec exactitude. Le service hydraulique en collaboration avec le service de la production végétale a pris comme besoin en eau les normes qui sont souvent utilisées au niveau du territoire Burkinabé c.à.d 1,15 l/s/ha.

Les besoins en eau en l/s par mois et par bloc hydraulique au niveau du périmètre rizicole de la Vallée du Kou ont été établis en 1986 par la mission Néerlandaise (projet Vallée du Kou). Les résultats sont présentés dans Tableau 7.11, la pluie efficace non incluse. Tous les canaux ne sont pas inclus puisque le projet a fait ces études sur le bloc 2.

Tableau 7.11 - Besoins en eau en l/s pour les blocs 2, 2a et le total pour tous les blocs

Mois	Bloc 2 (l/s)	Bloc 2a (l/s)	Total des 8 blocs (l/s)
Janvier	300	10	1 895
Février	365	10	2 275
Mars	365	10	2 300
Avril	315	10	2 020
Mai	0	0	0
Juin	0	0	0
Juillet			1 500
Aout	205	5	1 230
Septembre	205	5	1 245
Octobre	220	10	1 405
Novembre	0	0	0
Décembre	0	0	0

En dehors de cela d'autres tests et mesures ont été menés à bien par le projet. Dans plusieurs champs délimités des mètres gradués ont été installés pour mesurer l'évapotranspiration du riz (ET_{riz}) et les pertes par percolations dans les rizières. En mesurant chaque jour aux mêmes heures la hauteur de la nappe d'eau dans le champ, on peut estimer l'ET_{riz} et les pertes par percolations des dernières 24 heures. Quand l'irrigation était nécessaire, c'était fait après avoir contrôlé le mètre gradué à l'heure prédéterminée. L'irrigation consistait à ouvrir le champ délimité, laisser entrer l'eau et après de nouveau isoler le champ. A ce moment le mètre gradué était vérifié de retour.



Foto 7.1 & 7.2 – Champ avec règle graduée (g.) et champ avec règle et lysimètre (d.)

Les mesures faites dans une journée avec de la pluie étaient exclues. Le Tableau 7.12 présente les moyennes des mesures réussies (en mm/jour) des mois de septembre jusqu'à novembre pour 6 règles graduées.

Tableau 7.12 - Mesures réussies de ETriz et percolation sur quelques rizières (mm/jour)

	Règle 1	Règle 2	Règle 3	Règle 4	Règle 5	Règle 6	Moyenne
Septembre	12	11	14	12	11	13	12
Octobre	9	10	13	10	8	13	11
Novembre			11	14	9	9	11
Moyenne	11	10	12	12	10	12	11

En même temps, quelques lysimètres (tonneaux simples ; hauteur = 60 cm et diamètre = 58 cm) étaient plantés dans les rizières. Les parties supérieures des tonneaux ont été peintes en blanc pour limiter le réchauffement de la lame d'eau par insolation. Dans le tonneau du riz est planté avec le même écartement que le champ autour et il est irrigué avec le même calendrier que le riz du champ autour. La hauteur de la lame d'eau est notée chaque jour. Si la rizière était irriguée, l'eau dans la barrique est renouvelée. Les résultats sont exposés dans Tableau 7.13. La variation est causée par les changements du temps, le stade de développement et les caractéristiques du sol.

Tableau 7.13 - Résultats des lysimètres (mm/jour)

	Lysimètre 1	Lysimètre 2	Moyenne
Septembre	5	5	5
Octobre	8	8	8
Novembre	4	7	6
Moyenne	6	7	6

L'ensemble et l'analyse des données sont affichés dans Tableau 7.14.

Tableau 7.14 – Pertes par ETriz et percolation (mm/jour) ;
comme mesuré avec les lysimètres et mètres gradués

	ETriz	Etriz + percolation	Percolation
Septembre	5	12	7
Octobre	8	11	3
Novembre	6	11	5
Moyenne	6	11	5

7.4 Climatologie

Une synthèse et analyse de la climatologie de la région est publié par GE-eau dans le Bulletin Technique « Agro-Climatologie ». (GE-eau, 2004)

7.5 Caractéristiques des sols

La texture des sols du périmètre rizicole irrigué de la vallée du Kou a été déterminée par les analyses granulométriques d'échantillons du sol prélevés dans l'ensemble des parcelles exploitées de la plaine de la vallée du Kou. Ainsi, les groupes de sols exploitables observés sont consignés : argile, argilo-limoneux, sable-argile-limoneux, sablo-argileux, sablo-limoneux et sablo-limoneux (Lahcen, 2000).

Il est à noter qu'on rencontre des matériaux grossiers à faible profondeur. C'est ce qui rend les rizières perméables. Des mesures de la vitesse d'infiltration de l'eau ont été menées entre deux campagnes de riz et elles sont beaucoup plus élevées que pendant les campagnes de riziculture. La valeur moyenne est de 32 mm/j au lieu de 3 mm/j en pleine campagne.

Des échantillons de terre non-perturbées et de puits de profil ont été analysés au niveau de la K.U.L.. Les résultats sont publiés dans le Bulletin Technique « Physique du Sol » (GE-eau, 2004).

7.6. Bilan d'eau

Un bilan d'eau est établi avec lequel on peut planifier les mains d'eau nécessaires pendant les saisons de culture du riz; en saison sèche et en hivernage.

L'équation du bilan d'eau d'un périmètre rizicole s'établit de la manière suivante (SAED, 1993) :

$$I + Peff = Imb + ETriz + Perc + Vid + Pert \quad (\text{mm})$$

- Irrigation (I): la quantité d'eau coulant dans le canal d'amenée vers le périmètre ;
- Précipitation Efficace (Peff) : la quantité de pluie stockée effectivement dans les rizières ;
- Imbibition (Imb) : la quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol des rizières avant la mise en place de la culture ;
- Evapotranspiration (ETriz) : la quantité d'eau perdue par évapotranspiration du riz dans les rizières ;
- Percolation (Perc) : la quantité d'eau perdue par drainage profond dans les rizières ;
- Vidange (Vid) : la partie de la quantité d'eau stockée dans les rizières et qui est perdue par drainage superficiel ;
- Pertes (Pert) : la quantité d'eau perdue pendant le transfert d'eau de la prise d'eau aux champs.

7.6.1 Paramètres du bilan d'eau

A la mise en eau, une lame d'eau est apportée aux champs pour saturer les sols et faire le nivellement des parcelles. La durée de la phase d'imbibition est techniquement déterminée par la capacité du canal d'amenée, la surface à exploiter et la disponibilité en eau. Une fois que les parcelles sont saturées, le repiquage est fait. Une première vidange prend place dans le but de fortifier l'enracinement des jeunes plants de riz. Après quatre jours les irrigations commencent. La lame d'eau est graduellement augmentée pendant la saison de culture. Une dizaine de jours avant la récolte, les parcelles sont progressivement drainées pour faciliter les opérations de récolte.

7.6.1.1 Irrigation

L'irrigation pendant la saison sèche est limitée par la main d'eau disponible du Kou. Le débit coulant dans le Kou n'est pas assez élevé pour assurer une main d'eau suffisante pendant la saison sèche. Pendant l'hivernage le Kou fournit le périmètre facilement.

Les débits disponibles pendant les deux saisons ont été montrés dans le Tableau 7.15. Les débits décadaires¹ pendant la saison sèche et pendant l'hivernage figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.15 – Quantités décadaires d'eau entrant au périmètre pendant la première et la deuxième campagne

Irrigation (mm)			Irrigation (mm)		
jan	1	259	juil	2	259
	2	259		3	259
	3	259		août	1
févr	1	207	2		259
	2	207	3		259
	3	207	sept.	1	259
mars	1	173		2	259
	2	173		3	259
	3	173	oct	1	259
avril	1	259		2	259
	2	259		3	259
	3	259	nov	1	259
		2		259	

7.6.1.2 Précipitation efficace

Tableau 7.16 – Précipitations décadaires totales et efficaces

P totale (mm) P efficace (mm)				P totale (mm) P efficace (mm)			
jan	1	0	0	juil	2	64	54
	2	0	0		3	84	71
	3	0	0		août	1	89
févr	1	0	0	2		80	68
	2	0	0	3		83	71
	3	0	0	sept.	1	47	40
mars	1	0	0		2	60	51
	2	3	0		3	38	32
	3	2	0	oct	1	31	26
avril	1	4	0		2	19	17
	2	15	13		3	7	6
	3	18	16	nov	1	4	0
			2		0	0	

Vu les hauteurs des diguettes relativement importantes, une grande partie des précipitations peut être stockée facilement dans les champs. On considère que 85% des précipitations supérieures à 5 mm sont efficaces (USDA SCS, 1969). Toute chute de pluie au-dessus de 5 mm est estimée être inefficace. Les précipitations mesurées pendant l'hivernage et la saison sèche à la station météorologique de Bama et les précipitations efficaces estimées sont données dans le Tableau 7.16.

¹ Le débit décadaire est calculé en multipliant la main d'eau par 86400 (pour un jour) et par 10 (pour une décade), et divisé par 10000 pour finir en mm.

7.6.1.3 Imbibition

En connaissant la teneur en eau initiale (θ_i), la teneur en eau au point de saturation (θ_{sat}), la profondeur du sol saturé (δz) et la superficie mise sous eau (A), l'eau d'imbibition est donnée par :

$$\text{Imb} = 10.000 A (\theta_{sat} - \theta_i) \delta z \quad (\text{mm})$$

où δz est exprimé en mètres, θ_{sat} et θ_i en humidité volumétrique ($\text{m}^3 \text{ eau}/\text{m}^3 \text{ de sol}$) et A en hectares.

La situation du sol au début de la campagne hivernale est différente de la situation au début de la campagne pendant la saison sèche. La mise en eau s'est effectuée au début de l'hivernage. Normalement les semis de la campagne hivernale commence au début de juillet. A ce moment l'hivernage a déjà commencé. On peut supposer que la teneur en eau initiale ne sera pas très basse. La teneur en eau initiale (θ_i) est alors $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$ et la teneur en eau au point de saturation est (θ_{sat}) $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3$. La détermination de ces facteurs a été faite à l'aide des courbes de rétention (Bulletin Technique – Physique du Sol ; GE-eau, 2004). La teneur en eau initiale pendant la campagne hivernale se trouve entre le point de flétrissement et la capacité de champ. La teneur en eau initiale pour la campagne pendant la saison sèche est moindre, il a déjà été une période sèche en décembre, alors elle est $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$. La profondeur de sol saturé est $0,50 \text{ cm}$, le projet a constaté cette valeur suivant les caractéristiques du puits creusé.

Un résumé des teneurs en eau et les quantités d'eau nécessaires sont consignés dans le Tableau 7.17.

Tableau 7.17 – Teneur en eau des sols et la quantité nécessaire pour l'imbibition

		Saison sèche	Hivernage
θ_i	(m^3/m^3)	0,1	0,25
θ_{sat}	(m^3/m^3)	0,5	0,5
Imbibition	(mm)	200	125

7.6.1.4 Evapotranspiration de riz

L'évapotranspiration du riz est déterminée en multipliant l'évapotranspiration de référence par le coefficient cultural (Kc). Les coefficients Kc proposés par la FAO (Doorenbos et Kassam, 1979) étaient pris. L'évapotranspiration de référence a été calculée à partir de la formule de Penman Monteith (Bulletin Technique – Agroclimatologie ; GE-eau, 2004). Les résultats sont présentés dans le Tableau 7.18.

Tableau 7.18 – Evapotranspiration décadaire de riz

ET _{riz} (mm)			ET _{riz} (mm)		
jan	1	41	juil	2	54
	2	46		3	51
	3	50		août	1
févr	1	52	2		51
	2	58	3		49
	3	62	sept.	1	49
mars	1	71		2	50
	2	72		3	48
	3	76	oct	1	54
avril	1	67		2	44
	2	70		3	46
	3	71	nov	1	45
		2		43	

7.6.1.5 Percolation

La percolation est estimée à partir des mesures de la conductivité hydraulique du sol et à partir des lectures des règles graduées placées dans les champs. Les mesures de la conductivité hydraulique du sol ont été faites à l'aide de l'infiltromètre à double anneau (Walker & Skogerboe, 1987 ; Merriam & Keller, 1978).

La percolation déterminée est une moyenne de toutes les mesures faites. La percolation est alors 7,5 mm/jour. En multipliant la percolation avec 120 (la longueur de la saison de culture) on atteint la quantité totale perdue par percolation en mm.

7.6.1.6 Vidange

Deux vidanges sont effectuées pendant les campagnes : i) pour favoriser le développement des racines quand le riz vient d'être repiqué et ii) pour faciliter les opérations de récolte (assèchement avant récolte).

Une estimation doit être faite pour déterminer les eaux de vidange du périmètre. La première vidange est effectuée avant le repiquage. A ce moment les champs doivent être nivelés et saturés. Le nivellement et la saturation prennent place pendant la croissance du riz dans les pépinières. Après le repiquage tous les champs sont progressivement munis d'une nouvelle lame d'eau. La perte de l'eau avant le repiquage peut être estimée à 100 mm. Pendant la période de mûrissement, les champs sont progressivement vidés de façon à faciliter les opérations de récolte. Pour cette opération 150 mm de l'eau sont évacués d'après les discussions avec les agriculteurs.

7.6.1.7 Pertes

Les pertes sont constituées par les pertes de distribution, les pertes ‘administratives’ et les pertes résultant d’un mauvais entretien.

Les pertes de distribution sont constituées par les pertes par percolation et par évaporation. Les pertes par percolation peuvent être évaluées à partir des formules. SOGREAH (1974) donne pour différentes natures de terrain de bonnes moyennes de pertes. Pour des canaux argilo-limoneux les pertes sont $0,01 \text{ m}^3/24\text{h.m}^2$ (paroi mouillée). Les pertes par évaporation qui se manifestent dans les canaux sont de peu d’importance et peuvent être négligées. Dans le Tableau 7.19 ci-dessous les superficies de parois mouillées sont données avec leurs pertes de percolation.

Tableau 7.19 – Surface mouillée et volume d’eau perdu par percolation dans les canaux quaternaires

		Quantité
Périmètre mouillé	(m)	1,1
Longueur	(m)	20.000
Paroi mouillée	(m ²)	22.000
Pertes	(m ³ /décade)	220
Pertes	(mm/saison)	242

Les pertes administratives proviennent d’une mauvaise gestion de l’eau par laquelle on laisse plus d’eau entrer dans le canal d’amenée que nécessaire ce qui entraînera un débordement du canal d’amenée donc un gaspillage d’eau. Le long du canal d’amenée il y a plusieurs ouvrages de sécurité, c-à-d des déversoirs latéraux. Pendant l’hivernage ces pertes sont grandes mais difficiles à estimer et sont négligeables en saison sèche, parce qu’un débordement du canal d’amenée n’est plus possible suite à la pénurie d’eau.

Les pertes résultant d’un mauvais entretien sont occasionnelles. Elles peuvent provenir d’une obstruction d’une valve, d’un enherbement excessif des canaux qui oblige une main d’eau plus élevée, des fissures dans les canaux, etc... Parce qu’elles sont occasionnelles leur estimation est difficile mais elles sont loin d’être négligeables.

Pendant la saison sèche il y a encore une ‘perte’ additionnelle. Cette perte est la prise d’eau ‘interdite’ le long du canal d’amenée. Des études ont été menées et estime cette perte à 600 l/s (Berthiaud, 2001). En saison sèche cette perte cause une pénurie d’eau au périmètre et en hivernage elle est négligeable à cause d’une abondance en eau disponible.

7.6.2 Bilan d'eau

7.6.2.1 Saison sèche

Le Tableau 7.20 donne une vue générale du bilan d'eau pour la saison sèche. Les inputs sont l'irrigation et les précipitations efficaces. En même temps l'éventail des facteurs consommants de l'eau est donné.

Les pertes sont assez grandes à cause de la piraterie le long du canal d'amenée (soit 229 mm/saison). La percolation est aussi relativement grande, normalement pour des sols argileux l'infiltration serait plus basse. Le riz irrigué consomme beaucoup d'eau à cause d'une nécessité d'une lame d'eau permanente sur les champs. L'évapotranspiration du riz augmente pendant la saison de culture et diminue de nouveau à la fin de la saison. Le coefficient cultural est le facteur le plus décisif dans cette évolution. La quantité d'eau nécessaire pour la saturation du sol au début de la saison de culture est grande.

Tableau 7.20 – Consommations décadaires d'eau et bilan d'eau pendant la saison sèche (mm)

		Irr	Peff	In	lmb	ETriz	Perc	Vid	Pert	Out	In - Out
jan	1	259	0	259	200	41	75	0	39	356	-96
	2	259	0	259	0	46	75	100	39	260	-1
	3	259	0	259	0	50	75	0	39	164	95
févr	1	207	0	207	0	52	75	0	39	166	41
	2	207	0	207	0	58	75	0	39	173	35
	3	207	0	207	0	62	75	0	39	176	31
mars	1	173	0	173	0	71	75	0	39	185	-12
	2	173	0	173	0	72	75	0	39	186	-14
	3	173	0	173	0	76	75	0	39	190	-17
avril	1	259	0	259	0	67	75	0	39	182	77
	2	259	13	272	0	70	75	0	39	184	87
	3	259	16	275	0	71	75	0	39	185	89
Tot.		2695	29	2724	200	736	900	100	471	2407	317

Théoriquement l'équation du bilan d'eau doit se balancer. Mais dans la pratique il y a une différence entre les quantités d'eau utilisées et celles apportées. Ici ce désaccord est obtenu pour une grande quantité des décades.

Quand la quantité d'eau apportée est plus grande que la quantité d'eau consommée (In – Out), ceci n'a pas une influence négative sur les récoltes. Dans ce cas on peut seulement conclure qu'il y a un surplus d'eau apporté aux champs. A ce moment il coule plus d'eau dans les canaux de drainage pour éviter les inondations des parcelles. Dans le tableau on remarque que les surplus sont assez grands. Une première cause peut être que la quantité d'eau entrant à la prise d'eau est trop grande et une autre cause peut être que les pertes sont sous-estimées.

Une deuxième possibilité est que la différence entre les quantités d'eau utilisées et celles apportées est négative. A ce moment il y a un manque d'eau. Il y a des manques d'eau pendant le début de la saison de culture et pendant la phase de

croissance (en mars) du riz. Les conséquences sont évidentes, une pénurie d'eau qui cause une diminution des récoltes. Il faut beaucoup de changements pour résoudre et éviter les manques d'eau dans le futur. Premièrement il faut solutionner le problème du piratage le long du canal d'amenée, deuxièmement l'entretien des canaux doit être suivi et troisièmement la gestion d'eau doit être planifiée plus rigoureusement.

7.6.2.2 Hivernage

La même analyse est faite pour l'hivernage dans le Tableau 7.21. Les quantités d'eau disponibles sont certainement plus grandes que pendant la saison sèche. Le débit dans le Kou et les précipitations efficaces sont grands alors l'eau disponible à la prise d'eau est toujours abondante. Cette abondance fait que le manque d'eau est très rare.

La consommation d'eau est moins élevée pendant la campagne hivernale, mais les pertes sont différentes. Il y a de l'eau qui est perdue par les déversoirs de sécurité le long du canal d'amenée. Il y a le prélèvement d'eau par les pirates le long du canal d'amenée mais pendant l'hivernage ces pertes sont minimales. L'état des canaux secondaires, tertiaires et quaternaires n'est pas optimal et provoque aussi des pertes. L'évapotranspiration de référence est faible et la quantité d'eau nécessaire pour la saturation du sol au début de la saison de croissance est plus petite que pendant la première campagne.

Tableau 7.21 – Consommations décadaires d'eau et bilan d'eau pendant l'hivernage (mm)

		Irr	Peff	In	Imb	ETriz	Perc	Vid	Pert	Out	In - Out
juil	2	259	54	313	125	54	75	0	22	276	37
	3	259	71	330	0	51	75	100	22	248	82
	août	1	259	76	335	0	51	75	0	148	187
août	2	259	68	327	0	51	75	0	22	148	179
	3	259	71	330	0	49	75	0	22	146	184
	sept.	1	259	40	299	0	49	75	0	146	153
sept.	2	259	51	310	0	50	75	0	22	147	164
	3	259	32	291	0	48	75	0	22	145	146
	oct	1	259	26	285	0	54	75	0	151	134
oct	2	259	17	276	0	44	75	0	22	141	135
	3	259	6	265	0	46	75	0	22	143	122
	nov	1	259	0	259	0	45	75	0	142	117
nov	2	259	0	259	0	43	75	0	22	140	119
	Tot.	3367	512	3879	125	634	975	100	286	2120	1759

Il est incontestable qu'une trop grande quantité d'eau est apportée au périmètre. Parfois deux fois la quantité d'eau nécessaire pour la riziculture.

7.7 Application du logiciel BIRIZ

Le logiciel est composé de deux applications : BIRIZ et BIRIZINP, développés à l'Institut pour la Gestion des Eaux et Terres, Katholieke Universiteit Leuven (K.U.Leuven), Leuven, Belgique (Raes, 1995).

BIRIZ est une application informatique développée pour l'estimation des besoins en irrigation des besoins en irrigation d'une rizière ou d'une série de rizières. Les besoins en drainage ainsi que la quantité d'eau perdue par percolation profonde pendant une saison de culture y sont aussi calculés. Le modèle peut être utilisé pour estimer les futures demandes et évaluer les quantités d'eau utilisées lors des saisons précédentes.

BIRIZINP est une application où les données s'y trouvant par défaut utilisées pour le calcul des besoins en eau et des pertes en eau vers le nappe sous-jacente peuvent être mises à jour ou modifiées par l'utilisateur. Les valeurs mises à jour sont stockées dans des fichiers utilisés 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 BIRIZINP.

7.7.1 Données d'Input

Les données nécessaires du **climat** sont l'évapotranspiration de référence pour chaque décade et pour les précipitations, les probabilités de dépassement pour une année sèche, normale et humide. Ces données ont été présentées dans le Bulletin Technique : Agro-Climatologie (GE-eau, 2004).

Les données nécessaires du **sol** sont la percolation, la quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol, le planage des parcelles et la hauteur des diguettes.

La **végétation** est très importante pour les quantités d'eau nécessaires. Les données nécessaires sont les suivantes : les coefficients culturaux pour le début de la saison de culture, la phase intermédiaire et la fin de la saison de culture, la méthode de culture, l'épaisseur de la lame d'eau pendant la saison nécessaire pour le riz et les caractéristiques du riz (calendrier de la culture).

L'épaisseur de la lame d'eau augmente pendant la saison de culture. Au début de la saison la lame est encore mince (2cm), pendant la floraison il y a une épaisse lame d'eau (10cm).

Les données nécessaires du **périmètre** sont la superficie, la présence d'un réseau d'assainissement et les possibilités de pertes par distribution.

La superficie du périmètre est 1021 ha de riz irrigué et il y a un réseau de drainage. Les possibilités de pertes par distribution sont par percolation, par évaporation et par le drain. A chaque possibilité un pourcentage est attribué, pour la percolation, 10% des pertes, par le drain ils disparaissent 70% des pertes et par évaporation 20%. La perte par percolation est causée par l'infiltration de l'eau dans les canaux en terre.

7.7.2 Output

Les résultats de BIRIZ sont représentés ci-dessous dans le Tableau 7.22 contenant les besoins en eau pour toute la saison de culture en chiffre. La figure 7.2 montre les besoins en eau décadaires pour les deux campagnes.

Tableau 7.22 – Besoins en eau d’irrigation pour les deux campagnes de riziculture calculés par Budget

Paramètres	Saison sèche			Hivernage		
	Condition météorologique			Condition météorologique		
	Sèche	Normale	Humide	Sèche	Normale	Humide
Imbibition		200			125	
Evapotranspiration de riz		742			569	
Lame d'eau		170			170	
Pertes par percolation		127			927	
Besoin net en irrigation	2039	2039	2039	1791	1791	1791
- Précipitation efficace	-2	-22	-76	-229	-413	-707
+ Pertes de distribution	359	356	346	391	344	271
Somme Besoin en Irrigation	2396	2374	2309	1953	1722	1355
Besoin en drainage	372	373	377	437	440	444
Ecoulement vers la nappe	997	997	996	1008	1003	996

La plupart des résultats sont proches. Les différences se trouvent surtout dans les précipitations efficaces.

Les pertes par distribution sont pratiquement les mêmes, mais BIRIZ ne permet pas de faire une bonne description des pertes. Les pertes d’eau le long du canal d’amenée ne peuvent pas être incluses dans les inputs de BIRIZ. Pour cette raison l’eau nécessaire est plus élevée que calculée par BIRIZ.

La Figure 7.2 donne une bonne vue d’ensemble des deux campagnes. Il est remarquable qu’il y a plus d’eau nécessaire pendant la saison sèche. En plus il faut remarquer que pendant le mois mars les quantités d’eau nécessaires ne seront pas disponibles au périmètre à cause d’un écoulement moins élevé dans le Kou. Alors la pénurie d’eau causera certainement des frictions entre les paysans ayants des parcelles sur le périmètre et ceux cultivant le long du canal d’amenée.

Les figures des besoins en eau d’irrigation pendant les deux campagnes sont analogues. Au début une grande quantité d’eau est nécessaire pour la saturation des sols (pendant 20 jours) et en plus une vidange de la lame d’eau avant le repiquage et un remplacement de la lame d’eau après le repiquage consomme beaucoup d’eau.

Besoin en eau d'irrigation pendant les deux campagnes

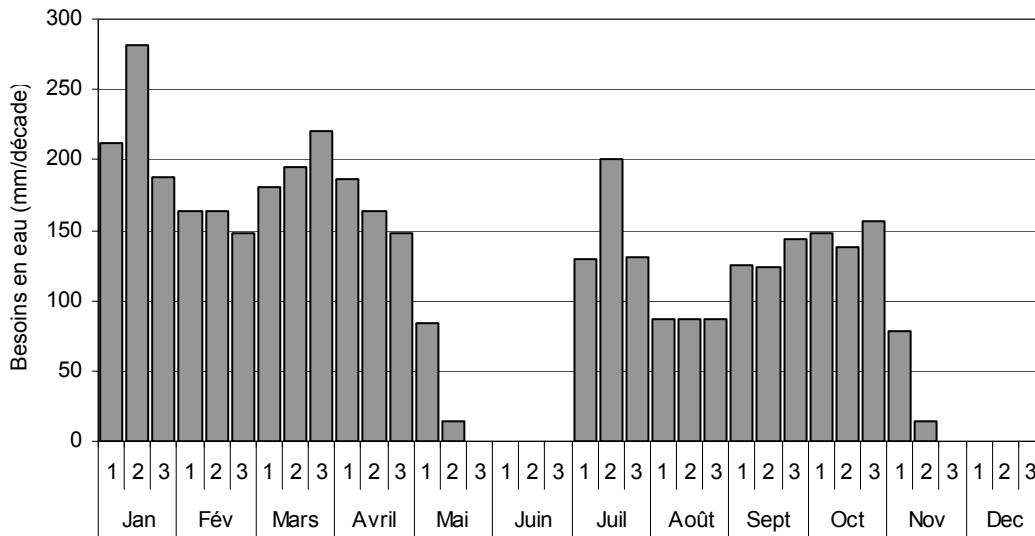


Figure 7.2 – Besoins en eau d’irrigation calculés avec BIRIZ pour les deux campagnes

7.7.3 Efficience de distribution

L’efficience de distribution est le rapport entre le volume d’eau d’irrigation apporté au champ et le volume d’eau entrant à la prise d’eau comme donné par l’équation ci-dessous :

$$\text{Eff}(d) = \frac{I - \text{Pert}}{I}$$

A cause du mauvais entretien des canaux le projet a voulu mesurer les débits dans les différents canaux du périmètre. Après un usage et un calcul des débits on pourrait avoir une idée de l’efficience de distribution de l’eau. Mais à cause d’un manque de moyen de mesures les débits sont erronés qu’il n’est plus possible de faire des prédictions valables.

Afin d’avoir encore une idée de l’efficience de distribution on peut suivre une autre piste. En utilisant les données de BIRIZ on peut calculer l’efficience de distribution. BIRIZ calcule le besoin net en eau nécessaire pour le périmètre, alors on peut dire que le facteur (I – Pert) est le besoin net calculé par BIRIZ. Pour la saison sèche on décompte 600 mm à cause des prises d’eau le long du canal d’aménée que BIRIZ ne peut pas tenir compte. Le facteur I est la quantité entrant à la prise. Les résultats donnent :

- Saison sèche : $\text{Eff}(d) = \frac{2039 - 600}{2695} = 0,533 = 53,3\%$

- Hivernage : $\text{Eff}(d) = \frac{1791}{3367} = 0,531 = 53,1\%$

La différence de l'efficacité de distribution n'est pas grande entre les deux campagnes. Les pertes pendant la première campagne peuvent être attribuées aux prélèvements le long du canal d'amenée, les pertes pendant la deuxième campagne peuvent être attribuées au mauvais entretien des canaux et les grandes pertes par le drain. Quand on fait la comparaison avec des efficacités de distribution d'autres aménagements on voit que l'efficacité obtenue du périmètre est faible. Par exemple à Pont-Gendarme, Sénégal, l'efficacité de distribution (SAED, 1993) atteint 81 %.



- Etudiants & formations -

8

Etudiants encadrés & formations

8.1 Etudiants encadrés

Comme l'année passée le projet a accueilli et encadré des stagiaires ou étudiants de fin d'études avec lesquels on mène des travaux en vue d'atteindre les objectifs du projet. Cette année 3 stagiaires ont été accueillis pour une période étalée sur 8 mois, de début mars jusqu'à fin octobre. La plupart des résultats sont inclus dans ce rapport.

De mars jusqu'en mai Félicité Chabi-Gonni, venu du Benin et étudiante en dernière année de l'EIER, a fait son mémoire de fin d'études dans le projet. La thème de son mémoire portait sur une « Synthèse hydrologique sur la Vallée du Kou. Mise en place d'un système de suivi et d'évaluation de la ressource ». L'étude qui a été réalisée sur ce bassin a permis de faire une synthèse hydrologique sur le bassin et des propositions pour l'amélioration du suivi du système d'eau de la vallée du Kou. Sa thèse a même remporté le concours 'meilleure thèse à l'EIER'.

Mamadou Barro, Burkinabé est aussi étudiant à l'EIER et a fait son stage de fin de deuxième année dans le projet. Son travail est titré « Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET pour l'agriculture pluviale dans le Sud-Ouest du Burkina Faso moyennant des tensiomètres ». On proposait dans cette étude de valider ce modèle du bilan d'eau en utilisant des tensiomètres comme outil de suivi de la teneur en eau du sol. Cette étude est la deuxième étude portant sur le modèle du bilan d'eau dénommé BUDGET. La première a été menée avec succès en 2002.

De septembre à octobre, Félicité Chabi-Gonni a de nouveau fait un stage au niveau du projet (post-stage). Il s'agissait d'élaborer un bulletin hydrologique du bassin versant du Kou. La synthèse hydrologique donne l'évolution des écoulements du Kou et ses affluents pendant la période 1980 à 2002 et est destinée à toute personne ayant besoin de données hydrologiques, pluviométriques et météorologiques sur le bassin du Kou en vue d'une modélisation hydrologique sur le dit bassin.

Finalement Myriam Dedewanou, maîtrise de Sciences et Techniques « Sciences de l'Environnement » de l'Université de Rouen, a évalué les connaissances, puis les besoins en hydrogéologie de la région. Son œuvre était intitulé « Participation à la caractérisation de la ressource en eau dans le Sud Ouest du Burkina Faso ».

8.2 Formations

Du 20 février 2003 jusqu'au 26 février 2003, Joost WELLENS, chef du projet, et Nestor COMPAORE, l'homologue du chef du projet, ont participé à une formation en MIKE Basin organisé par le programme GIRE et dispensée par le DHI.

Cette formation a amené la décision d'acquiescer une licence d'étude de ce logiciel pour la gestion en eau de la Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins

De mi-juin au début juillet 2003, Mons. Nestor Compaoré, homologue du coopérant technique et scientifique du projet, a suivi une formation à la K.U.Leuven. Cette formation portait sur la technologie des systèmes d'informations géographiques et de la télédétection et sur leur application dans le domaine de la gestion des ressources en eau dans l'agriculture.



- Coopérations -

9

Coopération avec des partis tiers

Au cours de l'élaboration du projet, celui-ci a été contacté par plusieurs autres ayant à peu près les mêmes intérêts. Ces rencontres ont abouti à deux collaborations.

Le projet APPIA

Le projet APPIA est financé par la Coopération française et 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 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.

La collaboration GE-EAU - APPIA est concrétisée par l'affectation durant 8 mois (novembre 2003 – juin 2004) par APPIA de deux ingénieurs sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou à Bama, d'une part, et sur le périmètre informel de Diaradougou d'autre part, afin d'effectuer un diagnostic pluridisciplinaire des performances de ces aménagements. Ces ingénieurs intégreront les informations et études existantes, ainsi que les données collectées par GE-EAU. Ils effectueront la collecte de données complémentaires sur les exploitations et le périmètre. Ils compléteront l'étude physique et hydraulique déjà effectuée par GE-EAU et assisteront GE-EAU dans la validation des modèles BUDGET et BIRIZ. Le travail d'analyse débouchera sur des propositions concrètes de solutions à mettre en œuvre à court et à moyen terme sur le périmètre et ses alentours (aménagements, règles de tour d'eau, calendriers d'irrigation,...). L'apport de GE-EAU est limité à l'encadrement de la partie hydraulique et à la coordination des activités de terrain.

Le projet FNPP-IWRM-VG

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 ») développe une approche de gestion intégrée des ressources en eau, afin de renforcer la sécurité alimentaire en milieu rural. Cette approche est 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.

Un lien de collaboration a été conclu entre GE-EAU et le consultant responsable (AEDE ; Association Eau Développement et Environnement) pour l'exécution du projet dans la Vallée du Kou afin de lui rendre disponible une base de données plus large. Il est convenu de procéder à un échange de données entre les deux ingénieurs de la collaboration APPIA-GEeau et le consultant FNPP. Le consultant appuiera aussi les ingénieurs par un suivi sur le terrain.

- Référence bibliographique -

Référence bibliographique

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.

Almorox, J., (2002). Apuntes de climatología y meteorología on-line. Departamento de edafología. Escuela técnica superior de Ingenieros Agronomos. Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.eda.etsia.upm.es/climatologia/precipitacion/percentilesgammaejercicio.htm>

Belmans, C., Wesseling, J.G. & Feddes, R.A., (1983). Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology*, 63: 271-286.

Benoit, P., (1977). The start of the growing season in Northern Nigeria. *Agric. Meteorol.*, 18: p. 91-99.

Berthiaud, A., 2001. Contribution pour une évaluation des relations entre l'usage des eaux de surface et l'occupation de l'espace – Bassin du Moun-hou Supérieur. Université Paul VALÉRY, Montpellier III – France et DRH-HB – Burkina Faso.

Buishand, T.A., (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*. 1985, 58, p. 11-27.

Bureau national des sols, (1993). Rapport technique No 88, Etude pédologique de huit sites hydro agricoles sur l'axe routier Gaoua-Sidéradougou-Banfora, Provinces : Comoé-Poni. Ministère de l'agriculture et des ressources animales, Ouagadougou, Burkina Faso. 145p.

Cabelguenne, M. & Debaeke, P., (1998). Experimental determination and modeling of the soil water extraction capacities of maize, sunflower, soya bean, sorghum and wheat. *Plant and Soil*, 202, 175-192.

Carl Bro, (2001). Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau). Direction Régionale de l'Hydraulique, Burkina Faso – DANIDA.

Dardanelli, J.L., Bachmeier, O.A., Sereno, R. & Gil, R. (1997). Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field crops research* 54: 29-38.

Davey, E.G., Mattei, F. and Solomon, S.I., (1976). An evaluation of climate and water resources for the development of agriculture in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. World Meteorological Organization, Geneva.

Demaree, G., Chadilly, M.S., (1988). The Sahelian droughts as seen from the rainfall data of a Mauritanian station. In: Computer methods and water resources (eds. C.A. Brebbia and V. de Kosinsky) vol. 3, p. 15-23. Computational Hydrology. Computational Mechanics publications and Springer-Verlag.

Deschamps M., (2003). Calcul des besoins en eau d'irrigation au périmètre rizicole de la Vallée du Kou utilisant le logiciel BIRIZ. Mémoire de fin d'études. GE-eau, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven. Leuven, Belgique. 90 p.

Doorenbos J., (1976). Stations agrométéorologiques. FAO Bulletin d'Irrigation et de Drainage 27. FAO Rome, Italy.

Doorenbos, J. and Pruitt W.O., (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome, Italy. 94 p.

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

Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O. & Nachtergaele, F., (2001). Lecture notes on the major soils of the world. World Soil Resources reports N° 94. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 338p.

Editions Jeune Afrique, (2001). Les Atlas de l'Afrique: Le Burkina Faso. Paris, France, 62p.

Feddes, R.A., Kowalik, P.J., & Zaradny, H., (1978). Simulation of field water use and crop yield. Pudaoc, Simulation Monographs, Wageningen, The Netherlands. 189p.

Feyen, J., (1987). Field validation of soil water and crop models. In: J. Feyen (Ed.) Simulation models for cropping systems in relation to water management. Proceedings of a symposium in the Community programme for coordination of agricultural research, Nov. 1986, Louvain, Belgium. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. p. 105-131.

GE-eau, (2004). Bulletin Technique N° 2: Agro-climatologie. Katholieke Universiteit Leuven, Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural & Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassin. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

GE-eau, (2004). Bulletin Technique N° 3: Physique du Sol. Katholieke Universiteit Leuven, Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural & Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassin. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

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.

Gommes, R.A., (1983). Pocket computers in agrometeorology. FAO Plant Production and Protection Paper N° 45. FAO, Rome, Italy. 140p.

Gouvernement de Sénégal. (2003) Météo, pluies hors saison. [online]. http://www.gouv.sn/meteo/pluies_h_s.html. [15/02/2003]

Hoogland, J.C., Belmans, C. & Feddes, R.A., (1981). Root water uptake model depending on soil water pressure heads and maximum water extraction rate. *Acta Hort.* 119: 123-135.

Ilesanmi, O.O., (1972). An empirical formulation of the onset, advance and retreat of rainfall in Nigeria. *J. trop. Geog.*, 34: 17-24.

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.

Merriam, J.L., Keller. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University, Logan, Utah, USA. 271 p.

Oladipo, E.O., and Kyari, J.D., (1993). Fluctuation in the onset, termination end length of the growing season in Northern Nigeria. *Theor. Amml. Climatol.* 47(4) : p. 241-250.

Oweis, T, Hachum, A., Kijne, J., (1999). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. SWIM paper. ICARAD-IWMI, International Water Management Institute, Colombo. 41p.

Pigeonnière, A.L., Ménager, M.T. , Nikiema D., Yerbanga, B., Meunier, A. (1996). Burkina Faso. Jaguar, Paris. 59p.

Quessy, J-F. (2002). Processus de Kendall sériel [online]. Disponible sur <http://www.mat.ulaval.ca/pages/genest/etudiants/quessy-2.pdf> [10/02/03]

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

Raes, D., Sy, B., Deckers, 7., (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., Mallants, D., Song, Z., (1996). RAINBOW, a software package for analyzing hydrologic data. In: W.R.M Blain (Ed.) Hydraulic engineering software VI. Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston. p. 525-534.
- 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>)
- Raes, D., (2003). ETo calculation software package (<http://www.iupware.be>)
- Raes, D., (2003). Field validation of the soil water balance model BUDGET in terms of relative yields for Zimbabwe and Tunisia: internal note. (article in preparation)
- Ragab, R., (1995). Constraints and applicability of irrigation scheduling under limited water resources, variable rainfall and saline conditions. In: Irrigation scheduling: From theory to practice- Proceedings. Water Reports 8. FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ritchie, J.T., (1972). Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resource Research*, 8: 1204-1213.
- Rockstrom, J., Barron, J., Fox, P., (2000). Water productivity in rainfed agriculture: challenges and opportunities for smallholder farmers in drought prone tropical agro-ecosystems. CGIAR-paper, 24p.
- SAED, (1993). Bilan d'eau et coût d'énergie de périmètres rizicoles. *Bulletin Technique n° 6. Sénégal*. 93 p.
- Sahelconsult/F.E.T., 1997 ; Inventaire des Ressources en eau, rapport final, Tome 1 – Rapport Général ; DRH-HB, Burkina Faso.
- Sahelconsult/F.E.T., 1997 ; Inventaire des Ressources en eau, rapport final, Tome 2 – Données Générales ; DRH-HB, Burkina Faso.
- Sahelconsult/F.E.T., 1997 ; Inventaire des Ressources en eau, rapport final, Tome 3 – Ressources en eau de surface ; DRH-HB, Burkina Faso.
- Sahelconsult/F.E.T., 1997 ; Inventaire des Ressources en eau, rapport final, Tome 7 – Hydraulique Agricole ; DRH-HB, Burkina Faso.
- Schaap, M.G. & Leij, J.F., (1998). Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Science*, 163 N° 10: p.765-779.
- Sivakumar, M.V.K. & Gnoumou, F., (1987). Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : Le Burkina Faso. ICRISAT Bulletin d'information N° 23. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, Inde. 178p.

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.

Steenhuis, T.S., Winchell, M., Rossing, J., Zollweg, J.A., Walter, M.F., (1995). SCS Runoff equation revisited for variable-source runoff areas. *Journal of Irrigation and Drainage Eng.* 121(3):234-238.

Stern, R.D., Dennett, M.D. and Dale, I.C., (1982). Analyzing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. *Exp. Agric.* 18 : p. 23-236.

Tsakiris, G.P., (1982). A method for applying crop sensitivity factors in irrigation scheduling. *Agricultural water management.* 5: 335-343.

USDA, (1964). Estimation of direct runoff from storm rainfall. *National Engineering Handbook*, Washington DC, USA. Section 4 hydrology, Chapter 4: 1-24.

Walker, W.R. & Skogerboe, G.V., (1987). *Surface irrigation, theory and practice.* Prentice-Hall inc., New Jersey. 387p.

Wellens, J., Lagey, J., Van Looveren, T., Peeters, P., (1998). Détermination de l'efficacité d'irrigation au niveau de la parcelle - Tunisie. *Mémoire de fin d'études.* Katholieke Universiteit Leuven, Belgique. 205p.

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'Équipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso & Katholieke Universiteit Leuven, Département Gestion des Terres, Leuven, Belgique. 123 p.

Wiyo, K.A., Kasomekera, Z.M., Feyen, J., (1999). Effect of tied-ridging on the soil water status of a maize crop under Malawi conditions. *Agricultural Water Management* 45: 101-125.

Wösten, J.H.M., Bouma, J. & Stofelsen, G.H., (1985). Use of soil survey data for regional soil water simulation models. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49 p. 1238-1244.

- Annexes -

Annexe A : Rangement de Kendall

Afin de mieux s'apercevoir de la répartition spatiale de la pluie, une comparaison entre les données provenant des stations voisines est réalisée. Pour cela, on utilise la méthode de rangement de Kendall.

La méthode de rangement de Kendall décrite par Doorenbos (1976) permet d'avoir la corrélation qui existe entre une série de données de deux stations voisines. Cette méthode compare des paires de données, une paire représentant des observations couvrant la même période à deux stations voisines. Pour mieux comprendre la méthode, on donne l'exemple suivant.

Exemple : calcul du coefficient de corrélation de Kendall entre les données des précipitations de Bobo-Dioulasso et la Vallée du Kou.

Année	Observation en mm		Classement		
	Bobo	Vallée du Kou	Bobo	Vallée du Kou	R
1986	879,8	789,4	827,5	828	3
1987	866,3	836,1	866,3	836,1	3
1989	827,5	828	872,9	809,6	2
1990	944,7	917	879,8	789,4	1
1991	1198,1	1152,1	897,4	1069,9	6
1993	943	970,5	900,5	757,7	0
1994	897,4	1069,9	943	970,5	3
1995	1277,7	941,4	994,7	917	0
1996	900,5	757,7	1066,2	1039,1	2
1997	872,9	809,6	1122,9	928	0
1998	1122,9	928	1198,1	1152,1	1
1999	1066,2	1039,1	1277,7	941,1	0
				Total	21

Un échantillon de données (ici les données de Bobo) est classé par ordre de valeurs croissantes, avec en regard la valeur correspondante de l'autre échantillon (dans ce cas les données de la Vallée du Kou). En partant du haut, chaque valeur de la Vallée du Kou est comparée avec les autres valeurs de la Vallée du Kou qui suivent et on compte le nombre de fois (R) où une valeur suivante de la Vallée du Kou est inférieure à la valeur considérée. On recommence l'opération avec la deuxième valeur de la Vallée du Kou, puis les valeurs suivantes et on additionne le nombre de valeur trouvé.

Le coefficient de Kendall est donné par :

$$T = \frac{1 - 4R}{n(n-1)} \quad R \text{ étant le décompte total et } n \text{ le nombre de paire d'observations}$$

La valeur de T se situe entre +1 (concordance complète) et -1 (discordance complète). Dans notre exemple, on a $T = 1 - 4 \times 21 / (12 \times (12-1)) = 0.36$

Annexe B : Le logiciel 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 (KULeuven), Leuven, Belgique (Raes, 1982 ; 2002). Le modèle comprend plusieurs sous-modèles qui décrivent les mouvements verticaux de l'eau et les processus de l'extraction de l'eau par les racines dans un profil drainant librement.

Les différents processus pris en compte par ce logiciel sont :

- l'infiltration à la suite de la précipitation et/ou l'irrigation;
- l'écoulement superficiel
- le drainage interne
- la percolation profonde;
- l'évaporation
- et la transpiration.

BUDGET calcule donc pour chaque jour le stockage en eau dans un profil du sol, affecté par des entrées en eau et par l'extraction en eau. Pendant des périodes de manque d'eau, les pertes relatives de récoltes sont estimées à l'aide des coefficients de réponse du rendement (K_y). Ces valeurs pour les différents stades de croissance sont données par Doorenbos et Kassam (1979). En sélectionnant les critères de la dose d'irrigation (quantité) et le moment de l'irrigation (intervalle), BUDGET peut également générer des schémas d'irrigation.

Les données climatologiques nécessaires sont des données pluviométriques et des données concernant l'évapotranspiration de référence journalières, décadaires moyennes ou mensuelles moyennes qui sont toutes transformées en données journalières au moment de la simulation suivant la méthodologie de Gommaes (1983). En spécifiant et en sélectionnant quelques paramètres liés aux cultures, le logiciel crée une collecte complète des paramètres qui pourraient être affichés et modifiés dans le cas où plus d'information serait disponible.

Le profil du sol peut être composé de différentes couches, chacune ayant des caractéristiques spécifiques. BUDGET contient un jeu complet de caractéristiques par défaut qui peut être sélectionné et adapté aux différents types de couches du sol.

L'estimation de la quantité de pluie perdue par l'écoulement superficiel est basée sur la méthode du "US Soil Conservation Service", notamment le 'Curve number method' (USDA, 1964 ; Steenhuis et al., 1995).

L'infiltration et le drainage interne sont décrits par une fonction de drainage exponentielle (Raes *et al.* 1982), qui tient compte de l'humidité initiale et des caractéristiques de drainage des différentes couches du sol. Des observations faites sur le terrain ont montré que la fonction de drainage imite l'infiltration et le drainage interne de façon réaliste (Raes, 1982 ; Feyen 1987 ; Wiyono, 1999).

A l'aide de la procédure du double coefficient de "culture" (Allen *et al.*, 1998) on calcule le taux d'évaporation du sol et de la transpiration de la culture. L'évaporation effective du sol est dérivée de l'humidité du sol et de la couverture végétale (Ritchie, 1972 ; Belmans *et al.*, 1983).

L'extraction effective de l'eau par les racines est finalement décrite en terme 'sink' (Feddes *et al.*, 1978 ; Hoogland *et al.*, 1981 ; Belmans *et al.*, 1983) qui tient compte de la distribution des racines et de la teneur en eau dans le profil du sol.

Le sous-modèle de réponse des cultures à la disponibilité en eau est la partie la plus difficile à développer. Le coefficient de réponse du rendement K_y (Doorenbos et Kassam, 1979) est employé, comme nous avons déjà mentionné. A l'aide d'une fonction polynomiale (Kipkorir *et al.*, 2002), les valeurs de K_y sont convertis en indices de sensibilité pour le modèle multiplicative de Jensen (1968). En utilisant la procédure, présentée par Tsakiris (1982), l'effet du stress hydrique sur le rendement relatif pendant une courte période de temps est dérivé de l'évapotranspiration relative à l'aide du modèle empirique de Jensen (1968).

Quelques avantages du modèle BUDGET sont entre autres l'extraction de l'eau différentielle en fonction de la profondeur et du temps. Ainsi la profondeur des racines variable pendant la saison de croissance est-elle scientifiquement correcte. Le modèle n'est pas apte pour simuler le comportement des sols qui gonflent et se contractent tels que les Vertisols et les Vertic Luvisols (Driessen *et al.* (ed.) 2001), parce que ces sols ne s'humidifient pas uniformément dans un sens vertical, vu qu'ils présentent un écoulement préférentiel par leurs fissures.

Ainsi, en calculant la teneur en eau et en sel dans un profil du sol en fonction de l'apport et l'extraction d'eau et de sel pendant la période de simulation, le logiciel est apte à :

- estimer le manque d'eau dans des conditions pluviales,
- estimer la réponse des rendements à l'eau,
- concevoir des schémas d'irrigation,
- étudier l'accumulation en sel dans la zone racinaire du sol,
- évaluer des stratégies d'irrigation

Annexe C : BUDGET – paramètres d’entrée

Le logiciel BUDGET est un modèle du bilan d’eau. Les entrées nécessaires sont la pluviométrie, l’évapotranspiration de référence, des paramètres pédologiques et des paramètres concernant la culture.

En calculant le bilan d’eau, on tient compte des caractéristiques spécifiques du climat, du sol et de la culture. La valeur et la justesse des critères sélectionnés sont testées en évaluant le déficit en eau d’une plante pendant la période initiale pour des données climatologiques et pédologiques particulières.

Les caractéristiques d’une culture standard qui sont utilisées pour l’évaluation peuvent être trouvées dans le Tableau C.1. La croissance de cette culture dans la période initiale (30 jours) est simulée avec le logiciel BUDGET pour les 30 premiers jours de la période de végétation.

Tableau C.1 - Paramètres d’entrée d’une culture standard pour le logiciel BUDGET (d’après Raes 2002 et Allen *et al.* 1998)

Paramètre d’entrée	Valeur pour le stade initial
Durée de la période [jours]	30
Coefficient de culture (K_c) [-]	0.17 (culture) 1.10 (sol nu humide)
Profondeur d’enracinement [m]	0.3
Fraction d’eau disponible (p) [-]	0.5
Extraction maximale de l’eau en zone d’enracinement (S_{max}) [m^3/m^3 jour]	0.032 (partie supérieure $\frac{1}{4}$) 0.008 (partie inférieure $\frac{1}{4}$)
Conditions déficientes en aération	Si la teneur en eau du sol > (saturation – 5 vol%)
LAI [-] jour 1	0.00
jour 30	0.61

Un profil typique pour la région est sélectionné sur base d’une recherche pédologique limitée. Cette recherche montre que la plupart des sols dans la région ont une texture de type sable-limon lourd ou limon. Tableau C.2 montre les caractéristiques physiques d’un sol limoneux uniforme.

Tableau C.2 - Les caractéristiques physiques sélectionnées pour un sol limoneux uniforme (d’après Raes *et al.* 2002)

Vol% SAT	Vol% FC	Vol% WP	Tau (τ)	K_{sat} (mm/jour)
46.0	31.0	15.0	0.60	250

Les données climatologiques étaient la pluie journalière et l’évapotranspiration de référence journalière. Les critères sont testés pour les données pluviométriques journalières de Bobo-Dioulasso de 1959 à 2002.

Pour les simulations, la teneur en eau initiale est mise au point de flétrissement. Cette hypothèse est justifiée parce que les simulations ont commencé 30 jours avant la date de début de l’hivernage, ce qui est la date de semis ou de plantation dans les

simulations. Pendant ces 30 journées, le sol sera humidifié ou asséché dans la simulation, selon les pluies et les périodes de sécheresse avant le début de l'hivernage calculé.

La profondeur d'évaporation du sol nu a été adapté dans le logiciel. La valeur par défaut est de 30 cm, mais selon Ritchie (1972) et Allen *et al.* (1998), une valeur de 10 cm est une meilleure moyenne.

C.1 Profils hydriques

Tableau C.3 – Variables d'entrée du sol pour champ n° 5

Paramètres	Unité	Valeur	
Hauteur des diguettes	(m)		0,0
Ecoulement superficiel	(-)		oui
Valeur CN	(-)	par défaut	non
	(-)	définie par utilisateur	oui
Profondeur d'impact d'écoulement superficiel sur la valeur CN	(m)		1,0
Valeur CN	(-)		85
Nombre de couches	(-)		1
Epaisseur des couches	(m)		0,9
Point de saturation	(vol%)		49,8
Capacité au champ	(vol%)		33,2
Point de flétrissement permanent	(vol%)		16,7
Coefficient de drainage (tau)	(-)		0,4
Conductivité saturée du sol	(mm/jour)		53,8

Tableau C.3 – Variables d'entrée du sol pour champ n° 14

Paramètres	Unité	Valeur	
Hauteur des diguettes	(m)		0,0
Ecoulement superficiel	(-)		oui
Valeur CN	(-)	par défaut	oui
	(-)	définie par utilisateur	non
Profondeur d'impact d'écoulement superficiel sur la valeur CN	(m)		1,0
Valeur CN	(-)		75
Nombre de couches	(-)		1
Epaisseur des couches	(m)		0,9
Point de saturation	(vol%)		48,5
Capacité au champ	(vol%)		35,8
Point de flétrissement permanent	(vol%)		17,7
Coefficient de drainage (tau)	(-)		0,4
Conductivité saturée du sol	(mm/jour)		200,0

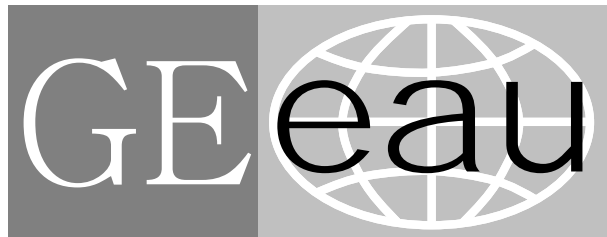
2 Dossier de culture

Tableau C.4 – Variables d'entrée du culture maïs
(Doorenbos & Kassam, 1979 ; Allen et al., 1998)

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la saison de culture	(journées)	130
Durée des période de croissance		
- initiale	(journées)	20
- développement	(journées)	40
- mi saison	(journées)	40
- saison tardive	(journées)	30
Coefficient de culture (Kc)		
- mi saison	(-)	1,15
- tardif	(-)	0,35
Profondeur minimale d'enracinement	(m)	0,20
Profondeur maximale d'enracinement	(m)	1,00
Coefficient de réponse du rendement (Ky) (valeur saisonnière)	(-)	1,25
Coefficient de réponse du rendement (Ky)	(journées)	(-)
- 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
Fraction d'eau disponible (p)	(-)	0,55
Extraction maximale de l'eau en zone d'enracinement (Smax)		
- partie supérieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,019
- partie inférieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,005
Conditions déficientes en aération	(-)	teneur en eau du sol > (saturation - 5 vol%) courbe type S avec le point d'inflexion à 2,54 (journée 33)
LAI	(-)	

Tableau C.5 – Variables d'entrée du culture sorgho
(Doorenbos & Kassam, 1979 ; Allen et al., 1998)

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la saison de culture	(journées)	130
Durée des période de croissance		
- initiale	(journées)	20
- développement	(journées)	35
- mi saison	(journées)	45
- saison tardive	(journées)	30
Coefficient de culture (Kc)		
- mi saison	(-)	1,00
- tardif	(-)	0,45
Profondeur minimale d'enracinement	(m)	0,20
Profondeur maximale d'enracinement	(m)	1,00
Coefficient de réponse du rendement (Ky) (valeur saisonnière)	(-)	0,90
Coefficient de réponse du rendement (Ky)	(journées)	(-)
- installation	20	0,50
- végétative (tôt)	20	0,30
- végétative (tard)	20	0,50
- floraison	20	0,75
- formation du produit	40	0,55
- mûrissement	10	0,20
Fraction d'eau disponible (p)	(-)	0,55
Extraction maximale de l'eau en zone d'enracinement (Smax)		
- partie supérieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,016
- partie inférieure 1/4	(m ³ /m ³ jour)	0,004
Conditions déficientes en aération	(-)	teneur en eau du sol > (saturation - 5 vol%) courbe type S avec le point d'inflexion à 2,54 (journée 33)
LAI	(-)	



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

Projet VLIR
N° ZEIN2001PR241

Rapport de Mission

7 – 16 décembre 2003
Bobo-Dioulasso (DRAHRH-HB) et
Ouagadougou (EIER)
Burkina Faso

Dirk RAES et Jos VAN ORSHOVEN
Katholieke Universiteit Leuven
Département Gestion des Terres
Vital Decosterstraat 102
B-3000 Leuven, Belgique
dirk.raes@agr.kuleuven.ac.be
jos.vanorshoven@agr.kuleuven.ac.be

Remerciements

Tout à fait comme la première en février 2002, cette deuxième mission a été préparée et organisée de façon efficace par Mons. Joost Wellens, coöperant scientifique et technique affecté au projet à Bobo-Dioulasso et par Mons. Nestor Compaoré, homologue et chef de la cellule SIG de la DRAHRH-HB. Les discussions et travaux et visites de terrain effectués ensemble nous ont permis de nous mettre à jour concernant l'état d'avancement du projet et d'élaborer les grandes lignes des activités qui restent à entreprendre pour que ce projet résulte, fin 2004, en un renforcement effectif de la capacité de la DRAHRB de gérer les ressources en eau dans l'agriculture dans la région des Hauts Bassins. Merci, Joost et Nestor !

Nous remercions également toutes les personnes à la DRAHRH-HB et de notre partenaire académique, l'EIER, qui ont pris le temps de nous recevoir, échanger des points de vue et concrétiser notre collaboration.

Table des matières

Remerciements.....	2
Table des matières.....	3
Abbréviations et acronymes.....	4
1 Termes de référence de la mission.....	5
2 Orientation du projet.....	6
3 Objectifs spécifiques.....	7
4 Activités du projet (Février 2002 – Novembre 2003).....	9
4.1 Approche bassin versant.....	9
4.1.1 Inventaire et mise en forme des données disponibles.....	9
4.1.2 Choix du bassin versant.....	10
4.1.3 Sélection et acquisition du modèle hydrologique.....	11
4.1.4 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique.....	12
4.1.5 Calibration du modèle hydrologique.....	14
4.1.6 Validation du modèle hydrologique.....	14
4.2 Approche aménagements hydro-agricoles.....	14
4.2.1 Les aménagements comme unités hydrologiques dans le modèle bassin versant (typologie des aménagements à étudier).....	15
4.2.2 Choix des outils.....	15
4.2.3 Collecte des paramètres des modèles.....	16
4.2.4 Développement, calibration et validation des outils.....	18
4.2.5 Exploitation des outils.....	19
4.3 Intégration des approches.....	19
4.4 Stages, rapports, bulletins,	19
4.5 Coopération avec des partis tiers.....	20
4.5.1 Le projet APPIA.....	20
4.5.2 Le projet FNPP-IWRM-VG.....	20
5 Programmation des activités pour la troisième année.....	21
5.1 Activités de recherche.....	21
5.1.1 Approche bassin versant.....	21
5.1.2 Approche ‘Aménagements hydro-agricoles’.....	24
5.1.3 Approche intégrée.....	26
5.2 Formations.....	27
5.3 Encadrement de stages.....	27
5.4 Missions.....	28
5.5 Rédaction de bulletins techniques.....	28
6 Prolongation possible du projet.....	32
Annexe 1 : Calendrier.....	33
Annexe 2 : Bulletins techniques.....	35
Annexe 3 : Spin off possible.....	36
Annexe 4 : Adresses utiles.....	37

Abbréviations et acronymes

AEDE	Association Eau Développement et Environnement
APEFE	Association (belge-wallonne) 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
bd	Base de Données
DMS	Degrees Minutes Seconds
DR	Mons. Dirk Raes, K.U.Leuven
DRAHRH-HB	Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins
EIER	Ecole Inter-Etats des Ingénieurs en Equipement Rural
GE-EAU	Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation (dénomination du présent projet)
GIRE	Projet de Gestion Intégré des Ressources en Eau du Burkina Faso
IGB	Institut Géographique du Burkina Faso
INERA	Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agricole
JVO	Mons. Jos Van Orshoven, K.U.Leuven
JW	Mons. Joost Wellens, K.U.Leuven
K.U.Leuven	Katholieke Universiteit Leuven
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MRW-DRI	Direction des Relations Internationales du Ministère de la Région Wallonne, Belgique
NC	Mons. Nestor Compaoré, DRAHRH-HB
PAFR	Programme d'Actions Filière Riz
PNGIM	Programme National de Gestion de l'Information sur le Milieu
PSSA	Programme Spécial de Sécurité Alimentaire
RESO	Projet Ressources en Eau dans le Sud-Ouest
SADL	Spatial Applications Division Leuven, K.U.Leuven
SAED	Société d'Aménagement et d'Exploitation des périmètres irrigués dans le Delta et la vallée du fleuve Sénégal
SIG	Système d'Informations Géographiques
SMAP	Soil Moisture Assessment Program
VLIR	VLaamse Interuniversitaire Raad
VREO	Valorisation des Ressources en Eau dans l'Ouest
WRB	World Reference Base (pour sols)

1 Termes de référence de la mission

Cette deuxième mission de suivi du projet GE-EAU avait pour but :

- la mise à jour des promoteurs de la K.U.Leuven concernant l'état d'avancement du projet,
- l'évaluation de la première version du rapport d'activités de la deuxième année du projet,
- la préparation de la troisième année (finale) du projet par
 - o la concertation avec les partenaires de l'EIER et de la DRAHRH-HB,
 - o la programmation concrète des activités et tâches,
 - o la définition des possibilités et besoins pour stages et support extérieur,
 - o la préparation des mesures logistiques nécessaires aux bons déroulement et à la clôture du projet.

2 Orientation du projet

Le projet 'Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture' tel que formulé par la K.U.Leuven et approuvé par le VLIR, vise à contribuer à la définition, quantification et solution de deux problèmes pertinents liés à la production vivrière dans les bassins versants de la Comoé et du Mouhoun dans l'ouest et sud-ouest du Burkina Faso. Il s'agit notamment du manque

1. d'un système d'estimation précoce de la production des cultures,
2. de moyens de suivi-évaluation des aménagements hydro-agricoles, tant du point de vue technico-économique qu'environnemental.

Dans le souci de faire en sorte que le projet s'inscrive au maximum dans l'ensemble des efforts entrepris depuis plusieurs décennies par les autorités Burkinabé en collaboration avec des bailleurs de fonds bi- et multilatéraux, et de réaliser un effet multiplicateur important au niveau du renforcement des capacités de formation et des savoir-faire locaux, le projet a impliqué dès sa conception et de façon directe deux partenaires:

- l'Ecole Inter-Etat des Ingénieurs en Equipement Rural de l'Afrique de l'Ouest (EIER) et
- la Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques de la Région des Hauts Bassins (DRAHRH-HB ; jusque juillet 2002 la Direction Régionale de l'Hydraulique – DRH-HB).

En effet, en impliquant dans le projet l'EIER, qui a comme mission la formation d'ingénieurs dans la matière, le projet vise à intégrer ses ressources et résultats dans les programmes de formation et de vulgarisation de l'Ecole. Ces programmes dépassent largement les frontières du Burkina Faso comme l'Ecole recrute des étudiants dans pas moins de 14 pays francophones africains. Les moyens pour ce faire comprennent d'une part l'encadrement par le projet de stagiaires en provenance de l'EIER et d'autre part par la contribution directe du projet à certains programmes de formation d'ingénieurs ou de professionnels, organisés par l'EIER. Ces deux types d'activités garantissent en outre un échange intensif entre le projet et l'Ecole.

La DRAHRH-HB, sous la tutelle du Ministère éponyme, s'intéresse à intégrer les acquis de ce projet avec ceux de multiples autres initiatives déjà entreprises (p.ex. RESO) ou programmées (p.ex. RESO-II ; VREO) dans le domaine. Ceci devrait permettre à la Direction de renforcer ses capacités d'effectuer son mandat et au projet de conduire ses recherches dans un cadre pertinent de développement dans le domaine hydro-agricole de la région. En plus, le fait que la DRAHRH-HB a pu mettre à la disposition de ce projet, une connaissance du terrain ainsi qu'un SIG semi-opérationnel a rendu possible un démarrage volant.

3 Objectifs spécifiques

Dans ce chapitre nous récapitulons les objectifs spécifiques du projet, tel que concrétisés lors de la mission initiale (février 2002) des promoteurs de la K.U.Leuven.

- Le premier objectif est de tester la faisabilité de mettre sur pied un système de prévision précoce des rendements des cultures vivrières pluviales, basé sur (i) la modélisation du bilan d'eau du sol en tenant compte de la répartition spatiale des eaux d'écoulement et sur (ii) l'intégration de ces modèles dans un système d'informations géographiques permettant le pré-traitement des données nécessaires à la modélisation, leur post-traitement (statistiques, cartographie, ...) ainsi que la gestion des données historiques et ancillaires. Un système pareil devrait pouvoir répondre à des questions comme les suivantes :
 - o Quels rendements peut-on attendre pour une culture donnée, traitée d'une façon donnée (calendrier cultural, ...), à une localisation donnée (sol, climat), avant et au cours de la saison culturale ?
 - o Quelle récolte peut-on attendre pour une culture donnée dans toute la zone d'étude, avant et au cours de la saison culturale ?
 - o Quels rendements peut-on attendre pour une culture donnée, à une localisation donnée (sol, climat), sous un traitement (travail du sol, date de plantation, irrigation d'appoint, ...) alternatif ?
 - o Quels rendements et quelles décharges dans les rivières en fonction du temps peut-on attendre étant donné un changement de l'utilisation des terres dans le bassin ?

- Le deuxième 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 mesures de rémediation. Même si généralement ils sont de dimension relativement restreintes, les aménagements hydro-agricoles sont de grands consommateurs d'eau, prélevée des rivières ou des retenues artificielles. Il est évident que de tels aménagements influent sur la disponibilité des eaux et sur ses qualités pour des aménagements hydro-agricoles et d'autres types d'utilisation de l'eau situés en aval. Cet objectif est concrétisé par l'élaboration d'outils conviviaux de suivi-évaluation, basés sur ces modèles (éventuellement simplifiés). La réalisation de cet objectif permettra de répondre aux questions-type suivantes :
 - o Quel impact aura un changement du calendrier de l'irrigation sur les rendements et le volume d'eau consommée ?
 - o Quel impact aura la réfection des canaux primaires, secondaires et/ou tertiaires d'amenée d'eau sur le volume d'eau consommée ?
 - o Comment organiser le tour d'eau afin de satisfaire au maximum les besoins en eau des cultures et de minimiser les pertes ?

- L'objectif trois consiste à intégrer les acquis des activités menées dans le cadre des deux autres objectifs, c.à.d. l'intégration de la localisation et des caractéristiques des aménagements dans les bases de données du SIG et le paramétrage de ces aménagements dans les modèles. Cette intégration permettra de répondre à des questions supplémentaires comme les suivantes:
 - o Etant données une certaine occupation et utilisation des terres dans le bassin versant et la présence d'un nombre d'aménagements hydro-agricoles, quels types d'aménagement restent possibles et à quels endroits ?
 - o Dans quelle mesure un changement de l'occupation/utilisation influe-t-il sur la possibilité de construire de nouveaux aménagements ?

Dans la terminologie du rapport de la première mission, le premier objectif est réalisé moyennant 'l'approche bassin versant'. L'approche 'Aménagement Hydro-Agricole' sert à poursuivre l'objectif deux. Le troisième objectif est poursuivi par 'l'intégration des deux approches'.

4 Activités du projet (Février 2002 – Novembre 2003)

Dans ce chapitre nous faisons le point des activités entrepris par le projet depuis notre mission en février 2002. A cette fin, nous avons (i) consulté le coopérant scientifique et technique, Joost Wellens, et son homologue Mons. Nestor Fiacre Compaoré, (ii) étudié les documents pertinents élaborés jusqu'à présent par le projet, (iii) obtenu une démonstration de ou travaillé avec les logiciels acquis ou développés par le projet et (iv) effectué une visite de terrain dans la vallée du Kou.

Dans le souci de maintenir la logique et la systématique du rapport de la première mission, nous commentons le planning des activités tel qu'élaboré par cette mission.

4.1 Approche bassin versant

4.1.1 Inventaire et mise en forme des données disponibles

Tâche #	Description	Remarques
1	Compléter l'inventaire et la description des données disponibles. Regrouper les données et méta-données sur l'ordinateur du projet	OK - La base de données des bas-fonds non-aménagés et aménagés, y comprise une carte numérique, commandée par le PAFR auprès de l'INERA est finalisée mais n'est pas disponible pour le projet. - La base contenant des informations relatives aux petits barrages de la DGHA n'a pas encore été obtenue.
2	Mise en forme des données disponibles pour exploitation moyennant ArcView-GIS	OK pour les données à utilité directe pour le projet
3	Etablissement d'une base sommaire de méta-données, basée sur le modèle SADL, PNGIM ou autre	Méta-données disponibles pour les données à utilité directe pour le projet
4	Développement d'une procédure pour	La conversion WGS84 –

	conversion des données WGS84/Degrés décimales dans le système de géo-références Burkinabé, moyennant ArcView-GIS, Erdas-Imagine, ArcGIS	ABIDAN – UTM-zone 30 est possible moyennant le logiciel MapInfo, disponible à la DRAHRH-HB
5	Rédaction du rapport technique	Bulletin technique #1 : à finaliser

4.1.2 Choix du bassin versant

Comme le volet ‘bassin versant’ du projet vise à étudier le bilan d’eau des sols utilisés pour les cultures vivrières, en tenant compte de la répartition spatiale des eaux d’écoulement et de la propagation des eaux dans le système hydrographique, le contexte spatial de l’étude est composé nécessairement d’un bassin versant. Des données collectées sur ce bassin servent à calibrer le(s) modèle(s) sélectionné(s) ainsi que l’étude de leur validité. La première mission a recommandé que ce bassin versant soit de préférence d’une superficie de quelques milliers de kilomètres carrés, pas trop éloigné de Bobo-Dioulasso et facile à atteindre. En plus il a été avisé que le bassin sélectionné soit aussi divers que possible en ce qui concerne la présence d’aménagements hydro-agricoles (bas-fonds, sources, puits/forages, retenues, barrages, rizières et autres périmètres irrigués...).

Tâche #	Description	Remarques
1	Définition d’une analyse multi-critères dans le but de sélectionner un bassin versant comme zone d’étude du projet	Voir (2)
2	Exécution de l’analyse et interprétation des résultats, en tenant compte de l’expertise locale	L’analyse multi-critères a été exécutée de façon implicite
3	Rapport technique avec sélection finale	Le bassin versant du Kou (1.823 km ²) a été sélectionné. Ce bassin présente plusieurs des caractéristiques souhaitées (à proximité de la ville de Bobo ; présence de divers types d’aménagements, disponibilité de données de base résultant de projets antérieurs, Le bassin sera présenté dans les bulletins techniques #1 à 4.

4.1.3 Sélection et acquisition du modèle hydrologique

Il a été proposé dans la proposition technique du projet et confirmé par la première mission que l'étude des processus influant sur la répartition des teneurs en eau dans les sols et des décharges dans les rivières soit faite moyennant un ou plusieurs modèle(s) de simulation déjà développé(s). Ce(s) modèle(s) doi(ven)t décrire de façon suffisamment détaillée les processus physiques qui interviennent dans la redistribution verticale des eaux de pluie dans le profil pédologique ainsi que dans la redistribution latérale de ces eaux dans le bassin versant. Il s'agit :

- des processus déterminant le bilan d'eau dynamique des sols cultivés ou couverts de végétation naturelle à l'échelle ponctuelle (ou grid cell), y compris la production d'eau de ruissellement,
- du routing superficiel des eaux de ruissellement et du découlement vers les zones plus basses et les cours d'eau,
- de la propagation des eaux dans les cours d'eau vers les bouches du bassin.

Il a été décidé que les processus dans la zone saturée du sol ne devront pas être pris en compte par le modèle. La contribution des aquifères aux débits dans les cours d'eau sera considéré comme donnée d'entrée (boundary condition).

Comme la possibilité d'estimer la distribution spatiale de la teneur en eau du sol est cruciale pour la réalisation du premier objectif, i.e. contribuer à mieux prévoir les récoltes et rendements, le modèle doit impérativement être de nature distribuée et donc non de nature 'lumped'.

Quelques modèles-candidat, identifiés par la première mission, sont repris dans le tableau suivant :

Tableau : Liste des modèles hydrologiques candidat

#	Nom	Origine	Description
1	MikeSHE	DK	Modèle dynamique mécaniste et distribué du cycle hydrologique complet (3D)
2	Mike11-GIS	DK+USA	Modèle dynamique mécaniste décrivant la propagation des eaux dans des structures linéaires (1D) et dans les plaines d'inondation (quasi 2D), l'apport des eaux dans les structures linéaires devant être modélisé séparément. La modélisation distribuée 2D est supportée par le logiciel ArcView-GIS
3	MikeBASSIN	DK	Logiciel de gestion des ressources en eau dans un bassin versant, couplé à ArcView-GIS. Le modèle fonctionne sur la base d'un réseau hydrographique dans lequel des noeuds présentent les positions pour lesquelles le bilan d'eau spatial est calculé. Le modèle ne comprend pas la possibilité de modéliser l'écoulement superficiel des eaux. D'autres modèles sont nécessaires pour inclure ce

			type d'informations dans MikeBassin (e.g. la méthode des 'Curve Number' ou le modèle SMAP).
4	AVSWAT	USA	Modèle dynamique distribué décrivant la redistribution spatiale des eaux de pluie dans un bassin versant et les décharges dans le système hydrographique en tenant compte de la topographie, la rugosité du terrain, les propriétés d'infiltration des sols, ...

Tâche #	Description	Remarques
1	Compléter la liste des modèles-candidat	OK
2	Inventorier plus en détail les caractéristiques de ces modèles, besoins en paramètres, disponibilité, prix	Une attention particulière a été dévouée aux modèles (i) MikeBassin (formation, organisée par le programme GIRE, a été suivie par JW et NC entre le 20 et 26 février 2003 ; le modèle a été acquis par le projet) et (ii) AVSWAT
3	Rapport technique avec sélection finale	Un rapport technique a été élaboré à l'issue de la formation sur MikeBassin (voir rapport annuel 2003) La sélection finale du modèle a été faite au cours de cette mission (voir Chapitre 5).
4	Acquisition du modèle et démarrage des tests d'utilisation	Voir Chapitre 5

4.1.4 Etablissement des bases de données en vue du paramétrage du modèle hydrologique

Cette action a poursuivi l'action 4.1.1 'Inventaire et mise en forme des données disponibles'.

Le projet a fait des progrès dans l'acquisition et l'élaboration des couches d'information suivantes.

#	Titre/description	Source	Etat
1	Modèle numérique de terrain	Courbes de niveau des cartes topographiques IGB	Digitalisation faite. Campagne GPS pour acquisition de points/transects supplémentaires planifiée.

		(50.000 et 200.000) + GPS	Interpolation reste à faire
2	Propriétés physiques et physico-chimiques des sols	Cartes diverses des sols + descriptions de profils pédologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Les compilation et harmonisation de données en provenance de plusieurs sources ont été effectuées. La digitalisation de la carte résultante est en cours. - La corrélation de la classification vernaculaire avec l'universelle de la FAO-UNESCO est en cours, avec le support du Prof. Etienne Barro (ex-EIER, à présent chercheur à l'INERA) - Les 'transfer rules' entre l'information contenue dans la légende de la carte et celle requise par le modèle sont en cours d'être élaborés en collaboration avec le Prof. Barro.
3	Couverture et utilisation des terres (bas-fonds, autres, aménagements hydro-agricoles, cultures pluviales, végétation naturelle, ...)	Cartes topographiques de l'IGB, bas-fonds (INERA) Images SPOT-Végétation, Images LANDSAT	<p>Une carte d'occupation/utilisation des terres a été compilée à partir de photos aériennes (avril 2003, 1 :50.000) par le projet d'aménagement participatif des forêts classées de Dinderesso et du Kou. Cette carte est en voie d'être digitalisée par le projet.</p> <p>Voir Chapitre 5 en ce qui concerne le traitement des images satellitaires.</p>
4	Distribution spatio-temporelle des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle	Enregistrements stations météo (RESO)	Les données ont été mises en état ; une analyse de la fréquence a été effectuée dans le cadre de mémoires de fin d'étude.
5	Réseau hydrographique	Cartes topographiques IGB	Ce geodataset est disponible. Il n'a pas encore été intégré (brulé) dans le MNT, comme ce dernier n'est pas encore opérationnel.
6	Séries temporelles des décharges des	DRAHRH-HB	Données disponibles. Elles ont été utilisées et évaluées lors d'un

	rivières		exercice avec le modèle SMAP (Voir bulletin technique #5)
--	----------	--	--

4.1.5 Calibration du modèle hydrologique

Il s'agit de faire tourner le modèle pour la situation décrite par la base de données mise au point grâce à l'action 4.1.4. En outre, il s'agit d'effectuer une comparaison critique entre les débits calculés par le modèle et ceux mesurés et de confronter la répartition de la teneur en eau dans le sol et la durée de persistance d'une teneur plus grande que la teneur-seuil sera avec la localisation des zones culturales et l'état des cultures. Dans cette phase de calibration, il y a lieu de faire une recherche des paramètres qui influent de façon significative sur les débits et teneurs en eau. Une approche systématique est requise pour ajuster ces paramètres sensibles afin d'arriver à des correspondances suffisamment bonnes entre modèle et terrain.

Comme ni le modèle a été sélectionné, ni la base de données sous-jacente finalisée, il a été impossible de s'engager dans cette action. Les tâches identifiées par la première mission sont reprises dans le chapitre 5.

4.1.6 Validation du modèle hydrologique

Les tâches relatives à cette action, identifiées par la première mission, n'ayant pas encore été entamées, sont reprises dans le chapitre 5. Il s'agit de faire tourner le modèle calibré pour le bassin versant sélectionné et pour un ou plusieurs hivernages ou années, pour le même bassin versant mais pour d'autres hivernages/années climatologiques.

4.2 Approche aménagements hydro-agricoles

Le projet a pris l'option de décrire les aménagements hydro-agricoles par différents types de modèles de simulation déjà disponibles. Ces modèles simulent avec un pas de temps journalier le bilan d'eau à l'intérieur de l'aménagement et son interaction (flux d'eau) avec l'extérieur (bassin versant). En même temps ces modèles font des estimations de la productivité relative des cultures.

4.2.1 Les aménagements comme unités hydrologiques dans le modèle bassin versant (typologie des aménagements à étudier)

Dans le bassin du Kou (voir 4.1.2) plusieurs types d' aménagements hydro-agricoles peuvent être distingués :

- Périmètres irrigués ;
- Rizières ;
- Bas-fonds ; et
- Aménagement pluvial (où l'irrigation est nihil).

Les outils de suivi-évaluation ont pour but d'estimer pour différentes conditions climatiques (pluie et demande évaporative de l'atmosphère) et hydrologiques (flux d'eau à l'entrée):

- les besoins en eau de la culture en tenant compte de la demande d'évaporation de l'atmosphère et des caractéristiques de la culture ;
- les besoins en eau d'irrigation (si c'est un aménagement irrigué) en tenant compte de l'apport en eau (pluie, nappe phréatique), la demande en eau des cultures et du stockage d'eau dans la zone racinaire ;
- les périodes de stress hydrique (excès ou manque d'eau) ; et
- la productivité relative des cultures (dérivée du stress hydrique).

4.2.2 Choix des outils

Deux modèles (BIRIZ et BUDGET) ont été sélectionnés et sont opérationnels pour les différents types d'aménagements hydro-agricoles rencontrés. Le type de sol, la culture et l'infrastructure de chaque aménagement sont caractérisés par des paramètres simples à obtenir. Des outils experts à l'intérieur des modèles traduisent ces paramètres dans des paramètres de simulation.

Modèles sélectionnés

#	Aménagements hydro-agricoles	Modèle sélectionné :
1	Aménagement(périmètre) irrigué	BUDGET
2	Rizière	BIRIZ
3	Aménagement bas-fond	Non retenu - Les bas-fond dans le bassin du Kou ne sont pas aménagés et des données pour valider un modèle ne sont donc pas disponibles
4	Aménagement pluvial (où l'irrigation est nihil)	BUDGET

4.2.3 Collecte des paramètres des modèles

Pendant les deux dernières années les caractéristiques du climat, des sols, des cultures, des aménagements et de l'irrigation ont été inventoriées et analysées dans le but d'identifier les paramètres d'entrée des modèles.

Caractéristiques du Climat

#	Description	Remarques
1	Données climatiques (journalières ou décennales) d'une vingtaine d'années (ou plus) de plusieurs stations dans la zone d'intervention. Il s'agit de la température de l'air minimale et maximale, de l'humidité de l'air, du rayonnement solaire (ou heures d'ensoleillement) et de la vitesse de vent.	Données journalières des stations de l'aéroport de Bobo Dioulasso (1998-2002) et de l'INERA à Bama (2000-2002) sont disponibles
2	Données journalières de la pluviométrie d'une vingtaine d'années (ou plus) des stations dans la zone d'étude	Données disponibles pour 5 stations pluviométriques à l'intérieur ou aux abords du bassin du Kou (1986-1999)
3	Information sur l'intensité des pluies	Non disponibles. Ces données peuvent être utiles pour mieux simuler les ruissellements de surface mais ne sont pas exigées par AVSWAT
4	Evapotranspiration de référence à l'aide de la formule FAO Penman-Monteith (ET _o)	Résultats publiés dans le Bulletin Technique N° 2
5	Analyse statistiques de l'ET _o (à l'aide de RAINBOW)	Résultats publiés dans le Bulletin Technique N° 2
6	Analyse statistiques des pluies décennales (à l'aide de RAINBOW)	Résultats publiés dans le Bulletin Technique N° 2
7	Mesure de l'intensité des pluies pendant tout l'hivernage (3 ans) à l'aide d'un pluviomètre équipé avec un data logger (fréquence tous les 10 minutes)	Non disponible. Voir Tache # 3.
8	Comparaison entre ET _o calculée et dérivée des bacs d'évaporation type Class A	Observations de l'évaporation à l'aide des bacs ne sont pas fiables ou ne sont pas disponibles
9	Développement et programmation d'une routine SIG et/ou Excel pour la délimitation des zones suffisamment contrastées ou pour l'interpolation en continu des données.	Le bassin du Kou a été subdivisé moyennant la procédure de Thiessen (voir Bulletin Technique N° 5)
10	Estimation de l'efficacité des pluies à l'aide de BUDGET	Non effectué.

11	Analyse du début et de la durée de l'hivernage (analyse statistique).	Résultats publiés dans le Bulletin Technique N° 2 du projet.
----	---	--

Caractéristiques des sols

#	Description	Remarques
1	Carte et description des différents types de sol dans les aménagements étudiés	Carte disponible. Reste à faire – classification des sols selon WRB
2	Caractéristiques physiques des horizons des différents types de sol dans la zone d'intervention : Granulométrie, perméabilité et rétention d'eau à la saturation, à la capacité au champs (0.10 et 0.33 kPa) et au point de flétrissement (1.5 MPa)	Résultats disponibles dans le Bulletin Technique N° 3
3	Dérivation des caractéristiques physiques à partir de la granulométrie (fonctions de pedo-transfer).	A faire (méthode Saxton)

Caractéristiques des Cultures

#	Description	Remarques
1	Calendrier cultural des différentes cultures	Disponible
2	Caractéristiques (Kc, profondeur d'enracinement, p)	Les données sont disponibles pour les cultures Mais et Sorgho. Voir annexe Bulletin Technique N° 6. Restent à faire : Mil, Cotton et Riz Pluvial
3	Mesure de l'évapotranspiration ($ET_c = K_c E_{To}$) dans les champs irrigués pour validation de l' E_{To} : <ul style="list-style-type: none"> - dans les rizières (avec des règles graduées et des fûts). Période : hivernage et contre-saison - dans les champs bien irrigués (culture bien développé) (suivi de la variation du profile hydrique par échantillonnage). Période : hivernage et contre-saison - dans les champs non-irrigués. Période : pendant l'hivernage 1 ou 2 jours après une pluie abondante 	Rizières - Mesuré (hivernage) : Voir Bulletin Technique N° 7 Autres cultures: à faire
4	Calcul des besoins en eau de la culture	OK pour les rizières (hivernage) voir Bulletin Technique N° 7 Autres cultures : à faire

Caractéristiques des Aménagements

#	Description	Remarques
1	Description des aménagements irrigués (rizières). Paramètres à collecter (consulter BIRIZ)	Voir Bulletin Technique N° 7. A compléter.
2	Description des aménagements irrigués. Paramètres à collecter (consulter BUDGET)	Voir Bulletin Technique N° 6. A compléter.
3	Description des aménagements des bas-fonds : Topographie, hauteur de la digue, dimensionnement des vannes	Pas retenu - Les bas-fonds dans le bassin versant sélectionné ne sont pas aménagés.

Caractéristiques de l'irrigation

#	Description	Remarques
1	Périmètres riz : Suivi de la mise en eau (durée et quantité d'eau). Evaluation des pertes par percolation et drainage.	Voir Bulletin Technique N° 7. A compléter.
2	Périmètres irrigués : Estimation de l'efficience de l'irrigation du périmètre (Besoin en eau (calculé) de la superficie irriguée/Débit entrant)	Voir Bulletin Technique N° 6. A compléter.
3	Evaluation des calendriers d'irrigation à l'aide de BUDGET.	A faire
4	Développement des fiches d'aide à l'irrigation	A faire

4.2.4 Développement, calibration et validation des outils

Tâche #	Description	Remarques
1	Modèle aménagement bas-fond : développement et comparaison entre les débits mesurés et simulés	Supprimé - Les bas-fonds dans le bassin versant sélectionné ne sont pas aménagés.
2	Perfectionnement et validation de BIRIZ (modèle aménagement rizicole)	Voir Bulletin Technique N° 7. A compléter.
3	Modèle aménagement périmètre irrigué : Développement = intégration des caractéristiques de l'aménagement dans BUDGET	Voir Bulletin Technique N° 6. A compléter.

4	Modèle du bilan d'eau des cultures pluviales : suivi des profils hydriques dans la zone racinaire des cultures non irrigués et comparaison avec valeurs simulées	Voir Bulletin Technique N° 6. A compléter.
5	Comparaison entre le rendement (relatif) simulé et observé pour des cultures non irriguées	Voir Bulletin Technique N° 6. A compléter.
6	Rédaction de rapports techniques	Bulletins Techniques 6 et 7 ; A compléter

4.2.5 Exploitation des outils

Les outils paramétrisés sont utilisés pour la formulation de consignes et la rédaction de fiches d'aide pratique à l'irrigation.

Tâche #	Description	Remarques
1	Evaluation de l'irrigation pratiquée aux périmètres rizicoles, à l'aide de BIRIZ	Voir Bulletin Technique N° 7. A compléter.
2	Evaluation de l'irrigation des périmètres irrigués à l'aide de BUDGET	A faire
3	Développement de fiches d'aide au planning de l'irrigation	A faire

4.3 Intégration des approches

Vu l'état d'avancement des activités et tâches dans les volets 'Bassin versant' et 'Aménagements hydro-agricoles', il est évident que le projet ne s'est pu engager dans l'intégration des deux volets.

4.4 Stages, rapports, bulletins, ...

Les tâches dont le progrès est décrit ci-dessus ont partiellement été réalisées grâce à l'apport et au dévouement d'un nombre d'étudiants-stagiaires affectés au projet par la DRAHRH-HB (1 étudiant en provenance de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomiques de Rennes, France), l'EIER (3 étudiants) et ses partenaires (un étudiant de l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, France) et 2 thésistes de la K.U.Leuven. Les thèses, mémoires et rapports de stage en résultant sont énumérés dans les rapports annuels des première et deuxième années.

De mi-juin au début juillet 2003, Mons. Nestor Compaoré, homologue du coöperant technique et scientifique du projet, a suivi une formation à la K.U.Leuven . Cette formation portait sur la technologie des systèmes d'informations géographiques et de la télédétection et sur leur application dans le domaine de la gestion des ressources en eau dans l'agriculture.

Plusieurs bulletins techniques ont été rédigés ou sont en voie de rédaction par le projet, résumant et documentant les acquis principaux de plusieurs actions et tâches. Ces bulletins sont énumérés dans le Chapitre 5, l'Annexe II et dans les deux rapports annuels.

4.5 Coöperation avec des partis tiers

Au cours de l'élaboration du projet, le projet a été contacté par plusieurs autres projets ayant à peu près les mêmes intérêts. Ces rencontres ont abouti à deux collaborations.

4.5.1 Le projet APPIA

Le projet APPIA est financé par la Coöperation française et 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 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.

La collaboration GE-EAU - APPIA est concrétisée par l'affectation durant 8 mois (novembre 2003 – juin 2004) par APPIA de deux ingénieurs sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou à Bama, d'une part, et sur le périmètre informel de Diaradougou d'autre part, afin d'effectuer un diagnostic pluridisciplinaire des performances de ces aménagements. Ces ingénieurs intégreront les informations et études existantes, ainsi que les données collectées par GE-EAU. Ils effectueront la collecte de données complémentaires sur les exploitations et le périmètre. Ils compléteront l'étude physique et hydraulique déjà effectuée par GE-EAU et assisteront GE-EAU dans la validation des modèles BUDGET et BIRIZ. Le travail d'analyse débouchera sur des propositions concrètes de solutions à mettre en œuvre à court et à moyen terme sur le périmètre et y autour (aménagements, règles de tour d'eau, calendriers d'irrigation,...). L'apport de GE-EAU est limité à l'encadrement de la partie hydraulique et à la coördination des activités de terrain.

4.5.2 Le projet FNPP-IWRM-VG

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 ») développe une approche de gestion intégrée des ressources en eau, afin de

renforcer la sécurité alimentaire en milieu rural. Cette approche est 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.

Un lien de collaboration a été conclu entre GE-EAU et le consultant responsable (AEDE ; Association Eau Développement et Environnement) pour l'exécution du projet dans la Vallée du Kou afin de lui rendre disponible une base de données plus large. Il est convenu de procéder à un échange de données entre les deux ingénieurs de la collaboration APPIA-GEeau et le consultant FNPP. Le consultant appuiera aussi les ingénieurs par un suivi sur le terrain.

5 Programmation des activités pour la troisième année

Afin d'aboutir à une programmation réaliste des activités du projet pour la période janvier 2004 – octobre 2004 (10 mois), nous avons tout d'abord tenté de confronter les acquis du projet, tels que décrits dans le chapitre 4, avec les objectifs et planning initiaux. Ensuite nous avons essayé de prendre en compte le temps restant disponible ainsi que les ressources humaines qui, à part le coöperant scientifique et technique, pourront être affectées au projet, i.e. thésistes, stagiaires, personnes dérivant de projets tiers avec lesquels une collaboration a été mis en place (voir 4.5) et missions de la K.U.Leuven.

5.1 Activités de recherche

5.1.1 Approche bassin versant

Une recommandation-clé que nous faisons à partir des observations faites (Chapitre 4) et les échanges eus avec JW et NC, a à faire avec le choix du modèle hydrologique à utiliser dans ce premier volet de la recherche. Vus ses capacités de modéliser de façon intégrée (i) le bilan d'eau local des sols, (ii) l'écoulement des surplus d'eau et (iii) la propagation dans les rivières des eaux en provenance de l'écoulement, et vus la disponibilité de paramètres défaut pour ce modèle, nous recommandons le model AVSWAT pour le projet.

Ci-dessous, nous reprenons les actions 4.1.4, 4.1.5 et 4.1.6 du chapitre précédent (actions 5.1.1.4, 5.1.1.5 et 5.1.1.6 dans le rapport de la première mission) et les tâches y correspondant dans un contexte mis à jour.

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

Il s'agit de rendre opérationnel pour le bassin du Kou les couches d'information suivantes à partir des informations disponibles ou à acquérir.

#	Titre/description	Source	Traitement	Qui ? Quand ?
1	Modèle numérique de terrain	Courbes de niveau des cartes topographiques IGB (50.000 et 200.000)	Collecte de mesures ponctuelles et linéaires par DGPS ; Construction du MNT à partir des courbes, le réseau hydrographique et les mesures DGPS supplémentaires	JW/NC 28-fév-04
2	Propriétés physiques et physico-chimiques des sols	Cartes diverses des sols + descriptions de profils pédologiques	Finaliser la digitalisation. Elaboration de 'transfer rules' entre l'information contenue dans la légende et celle requise par AVSWAT	Contractant/ JW/NC ; 28-fév-04
3	Couverture et utilisation des terres (bas-fonds, autres, aménagements hydro-agricoles, cultures pluviales, végétation naturelle, ...)	Photo-aériennes, avril 2003, échelle photo 1 :50.000	Digitalisation de la carte analogue Elaboration de 'transfer rules' entre l'information contenue dans la légende et celle requise par AVSWAT	Contractant ; 31-déc-04 JW ; 28-fév-04
4	Distribution spatio-temporelle des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle	Enregistrements stations météo	OK	
5	Réseau hydrographique	Cartes topographiques IGB	OK	
6	Séries temporelles	DRH-HB ?	OK	

	des décharges des rivières			
--	----------------------------	--	--	--

Nous recommandons que le projet abandonne l'idée de construire et de mettre à jour la couche d'informations sur l'occupation et l'utilisation des terres à partir du traitement d'images satellitaires (LANDSAT, SPOT-, SPOT-VEGETATION). Cette procédure maintient bien évidemment ses perspectives ultra-intéressantes mais le temps manque dans la phase actuelle du projet.

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Structuration des données pour usage flexible avec AVSWAT	JW	28-fév-04
2	Elaboration d'un rapport technique avec les méta-données sur de la b.d.	JW	28-fév-04

5.1.1.2 Calibration du modèle hydrologique

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Etude des paramètres du modèle ayant une forte influence sur les valeurs simulées	JW, Etudiants, B.Biesbrouck (lors du séjour de JW en Belgique en mars 2004)	30-avr-04
2	Comparaison critique des résultats du modèle, version standard, avec les mesures terrain	JW, Etudiants	31-mai-04
3	Calibration du modèle aux mesures terrain moyennant adaptation des paramètres sensibles	JW	30-juin-04
4	Rédaction de rapport technique, pouvant servir de base pour publication scientifique	JW	30-juin-04
5	Suivi Général	JVO, (B.Biesbrouck)	

5.1.1.3 Validation du modèle hydrologique

Le modèle calibré pour le bassin versant du Kou et pour un ou plusieurs hivernages ou années sera validé en le tournant pour le même bassin versant mais pour d'autres hivernages/années climatologiques.

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Comparaison des valeurs simulées par le modèle calibré pour des scénarios	JW	31-août-04

	climatiques et/ou occupation des terres qui n'ont pas été utilisés pour la calibration		
2	Si nécessaire, retour à la calibration (action 5.1.3.2)	JW	
3	Rédaction de rapport technique couvrant données, calibration, validation et conclusions, pouvant servir de base pour publication scientifique	JW	30-sep-04
4	Suivi Général	JVO (B.Biesbrouck)	

5.1.2 Approche 'Aménagements hydro-agricoles'

La caractérisation et la modélisation des aménagements hydro-agricoles seront finalisées lors de la dernière année et avant l'intégration de ces modèles dans le modèle bassin versant. Le projet recherchera une synergie avec le projet APPIA (voir 4.5 Collaboration avec des projets tiers) et impliquera des chercheurs extérieures en mission (voir 5.4 Missions) pour le support de ces activités. Les résultats seront publiés dans les Bulletins Techniques N° 3, 6, 7 et 9.

5.1.2.1 Aménagements pour cultures pluviales

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Caractéristiques des cultures de Mil, Cotton et Riz pluvial pour BUDGET	APPIA	Jan-Juin 2004
2	Suivi des profils hydriques dans la zone racinaire des cultures non irrigués (Mais, Sorgho, Mil et Cotton) et comparaison avec valeurs simulées	GE-EAU	Juillet- Octobre 2004
3	Simulation de la productivité relative des cultures (Mais, Sorgho, Mil et Cotton) dérivée du stress hydrique pour plusieurs années et comparaison avec la productivité observée dans la zone (Statistiques Ministère de l'Agriculture ?)	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
4	Synthèse des résultats et Finalisation du Bulletin Technique N° 6	APPIA Mission	Jan-Juin 2004 Juillet 2004
5	Synthèse des résultats dans un article pour un Journal Scientifique	JW/DR	Novembre 2004
6	Suivi Général	JW/DR	

5.1.2.2 Apport en eau par ascension capillaire

L'ascension capillaire à partir d'une nappe phréatique vers la zone racinaire peut contribuer à satisfaire les besoins en eau des cultures. Surtout dans les champs où la nappe est peu profonde, la contribution par ascension capillaire peut être très considérable. Pour estimer cet apport d'eau des simulations seront faites à l'aide du logiciel UPFLOW pour deux types de cultures (Profondeur d'enracinement peu profonde (0.5 m) et profonde (1.0 m)), les différents types de sols rencontrés dans la zone d'étude et pour différents niveaux de la nappe.

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Caractéristiques des types de cultures et de sol pour UPFLOW	APPIA	Jan-Juin 2004
2	Simulation de l'ascension capillaire à l'aide d' UPFLOW	APPIA	Jan-Juin 2004
3	Synthèse des résultats et finalisation du Bulletin Technique N° 3	APPIA Mission	Jan-Juin 2004 Juillet 2004
5	Suivi Général	JW/DR	

5.1.2.3 Aménagements (périmètres irrigués)

Riz irrigué (Périmètre irrigué de la Vallée du Kou)

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Evaluation de l'irrigation pratiquée au périmètre rizicole du Kou, à l'aide de BIRIZ pendant la contre-saison : - suivi des apports d'eau à l'entrée du périmètre (Débit entrant) - suivi de l'Evapotranspiration et percolation à l'aide des règles graduées et lysimètres installées aux champs - simulation avec BIRIZ	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
2	Evaluation de l'irrigation du périmètre à l'aide de BIRIZ	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
3	Synthèse des résultats et finalisation du Bulletin Technique N° 7	APPIA Mission	Jan-Juin 2004 Juillet 2004
4	Suivi Général	JW/DR	

Autres cultures (Cultures maraîchages et Maïs)

Tâche #	Description	Qui ?	Quand ?
1	Caractéristiques des cultures maraîchages pour BUDGET	APPIA	Jan-Juin 2004
2	Calcul des besoins en eau des cultures (ETc) en contre saison et l'hivernage à l'aide de BUDGET	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
3	Calcul des besoins en eau d'irrigation (Inet et Igross) en contre saison et l'hivernage pour différents types d'année (sèche, normale, humide) à l'aide de BUDGET	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
4	Suivi des calendriers d'irrigation	APPIA	Jan-Juin 2004
5	Evaluation des calendriers d'irrigation à l'aide de BUDGET	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
6	Développement de fiches d'aide au planning de l'irrigation	APPIA + Etudiants	Jan-Juin 2004
7	Synthèse des résultats et finalisation du Bulletin Technique N° 9	APPIA Mission	Jan-Juin 2004 Juillet 2004
8	Suivi Général	JW/DR	

5.1.3 Approche intégrée

Dans le planning élaboré lors de la première mission, il avait été prévu qu'après 27 mois de travail, les méthodes, logiciels et outils seraient opérationnels afin de pouvoir modéliser les flux des eaux superficielles (ruissellement et drainage par les cours d'eau) dans le bassin versant sélectionné d'une part et le fonctionnement hydraulique des types d'aménagements étudiés d'autre part. Ayant fait le point sur les activités sous les volets 'Bassin versant' et 'Aménagements hydro-agricoles' lors de cette mission (24 mois après le démarrage du projet), il est clair que l'intégration des deux approches ne puisse démarrer dans trois mois et que les activités d'intégration devront être concentrées dans les derniers mois du projet (septembre-novembre).

Il est prématuré aujourd'hui d'entrer dans le détail des activités à entreprendre pour réaliser cette intégration. En grandes lignes, il s'agira d'intégrer les aménagements inventoriés et étudiés comme unités hydrologiques bien caractérisés dans le modèle hydrologique en vue de quantifier les effets concernant la redistribution spatiale des eaux de pluie et les évolutions spatio-temporelles des décharges.

5.2 Formations

Pendant les années 2002-2003, 5 étudiants, envoyés par le partenaire l'EIER, ont effectué un stage et/ou élaboré une thèse relatifs au projet. Une de ces thèses a même remporté le concours 'meilleure thèse à l'EIER'. Vu ce succès et à la demande de l'EIER, la mission recommande de continuer voire renforcer ce genre de collaboration. Les formations formelles prévues dans le document de projet ayant moins de priorité pour l'EIER, ne seront dès lors plus retenues pour la dernière année.

5.3 Encadrement de stages

Donnant suite à la recommandation sous le point 5.2, cette section contient une description sommaire des sujets possibles des stages et mémoires de fin d'études que le projet peut offrir pendant la dernière année aux étudiants de l'EIER. Vu que la période pendant laquelle la K.U.Leuven est à même d'envoyer des étudiants (août – octobre 2004), s'approche très nettement de la date de clôture du projet (31 octobre 2004), la mission recommande de ne plus faire appel à des étudiants de la K.U.Leuven.

En principe, chaque sujet correspond avec une (partie de) ou plusieurs tâches définies dans la section 5.1.

1. Besoins en contre-saison en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ (activité 5.2.7) : (Collecte et traitement des données climatiques, Mesure des caractéristiques des différents types des périmètres, Suivi de la mise eau, Mesure de l'évapotranspiration, des pertes par percolation et drainage, Calculs des besoins en eau et l'efficacité de l'irrigation. Conclusions)

Exemples : Bulletins Techniques du projet Gestion de l'Eau (Saint-Louis, Sénégal)

2. Développement des fiches d'aide à la planification des irrigations (activité 5.2.7) : Analyse des données climatiques et des caractéristiques du sol, des cultures et de l'irrigation. Développement de fiches techniques pour les principales cultures irriguées.

Exemples : Tunisie (article), Zimbabwe (Mémoire de fin d'études (Anglais) de Katrijn Holvoet in 2002), Article FAO, 2003.

3. Développement d'un modèle aménagement pluvial (activité 5.2.5). Validation des simulations BUDGET (teneur en eau de la zone racinaire + rendement relatif).

4. Contrôle de la consistance et analyse de données de décharge disponibles (Activités 5.1.2 & 5.1.3) : Analyse des séries temporelles, développement d'une approche pour le remplacement des données manquantes. Etude (non spatialisée) de la corrélation entre les décharges et les précipitations et évapotranspirations.

5. Etude de la sensibilité des résultats de simulation du modèle AVSWAT pour les paramètres d'entrée (Activités 5.1.2 & 5.1.3) : Développement d'une approche

systematique pour tester la sensibilité. Estimation des incertitudes concernant les données d'entrée. Quantification de la réponse uni- et multivariée des données de sortie pour cette incertitude.

5.4 Missions

Nous prévoyons les missions suivantes dans le but de supporter le coöperant technique et scientifique et son homologue dans la finalisation des activités.

Mission #	Description	Qui ? Ou ?	Quand ?
1	Première évaluation, à Leuven, des simulations effectuées avec AVSWAT	JW Leuven	Mars 2004
2	Suivi scientifique des différentes activités sous le volet 'Bassin versant' Rédaction du Bulletin Technique #8	Bernard Biesbrouck, K.U.Leuven, Bobo-Dioulasso	Mai-Juin 2004
3	Synthèse des résultats du volet 'Aménagements hydro-agricoles' et finalisation du Bulletin Technique N° 7	Ir. Sam Geerts et/ou DR Bobo-Dioulasso	Juillet 2004

5.5 Rédaction de bulletins techniques

Avant de publier les Bulletins Techniques N° 1 (Bassin versant), 2 (Climat), 3 (Sol), et 4 (Hydrologie), le projet complètera la caractérisation du milieu du bassin versant du Kou. Les résultats serviront pour la fourniture des paramètres d'entrée des modèles hydrologiques et aménagements.

Bassin versant du Kou

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Publication de la présentation du bassin versant dans le Bulletin Technique N° 1	Finaliser Janvier 2004	JW
2	Suivi général		DR/JVO

Caractéristiques du Climat

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Publication de l'analyse du climat dans le Bulletin Technique N° 2	Finaliser Janvier 2004	JW
2	Suivi général		DR

Caractéristiques physiques des sols

#	Description	Tache Quand ?	Qui
1	Dérivation des caractéristiques physiques à partir de la granulométrie (fonctions de pedo-transfer de Saxton)	Dérivation et Discussion Janvier 2004	JW
2	Corrélation de la classification vernaculaire avec l'universelle de la FAO-UNESCO	Prof. E. Barro Janvier 2004	
3	Simulation de l'ascension capillaire à l'aide d'UPFLOW pour les différents types de sols	Simulation et Discussion Janvier 2004	APPIA
4	Publication des caractéristiques physiques des horizons des différents types de sol dans la zone d'intervention dans le Bulletin Technique N° 3	Finaliser Février 2004	JW
5	Suivi Général		DR/JVO

L'hydrologie du bassin versant

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Publication de l'Hydrologie du bassin versant du Kou (1980 – 2002) dans le Bulletin Technique N° 4	Finaliser Janvier 2004	JW
2	Suivi général		JVO

Modélisation

Etude Hydrologique du bassin versant (SMAP)

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Publication de la synthèse hydrologique du bassin versant du Kou à l'aide de SMAP dans le	Finaliser Juillet 2004	JW

	Bulletin Technique N° 5		
2	Suivi général		JVO

Cultures pluviales (BUDGET)

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Simulation de la productivité relative des cultures (Mais, Sorgho, Mil et Cotton) dérivée du stress hydrique pour plusieurs années et comparaison avec la productivité observée dans la zone (Statistiques Ministère de l'Agriculture ?)	Simulation Jan-Juin 2004	APPIA Etudiant- stagiaires EIER
2	Publication de la validation du modèle du bilan d'eau BUDGET & amélioration des rendements dans le Bulletin Technique N° 6	Finaliser Juillet 2004	JW Mission
3	Suivi général		DR

Rizières (BIRIZ)

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Evaluation de l'irrigation pratiquée au périmètre rizicole du Kou (contre-saison)	Suivi Jan-Juin 2004	APPIA Etudiants- stagiaires EIER
2	Publication des résultats du suivi du périmètre irrigué de la Vallée du Kou (BIRIZ) dans le Bulletin Technique N° 7	Finaliser Juillet 2004	JW, Mission
3	Suivi général		DR

Etude Hydrologique du bassin versant (AV SWAT)

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Etude hydrologique du Bassin du Kou (à l'aide de AVSWAT)	Calibration, Validation Janvier- Septembre 2004	JW, Mission à Leuven
2	Publication des résultats de l'étude dans le Bulletin Technique N° 8	A finaliser pour Septembre	JW, Mission

		2004	
3	Suivi général		JVO

Simulation (exploitation des outils)

Périmètres Irrigués

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Collecte des données et suivi des périmètres irrigués	Suivi-évaluation Jan-Juin	APPIA Etudiants- stagiaires EIER
2	Développement de fiches d'aide au planning de l'irrigation	Simulation Jan-Juin	APPIA Etudiants- stagiaires EIER
3	Publication de Fiches d'aide à la planification de l'irrigation dans le Bulletin Technique N° 9	Finaliser Juillet 2004	JW, Mission
4	Suivi général		DR

Outils de suivi-évaluation

#	Description	Tache, Quand ?	Qui
1	Intégration des approches (Bassin Versant et Aménagements Hydro-Agricoles)	Intégration Juillet- Novembre	JW
2	Publication de la suivi-évaluation des ressources en eau à l'échelle d'un bassin versant (Vallée du Kou) dans le Bulletin Technique N° 10	Finaliser Novembre 2004	JW
3	Suivi général		JVO/DR

6 Prolongation possible du projet

Durant notre séjour, l'EIER et la DRAHRH-HB se sont exprimés dans de termes nettement positifs sur le projet GE-EAU. La présence du projet a en effet permis à l'EIER de former des étudiants-stagiaires dans un contexte professionnel. La DRAHRH-HB a également et clairement pu bénéficier de cette collaboration K.U.Leuven – EIER. La question a été posée si une prolongation du projet et de la présence du coöperant VLIR entre dans les possibilités.

Vu que certaines lignes budgétaires n'aient été consommées par le projet (achat de voiture, ...), il reste en effet des moyens financiers, qui moyennant une rédéfinition des postes budgétaires pourraient suffire de prolonger le projet de X mois.

Nous jugeons qu'une pareille prolongation puisse être utile, tant pour le projet en tant que tel, que pour la consolidation des résultats du projet. Le fait qu'un spin off du projet est envisageable (voir Annexe 3), nous renforce dans l'idée qu'il faut mettre toutes les possibilités en oeuvre pour que l'objectif général de ce projet, i.e. renforcer la capacité locale de gérer les ressources en eau, soit atteint au maximum.

Une demande officielle de prolongations sera préparée par les partenaires. A base de cette demande nous contacterons le VLIR pour concrétiser cette demande.

Annexe 1 : Calendrier

Dimanche 7 décembre : Voyage : Leuven – Paris

- Train : Leuven – Bruxelles
- Train : Bruxelles (12 :55) – Paris (14 :12 prévu) - A cause de l'arrachement du pantographe, le train est arrivé avec un grand retard à l'aérogare de Charles de Gaulle et le vol prévu (AF730 : Paris – Ouagadougou) était déjà parti.
- Transfer à l'Hôtel Sofitel

Lundi 8 décembre : Voyage : Paris – Ouagadougou

- Paris (10 :50) – Niamey – Ouagadougou (17 :20)
- Transfer à l'Hôtel Yibi
- Tour d'horizon des activités du projet avec M. Joost Wellens (chef de projet) et Mons. Peter Torrekens (FAO-FNPP)

Mardi 9 décembre :

- 9 :00 Entretien avec M. Hamma Yacouba, Directeur des Etudes EIER
- Voyage, par la route, Ouagadougou (11 :00) – Bobo Dioulasso (16 :00)
- 17 :00 – 18 :00 Entretien avec MM. Nestor Compaoré (chef de la division informatique) et Joost Wellens : Planning du séjour à Bobo Dioulasso

Mercredi 10 décembre : Bobo Dioulasso

- 8 :00 – 13 :00 Compte rendu des activités précédentes du projet par rapport au planning initial
- 15 :00 – 17 :30 Discussion sur les activités pour la dernière année

Jeudi 11 décembre : Bobo Dioulasso (fête de l'indépendance)

- 8 :00 – 13 :30 Discussion sur les activités pour la dernière année
- 15 :00 – 17 :30 : Rédaction du rapport de mission (activités fév-2002 – nov-2003)

Vendredi 12 décembre (7 :00 - 16 :00)

- Excursion dans le bassin du Kou : Sources du Kou à Kodala, le Kou à Koumi, la Guingette, le Kou à Nasso, le Kou à Diaradougou (périmètre informel et prise d'eau du canal du Kou), la zone d'agriculture pluviale et avec irrigation d'appoint (puits) entre Diaradougou et Bama, Bama (périmètre formel).

Samedi 13 décembre

- 8 :00 – 13 :30 : Conclusions concernant les activités pour la dernière année
- 15 :00 – 17 :00 : Rédaction du rapport de mission (activités futures)
- 20 :00 : Entretien avec Mons. Johan Derouane, Ministère de la Région Wallonne, Direction des Relations Internationales. Echange sur le spin off possible du projet

Dimanche 14 décembre

- 9 :30 - : Discussion sur les conclusions de la mission

Lundi 15 décembre

- Finalisation du rapport de mission
- Voyage (AF 731) : Ouagadougou (21 :30) – Paris

Mardi 16 décembre

- Arrivé à Paris (6 :10)
- Train : Paris (7 :43) – Bruxelles (9 :02)
- Train : Bruxelles - Leuven

Annexe 2 : Bulletins techniques

Les Bulletins Techniques sur la Géographie seront finalisés fin janvier 2004. La finalisation des six autres est envisagée avant la clôture du projet.

N°	Titre		
Géographie			
1	Le bassin versant du Kou		
2	Agro-climatologie		
3	Physique du Sol		
4	Hydrologie du bassin versant du Kou : 1980 - 2002		
Modélisation			
5	Synthèse hydrologique du Bassin du Kou (à l'aide de SMAP)	Juillet 2004	Version préliminaire déjà disponible
6	Validation du modèle du bilan d'eau BUDGET & amélioration des rendements	Juillet 2004	Version préliminaire déjà disponible. A compléter avec l'étude des GR's de l'ARID
7	Périmètre irrigué de la Vallée du Kou	Juillet 2004	Version préliminaire déjà disponible. A compléter avec l'étude des GR's de l'ARID
8	Synthèse hydrologique du Bassin du Kou (à l'aide de AV SWAT)	Juillet 2004	à développer (Résultats de l'étude avec le modèle AV SWAT)
Simulations (Exploitation des outils)			
9	Fiches d'aide à la planification de l'irrigation	Juillet 2004	à développer en concertation avec les GR's de l'ARID
10	Outil de suivi-évaluation des ressources en eau à l'échelle d'un bassin versant (Vallée du Kou)	Novembre 2004	à développer (Résultats de l'étude avec le modèle intégré AV SWAT & Aménagements hydro-agricoles)

Un CD-ROM sera préparé à la clôture du projet, reprenant de façon ultra-documentée, les bulletins, manuels et autres documents, les données, modèles et outils, délivrés par le projet. Cette information sera conçue de telle sorte qu'une personne qualifiée extérieure au projet, peut continuer la recherche avec un minimum de temps d'apprentissage.

Annexe 3 : Spin off possible

GE-EAU et AEDE sont en train de monter un dossier de préparation de projet pour le compte de la coopération internationale de la Région Wallonne avec un financement mixte APEFE-DRI, débutant en janvier 2005.

L' APEFE (Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger) est un centre d'expertise en coopération au développement pour la Communauté francophone de Belgique (Wallonie et Bruxelles). Elle est intégrée dans l'ensemble constitué par les services internationaux de la Communauté Wallonie-Bruxelles et de la Région Wallone (CGRI-DRI).

La DRI est une Division des Relations Internationales (DRI) et aussi un des services de la Région Wallonne chargé de ses relations internationales.

Les partenaires locaux envisagés seront surtout l'AEDE, l'EIER et le Ministère Burkinabé de l'Agriculture. Comme opérateur wallon la DGRNE Division de l'Eau est suggérée ensemble avec la FUL ou l'ULG.

Les objectifs spécifiques de cette intervention sont conçus comme :

- Développement ultérieur du concept GEeau à travers la mise au point d'outils relatifs (i) à l'évaluation des ressources en eau du bassin du Kou, (ii) à la planification, gestion et protection des eaux et des milieux associés afin d'arriver en particulier à une optimisation des pratiques d'agricole hydraulique.
- Appui à l'appropriation des outils GEeau par les acteurs locaux intéressés.
- Appui à l'AEDE dans la mise en place d'un Observatoire de l'Eau ayant pour vocation d'appuyer les pouvoirs publics dans le développement et la conduite de programmes d'études et de recherches relatifs à la connaissance, gestion, valorisation et protection des ressources en eau à l'Ouest du Burkina Faso.

Annexe 4 : Adresses utiles

Patrice Sprimont
Coordonnateur de l' APEFE
Bureau Wallonie – Bruxelles
01 BP 6625 Ouagadougou 01
Burkina Faso
TEL/FAX : +226-31.65.00
bwb@apefe.bf sprimont.f@apefe.bf

Peter Torrekens
Peter.torrekens@fao.org

Mahamadou Diallo
Diallo.adi@fasonet.bf

Babacar Dieng
Babacar.dieng@eier.org

Hamma Yacouba
Directeur des Etudes
Groupe des Ecoles EIER – ETSHER
03 B.P. 7023
Ouagadougou 03
Burkina Faso
Hamma.yacouba@eier.org
Tel : +226-30.71.16/17
Fax : +226-31.27.24

Ingrid Hermiteau
Assistante technique Projet APPIA
Association Régionale pour l'Irrigation et le Drainage
EIER – 03 BP 7023
Ouagadougou 03
Burkina Faso
Ingrid.hermiteau@eier.org
Tel : +226-30.20.53 / 30.71.16
Fax : +226-31.27.24

Johan Derouane
Ingénieur Civil Géologue – Attaché
Ministère de la Région Wallonne
Direction Générale des Ressources naturelles et de l'Environnement
Division de l'eau ; Service des Eaux souterraines
Avenue Prince de Liège 15

B-5100 Namur
Belgique
TEL : +32-(0)81-33.63.28
FAX : +32-(0)81-33.63.22
j.derouane@mrw.wallonie.be

Alain COMPAORE
Adjoint au Chef de Cellule
Cellule de Gestion du Plan d'actions pour la filière Riz (CG/PAFR)
01 BP 1265
Bobo-Dioulasso 01
Burkina Faso
Tel. 97.40.28/ Fax 97.66.57
e-mail: cg.pafri@fasonet.bf

Philippe Mangé
Directeur
Ecole inter-états des ingénieurs de l'équipement rural
03 BP 7023
Ouagadougou 03
Tel : 30.20.53
Fax : 31.74.24
e-mail : dir@eier.org
<http://www.eier.org>

Roland Provot
Ir. Conseiller, Attaché à la coopération internationale
01 BP 4388
Ouagadougou 01
Tél : 30.40.58/60
Fax : 30.40.70
e-mail : sbc.burk@fasonet.bf

Jérôme THIOMBIANO
Chef de Programme
Ministère de l'Environnement et de l'Eau
Direction Générale de l'Hydraulique
Gestion intégrée des Ressources en Eau du Burkina Faso
09 BP 240
Ouagadougou 09
Tel : 31.50.07
Fax : 31.50.06
e-mail : gire@liptinfor.bf

Nestor Fiacre Compaoré
DRAHRH-HB
BP 179 Bobo-Dioulasso
Burkina Faso
Tel : +226-97.15.48
Drh.hb@fasonet.bf

Joost WELLENS
Coöpérant scientifique
01 BP 3526
Bobo-Dioulasso
Tel +226-60.03.83
e-mail : ge_eau@yahoo.fr